



ISSN 2079 – 1747
DOI 10.32820/2079-1747-2019-23

Міністерство освіти і науки України
Українська інженерно-педагогічна
академія

Машинобудування

Піднімально-транспортні
машини
Динаміка та міцність машин
Верстати та інструменти
Технологія машинобудування

Машиностроение

Engineering

Lifting-and-shifting machines
Dynamics and strength
of machines
Machine-tools and instruments
Engineering technology

Збірник наукових праць

Видається 2 рази на рік

Видається з грудня 2007 р.

УІПА

2019
Харків

Редакційна колегія:**Головний редактор**

Купріянов О. В., д.тех.н., доц.

Заступник головного редактора:

Тарасюк А. П., д.тех.н., проф.

Члени колегії:

Гордєєв А. С., д.тех.н., проф.

Григоров О. В., д.тех.н., проф.

Залога В.О., д.тех.н., проф.

Ларшин В. П., д.тех.н., проф.

Ловейкін В. С., д.тех.н., проф.

Петраков Ю.В., д.тех.н., проф.

Резніченко М. К., д.тех.н., проф.

Ромасевич Ю.О., д.тех.н., доц.

Рябчиков М. Л., д.тех.н., проф.

Соколов В. І., д.тех.н., проф.

Фідровська, Н. М., д.тех.н., проф.

Хавін Г. Л., д.тех.н., проф.

Dasic, Predrag V., D.Sc., Prof.

Caganova Dagmar, Ph.D., Assoc. Prof.

Edl Milan, Ph.D., doc. Ing.

Відповідальні редактори

Подоляк О.С., к.тех.н., доц.

Сичов Ю.І., к.тех.н., доц.

Стрельчук Р. М., к.тех.н.

Редактор

Ротова Н.В.

Випусковий редактор

Стрельчук Р. М., к.тех.н.

Відповідальний секретар

Стрельчук Р. М., к.тех.н.

Дизайнер

Жубр В.А.

Адреса редакції:

Україна, 61003, м. Харків

вул. Університетська, 16

Українська інженерно-педагогічна академія

Тел. (057)733-78-18

Факс (057)731-32-36

E-mail: mashynobuduvannia@uipa.edu.ua

<http://jmash.uipa.edu.ua>

Address of editorial office:

16 Universitetska vul., Kharkiv

61003, Ukraine

Ukrainian Engineering Pedagogics Academy

Tel. (057)733-78-18

Fax (057)731-32-36

Машинобудування

2019, № 23

Збірник наукових праць

Засновник

Українська інженерно-педагогічна академія
(УІПА)

Видається з грудня 2007 р.

Свідоцтво про державну реєстрацію друкова-
ного засобу масової інформації

Серія КВ № 12132 – 1016Р від 26.12.2006.

ISSN 2079 – 1747

DOI 10.32820/2079-1747-2019-23

Мови видання:

українська, російська, англійська

Друкується за рішенням Вченої ради УІПА,
протокол № 10 від 28 травня 2019 р.

При використанні матеріалів збірника посилання
на збірник – обов'язкове.

Журнал відображено у базах даних:

Національна бібліотека України імені

В. І. Вернадського – <http://www.irbis-nbuv.gov.ua/>

Російська електронна бібліотека (РІНЦ) –

<http://elibrary.ru/>

Index Copernicus – <http://www.indexcopernicus.com/>

Google Scholar – <http://scholar.google.com.ua/>

ROAR (Registry of Open Access Repositories) –

<http://roar.eprints.org/>

OpenDOAR (The Directory of Open Access Reposi-
tories) – <http://www.opendoar.org/>

© Українська інженерно-педагогічна академія
(УІПА), Харків, 2019

Уважаемые авторы публикаций!

Редакционная коллегия сборника «Машиностроение» предпринимает шаги по повышению качества нашего издания, направленные на вхождение в ведущие мировые наукометрические базы. С этой целью сайт сборника перенесен на платформу Open Journal Systems и вводится независимое рецензирование подаваемых к публикации рукописей. Сборник «Машиностроение» теперь имеет собственный сайт, который располагается по ссылке: <http://jmash.uipa.edu.ua>

Использование платформы Open Journal Systems позволяет автоматизировать весь издательский процесс: подачу рукописей авторами, рецензирование, внесения редакторских правок, размещение статей в открытом доступе их последующее индексирование наукометрическими базами. Мы начинаем принимать рукописи через сайт сборника, и предоставлять там результаты рецензирования. Для этого все участники издательского процесса, от авторов до рецензентов и редакторов, должны зарегистрироваться на сайте. Сайт доступен в трех языковых версиях: украинский, русский и английский, поэтому у наших иностранных авторов языковых проблем быть не должно. На время переходного периода рукописи принимаются и по старой схеме, но давайте вместе осваивать перспективную редакторскую платформу.

С целью обеспечения высокого качества издаваемых статей, получившие низкую оценку рецензентов материалы не будут опубликованы. В случае технических трудностей, пишите нам на E-mail: mashynobuduvannia@uipa.edu.ua

Приглашаем специалистов в области машиностроения участвовать в рецензировании, в процессе регистрации на сайте сборника есть возможность подать запрос на добавление в рецензенты.

Мы прикладываем усилия по расширению географии авторов, и приглашаем как украинских, так и зарубежных авторов подавать рукописи в сборник. При подаче статьи следует следить за правилами оформления и академической добропорядочностью.

Давайте вместе постоянно улучшать наш сборник с целью вывести его в лидеры машиностроительного направления!

Главный редактор

Куприянов Александр Владимирович

Шановні автори публікацій!

Редакційна колегія збірника «Машинобудування» вживає заходів щодо підвищення якості нашого видання, спрямовані на вхождення в провідні світові наукометричні бази. З цією метою сайт збірника перенесений на платформу Open Journal Systems і впроваджується незалежне рецензування рукописів, що подаються до публікації. Збірник «Машинобудування» тепер має власний сайт, який розташовується за посиланням: <http://jmash.uipa.edu.ua>

Використання платформи Open Journal Systems дозволяє автоматизувати весь видавничий процес: подачу рукописів авторами, рецензування, внесення редакторських правок, розміщення статей у відкритому доступі і їх подальше індексування наукометричними базами. Ми починаємо приймати рукописи через сайт збірника, і надавати там результати рецензування. Для цього всі учасники видавничого процесу, від авторів до рецензентів і редакторів, повинні зареєструватися на сайті. Сайт доступний в трьох мовних версіях: українська, російська та англійська, тому у наших іноземних авторів не повинно бути мовних проблем. На час перехідного періоду рукописи приймаються і за старою схемою, але давайте разом освоювати перспективну редакторську платформу.

З метою забезпечення високої якості видавання, статі, які отримали низьку оцінку рецензентів, не будуть опубліковані. У разі виникнення труднощів, пишіть нам на E-mail: mashynobuduvannia@uipa.edu.ua.

Запрошуємо фахівців в галузі машинобудування брати участь у рецензуванні, в процесі реєстрації на сайті збірника є можливість подати запит на додавання в рецензенти.

Ми докладаємо зусиль по розширенню географії авторів, і запрошуємо як українських, так і зарубіжних авторів подавати рукописи до збірника. При подачі статті слід стежити за правилами оформлення та академічної доброчесністю.

Давайте разом постійно покращувати наш збірник з метою вивести його в лідери машинобудівного напрямку!

Головний редактор

Куприянов Александр Володимирович

Dear Authors,

The editorial board of the journal "Engineering" is taking steps to improve the quality of our publication with the aim of entering the world's leading scientometric databases. Accordingly, the website of the journal is moving to the Open Journal Systems platform and an independent review of manuscripts submitted for publication is being introduced. The journal "Engineering" now has its own website, which you can visit following the link <http://jmash.uipa.edu.ua>.

Using the Open Journal Systems platform allows automating the entire publishing process, which includes submitting manuscripts by authors, reviewing, editing, publishing articles in the open access, and then indexing them by scientometric databases. We are beginning to accept manuscripts via the website of the journal, which is where we are also starting to present the results of reviewing. To this end, all participants in the publishing process, from authors to reviewers and editors, must register on the website.

The website is available in three languages: Ukrainian, Russian and English, so our foreign authors will not encounter any language-related problems. During the transition period, the manuscripts are still accepted according to the previous scheme, but let us start exploring this promising editorial platform together.

In order to ensure high quality of published articles, those papers which have received a low rating from reviewers will not be published. In case of technical difficulties, please email us at mashynobuduvannia@uipa.edu.ua.

We are inviting specialists in the field of mechanical engineering to take part in reviewing; for this purpose, while registering on the website of the journal there is an opportunity to submit a request to become a reviewer.

We are making efforts to expand the geography of the authors, so we are inviting both Ukrainian and foreign authors to submit manuscripts to the journal. When submitting an article, you should follow the guide for authors and the rules on academic honesty.

Let us together constantly improve our journal in order to make it a leader in the field of mechanical engineering.

Oleksandr Kupriyanov
Editor-in-Chief

<u>Піднімально-транспортні машини.....</u>	6
Ковалевський С. В., Залужна Г. В. Підвищення ефективності вивантаження сипкого матеріалу малогабаритними камерними живильниками.....	6
Осипова Т. М. Ефект «перекачування енергії» в канатах двокінцевої піднімальної установки	13
Аврунін Г.А., Пімонов І.Г. Комплекс вимірювально-діагностичного устаткування фірми «Parker».....	20
<u>Верстати та інструменти.....</u>	31
Скоркін А.О., Кондратюк О.Л., Старченко О.П., Камчатна-Степанова К. В. Дослідження методів і умов формоутворення різальних елементів твердосплавного інструменту для фрезерної обробки композиційних неметалевих матеріалів.....	31
Стрельчук Р.М. Распределение теплового потока при электроэрозионном алмазном шлифовании.....	41
Сичов Ю. І., Дереза К.О. Формування структури та механічних властивостей зварних з'єднань титано-алюмінієвих композитів.....	49
Сичов Ю.І., Вадимов Е. О. Проектування важільних механізмів в курсі ТММ з використанням ПЕОМ.....	58
<u>Динаміка та міцність машин.....</u>	68
Вольченко Д. А., Скрыпник В. С., Журавлев Д.Ю., Чуфус В. С. К вопросу оценки теплопередачи через металлические фрикционные элементы тормозных устройств ленточно-колодочных тормозов буровых лебедок.....	68
Вольченко А. И., Возный А. В., Журавлев А. Ю., Витвицкий В. С. К вопросу оценки теплопередачи через металлические фрикционные элементы тормозных устройств дисково-колодочных тормозов транспортных средств	76
Фурсова Т. Н. К вопросу о повышении эксплуатационной надежности ответственных деталей турбин АЭС.....	88
<u>Технологія машинобудування.....</u>	94
Гордеев А.С. Разработка нормативной базы ресурсосберегающих технологий при механической обработке.....	94

Дерябкина Е.С. Исследование влияния способа нанесения покрытий на качество восстановленных деталей средств транспорта.....	100
Дерябкина Є.С. Спосіб кріплення труб до тонкої трубної решітки кожухотрубчатого теплообмінника.....	107
Ізотова К.О. Розробка електродного покриття для електродугового.....	115
Ізотова К.О. Розробка термітного електродного покриття для зварювання сталей в монтажних умовах.....	122
Подольак О. С., Смик О.М., Староста Ж.С. Дослідження зношуваності двигунів внутрішнього згоряння при несталих режимах роботи	130
Резніченко М. К. Визначення енергоекономічних технологій складання пресових з'єднань.....	139
Резниченко Н. К., Резниченко Е. Н. Исследование работы монорельсового пути при переменной нагрузке.....	144
Малицкий И. Ф., Смирнов И. П. Разборка термовоздействием соединений с гарантированным натягом	149
Черкашина О. С. Керування якістю технологічних процесів в машинобудуванні з застосуванням трипараметричного моделювання	159
Яценко Л.О. Растрівання кольороподілених зображень та аналіз параметрів, що впливають на чіткість поліграфічної репродукції.....	166
До уваги авторів.....	172

DOI 10.32820/2079-1747-2019-23-6-12

УДК 621.867.82

ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ВИВАНТАЖЕННЯ СИПКОГО МАТЕРІАЛУ МАЛОГАБАРИТНИМИ КАМЕРНИМИ ЖИВИЛЬНИКАМИ

©Ковалевський С. В., Залужна Г. В.

*Навчально-науковий професійно-педагогічний інститут
Української інженерно-педагогічної академії (м. Бахмут)*

Інформація про авторів:

Ковалевський Сергій Васильович: ORCID: 0000-0003-3377-3192; ems_nnppi@ukr.net; кандидат технічних наук; доцент кафедри електромеханічних та комп'ютерних систем; Навчально-науковий професійно-педагогічний інститут Української інженерно-педагогічної академії; вул. Миру, 5, м. Бахмут, 84500, Україна.

Залужна Галина Володимирівна: ORCID: 0000-0003-4810-9737; zalatrem@gmail.com; кандидат фізико-математичних наук; доцент кафедри електромеханічних та комп'ютерних систем; Навчально-науковий професійно-педагогічний інститут Української інженерно-педагогічної академії; вул. Миру, 5, м. Бахмут, 84500, Україна.

В статті розглянуто способи підвищення продуктивності малогабаритного камерного живильника за рахунок інтенсифікації аераційних процесів при переміщенні транспортуючого матеріалу. Запропоновано технічні рішення аераторів, які здатні прискорити процес аерації транспортуючої суміші. Також розглянуто використання принципів конструкцій аераторів та їх сполучення в єдину систему аераційного пристрою. Це дозволить у подальшому дослідженні та удосконаленні транспортування сипких матеріалів вирішувати задачу щодо оптимізації об'єму та форми камери для малогабаритного камерного живильника. Запропоновані конструкції забезпечать можливість збільшення продуктивності малогабаритних камерних живильників та економію енерговитрат на транспортування сипких матеріалів.

На основі досліджень встановлено, що загальні витрати стислого повітря для живлення малогабаритного камерного живильника продуктивністю 55-60 т/г складають 30-35 м³/хв. Із загальної кількості витрат стислого повітря на живлення аераційних систем витрачається 10-12 м³/хв. Запропонована конструкція мультисоплового аераційного приладу має цілий ряд особливостей, підвищуючих його ефективність в порівнянні з іншими конструкціями аераційних пристроїв, які відомі в попередніх конструкціях в камерах живильників.

Удосконалення та поширення ефективності дії аераційних пристроїв, їх використання в камерних живильниках для інтенсифікації аераційних процесів транспортуючого сипкого матеріалу дозволяє значно підвищити продуктивність малогабаритного камерного живильника та дає можливість зниження енерговитрат на виробництво стислого повітря.

Ключові слова: пневмоклапани; приводи запираючих пневмосистем; діафрагмові диференційні приводи; конструкції; удосконалення; ремонтпридатність.

Ковалевский С. В., Залужная Г. В. «Повышение эффективности выгрузки сыпучего материала малогабаритными камерными питателями».

В статье рассмотрены способы повышения производительности малогабаритного камерного питателя за счет интенсификации аэрационных процессов при перемещении транспортирующего материала. Предложено технические решения аэраторов, которые способны ускорить процесс аэрации транспортирующей смеси. Также рассмотрено использование принципиальных конструкций аэраторов и их сочетания в единую систему аэрационного устройства. Это позволит в дальнейшем исследовании и совершенствовании транспортировки сыпучих материалов решать задачу по оптимизации объема и формы камеры для малогабаритного камерного питателя. Предложенные конструкции обеспечат возможность увеличения производительности малогабаритных камерных питателей и экономию энергозатрат на транспортировку сыпучих материалов.

На основе исследований установлено, что общие расходы сжатого воздуха для питания малогабаритного камерного питателя производительностью 55-60 т/ч составляют 30-35

м³/мин. Из общего количества расходов сжатого воздуха на питание аэрационных систем расходуется 10-12 м³/мин. Предложенная конструкция мультисоплового аэрационного прибора имеет целый ряд особенностей, повышающих его эффективность по сравнению с другими конструкциями аэрационных устройств, которые известны в предыдущих конструкциях в камерах питателей.

Совершенствование и распространение эффективности действия аэрационных устройств, их использования в камерных питателях для интенсификации аэрационных процессов транспортирующего сыпучего материала позволяет значительно повысить производительность малогабаритного камерного питателя и дает возможность снижения энергозатрат на производство сжатого воздуха.

Ключевые слова: аэрационные устройства; питающий пульсирующий клапан; малогабаритный камерный питатель; конструкции аэраторов; мультисопловый аэратор.

Kovalevsky S., Zalyshna G. «Improving the efficiency of unloading loose material with small-sized chamber feeders».

The article considers ways to increase the productivity of a small cellar feeder due to the intensification of aeration processes when moving the transporting material. Technical solutions of aerators, which are capable of accelerating the process of aeration of a transporting mixture, are offered. Also, the use of fundamental structures of aerators and their connection into a single system of aeration device is considered. This will allow further research and improvement of transportation of bulk materials to solve the problem of optimizing the volume and shape of the camera for a small cellar feeder. The proposed designs will provide the opportunity to increase the productivity of small cellular feeders and save energy costs for the transportation of bulk materials.

On the basis of researches it was established that the total costs of compressed air for feeding the small cellular feeder with the productivity of 55-60 t/h make 30-35 м³/min. Of the total amount of compressed air consumption, 10-12 м³/min is consumed for aeration systems. The proposed design of a multi-plumbing aeration device has a number of features, increasing its efficiency compared with other structures of aeration devices, which are known in previous designs in feeder chambers. The vortex aerators are the most promising for the preparation of the transporting mixture in the chamber of the feeder, but their efficiency and scope in the construction of small-cell chamber feeders are currently not sufficiently investigated in laboratory studies and industrial facilities.

Improving and extending the efficiency of aeration devices, their use in chamber feeders to intensify the aeration processes of transporting bulk material can significantly improve the productivity of a small cellular feeder and enable the reduction of energy consumption for the production of compressed air. The design of the modernized diaphragm differential drive is implemented in the control system of a small cellar feeder, which works during the transport of coal dust at the Slavyanskaya TPP. In operation at the operating company, it declared itself as a reliable structural element of the transport system, which provides reliable operation for the period of warranty resource of the chamber feeder.

Key words: aeration devices; feed pulsating valve; small-sized chamber feeder; aerators designs; multinozzle aerator.

Вступ

Пневматичний транспорт займає ведуче місце при транспортуванні сипких матеріалів на сучасних підприємствах, а також при виконанні технологічних операцій в залежності від умов виробництва. Основним технічним елементом пневмотранспортної системи є силова установка, яка виконується у вигляді струнного насоса або камерного живильника в складі трубопровідної пневмотранспортної системи. Найбільш перспективними, економічними, енергозберігаючими є транспортуючі системи, в яких складовим елементом є малогабаритний камерний живильник.

Сучасна машинобудівна промисловість випускає велику кількість моделей камерних живильників в залежності від технологічних потреб підприємств, необхідної продуктивності, особливостей експлуатації та безпеки виробництва. Пневмотранспортні установки повинні відповідати наступним вимогам: мати незначні габарити, технологічну можливість впровадження у процес транспортування при незначних матеріальних витратах. Серійні камерні живильники промислового зразку, як правило, мають великі габарити, що забезпечує їм універсальність технологічного використання. Але вони потребують удосконалень з метою зменшення габаритних розмірів зі збереженням їх універсальності.

1. Постановка проблеми

Сучасні підприємства знаходяться в постійній модернізації, підлягають постійній реконструкції в залежності від необхідної гнучкості зміни технологічного процесу, в якому не можуть бути використані серійні великогабаритні камерні живильники. Тому для підвищення ефективності дії пневмотранспортного обладнання необхідно введення в конструкцію транспортних систем додаткових технічних рішень, здатних оптимізувати процес транспортування та підвищити надійність складових конструктивних елементів [1, 2, 3].

В процесі дослідження промислового зразка малогабаритного камерного живильника встановлено ефективність дії аераційних пристроїв в камері для підвищення його продуктивності і значне зменшення часу вивантаження [4]. В процесі дослідження роботи малогабаритного камерного живильника в умовах виробництва при транспортуванні вугільного пилу топків котлів Слов'янської ТЕС виникли передумови розробки інноваційних систем аерації для малогабаритних камерних живильників [2, 5].

2. Викладення основного матеріалу

Однією з основних задач удосконалення технологічного процесу транспортування сипких матеріалів є необхідність зменшення енерговитрат на їх переміщення. Для цього підприємства повинні оптимізувати процес транспортування і переробки сипких матеріалів та вирішувати питання надійності конструктивних елементів транспортної установки. Це пов'язано з необхідністю самостійної розробки високоефективних малогабаритних камерних живильників, які потребують впровадження в конструкцію інноваційних технічних рішень, здатних забезпечити зменшення енерговитрат на технологічний процес і можливість впровадження в обмежені промислові площі. При цьому такі конструкції камерних живильників повинні мати прискорений цикл транспортування сипкого матеріалу, в якому основним процесом є скорочення циклу підготовки сипкого матеріалу до вивантаження при забезпеченні підвищеної надійності технічних складових елементів конструкції.

У зв'язку з циклічною роботою сучасних камерних живильників процес підготовки суміші у камері значного розміру протікає декілька хвилин. А в малогабаритних камерних живильниках для збільшення продуктивності необхідно скоротити процес підготовки транспортуючої суміші для вивантаження, який здійснюється за допомогою швидкодіючих аераційних систем.

В процесі підготовки транспортуючого матеріалу в камері живильника основним є процес аерації завантажуючої суміші та її транспортування.

Аналіз технічних рішень, приведених в спеціальній технічній літературі та патентних матеріалах, визначають відсутність конструктивних рішень, які здатні посилити процес аерації [6]. На основі даних дослідження малогабаритного камерного живильника в умовах виробництва [1], аналізу експериментальних лабораторних результатів, показана ефективність дії технічних рішень аераційних пристроїв [4].

Для визначення ефективності аерації було розроблено наступні конструктивні технічні рішення:

- одноступінчатий аераційний пристрій безперервної дії;
- одноступінчатий аераційний пристрій періодичної дії в складі спеціального пульсуючого клапану;
- двохступінчатий аераційний пристрій, причому одна ступінь постійної дії, а друга періодичної дії;
- трьохступінчатий аераційний пристрій, в якому центральна ступінь працює безперервно, а дві інші працюють в протифазі одна одній періодично.

Крім того, були використані технічні рішення мультисоплового аератора, який складається з двох частин, встановлених в центрі камерного живильника, і працюючих в протифазі.

Дослідження і перевірка ефективності дії аераційних пристроїв здійснювалась в лабораторії пневмотранспорту ДонНТУ з проведенням наступних ефективних дій на промисловому зразку малогабаритного камерного живильника в умовах підприємства Слов'янської ТЕС. Найбільш технологічним та простим у виготовленні, надійним в експлуатації зарекомендував себе одноступінчатий аераційний пристрій, який без додаткових конструктивних змін встановлюється в нижній частині камерного живильника [4, 7] соосно клапану вивантаження транспортного трубопроводу.

Ефект аерації посилюється при впровадженні одноступінчатого аераційного пристрою періодичної дії в складі спеціального пульсуючого клапану (рис. 1). Для посилення ефекту аерації запропонована конструкція двохступінчатого аераційного пристрою, в якому одна ступінь постійної дії, а друга періодичної дії.

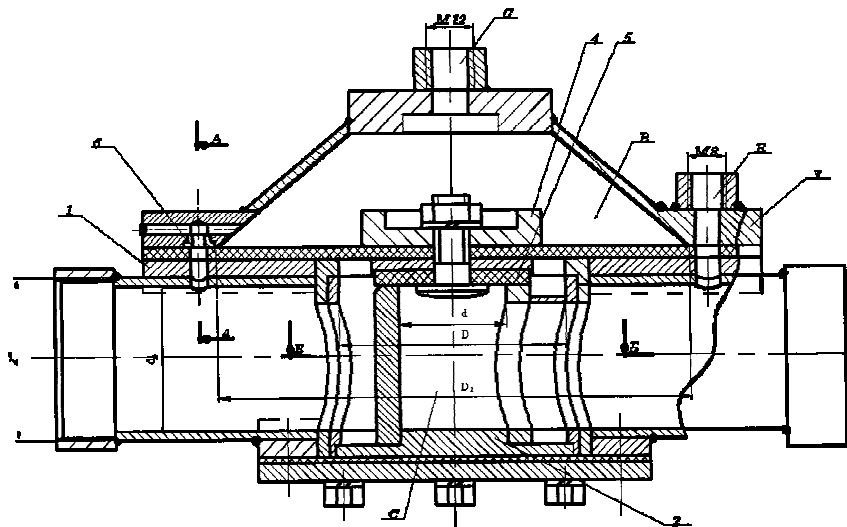


Рис. 1 – Пульсуючий клапан аераційного мультисоплового пристрою.

- 1 – корпус; 2 – сідло клапану; 3 – кришка пневмокамери;
4, 5 – елементи закріплення діафрагми; 6 – діафрагма; 7 – подушка;
8 – прокладка; 9 – фланець.

Найбільший ефект аерації досягнутий при впровадженні в аераційну систему малогабаритного камерного живильника трьохступінчатого аераційного пристрою, в якому центральна ступінь працює безперервно, а дві інші працюють в протифазі одна одній періодично. При цьому в процесі промислових випробувань виконувались операції перемикання пульсуючого аераційного потоку з одного сопла на інше. Однак таке перемикання дало незначне підвищення ефекту пульсації (рис. 2).

Для транспортування сипких матеріалів з більш складними фізико-механічними властивостями (наприклад, вапно) посилення ефекту аерації здійснює аераційний пристрій, який

виконаний у вигляді мультисоплового блоку (рис. 3) і розміщений в центральній частині камерного живильника.

Аератори значно впливають на інтенсифікацію процесу вивантаження сипучого матеріалу із камери живильника, особливо їх ефективність проявляється при транспортуванні вугільного пилу та матеріалів з високим коефіцієнтом порізності. Фізико-механічні властивості сипкого матеріалу впливають на процес продуктивності та інтенсивності роботи камерного живильника, тому удосконаленню конструкції приділяється значна увага. У сучасних пневмотранспортних системах для переміщення і транспортування сипких матеріалів з низькою порізністю широко використовуються вихрові аератори, які унеможливають залягання сипучої маси у камері живильника, але досвіду їх використання в даний період недостатньо.

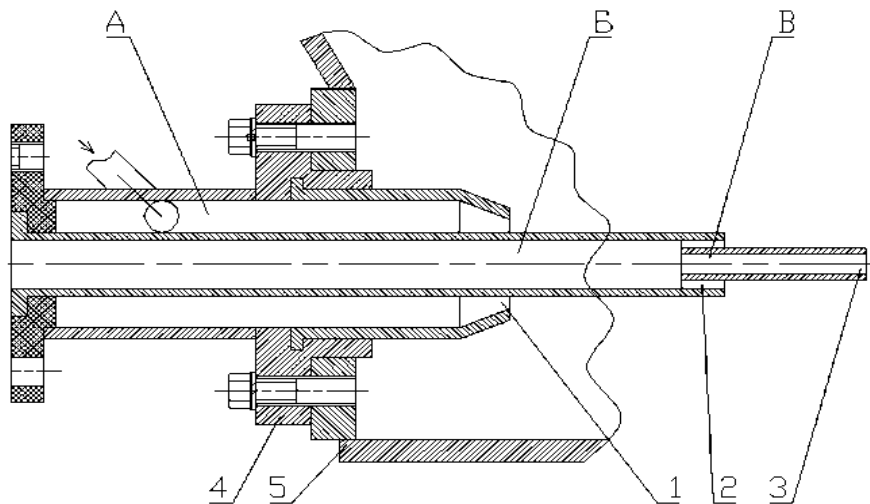


Рис. 2 – Ступінчатий аератор.
1 – сопло ступені А; 2 – сопло ступені Б;
3 – сопло ступені В; 4, 5 – корпус.

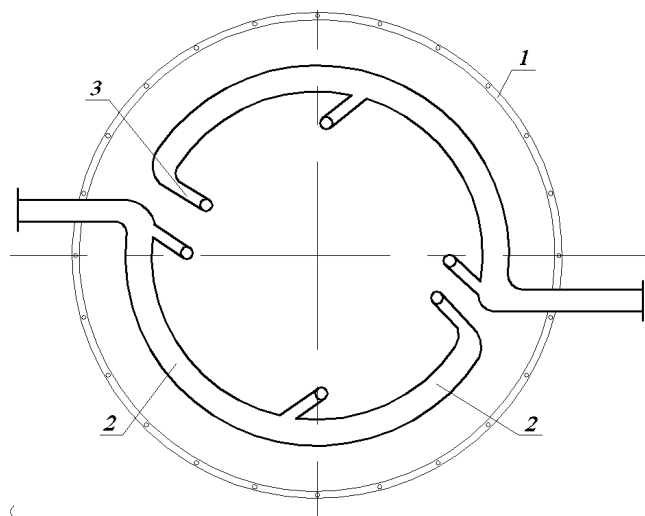


Рис. 3 – Аераційний мультисопловий пристрій.
1 – камера; 2 – корпус; 3 – сопла аератора.

Для вирішення задач зменшення витрат стислого повітря на підготовку транспортуючої суміші розроблено конструкцію аераційного мультисоплового пристрою. Введення цього

аераційного пристрою в конструкцію камерного живильника забезпечить значну витрату стислого повітря на аераційні процеси, що вплине на зменшення витрат електроенергії, тобто зниження собівартості транспортування сипких матеріалів [7].

Запропонована конструкція мультисоплового аераційного пристрою має ряд особливостей, які підвищують ефективність його використання для посилення ефекту аерації в камері живильника в порівнянні з іншими конструкціями подібної системи. Одним із шляхів підвищення ефективності аерації є введення у мультисоплову систему завихрувача стислого повітря, що суттєво скорочує час підготовки суміші до вивантаження. В залежності від потреб і продуктивності камерного живильника в конструкцію може бути введене парне число мультисоплових пристроїв і розміщених рівномірно по периметру камери та маючих мінімальну кількість поворотів і загибів патрубків. В результаті використання мультисоплового пристрою і раціонального розміщення його по периметру камери виникає можливість зменшення об'єму камери та впровадження її раціональної форми, що повністю виключає можливість появи зон залягання сипкого матеріалу в камері та поліпшує аеродинамічність і швидкість вивантаження сипкого матеріалу.

Запропонована конструкція мультисоплового аераційного приладу має цілий ряд особливостей, підвищуючих його ефективність в порівнянні з іншими конструкціями аераційних пристроїв, які відомі в попередніх конструкціях в камерах живильників. Суттєве збільшення аераційних завихрувачів, рівномірно розміщених по поперечній площі в середній частині камери живильника, встановлених під кутом 15° , значно підвищить ефективність аерації.

Симетричне розміщення сопел аераційного мультисоплового пристрою поліпшує псевдозбудження транспортуємого матеріалу, створює однорідний потік при відсутності пустих зон, що забезпечує зменшення витрат стислого повітря на аераційний процес, і, внаслідок цього, підвищення продуктивності транспортування пневмокамерного живильника на 15%.

За рахунок впровадження в конструкцію малогабаритного камерного живильника допоміжного аераційного мультизавихрувача вирішується задача підвищення продуктивності процесу транспортування сипких матеріалів при зменшенні витрат стислого повітря на підготовку суміші [8].

Найбільш перспективними для підготовки транспортуючої суміші в камері живильника є вихрові аератори, але їх ефективність дії та сфера застосування у конструкції малогабаритних камерних живильників в даний момент недостатньо досліджена при лабораторних дослідженнях та на промислових об'єктах.

Для додаткового підсилення ефекту аерації аераційна система малогабаритного камерного живильника сполучена з одноступінчатим або двохступінчатим аератором. Аераційна система у вигляді промислового зразка впроваджена в конструкцію малогабаритного камерного живильника на Єнакіївському металургійному комбінаті.

Розрахунок аераційних пристроїв виконується за відомими методиками [8]. Витрати повітря Q_n на здійснення операцій вивантаження складається з витрат на аерацію, закриття завантажувального клапану і збільшення тиску в камері.

$$Q_n = Q_1 + Q_2 + Q_3,$$

де Q_n – загальні витрати стислого повітря на транспортування сипкого матеріалу;

Q_1 – витрати стислого повітря на живлення аераційних пристроїв;

Q_2 – витрати стислого повітря на закриття завантажувального клапану та здійснення тиску в камері для вивантаження керованої суміші;

Q_3 – витрати стислого повітря на живлення мультисоплових пристроїв.

На основі досліджень встановлено, що загальні витрати стислого повітря для живлення малогабаритного камерного живильника продуктивністю 55-60 т/г складають 30-35 м³/хв.

Із загальної кількості витрат стислого повітря на живлення аераційних систем витрачається 10-12 м³/хв.

Удосконалення аераційних систем та обґрунтування оптимального об'єму і форми камери живильника здатні забезпечити зменшення витрат стислого повітря до 10%.

Висновки

Конструкція модернізованого діафрагмового диференціального приводу впроваджена в систему керування малогабаритним камерним живильником, який працює при транспортуванні вугільного пилу на Слов'янській ТЕС. В експлуатації на діючому підприємстві зарекомендував себе як надійний конструктивний елемент транспортної системи, який забезпечує безвідмовну роботу на період гарантійного ресурсу камерного живильника.

Список використаних джерел:

1. Чальцев М. Н. Исследование и разработка малогабаритных камерных питателей / М. Н. Чальцев // Проблемы создания новых машин и технологий : сб. науч. тр. –Кременчук : КГПИ, 2000. – Вып. 8. – С. 327-329.
2. Chaltzev M. Design technique of the pneumotransport critical regime at minor differential pressure / M. Chaltzev // TEKA Kom. Mot. i Energ. Roln. – OL PAN, 2011, 11A. – Pp. 29-37.
3. Klinzing G. E. Silids flow behavior in bends: assessing fine solids buildup / G. E. Klinzing // Powder technology. – 2000. – No.113 – Pp. 124-131.
4. Чальцев М. Н. Зменшення витрат енергії при транспортуванні сипких матеріалів / М. Н. Чальцев // Міжнародна науково-технічна конференція : зб. наук. пр. – Одеса, 2004. – С. 213-217.
5. Пат. Україна, МПК(2013.01). Камерний живильник пневмотранспортної установки / Ковалевський С. В., Романуша В. О.; заявник і власник патенту Укр. інж.-пед. акад. – № 85565; заявл. 18.05.2013; опубл. 25.11.2013; Бюл. № 22. – 5 с.
6. Герц Е. В. Пневматические приводы / Е. В. Герц. – М. : Машиностроение, 1969. – 359 с.
7. Чальцев М. Н. О гидравлическом расчете трубопроводов для пневмотранспортных систем / М. Н. Чальцев // Вестник Национального технического университета Украины «Киевский политехнический институт». Сер. Машиностроение. – 2000. – Т. 1, № 38. – С. 50-54.
8. Успенский Ф. А. Пневматический транспорт / Ф. А. Успенский. – М. : Машиностроение, 1987. – 367 с.
9. Герц Е. В. Расчет пневмоприводов / Е. В. Герц, Г. В. Крейнин. – М. : Машиностроение, 1975. – 272 с.

References

1. Chalcev, MN 2000, 'Issledovanie i razrabotka malogabaritnyh kamernyh pitatelej', [Research and development of small chamber feeders], Problemy sozdaniya novyh mashin i tehnologij, Kremenchugskij gosudarstvennyj politehnicheskij universitet, Kremenchug, no. 8, pp. 327-329.
2. Chaltzev, M 2011, 'Design technique of the pneumotransport critical regime at minor differential pressure', TEKA: Commission of motorisation and power industry in agriculture, Lublin university of technology Volodymyr Dal East-ukrainian national university of Lugansk, Lublin, pp. 29-38.
3. Klinzing, GE 2000, 'Silids flow behavior in bends: assessing fine solids buildup', Powder technology, no.113, pp. 124-131.
4. Chaltsev, MN 2004, 'Zmenshennia vytrat enerhii pry transportuvanni sypykh materialiv' [Reduced energy consumption when transporting bulk materials], Mizhnarodna naukovo-tekhnichna konferentsiia, Odesa, pp. 213-217.
5. Kovalevskiy, SV & Romanusha, VO 2013, Kamernyi zhyvylnyk pnevmotransportnoi ustanovky, UA Patent 85565, zaiavnyk i vlasnyk patentu Ukrainska inzhenerno-pedahohichna akademiia..
6. Gerc, EV 1969, Pnevmaticheskie privody, [Pneumatic actuators], Mashinostroenie, Moskva.
7. Chalcev, MN 2000, 'O gidravlicheskom raschete truboprovodov dlja pnevmotransportnyh sistem', [About hydraulic calculation of pipelines for pneumatic conveying systems], Vestnik Nacionalnogo tehniceskogo universiteta Ukrainy Kievskij politehnicheskij institut, Serija Mashinostroenie, vol. 1, no. 38, pp. 50-54.
8. Uspenskij, FA 1987, Pnevmaticheskij transport, [Pneumatic transport], Mashinostroenie, Moskva.
9. Gerc, EV & Krejnin, GV 1975, Raschet pnevmoprivodov, [Calculation of pneumatic drives], Mashinostroenie, Moskva.

Стаття надійшла до редакції 17 квітня 2019 р.

DOI 10.32820/2079-1747-2019-23-13-19

УДК 621.863.2

ЕФЕКТ «ПЕРЕКАЧУВАННЯ ЕНЕРГІЇ» В КАНАТАХ ДВОКІНЦЕВОЇ ПІДНІМАЛЬНОЇ УСТАНОВКИ

©Осипова Т. М.

Українська інженерно-педагогічна академія

Інформація про автора:

Осипова Тетяна Миколаївна: ORCID: 0000-0002-1915-4734; tanya_338@gmail.com; асистент кафедри металоріжучого обладнання і транспортних систем; Українська інженерно-педагогічна академія; вул. Університетська, 16, м. Харків, 61003, Україна.

Проведено аналіз літературних джерел з вивчення коливальних процесів у канатах піднімальних установок.

Наведено еквівалентну крутильну динамічну схему двокінцевого підйомника з розгляду динамічних процесів у його канатопроводі й виявлення ефекту «перекачування енергії». Отримано аналітичні вирази в моментах сил пружності для двокінцевої барабанної піднімальної установки при одержанні імпульсу однією посудиною від армування стовбура при русі кінцевих вантажів у стовбурі.

Результати розв'язання диференціальних рівнянь подані у вигляді осцилограм. Визначено, що при коефіцієнтах розподілу γ_1 і γ_2 рівних або майже рівних одиниці, настає ефект «перекачування енергії» між пружними ланками трьохмасової механічної системи двокінцевої піднімальної установки та амплітуда коливань канатів змінюється від нуля до постійного значення, заданого початковими умовами. Для рівності одиниці коефіцієнтів розподілу трьохмасової системи необхідно виконати умову рівності моментів інерції крайніх дискретних мас і жорсткостей пружних ланок.

Ключові слова: піднімальна установка, динамічні навантаження, диференційне рівняння, сила пружності, осцилограма.

Осипова Т. Н. «Эффект «перекачки энергии» в канатах двухконцевой подъемной установки».

Проведен анализ литературных источников по изучению колебательных процессов в канатах подъемных установок.

Приведена эквивалентная крутильная динамическая схема двухконцевого подъемника для рассмотрения динамических процессов в его канатопроводе и выявления эффекта «перекачки энергии». Получены аналитические выражения в моментах сил упругости для двухконцевой барабанной подъемной установки при получении импульса одним сосудом от армировки ствола при движении концевых грузов в стволе.

Результаты решения дифференциальных уравнений представлены в виде осциллограмм. Определено, что при коэффициентах распределения γ_1 и γ_2 равных или почти равных единице, наступает эффект «перекачки энергии» между упругими звеньями трехмассовой механической системы двухконцевой подъемной установки и амплитуда колебаний канатов меняется от нуля до постоянного значения, заданного начальными условиями. Для равенства единицы коэффициентов распределения трехмассовой системы необходимо выполнить равенства моментов инерции крайних дискретных масс и жесткостей упругих звеньев.

Ключевые слова: подъемная установка, динамические нагрузки, дифференциальное уравнение, сила упругости, осциллограмма.

Osypova T. «Effect «the energy transfer» in ropes of two-end lifting».

The analysis of the literature on the study to identify the effect of "energy transfer" in the ropes of drum lifting equipment. The determination of transient dynamic processes in the elastic connections of a lifting installation for a three-wheeler torsion system at moments of elastic forces is an important aspect for finding the strength characteristics of the ropes.

An equivalent torsional dynamic scheme of a two-end lift with discrete masses and elastic connections is given to consider the dynamic processes in its cable course and reveal the effect of "energy transfer". The masses of the ropes are given to discrete masses of the lifting installation according to the method of Timoshenko-Kozhevnikov. Analytical expressions are obtained in the moments of elastic forces for a double-end drum lifting installation when a pulse is received by one vessel from the barrel reinforcement when the end loads move in the shaft.

The numerical results of solving differential equations are presented in the form of oscillograms, from which it can be seen that in one cable the moment of elastic force of the lifting installation changes according to the law of the product of sines, and in the other cable - according to the law of the product of cosines. This phenomenon is called a beat or "energy transfer."

The results of solving differential equations are presented in the form of oscillograms. It was determined that when the distribution coefficients γ_1 and γ_2 are equal to or almost equal to one, the effect of "energy transfer" occurs between the elastic links of the three-mass mechanical system of a two-end lifting installation and the amplitude of rope oscillations changes from zero to a constant value given by the initial conditions. For the equality of the unit of the distribution coefficients of the three-mass system, it is necessary to perform the equality of the moments of inertia of the extreme discrete masses and stiffnesses of the elastic links.

Key words: lift, dynamic loads, differential equation, elastic force, oscillogram.

Вступ

Динаміка силових перехідних процесів канатних вантажопідійомних машин може бути описана диференціальними рівняннями з постійними коефіцієнтами як крутильної трьохмасової системи із пружними зв'язками. За деяких співвідношень жорсткісних та інерційних параметрів може проявитися ефект «перекачування енергії» в пружних ланках.

1. Аналіз літературних даних

Напружений стан рейки залежить також від метода укладки на балках і на фундаментах (на прокладках, на шпалах або з спиранням підшви по всій довжині).

Рейки вантажного візка мостового крана, як правило, встановлюються безпосередньо на поясний лист прогонної балки. При проведенні розрахунків міцності такої балки треба враховувати ефективний коефіцієнт концентрації напружень, які виникають в місцях закріплення рейок і накладення зварювальних швів. Для того, щоб цьому запобігти, доцільно включити кріплення рейок між діафрагмами. Це можливо досягнути, якщо провести укладку

рейки на прошарки над діафрагмами. При цьому ми не тільки звільняємо від місцевих напружень верхній пояс, але і запобігаємо його ушкодженню при рихтовці рейок.

2. Мета і завдання дослідження

Метою даної роботи є виявлення умов ефекту «перекачування енергії» у канатах двокінцевої барабанної піднімальної установки.

Для досягнення поставленої мети необхідно одержати еквівалентну крутильну динамічну систему підйомника з дискретними масами та пружними ланками. Для визначення динамічних навантажень у канатах використаємо однорідне диференціальне рівняння без урахування дисипативних сил та за заданими початковими умовами.

3. Динамічні процеси в канатах двокінцевої піднімальної установки

Розглянемо двокінцевий підйомник, представлений трьохмасовою крутильною динамічною схемою при переході кінцевими вантажами середини стовбура (рис. 1).

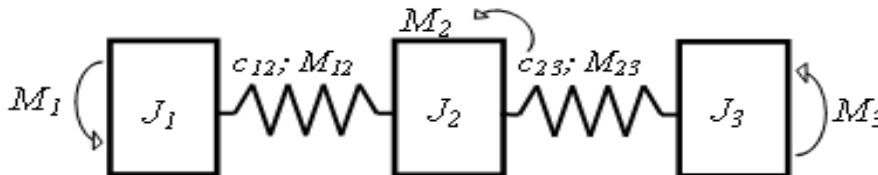


Рис. 1 – Еквівалентна крутильна динамічна схема двокінцевої піднімальної установки: $J_1 = 71,453 \text{ т} \cdot \text{м}^2$, $J_3 = 71,453 \text{ т} \cdot \text{м}^2$ – зведені моменти інерції кінцевих вантажів; $J_2 = 624,682 \text{ т} \cdot \text{м}^2$ – сумарний зведений момент інерції ротора двигуна, редуктора та барабана; M_{12}, M_{23} – моменти сил пружності в канатах; $c_{12} = 799,532 \text{ кНм/рад}$; $c_{23} = 799,532 \text{ кНм/рад}$ – зведені крутильні жорсткості канатів; $M_1 = 269,6 \text{ кНм}$, $M_3 = 269,6 \text{ кНм}$ – зведені зовнішні моменти, що прикладаються до кінцевих вантажів; $M_2 = 682,582 \text{ кНм}$ – зовнішній момент, що прикладається до барабана

Маси канатів зведемо до дискретних мас піднімальної установки за методом С.П. Тимошенко – С.Н. Кожевникова [6–9], тобто будемо розглядати систему з невагомими канатами.

Однорідне диференціальне рівняння [10–11] для трьохмасової системи з пружними зв'язками без урахування дисипативних сил має вигляд:

$$\begin{cases} \ddot{M}_{12} + b_{12}^2 \times M_{12} - \frac{c_{12}}{J_2} M_{23} = 0; \\ \ddot{M}_{23} + b_{23}^2 \times M_{23} - \frac{c_{23}}{J_2} M_{12} = 0. \end{cases} \quad (1)$$

Розв'язок рівняння (1) шукаємо у вигляді наступних частинних рішень [3]:

$$M_{12} = A_1 \sin(b_j t + y), \quad M_{23} = A_2 \sin(b_j t + y), \quad (2)$$

де A_1, A_2 – амплітуди коливань пружних моментів; β_j – головні частоти коливань трьохмасової системи; ψ – початкова фаза або кут зрушення.

Уведемо відношення амплітуд коливань канатів (коефіцієнт розподілу):

$$g_j = \frac{M_{23}}{M_{12}} = \frac{A_2 \sin(b_j t + y)}{A_1 \sin(b_j t + y)} = \frac{A_2}{A_1}. \quad (3)$$

$$\text{Звідки } A_2 = g_j \times A_1. \quad (4)$$

Підставляючи співвідношення (2) у рівняння (1) з урахуванням (4) і скорочуючи на $A_1 \sin(b_j t + y)$, одержимо наступні алгебраїчні рівняння:

$$\begin{aligned} b_{12}^2 - b_j^2 - \frac{c_{12}}{J_2} g_j &= 0; \\ b_{23}^2 - b_j^2 - \frac{c_{23}}{J_2} \times \frac{1}{g_j} &= 0. \end{aligned} \quad (5)$$

Частоти головних коливань β_1 і β_2 з рівняння для трьохмасової системи із пружними зв'язками рівні [12]:

$$r^2 - \frac{J_1 + J_2}{J_1 \times J_2} c_{12} + \frac{J_2 + J_3}{J_2 \times J_3} c_{23} \frac{\ddot{r}}{r} + \frac{J_1 + J_2 + J_3}{J_1 \times J_2 \times J_3} c_{12} \times c_{23} = 0, \quad (6)$$

де $r = b_j^2$.

З рівнянь (5) за відомих β_1^2 і β_2^2 знайдемо g_1 і g_2 :

$$g_1 = \frac{(b_{12}^2 - b_1^2) J_2}{c_{12}}; \quad g_2 = \frac{c_{23}}{(b_{23}^2 - b_2^2) J_2}. \quad (7)$$

Приймаємо g_1 зі знаком «+» для $b_{12}^2 \neq b_1^2$ та g_2 – зі знаком «-» для $b_{23}^2 \neq b_2^2$.

Загальний розв'язок системи однорідних диференціальних рівнянь із постійними коефіцієнтами (1) шукаємо у вигляді [4]:

$$\begin{aligned} M_{12}(t) &= A_1^{(1)} \sin(b_1 t + y_1) + A_1^{(2)} \sin(b_2 t + y_2); \\ M_{23}(t) &= g_1 \times A_1^{(1)} \sin(b_1 t + y_1) + g_2 \times A_1^{(2)} \sin(b_2 t + y_2). \end{aligned} \quad (8)$$

Рівняння (3.57) містять чотири довільні постійні $A_1^{(1)}$, $A_1^{(2)}$, ψ_1 , ψ_2 , які визначаються для $t=0$ з наступних початкових умов: $M_{12}(0) = M_{12(0)}$, $\dot{M}_{12}(0) = \dot{M}_{12(0)}$, $M_{23}(0) = M_{23(0)}$, $\dot{M}_{23}(0) = \dot{M}_{23(0)}$.

Беручи похідні за часом від (8), одержимо ще два відсутні рівняння для знаходження зазначених довільних постійних:

$$\begin{aligned} M_{12}(t) &= b_1 \times A_1^{(1)} \cos(b_1 t + y_1) + b_2 \times A_1^{(2)} \cos(b_2 t + y_2); \\ M_{23}(t) &= b_1 \times g_1 \times A_1^{(1)} \cos(b_1 t + y_1) + b_2 \times g_2 \times A_1^{(2)} \cos(b_2 t + y_2). \end{aligned} \quad (9)$$

З рівнянь (7) знайдено за яких співвідношеннях динамічних параметрів $\gamma = 1$:

$$\frac{J_1}{c_{12}} = \frac{J_3}{c_{23}}, \text{ що можливо у випадку, коли } J_1 = J_3, c_{12} = c_{23}.$$

Розглянемо приклад для початкових умов при $t = 0$: $M_{12}(0) = 100 \text{ кНм}$, $\dot{M}_{12}(0) = 0$, $M_{23}(0) = 0$, $\dot{M}_{23}(0) = 0$ для двокінцевої піднімальної установки з параметрами: $J_1 = J_3 = 81,45 \text{ тм}^2$; $J_2 = 624,682 \text{ тм}^2$; $c_{12} = c_{23} = 933,306 \text{ кНм/рад}$, що відповідає одержанню імпульсу однією посудиною від армування стовбура.

Тоді з рівнянь (8) і (9) маємо систему рівнянь:

$$\begin{aligned} M_{12(0)} &= A_1^{(1)} \sin y_1 + A_1^{(2)} \sin y_2; \\ 0 &= g_1 \times A_1^{(1)} \sin y_1 + g_2 \times A_1^{(2)} \sin y_2; \\ 0 &= b_1 \times A_1^{(1)} \cos y_1 + b_2 \times A_1^{(2)} \cos y_2; \\ 0 &= b_1 \times g_1 \times A_1^{(1)} \cos y_1 + b_2 \times g_2 \times A_1^{(2)} \cos y_2. \end{aligned} \quad (10)$$

Приймаючи для розглянутого приклада $\gamma_1 = 1$, $\gamma_2 = -1$ і $\psi_1 = \psi_2 = \pi/2 = 1$ знайдемо із системи рівнянь (10):

$$A_1^{(1)} = A_1^{(2)}; \quad A_1^{(1)} = \frac{M_{12(0)}}{2}; \quad A_1^{(2)} = \frac{M_{12(0)}}{2}. \quad (11)$$

Маючи вираження (11), знайдемо момент сил пружності $M_{12}(t)$ з рівняння (8):

$$M_{12}(t) = \frac{M_{12(0)}}{2} \sin(b_1 t + y_1) + \frac{M_{12(0)}}{2} \sin(b_2 t + y_2). \quad (12)$$

Перетворимо рівняння (12):

$$\begin{aligned} M_{12}(t) &= \frac{M_{12(0)}}{2} \sin b_1 t + \frac{M_{12(0)}}{2} \sin b_2 t; \\ M_{12}(t) &= \frac{M_{12(0)}}{2} (\cos b_1 t + \cos b_2 t); \\ M_{12}(t) &= \frac{M_{12(0)}}{2} \cos \frac{b_1 + b_2}{2} t \times \cos \frac{b_1 - b_2}{2} t; \\ M_{12}(t) &= M_{12(0)} \cos \frac{b_1 + b_2}{2} t \times \cos \frac{b_1 - b_2}{2} t. \end{aligned} \quad (13)$$

Аналогічно перетворимо момент сил пружності $M_{23}(t)$:

$$\begin{aligned} M_{23}(t) &= \frac{M_{12(0)}}{2} (\cos b_1 t + \cos b_2 t); \\ M_{23}(t) &= M_{12(0)} \sin \frac{b_1 + b_2}{2} t \times \sin \frac{b_2 - b_1}{2} t. \end{aligned} \quad (14)$$

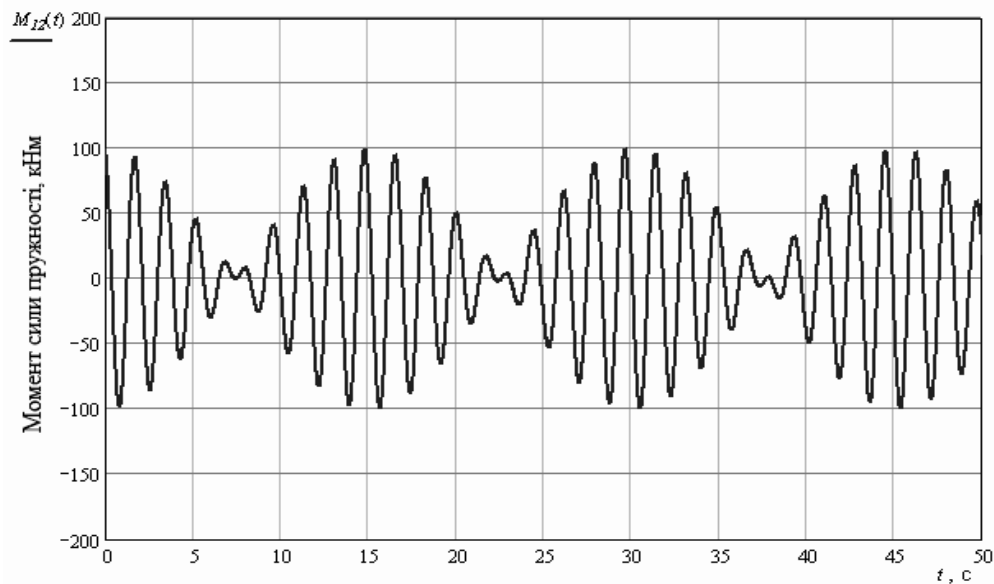
З виразів (13) і (14) видно, що момент $M_{12}(t)$ змінюється за законом добутку косинусів, а момент $M_{23}(t)$ змінюється за законом добутку синусів. Це явище називають биттям або «перекачуванням енергії» [2–5].

На рис. 2 подані осцилограми биттів у пружних ланках, отриманих у результаті проведення чисельного експерименту за розглянутих вище початкових умов і вихідних динамічних параметрах [13, 14]. Аналіз результатів проведених досліджень показує, що за коефіцієнтів розподілу γ_1 і γ_2 , які дорівнюють або практично дорівнюють одиниці, проявляється ефект «перекачування енергії» між пружними ланками трьохмасової механічної системи двокінцевої піднімальної установки. Результати теоретичних досліджень і чисельного експерименту збігаються, при цьому амплітуда коливань канатів змінюється від нуля до постійного значення, заданого початковими умовами.

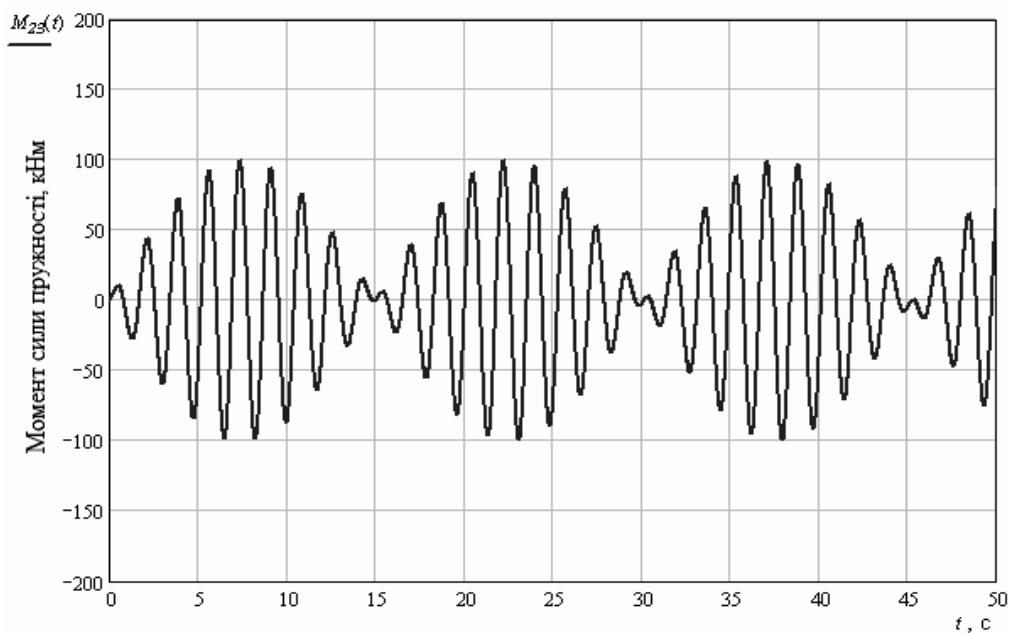
Висновки

З вищевикладеного можна зробити висновки: для двокінцевої барабанної піднімальної установки отримані аналітичні вирази в моментах сил пружності для випадку отримання імпу-

льсу однією посудиною від армування стовбура під час руху кінцевих вантажів у стовбурі через значення коефіцієнтів розподілу γ_1 і γ_2 .



а)



б)

Рис. 2 – Осцилограма перекачування енергії в трьохмасовій механічній системі із пружними зв'язками: а) момент сил пружності M_{12} , що змінюється за законом добутку косинусів; б) момент сил пружності M_{23} , що змінюється за законом добутку синусів

За коефіцієнтів розподілу $\gamma_1 = 1$, $\gamma_2 = -1$ настає ефект перекачування енергії між пружними ланками трьохмасової механічної системи, за якого амплітуда коливань канатів змінюється від нуля до постійного значення, заданого початковими умовами. Для того, щоб коефіцієнти розподілу трьохмасової механічної системи із пружними зв'язками дорівнювали одиниці, необхідно умовою є рівність жорсткостей пружних ланок і рівність моментів інерції крайніх дискретних мас. Проведені дослідження дали змогу оцінити вплив методу укладки рейкових колій на балках

мосту на їх напружений стан. Як бачимо, найменші напруження будуть при встановленні рейок на коробчастих балках, а найменша поперечна сила буде при шпальному шляху на бетонних шпалах.

Список використаних джерел:

1. Глушко М. Ф. Стальные подъемные канаты / М. Ф. Глушко. – Киев : Техника, 1966. – 328 с.
2. Пановко Я. Г. Введение в теорию механических колебаний / Я. Г. Пановко. – М. : Наука, 1971. – 240 с.
3. Яблонский А. А. Курс теории колебаний / А. А. Яблонский, С. С. Норе́йко. – М. : Высшая школа, 1975. – 248 с.
4. Мандельштам Л. И. Лекции по теории колебаний / Л. И. Мандельштам. – М. : Наука, 1972. – 470 с.
5. Стрелков С. П. Введение в теорию колебаний / С. П. Стрелков. – М. : Наука, 1964. – 437 с.
6. Тимошенко С. П. Колебания в инженерном деле / С. П. Тимошенко. – М. : Машиностроение, 1959. – 439 с.
7. Тимошенко С. П. Колебания в инженерном деле / С. П. Тимошенко, Д. Х. Янг, У. Уивер; пер. с англ. Л. Г. Корнейчука. – М. : Машиностроение, 1985. – 472 с.
8. Кожевников С. Н. Динамика машин с упругими звеньями / С. Н. Кожевников. – Киев : Из-во АН УССР, 1961. – 160 с.
9. Кожевников С. Н. Динамика нестационарных процессов в машинах / С. Н. Кожевников. – Киев : Наукова думка, 1986. – 285 с.
10. Понтрягин Л. С. Обыкновенные дифференциальные уравнения / Л. С. Понтрягин. – 4-е изд. – М. : Наука, 1974. – 332 с.
11. Матвеев Н. М. Методы интегрирования обыкновенных дифференциальных уравнений / Н. М. Матвеев. – 2-е изд., перераб. – М. : Высшая школа, 1963. – 547 с.
12. Федорова З. М. Подъемники : учеб. пособие для машиностроит. спец. вузов / З. М. Федорова, И. Ф. Лукин, А. П. Нестеров. – Киев : Выш. шк., 1976. – 294 с.
13. Dagang Wang. Effect of various kinematic parameters of mine hoist on fretting parameters of hoisting rope and a new fretting fatigue test apparatus of steel wires / Dagang Wang, Dekun Zhang, Zefeng Zhang [et al.] // *Engineering Failure Analysis*. – 2012. – № 22. – Pp. 92-112.
14. Gaikwad A. V. Modeling And Analysis Of A Stair Case Lift For Material Handling System / A. V. Gaikwad, P. S. Ghawde, S. J. Kadam // *International Journal of Innovative Research in Science, Engineering and Technology*. – 2013. – Vol. 2, Iss. 7. – Pp. 2645-2649.

References

1. Glushko, MF 1966, *Stalnye podemnye kanaty*, [Steel hoisting ropes], Tehnika, Kiev.
2. Panovko, JaG 1971, *Vvedenie v teoriyu mekhanicheskikh kolebanij*, [Introduction to the theory of mechanical vibrations], Nauka, Moskva.
3. Jablonskij, AA & Norejko, SS 1975, *Kurs teorii kolebanij*, [Oscillation course], Vysshaja shkola, Moskva.
4. Mandelshtam, LI 1972, *Lekcii po teorii kolebanij*, [Lectures on the theory of vibrations], Nauka, Moskva.
5. Strelkov, SP 1964, *Vvedenie v teoriyu kolebanij*, [Introduction to the theory of oscillations], Nauka, Moskva.
6. Timoshenko, SP 1959, *Kolebanija v inzhenernom dele*, [Vibration problems in engineering], Mashinostroenie, Moskva.
7. Timoshenko, SP, Jang, DH & Uiver, U 1985, *Kolebanija v inzhenernom dele*, [Vibration problems in engineering], Mashinostroenie, Moskva.
8. Kozhevnikov, SN 1961, *Dinamika mashin s uprugimi zvenjiami*, [Dynamics of machines with elastic links], Izdatelstvo Akademii nauk Ukrainskoj sovetskoj socialisticheskoy respubliki, Kiev.
9. Kozhevnikov, SN 1986, *Dinamika nestacionarnyh processov v mashinah*, [Dynamics of non-stationary processes in machines], Naukova dumka, Kiev.
10. Pontrjagin, LS 1974, *Obyknovennye differencialnye uravnenija*, [Ordinary Differential Equations], 4th edn , Nauka, Moskva.
11. Matveev, NM 1963, *Metody integriruvaniya obyknovennykh differencialnykh uravnenij*, [Methods for integrating ordinary differential equations], 2nd edn, Vysshaja shkola, Moskva.
12. Fedorova, ZM, Lukin, IF & Nesterov, AP 1976, *Podemniki*, [Lifts], Vysshaja shkola, Kiev.
13. Dagang, W, Dekun, Z, Zefeng, Z & Shirong, G 2012, 'Effect of various kinematic parameters of mine hoist on fretting parameters of hoisting rope and a new fretting fatigue test apparatus of steel wires', *Engineering Failure Analysis*, no. 22, pp. 92-112.
14. Gaikwad, AV, Ghawde , PS & Kadam, SJ 2013, 'Modeling And Analysis Of A Stair Case Lift For Material Handling System', *International Journal of Innovative Research in Science, Engineering and Technology*, vol. 2, iss. 7, pp. 2645-2649.

Стаття надійшла до редакції 17 квітня 2019 р.

DOI 10.32820/2079-1747-2019-23-20-30

УДК 621.22

КОМПЛЕКС ВИМІРЮВАЛЬНО-ДІАГНОСТИЧНОГО УСТАТКУВАННЯ ФІРМИ «PARKER»

©Аврунін Г.А., Пімонов І.Г.

Харківський національний автомобільно-дорожній університет

Інформація про авторів:

Аврунін Григорій Аврамович: ORCID: 0000-0002-0191-3149; kaf_bdm@ukr.net; кандидат технічних наук; доцент кафедри будівельних і дорожніх машин; Харківський національний автомобільно-дорожній університет; м.Харків; вул. Ярослава Мудрого 25; 61001; Україна.

Пімонов Ігор Георгійович: ORCID: 0000-0001-6100-3529; igor_lena_p@ukr.net; кандидат технічних наук; доцент кафедри будівельних і дорожніх машин; Харківський національний автомобільно-дорожній університет; м.Харків; вул. Ярослава Мудрого 25; 61001; Україна.

Ефективність експлуатації залежить від використання сучасних діагностичних систем, які дозволяють в умовах обмеженої інформації з достатньою точністю визначати технічний стан гідроприводу протягом усього терміну експлуатації. Існуючі засоби діагностування розрізняються за багатьма критеріями, які пред'являються експлуатуючим організаціями, до основних відносяться: точність і вартість комплексу вимірювально-діагностичного обладнання. Однією з найбільш поширених зарубіжних фірм - виробників гідравлічної продукції і діагностичного обладнання є фірма Parker. За даними вимірювально-діагностичного обладнання фірми Parker проведено аналіз номенклатури та функціональних можливостей.

Ключові слова: гідропривід, устаткування, технічне обслуговування, гідротестер, витратомір, тиск.

Аврунін Г.А., Пімонов І.Г. «Комплекс измерительно-диагностического оборудования фирмы «Parker»»

Эффективность эксплуатации зависит от использования современных диагностических систем, которые позволят в условиях ограниченной информации с достаточной точностью определять техническое состояние гидропривода на протяжении всего срока эксплуатации. Существующие средства диагностирования различаются по многим критериям, которые предъявляются эксплуатирующими организациями, к основным относятся: точность и стоимость комплекса измерительно-диагностического оборудования. Одной из наиболее распространенных зарубежных фирм – производителей гидравлической продукции и диагностического оборудования является фирма Parker. На основе анализа данных измерительно – диагностического оборудования фирмы Parker проведен анализ номенклатуры и функциональных возможностей.

Ключевые слова: гидропривод, оборудования, техническое обслуживание, гидротестер, расходомер, давление.

Avrunin G., Pimonov I. «The complex measuring-diagnostic equipment company «Parker».

Efficiency of exploitation depends on the use of the modern diagnostic systems that will allow in the conditions of a limit information with sufficient exactness to determine the technical state of hydraulic drive during all term of exploitation. Existent facilities of diagnosticating differentiate

on many criteria that is produced by exploiting organizations, to basic belong: exactness and cost of complex of instrumentation-diagnostic equipment. Effective facilities of the technical diagnosticating have an important value during exploitation of hydraulic drive. High durability of devices, small sizes and mass, and also reliability and protracted tenure of employment at the high informing are pre-condition for rigging of instrumentation-diagnostic equipment of firm "Parker" complexes enterprises, that engage in repair, operating supervisions and modernisation of hydraulic drive of different mobile machines (building-travelling, lifting-transport and communal, tractors, agricultural combines and other. Measuring of hydraulic parameters and their analysis is basis of the reliable debugging during exploitation of hydraulic drive and choice of the optimal swept volumes of hydromashines and conditional passage-ways of hydraulic apparatuses. Measuring devices provide measuring, indication and record on PC (by means of own software with a multi-channel exit) of analog values of pressure, peaks of pressures, over falls of pressures, temperature of working liquid in a hydraulic reservoir and separate knots of hydraulic drive, frequency of rotation of pumps and hydromotors, and also electric parameters of feed of arrangements of automatic hydraulic drive (proportional electromagnets of hydrodistributors, reduction and preventive valves). The high fast-acting of record of measureable parameters and small error of devices promote authenticity of analysis of work of hydraulic drive in the static and dynamic modes of loading. One of the most widespread foreign firms - producers of hydraulic products and diagnostic equipment there is a firm Parker.

From data of instrumentation-diagnostic equipment of firm Parker the analysis of nomenclature and functional possibilities is conducted. Systematization of instrumentation-diagnostic complex is needed for forming of tasks of designers and scientists that on the bases of exploiting and repair organizations will be able to promote efficiency of exploitation and accordingly productivity of machines.

Key words: hydraulic drive, equipment, maintenance, hydro-tester, flow meter, pressure.

Вступ

Проведення вимірів в широкому номенклатурному діапазоні, забезпечуючи необхідну точність і оперативність отримання результатів, дозволяють дослідникам провести об'єктивний аналіз характеристик новостворюваного або модернізованого гідропристою або конкретного об'ємного гідропривода (ОГП). Важливе значення мають ефективні засоби технічного діагностування при експлуатації гідропривода. До таких виробів відноситься вимірювально-діагностичне устаткування фірми «PARKER» [1], яке може бути використане при лабораторних, стендових, заводських і експлуатаційних випробуваннях і згідно ГОСТ 17108 відповідати трьом групам точності. Знайомство з сучасними досягненнями в області вимірів гідроприводів виявляється корисним для вітчизняних фахівців.

1. Формулювання цілей

Вимір гідравлічних параметрів і їх аналіз є основою надійного усунення несправностей при експлуатації ОГП і вибору оптимальних робочих об'ємів гідромашин і умовних проходів гідроапаратів. Вимірювальні прилади забезпечують вимір, індикацію і запис на

ПК (за допомогою власного програмного забезпечення з багатоканальним виходом) аналогових значень тиску, піків тисків, перепадів тисків, температури робочої рідини (РР) в гідробаку і окремих вузлах ОГП, частоти обертання насосів і гідромоторів, а також електричних параметрів живлення обладнання електрогідроавтоматики (пропорційних електромагнітів гідророзподільників, редукційних і запобіжних клапанів). Висока швидкодія запису вимірюваних параметрів і мала погрішність приладів підвищують достовірність аналізу роботи ОГП в статичному і динамічному режимах вантаження.

3. Виклад основного матеріалу

Фірма «Parker» виробляє мініатюрний комплекс вимірювально-діагностичного устаткування для ОГП мобільного застосування – «Parker SensoControl. Diagnostic Test. Equipment for Hydraulics» (рис. 1), в який входить більше 120 виробів.

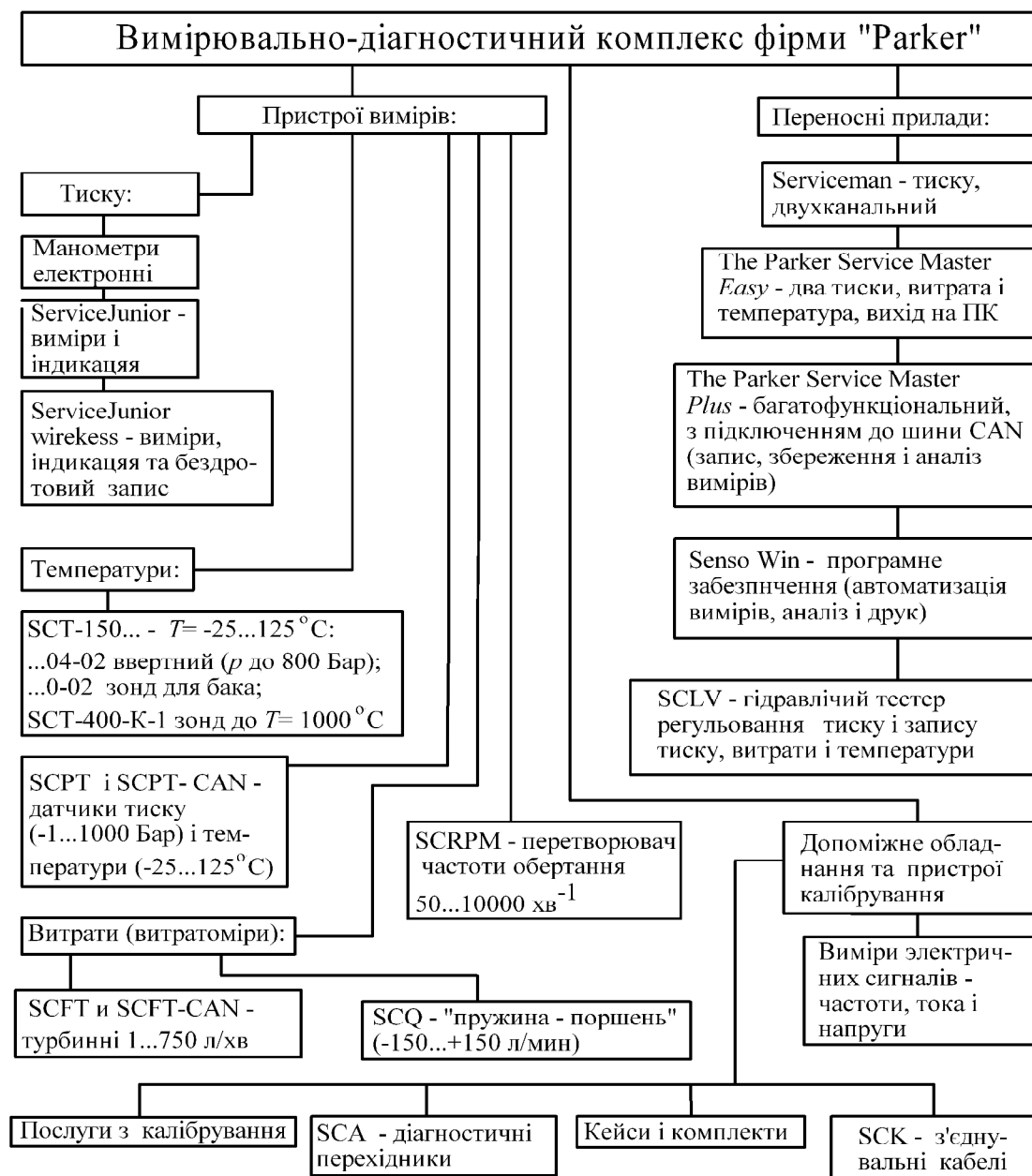


Рис. 1 - Структурна схема пристроїв виміру і діагностики фірми «Parker»

В Україні засоби вимірів випускаються в обмеженій номенклатурі, тому ознайомлення з провідними досягненнями світових виробників, систематизація такого матеріалу і його аналіз вплинуть на формування актуальних завдань для конструкторів і вчених в області об'ємних гідроприводів. Систематизована номенклатура і функціональні можливості вимірювальних пристроїв приведені в таблиці 1.

Таблиця 1 - Функціональні можливості вимірювальних пристроїв фірми «Parker»

Параметри	Виміри і індикація		Прилади з пам'яттю вимірюваних значень		
	Service- Junior	Service- man	ServiceJunior wireless	Service Master Eazy	Service Master Plus
Індикація вимірюваних значень p	Ф-мін/ макс- З.П.	Ф-мін/ макс	Ф-мін/макс- З.П.	Ф-мін/макс повна шкала	Ф-мін/ макс- З.П.
Кількість каналів індикації	-	2	-	4	³ 6 плюс додатков. ка- нал
Пікі p	10 мс	2 мс	10 мс	1мс/0,25мс	1мс/0,1 мс
Вимір $\Delta p = p_1 - p_2$	-	+	-	+	+
Живлення	Батарея	Ак.+Вн.	Батарея	Ак.+ Вн.	Ак.+ Вн.
Інтерфейс	-	(+)	USB	USB	USB/ Ethernet
Онлайн- функція	-	(+)	-	+	+
Запис	-	-	+	+	+
Роз'єми:					
Тиски	+	+	+	+	+
$T / n / Q$	-	+	-	+	+
Електричн. сигналів	-	(+)	-	(+)	+
Датчик СП	-	(+)	-	(+)	+
Датчик для шини CAN	-	-	-	-	+

Примітки: 1. Скорочення: Ф-мін/макс-З.П. – фактичне – мінімальне/максимальне значення, запам'ятовування пікового значення; Ак.+Вн – акумулятор і зовнішнє живлення; $p / T / n / Q$ – датчики тиску/температури/частоти обертання/ витрати; СП - сторонні виробники; + – серійна комплектація; (+) - опція.

Висока міцність приладів, малі габарити і маса, а також надійність і тривалий термін служби при високій інформативності являються передумовою для оснащення комплексами вимірювально-діагностичного устаткування фірми «Parker» підприємств, що займаються ремонтом, експлуатаційними спостереженнями і модернізацією ОГП різних мобільних машин (будівельно-дорожніх, підйомно-транспортних і комунальних, тракторів, сільськогосподарських комбайнів та ін. машин).

Цифровий манометр ServiceJunior (рис. 2) призначений для виміру і перегляду тиску з фіксацією його максимального значення. На дисплеї манометра відображені:

- 1) штрихова шкала 1;
- 2) цифрова шкала 2 з вказівкою фактичного значення тиску в одиницях МПа, Bar, psi і їх похідних;
- 3) індикатор заряду батарей 3 (дві батареї по 1,5 В);
- 4) цифрова шкала максимального або мінімального вимірюного тиску або максимального тиску для використовуваного манометра (повна шкала).

Функціональне клавійне меню містить:

ON/OFF – включення/виключення манометра і підсвічування шкали; MIN/MAX FS – мінімальне/максимальне значення або повна шкала; MENU ZERO – автоматичне відключення, вибір одиниць і коригування нуля; RESET OK – видалення мінімального / максимального значення, підтвердження функцій меню.

Цифровий манометр у виконанні ServiceJunior wireless забезпечує передачу вимірюваних даних за допомогою вбудованої антени через радіоінтерфейс на відстань до 150 м і запис на ПК.

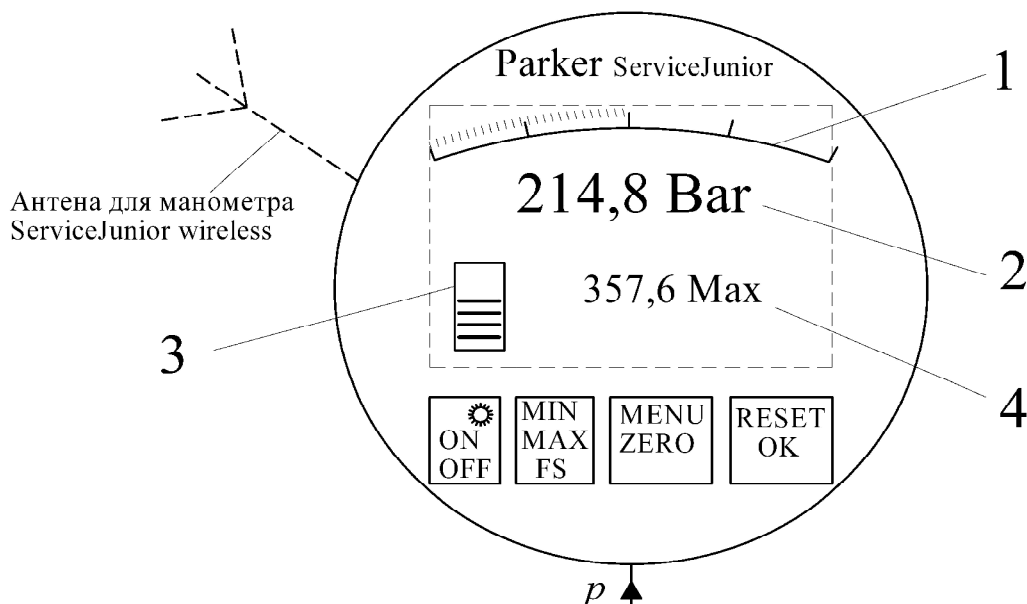


Рис. 2 - Дисплей цифрового манометра ServiceJunior фірми «Parker»

У таблиці 2 приведені технічні характеристики цифрових манометрів ServiceJunior (wireless).

Таблиця 2 - Технічна характеристика цифрових манометрів ServiceJunior wireless

Параметр, розмірність	Типорозмір ServiceJunior wireless - SCJL				
Діапазон вимірів тисків, Bar (Бар)	-1...16	0...100	0...400	0...600	0...1000
Максим. тиск, Bar	40	200	800	1200	1500
Тиск розриву, Bar	50	800	1700	2200	2500
Тип перетворююча	Керамічний	DMS			

Технічні характеристики цифрових манометрів :

- 1) частота вимірів - 10 мс;
- 2) точність вимірів - нормальна / максимальна $\pm 0,25\% / 0,5\%$ від повної шкали;
- 3) АЦП на 12 біт;

- 4) дозвіл - 4096 кроків;
- 5) вихідне зовнішнє різьблення - 1/4" BSPP;
- 6) маса - 540 г;
- 7) діаметр 79 мм і ширина 33 мм, виготовлений з цинкового сплаву із захисним гумовим кожухом;
- 8) індикатор являється ЖК-дисплеєм розміром 50x34мм, висота цифр - 15 мм;
- 9) температура довкілля від «мінус» 10 до 50°C , температура зберігання від «мінус» 20 до 60°C, максимальна температура РР до 80°C;
- 10) міра захисту - IP67 (EN 60529);
- 11) відносна вологість - до 85%;
- 12) вібрація IEC 60068-2-6/10.500 Гц, 5 г;
- 13) ударне навантаження IEC 60068-2-29/25 г, 11 мс;
- 14) вимір піків тиску з частотою 10 мс;
- 15) зміна навантаження (10^6) – 100.

Переносний прилад Serviceman моделі SCM (рис. 3, а) призначений для виміру тиску від двох перетворювачів або перепаду (різниці) тисків між ними, а також порівняння вимірних значень із заданими. Малі габарити і маса приладу дозволяють його використати в системах діагностики мобільних ОГП. На лицьовій панелі приладу розміщені:

- 1) дисплей з індикацією двох перетворювачів тиску;
- 2) INP1/2 - вибір сигналу від датчика INP1 або INP2;
- 3) ON/OFF - включення/виключення приладу;
- 4) Δp (1-2) (1-2) - індикація перепаду тисків;
- 5) PRINT - передача даних на ПК для друку;
- 6) RESET - видалення значень індикації INP1 або INP2;
- 7) MAX/MIN - вибір максимального/мінімального значень тиску;
- 8) ZERO - коригування нуля;
- 9) INP1 і INP2 - входи перетворювачів з п'ятьма контактами і клемкою;
- 10) 24 В - роз'єм для блоку живлення або автомобільного адаптера SCK - 318-05-21;
- 11) RS 232 інтерфейс ПК моделі SCM - 152-2-02.

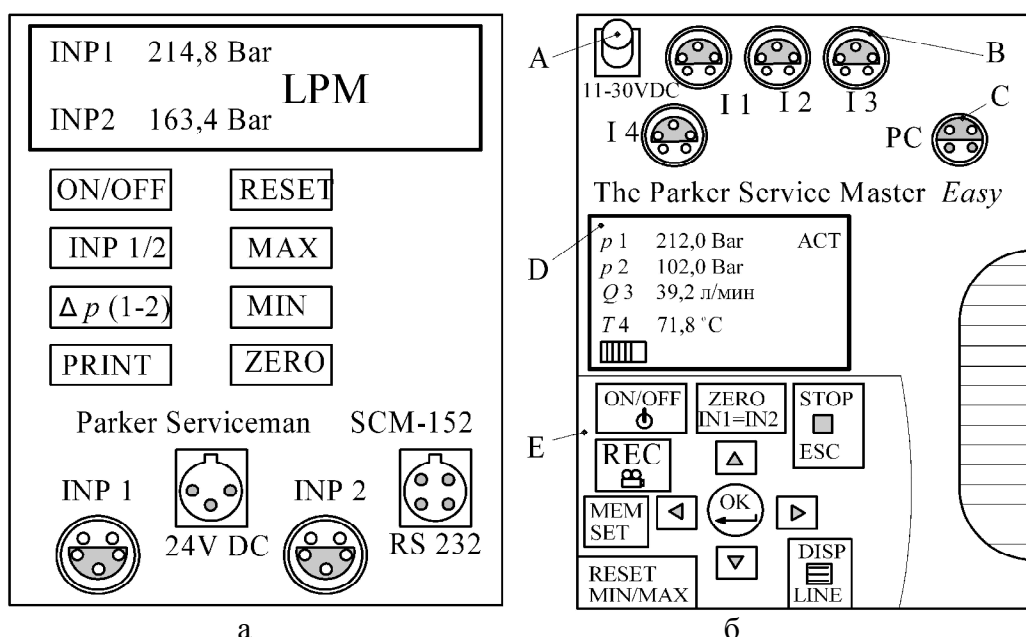


Рис. 3 - Лицьові панелі переносних приладів Serviceman моделі SCM (а) і The Parker Service Master Easy (б) фірми «Parker»

Переносний прилад The Parker Servic Master Easy (рис. 3, б) призначений для виміру тиску, витрати і температури РР. Малі габарити і маса приладу дозволяють його використати в системах діагностики мобільних ОГП.

На лицьовій панелі приладу розміщені:

1) А – показчик робочої напруги 11...30 VDC для підключення блоку живлення SCSN - 450 з перетворювачем напруги змінного струму 110/230В в постійне 15В або автомобільного адаптера SCK - 318-05-21;

2) В – роз'єми I1...I4 для підключення перетворювачів;

3) 3 – гніздо підключення ПК (USB);

4) D і E – дисплей і клавіатура, відповідно: ON/OFF – режими включення/виключення приладу; OK – підтвердження функції/значення; STOP/ESC – режими стоп/вихід; ZERO IN1=IN2 - коригування нуля, синхронізація значень різниці; MEM SET – налаштування пам'яті (головне меню - налаштування приладу); DISPL LINE – індикація мінімального/максимального/фактичного значень або повної шкали, налаштування дисплея; REC – збереження виміряного значення; RESET MIN/MAX – видалення екстремальних значень;

5) вибір функції/значення за допомогою кнопок, позначених стрілками.

На рис. 4 представлений приклад обробки результатів вимірів з вказівкою фактичних коливань пульсуючого тиску в ОГП і нанесеними за допомогою приладу Parker Servic Master Easy жирними лініями екстремальних значень тисків «Max» і «Min».

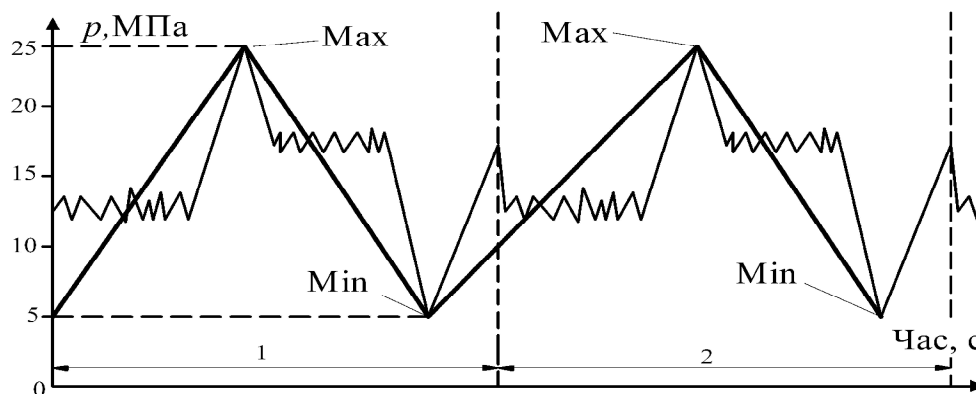


Рис. 4 - Запис і позначення екстремальних тисків в ОГП за допомогою приладу Parker Servic Master Easy

На рис. 5 представлені перетворювачі (датчики) і їх умовні позначення:

а – комбіновані датчики тиску/температури SCPT для виміру тиску в діапазоні від «-1 до 1000 Бар» і температури від «мінус» 25 до 105°C. Аналогічні технічні характеристики мають датчики у виконанні SCPT - CAN;

б – температурні датчики ввертного виконання SCT - 150-04-02, призначені для вимірів в діапазоні температур від «мінус» 25 до 105 °C при надмірному тиску РР в ОГП до 63 МПа;

в – зонд SCT - 150-0-02 для виміру температури в гідробаку в діапазоні температур РЖ від «мінус» 25 до 70 °C. Зонд використовується спільно з перетворювачем сигналів SCTA - 400-02;

г – термоелементний датчик SCT- 400-К- 01 для виміру температур до 1000 °C ;

д – датчик SRPM, що забезпечує можливість безконтактного і контактного (за допомогою вставного перехідника) виміру частоти обертання.

Основними конструктивними елементами датчиків є зонд 1, ручка 2 з матеріалу «Derlin», фірмова табличка з позначенням датчика, роз'єм 4 (п'ятиконтактний), кабель з оболонкою 5 завдовжки 3 м і подовжувачем до 5 м.

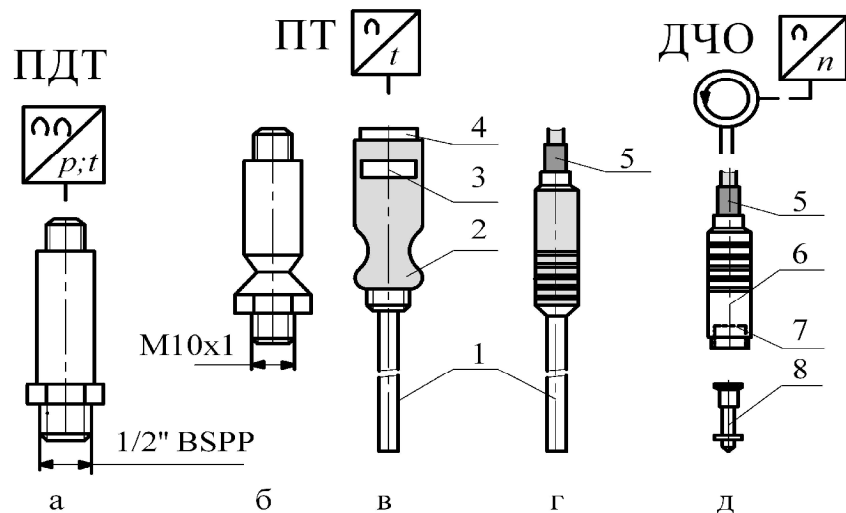


Рис. 5 - Номенклатура перетворювачів (датчиків) фірми «Parker»

В корпусі 6 датчика частоти обертання (рисунк 4, д) виконано розточування 7, в яке встановлюють перехідник 8 для контактних вимірів частоти обертання. Гідравлічний тестер SCFT (блок SCFT на рис. 6 і табл. 4.) призначений для виміру витрати так званим «турбінним» методом і під'єднування за допомогою спеціальних перехідників перетворювачів тиску і температури PP.

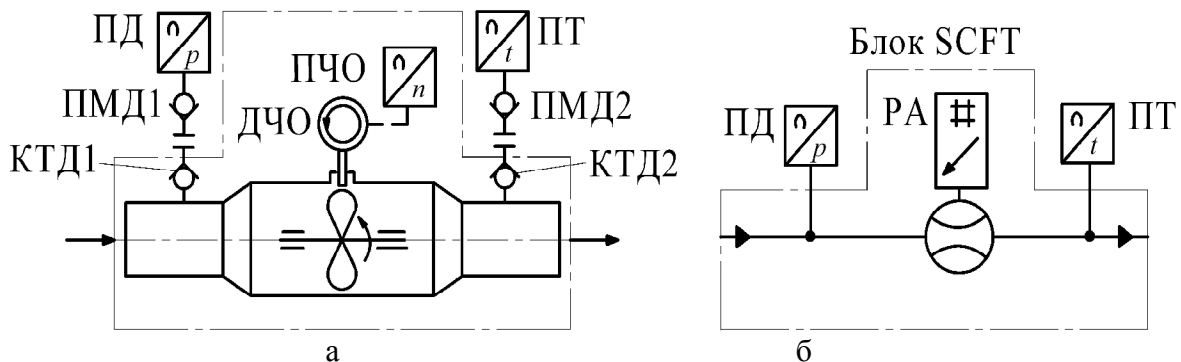


Рис. 6 - Турбинный расходомер модели SCFT фирмы «Parker»: а – полуконструктивная схема; б – гидравлическая принципиальная

Таблиця 3 - Технічна характеристика гідротестера моделей SCFTi SCFT-CAN фірми «Parker»

Параметри і розмірність	015	060	150	300	600	750
Витрата, л/хв	1...15	3...60	5...150	8...300	15...600	20...750
Погрішність ($\pm$ %) ПШ/IR при 21 сСт	1,0ПШ	1,0 IR	1,0IR	1,0IR	1,0IR	1,0IR
Робочий тиск, МПа	35	35	35	35	29	40
Різьб. з'єднання (А-В)	1/2"	3/4"	3/4"	1"	1-1/4"	1-7/8"
Перепад тисків, МПа	0,15	0,15	0,15	0,4	0,5	0,5
Маса, кг	0,6	0,75	0,75	1,2	1,8	2,1

Примітки: 1. Тип різьблення - BSPF; 2. Погрішність при в'язкості PP в 21 сСт не перевищує 1,0%: для моделі 015 – від повної шкали ПШ; для інших – від виміряного значення (IR - Indicated Reading), що відображається; 3. Значення перепаду тисків приведені при максимальній витраті.

До складу тестера входять турбінний витратомір РА з датчиком частоти обертання ДЧВ і перетворювачем частоти ПЧО, і контрольні точки КТД1 і КТД2, укручені в корпус тестера. За допомогою перехідних муфт датчика ПМД1 і ПМД2 монтуються перетворювачі тиску ПД і температури ПТ. Наявність облаштувань КТД і ПМД дозволяє монтувати перетворювачі без ризику розгерметизації гідросистеми.

Гідравлічний тестер SCLV (рис. 7, а і табл. 4) призначений для автоматизованого дистанційного виміру тиску, температури і витрати, а також створення навантаження (тиску) при випробуванні окремих гідропрстроїв або ОГП в цілому. Практично, за допомогою тестера SCLV може бути проведена перевірка технічного стану насоса за значенням подачі (витрати) РР при фіксованих значеннях тиску і температури РР.

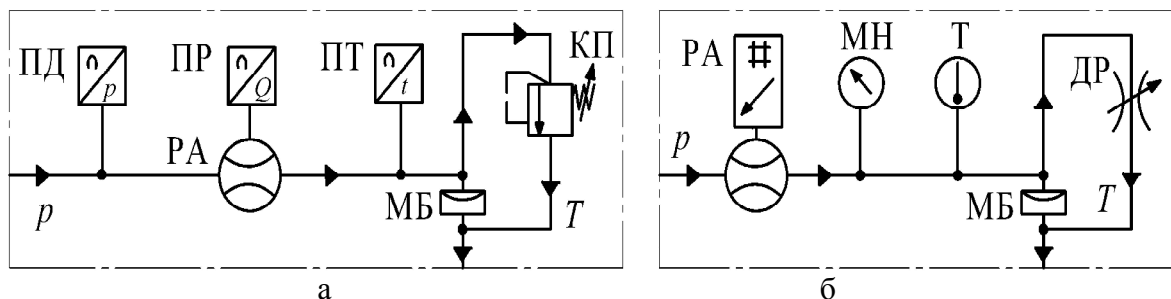


Рис. 7 - Гідравлічні принципові схеми гідравлічних тестерів моделі SCLV (а) і Hydrotrac (б) фірми «Parker»

Таблиця 4 - Технічна характеристика гідротестера моделі SCFT/SCLV фірми «Parker»

Параметри і розмірність	SCFT-150-DRV	SCLV-PTQ-300	SCLV-PTQ-750
Витрата, л/хв	6...150	10...300	20...750
Погрішність ($\pm$ %) IR при 21 cCт	1,0	1,0*	1,0*
Робочий тиск, МПа	35	35	40
Зруйнування для мембрани, МПа	-	42	48
Різьбове з'єднання (А-В)	3/4"BSPP	1"BSPP	1-7/8UNF
Перепад тисків при максимальній витраті і в'язкості 21 cCт, МПа	1,5	0,4	0,5
Маса, кг	4,2	5,5	8,9

Примітка: *) – при витраті більше 20 л/хв.

До складу тестера входять витратомір РА з перетворювачем витрати ПР, перетворювачі тиску ПД і температури ПТ, гідропрстрої навантаження (клапан тиску КП) і розривна мембрана МБ для захисту приладу від руйнування при пікових навантаженнях, що перевищують допустимі. Гідравлічний тестер моделі Hydrotrac призначений для візуального контролю при вимірі витрати витратоміром РА, тиску манометром МН і температури РР термометром Т в діапазонах 2...360 л/хв, 0,1...35 МПа і 0...90 °С, відповідно. Виробляються 6 типорозмірів виробів залежно від максимальної витрати з шифрами 4121.4170 і масою від 7,4 до 13,85 кг.

На рис. 8 приведений реверсивний витратомір моделі SCQ, заснований на так званому принципі «пружина-поршень», коли при течії РР поршень приладу переміщається пропорційно її витраті. Витратоміри випускаються на витрату до 60 і 150 л/хв. з різьбовими з'єднаннями М24 і М42, відповідно, перепад тисків при максимальній витраті не перевищує 0,8 МПа. Погрішність витратомірів не перевищує 2% від повної шкали і при в'язкості 46 cCт. Діапазон в'язкості повинен знаходитися в межах 15...100 cCт. Переносний монітор (індикатор) стану олії моделі Oilchek з мікропроцесорним управлінням фірми «Parker» (рис. 9) призначений для порівняння чистої (нової або свіжої) і використаної олії однакового сорту по зміні діелектричних властивостей.

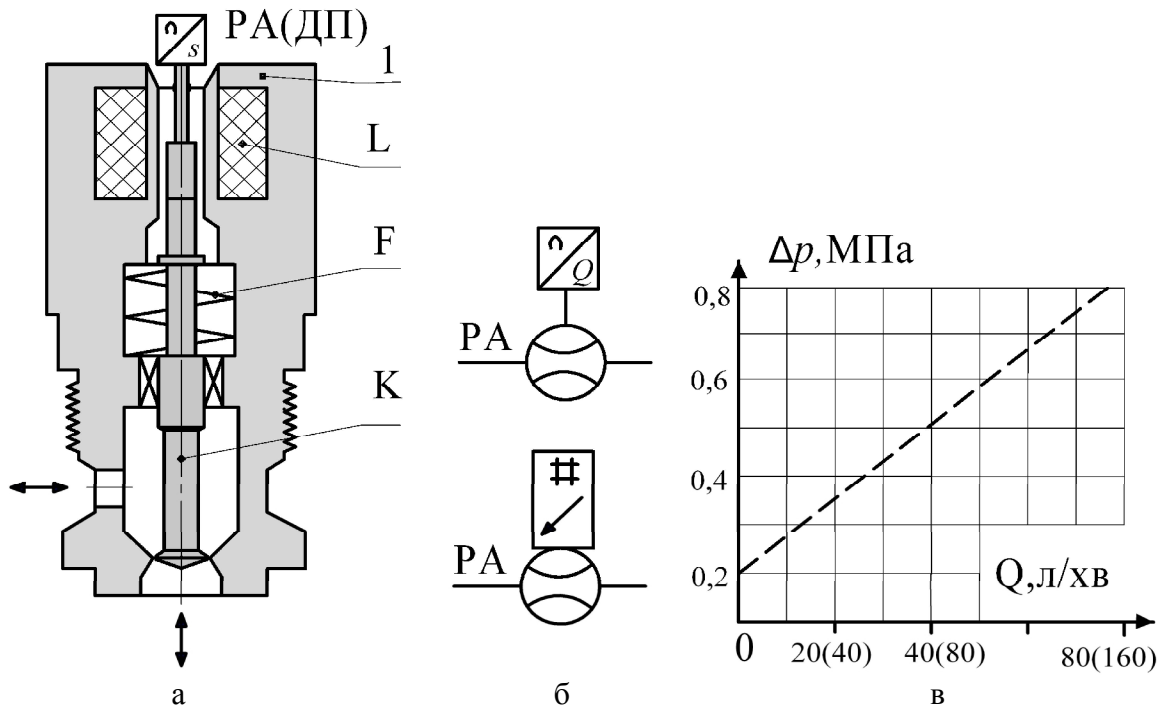


Рис. 8 - Витратомір моделі SCQ фірми «Parker»: а – конструктивна схема (1 - корпус; L - електромагніт; F - пружина; К - поршень); б – умовне позначення (вгорі з аналоговим вихідним сигналом, внизу з цифровим); в – перепадно-витратна характеристика для типорозмірів SCQ - 060 і SCQ - 150 (витрата вказана в дужках)

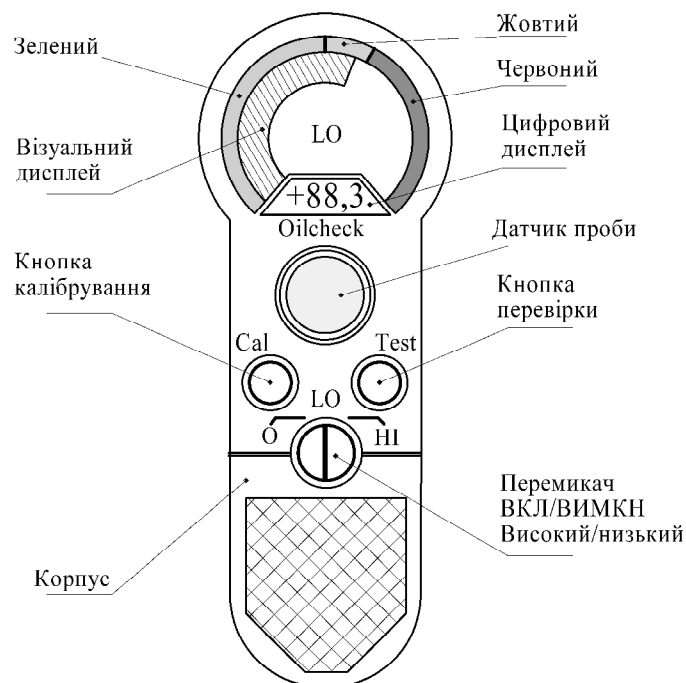


Рис. 9 - Переносний монітор (індикатор) стану олії моделі Oilcheck фірми «Parker»

Основною сферою застосування є станції технічного обслуговування автомобілів, сільськогосподарських і будівельно-дорожніх машин. Цифровий дисплей показує позитивну або негативну зміну діелектричній постійній олії. Аналіз олії зводиться до введення чис-

тої олії в датчик проби і при натисненні на кнопку Test прилад встановлює значення «нуль». Далі роблять очищення (знежирювання) датчика проби речовиною і вводять робочу олію. По візуальному колірному індикатору або цифровому дисплею визначають характер зміни властивостей олії. Прилад моделі Oilchek може бути використаний для аналізу стану мінеральних або синтетичних РР, вживаних в системах мастила двигунів, редукторів і підшипників, виявляючи механічний знос, попадання води, забруднення паливом, окислення і будь-яке зниження мастильних властивостей з відхиленням повторюваності результату не більше 5%. Маса приладу Oilchek складає 0,4 кг, батарея напругою 9 В має термін служби більше 150 годин або 3000 перевірок.

Висновки

Систематизація вимірювально-діагностичного комплексу необхідна для формування завдань конструкторів і вчених, які на базах експлуатуючих і ремонтних організацій зможуть підвищити ефективність експлуатації та відповідно продуктивність машин.

Список використаних джерел:

1. Parker Senso Control. Diagnostic Test. Equipment for Hydraulics [Електронний ресурс]. – Режим доступа : www.parkerhannifin.ru/products/index.php...ID=1.
2. Гидропривод объемный. Методы измерения параметров : ГОСТ 17108-79. – Введен с 1988-01-01. – М. : ИПК Издательство стандартов, 1979. – 15 с.
3. Домогацкий В. В. Ролико-лопастные расходомеры-счетчики отечественного и зарубежного производства / В. В. Домогацкий // Коммерческий учет энергоносителей : материалы 29 международной научно-практической конференции. – СПб. : 2009. – С. 339-350.
4. Эксплуатация и техническое обслуживание дорожных машин, автомобилей и тракторов : учебник / под ред. Е.С. Локшина. – М. : Мастерство, 2002. – 464 с.
5. Disc valve hydraulic motors type ms, msy, mt, mv, m+s hydraulic. – Helicon92. – 2017. – 59 p.
6. Fluid power systems and components ISO 1219-1– Graphic symbols and circuit diagrams – Part 1 : Graphic symbols for conventional use and data-processing applications. ISO 1219-12-1:2016 (E/F). – 88 p.
7. Hydraulic Products Kawasaki : каталог: 2016. – 146p.
8. Hydraulic Pump Series F1 plus Fixed Displacement. – Parker hydraulics. – HY17-8218/UK, November, 2017 – 11 p.
9. Hydraulic Pump Series F2 plus Fixed Displacement. – Parker hydraulics. – HY17-8253/UK, March, 2015 – 7 p.
10. Hydraulic Motor/Pump Series F11/F12 Fixed Displacement. – Parker hydraulics; HY17-8249/UK, October, 2014 – 31 p.

References

1. .Parker Parker Senso Control. Diagnostic Test. Equipment for Hydraulics n.d., viewed 5 September 2019, <www.parkerhannifin.ru/products/index.php...ID=1>.
2. Izdatelstvo standartov 1979, Gidroprivod obemnyj. Metody izmerenija parametrov : GOST 17108-79, IPK Izdatelstvo standartov, Moskva.
3. Domogackij, VV 2009, 'Roliko-lopastnye rashodomery-schetchiki otechestvennogo i za-rubezhnogo proizvodstva', Kommercheskij uchet jenergonositelej, Sankt-Peterburg, pp. 339-350.
4. Lokshin, ES (ed.) 2002, Jekspluatacija i tehicheskoe obsluzhivanie dorozhnyh mashin, avtomobilej i traktorov, Masterstvo, Moskva.
5. Disc valve hydraulic motors type ms, msy, mt, mv, m+s hydraulic. – Helicon92. – 2017. – 59 p.
6. Fluid power systems and components ISO 1219-1– Graphic symbols and circuit diagrams – Part 1 : Graphic symbols for conventional use and data-processing applications. ISO 1219-12-1:2016 (E/F). – 88 p.
7. Hydraulic Products Kawasaki : каталог: 2016. – 146p.
8. Hydraulic Pump Series F1 plus Fixed Displacement. – Parker hydraulics. – HY17-8218/UK, November, 2017 – 11 p.
9. Hydraulic Pump Series F2 plus Fixed Displacement. – Parker hydraulics. – HY17-8253/UK, March, 2015 – 7 p.
10. Hydraulic Motor/Pump Series F11/F12 Fixed Displacement. – Parker hydraulics; HY17-8249/UK, October, 2014 – 31 p.

Стаття надійшла до редакції 29 квітня 2019 р.

DOI 10.32820/2079-1747-2019-23-31-40

УДК 621.914

**ДОСЛІДЖЕННЯ МЕТОДІВ І УМОВ ФОРМОУТВОРЕННЯ
РІЗАЛЬНИХ ЕЛЕМЕНТІВ ТВЕРДОСПЛАВНОГО ІНСТРУМЕНТУ ДЛЯ
ФРЕЗЕРНОЇ ОБРОБКИ КОМПОЗИЦІЙНИХ НЕМЕТАЛЕВИХ МАТЕРІАЛІВ**

©Скоркін А.О.¹, Кондратюк О.Л.¹, Старченко О.П.², Камчатна-Степанова К. В.³

Українська інженерно-педагогічна академія¹

Харківський радіотехнічний технікум²

Національний технічний університет "Харківський політехнічний інститут"³

Інформація про авторів:

Скоркін Антон Олегович: ORCID: 0000-0003-3032-83414; Andromeda862@ukr.net; кандидат технічних наук; доцент кафедри машинобудування та транспорту; Українська інженерно-педагогічна академія, вул. Університетська 16, м. Харків, 61003, Україна.

Кондратюк Олег Леонідович: ORCID:0000-0002-3263-0483; kondr20071@i.ua; кандидат технічних наук; доцент кафедри машинобудування та транспорту; Українська інженерно-педагогічна академія, вул. Університетська 16, м. Харків, 61003, Україна.

Старченко Олена Павлівна: ORCID:0000-0002-7444-6668; Estarchenko79@gmail.com; заступник директора з навчальної роботи, Харківський радіотехнічний технікум, вул. Сумська 18/20, м. Харків, 61057, Україна

Камчатна-Степанова Катерина Валеріївна: ORCID: 0000-0001-7825-1238; katerina.ks@i.ua; інженер 1 категорії Науково-дослідної частини, Національний технічний університет "Харківський політехнічний інститут", вул. Кирпичова, 2, м. Харків, 61002, Україна

Серед вимог, пропонованих до сучасних конструкційних матеріалів можна назвати зниження маси, збільшення твердості й міцності, максимальний ресурс виробів, що виготовляються, у різних умовах експлуатації, висока надійність створюваних з таких матеріалів конструкцій. Перераховані вимоги, як правило, забезпечуються на стадіях вибору матеріалу й удосконалювання технології виготовлення виробів. Тенденції розвитку промисловості спрямовані на перехід до застосування в якості конструкційних матеріалів, що відповідають комплексу перерахованих вимог, композиційних матеріалів.

Останнім часом значно збільшилася частка використання композитів у машинобудуванні, автомобілебудуванні, енергетику, суднобудуванні, деревообробці, верстатобудуванні, будівництві, ракетної, аерокосмічної, хімічної й нафтової промисловості. Досягнення в області застосування виробів з композиційних матеріалів багато в чому залежать від удосконалювання технологій виробництва елементів різних конструкцій з композиційних матеріалів. Композиційні матеріали являють собою металеві й неметалічні матриці (основи) із заданим розподілом у них ущільнень (волокон, дисперсних часток); при цьому ефективно використовуються індивідуальні властивості складових композицій.

Найважливішими технологічними методами виготовлення композиційних матеріалів є: просочення армуючих волокон матричним матеріалом; формування в прес-формі стрічок ущільнень й матриці, одержуваних намотуванням; холодне пресування обох компонентів з наступним спіканням; електро-хімічне нанесення покриттів на волокна з наступним пресуванням.

У зв'язку із цим, одним з перспективних напрямків розвитку науково-технічного комплексу країни є підвищення ефективності обробки сучасних композиційних матеріалів лезвийним інструментом з метою розширення області їх використання. З'являється необ-

хідність у дослідженні методів і способів підвищення працездатності інструмента, створення нових конструктивних рішень, що володіють високими експлуатаційними характеристиками, відшукування раціональних умов його експлуатації із забезпеченням необхідного якості продукції, що виготовляється. Актуальною стає проблема ефективної і якісної технологічної підготовки різального інструменту для обробки композиційних матеріалів.

Ключові слова: інструмент, фрезерування, лезвийний інструмент, полімер, композиційний матеріал

Скоркин А.О., Кондратюк О.Л., Старченко Е.П., Камчатная-Степанова Е. В.
«Исследование методов и условий формообразования режущих элементов твердосплавного инструмента для фрезерной обработки композиционных неметаллических материалов»

Среди требований, предъявляемых к современным конструкционным материалам можно назвать снижение массы, увеличение жесткости и прочности, максимальный ресурс изготавливаемых изделий в различных условиях эксплуатации, высокая надежность создаваемых из таких материалов конструкций. Перечисленные требования, как правило, обеспечиваются на стадиях выбора материала и совершенствования технологии изготовления изделий. Тенденции развития промышленности направлены на переход к применению в качестве конструкционных материалов, отвечающих комплексу перечисленных требований, композиционных материалов.

В последнее время значительно увеличилась доля использования композитов в машиностроении, автомобилестроении, энергетике, судостроении, деревообработке, станкостроении, строительстве, ракетной, аэрокосмической, химической и нефтяной промышленности. Достижения в области применения изделий из композиционных материалов во многом зависят от совершенствования технологий производства элементов различных конструкций из композиционных материалов. Композиционные материалы представляют собой металлические и неметаллические матрицы (основы) с заданным распределением в них упрочнителей (волокон, дисперсных частиц); при этом эффективно используются индивидуальные свойства составляющих композиции.

Важнейшими технологическими методами изготовления композиционных материалов являются: пропитка армирующих волокон матричным материалом; формирование в пресс-форме лент уплотнений и матрицы, получаемых намоткой; холодное прессование обоих компонентов с последующим спеканием; электро-химическое нанесение покрытий на волокна с последующим прессованием.

В связи с этим, одним из перспективных направлений развития научно-технического комплекса страны является повышение эффективности обработки современных композиционных материалов лезвийным инструментом с целью расширения области их использования. Появляется необходимость в исследовании методов и способов повышения работоспособности инструмента, создания новых конструктивных решений, обладающих высокими эксплуатационными характеристиками, отыскания рациональных условий его эксплуатации с обеспечением требуемого качества изготавливаемой продукции. Актуальной становится проблема эффективной и качественной технологической подготовки режущего инструмента для обработки композиционных материалов.

Ключевые слова: инструмент, фрезерование, лезвийный инструмент, полимер, композиционный материал.

Skorkin A., Kondratyuk O, Starchenko O, Kamchatna-Stepanova K. «Study of the methods and conditions of forming cutting elements of carbide tools for milling processing of composite non-metal materials»

Among the requirements for modern structural materials include weight reduction, increase in stiffness and strength, the maximum life of manufactured products in various operating conditions, high reliability created from such materials. The listed requirements, as a rule, are provided at the stages of material selection and improvement of the technology for manufacturing products. Trends in the development of industry are aimed at the transition to the use of composite materials as a construction material that meets the complex of the listed requirements.

Recently, the proportion of use of composites in engineering, automotive, power engineering, shipbuilding, woodworking, machine-tool construction, construction, rocket, aerospace, chemical and petroleum industries has significantly increased. Achievements in the field of application of products made of composite materials largely depend on the improvement of production technologies for elements of various structures made of composite materials. Composite materials are metallic and non-metallic matrices (bases) with a specified distribution of reinforcers (fibers, dispersed particles); this effectively uses the individual properties of the components of the composition.

The most important technological methods for manufacturing composite materials are: impregnation of reinforcing fibers with a matrix material; forming in the mold tapes of seals and the matrix obtained by winding; cold pressing of both components, followed by sintering; electrochemical coating of the fibers followed by pressing.

In this regard, one of the promising areas of development of the scientific and technical complex of the country is to increase the efficiency of processing modern composite materials with a blade tool in order to expand their field of use. There is a need to study methods and ways to improve the performance of the tool, to create new design solutions with high performance characteristics, to find rational conditions for its operation, ensuring the required quality of manufactured products. The problem of effective and high-quality technological preparation of cutting tools for processing composite materials is becoming urgent.

Keywords: tool, milling, blade tool, polymer, composite material.

Вступ

Створення композиційних матеріалів переслідує наступні цілі: здешевлення матеріалів, одержуваних на основі комбінації тих або інших речовин з меншою вартістю, у порівнянні з використовуваними матеріалами; додання цим матеріалам бажаного комплексу властивостей; зниження питомої маси; збільшення строків старіння. Слід звернути увагу на те, що ніколи не вдається досягти всіх зазначених позитивних властивостей в одній композиції. Більше того, досягнення тих або інших бажаних властивостей систем часто супроводжується й появою негативних явищ, наприклад, ускладненням в переробці композицій, що різко ускладнює одержання з них виробів, небажане змінює деякі фізико-механічні показники системи. У цілому композиційний матеріал – гетерогенна система, що полягає із двох або більш компонентів, взаємодія яких на границі роздїгнула фаз приводить до утвору міжфазного ша-

ру, що надає матеріалу нові властивості при збереженні індивідуальності кожного компонента [1].

Властивості композиційних матеріалів залежать головним чином: від розміру й площі поверхні часток наповнювача, їх об'ємної частки й характеру розподілу в матриці; фізико-хімічних властивостей, як матриці, так і наповнювача; міцності зв'язку на границі роздязнула фаз. По своїй будові композиційні матеріали діляться на анізотропні, властивості яких значно різняться між собою уздовж і поперек матеріалу, і ізотропні, властивості яких незмінні.

У композиційних матеріалах армуючі елементи з'єднані ізотропною полімерною, металевою або іншими видами матриці, яка забезпечує монолітність матеріалу, фіксує форму виробу, сприяє спільній роботі волокон і перерозподіляє навантаження при руйнуванні частини волокон.

У машинобудівному виробництві широке поширення одержали волокнисті композитні матеріали, армовані високоміцними й високомодульними безперервними волокнами, у яких армуючі елементи несуть основне навантаження, тоді як матриця передає напругу волокнам. Волокнисті композитні матеріали, як правило, анізотропні. Механічні властивості їх визначаються не тільки властивостями самих волокон, але і їх орієнтацією, об'ємним змістом, здатністю матриці передавати волокнам прикладене навантаження й ін. Діаметр безперервних волокон вуглецю, бору, а також тугоплавких з'єднань (B₄C, SiC і ін.) звичайно становить 100...150 мкм.

Волокнисті композитні матеріали, на відміну від монолітних сплавів, мають високу сталостну міцність. Так, наприклад, в алюмінієвих сплавах вона становить 130...150 МН/м², у той час як в армованого борним волокном алюмінієвого композитного матеріалу – близько 500 МН/м². Межа міцності й модуль пружності композитного матеріалу на основі алюмінію, армованого борним волокном, приблизно у два рази більше, чим в алюмінієвих сплавах В-95 і АК4-1 [2-3].

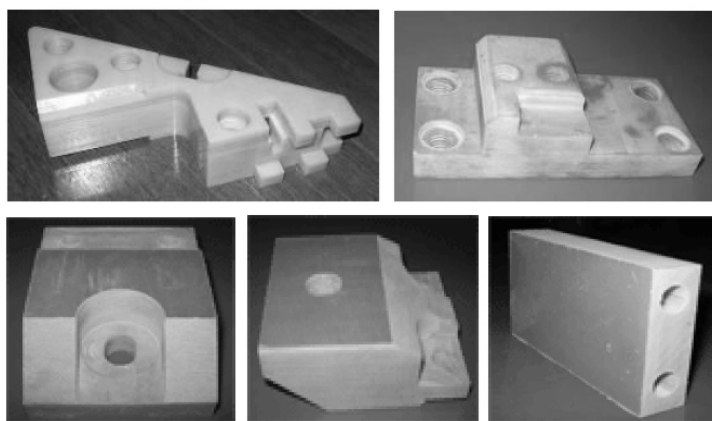


Рис. 1. – Приклади виробів, отриманих механічною обробкою заготовок з композиційних неметалічних матеріалів

Найбільше поширення на сьогоднішній день одержали композиційні матеріали на деревній основі й полімерні композити в силу економічності й доступності вихідної сировини й високих фізичних властивостей виробів, виготовлених із цих матеріалів при значному зниженні питомої маси. Прикладом можуть бути деталі для різних конструкцій машин, приладів, апаратів використовуваних у різних галузях промисловості (рис. 1).

Прикладом можуть бути деталі для різних конструкцій машин, приладів, апаратів використовуваних у різних галузях промисловості (рис. 1).

1. Аналіз останніх досліджень і публікацій

Полімерні композиційні матеріали (склопластики, органопластики, боропластики, вуглепластики) знаходять широке застосування в таких областях промисловості, як космічна техніка, авіа-, судо-, автомобілебудування і т.д. Застосування композиційних матеріалів у сучасних конструкціях дає істотний вигравш у масі, міцності, довговічності, стійкості до корозії й агресивним хімічним середовищам.

Так конструкційні вуглепластики на основі вуглецевих наповнювачів різних текстурних форм (джгути, стрічки, тканина) призначені для використання в силових конструкціях планера літака.

Високоміцні (міцність 1200...1500 Мпа) склопластики на основі кордних склотканин і полімерних сполучних для використовуються для виготовлення багатошарових високонавантажених малошумних гвинтів гвинтовентиляторних двигунів широкофюзеляжних літаків короткого зльоту й посадки.

Високоміцні, негорючі поліімідні склопластики конструкційного й радіотехнічного призначення з робочою температурою до 350°C застосовуються в мотогондолах двигунів, для виготовлення панелей капотів різних кожухів і захисних екранів літаків.

Серед найпоширеніших можна виділити композиційні матеріали на полімерній основі, армовані скляними, вуглецевими, борними й органічними волокнами [4]. У якості матриць у металевих композиційних матеріалів в основному застосовується алюміній, титан і магній, зміцнені борними й вуглецевими волокнами, дисперсними частками оксидів і карбідів тугоплавких металів.

Для обробки композиційних матеріалів застосовуються цільні й складені фрези із затилованими й гострозаточеними зубами, а також збірні конструкції фрез.

Відмінна риса фрез із гострозаточеними зубами полягає в тому, що задні поверхні зубів прямолінійні. Це дозволяє змінювати в широких межах число зубів, кутові параметри фрез і обробляти деталі із глибоким профілем. Такі фрези застосовуються для обробки площин, пазів і фасонних поверхонь. В останньому випадку при переточуваннях відбувається істотне викривлення профілю оброблюваної деталі. Тому фрези з гострими зубами для обробки фасонних поверхонь звичайно оснащуються напаяними пластинами. Для фрез цього типу можливо обмежене число переточувань, обумовлене розмірами пластин по товщині [4-5].

2. Постановка проблеми

Існує кілька способів формування затилованої поверхні: по логарифмічній спіралі, по спіралі Архімеда, по дузі окружності й по прямій лінії [6].

При виготовленні зубів фрези на спеціалізованих інструментальних підприємствах конструювання задньої поверхні зручніше за все робити по архімедовій спіралі, що задовольняє з достатнього для практики ступенем точності.

Під цільними розуміють інструменти з ріжучими елементами (зубами), нероз'єднаними з корпусом інструмента. Цільні конструкції фрез виготовляють цілком з інструментальних сталей. Фрези із цільного матеріалу при втраті ріжучої здатності – переточуються; при повному зношуванні – більш не використовуються [6].

Основний недолік цільних фрез, виготовлених цілком з інструментальних сталей, полягає в тому, що у випадку поломки або аварійного зношування одного із зубів уся фреза

стає непридатною до експлуатації. Крім того, для обробки складнопрофільних поверхонь таким інструментом необхідні кілька різних фрез, або їх комплекти.

При виробництві складнопрофільних виробів з композиційних матеріалів широке застосування знайшли складені фрези. Більшість їх залежно від оброблюваних профілів складається із двох або трьох одинарних фрез, які звичайно використовують для обробки складних профілів, що мають ділянки, що лежать у площині обертання фрези. Як правило, при конструюванні складених фрез складний оброблюваний профіль розбивають на більш прості із прямолінійними або похилими ділянками. Від кількості ділянок залежить і кількість одинарних фрез, що збираються на одному оправленні в один блок. У складені фрези можуть входити інструменти з однаковими або різними параметрами. Технологія виготовлення окремих фрез, що входять у складові, не відрізняється суттєво від технології виготовлення цільного або збірної інструмента.

Одним з перспективних напрямків підвищення стійкості й працездатності інструмента є перехід на виготовлення збірних конструкцій, що відзначається багатьма авторами в роботах [6-8].

Збірні фрези призначені для фрезерування плоских і профільних поверхонь виробів з композиційних матеріалів. Вони складаються з корпусу, змінних ріжучих елементів, деталей кріплення й регулювання. Усі ці елементи виготовляються окремо, потім збираються в єдину фрезу; ріжучі елементи регулюються на діаметр різання. Виготовлена й зібрана фреза проходить контроль і випробування (статичні й динамічні).

Основна перевага збірних фрез – економія дорогих інструментальних матеріалів. Крім того, у порівнянні із цільними, вони мають і інші переваги: більш раціональне використання інструментальних матеріалів, підвищений термін служби корпусу. У той же час даний тип фрез має й недоліки: відносно більш високу трудомісткість виготовлення й експлуатації й меншу твердість [9].

У цей час розроблені нові конструкції збірних фрез, але вони також мають ряд недоліків: малий ресурс і твердість ріжучих елементів; складність кріплення різців і відсутність єдиної схеми базування; складність установки й регулювання на розмір різання при складанні інструмента; зменшення точності й твердості всього інструмента в цілому [10].

4. Метою роботи є дослідження процесу обробки композиційних неметалічних матеріалів фрезеруванням, та подальша розробка технологічних методів створення, виготовлення й вибору різального інструменту.

5. Виклад основного матеріалу

Технологічна підготовка різального інструменту для обробки композиційних неметалічних матеріалів має немаловажне значення при організації інструментального забезпечення на підприємствах. Крім структурної й параметричної оптимізації при конструюванні нового інструмента, виборі й підготовці до роботи різального інструменту вона містить у собі заходи щодо виготовлення (формування) різального інструменту. Особливо актуальна ця проблема при виготовленні інструмента, оснащеного високоміцними й важкооброблюваними інструментальними матеріалами, що відрізняються підвищеною точністю, надійністю, ресурсом і, як наслідок, високою працездатністю. Обробка таким інструментом повинна вес-

ти до підвищення продуктивності й зменшенню собівартості обробки виробів з композиційних неметалічних матеріалів.

Необхідна якість обробки поверхонь виробів, мінімальні сила й потужність різання досягаються концентрацією напруг у локальній області оброблюваного матеріалу, що прилягає до досить гострого леза. Однак навіть ретельно заточені леза інструмента для обробки композиційних матеріалів не є абсолютно гострими – їхні ріжучі крайки, утворені перетинанням передньої й задньої поверхонь, являють собою не лінію, а перехідну поверхню радіуса ρ_0 (рис. 2). Чим більше наробіток леза, тим більше величини радіуса затуплення й зношування по передній і задній поверхні.

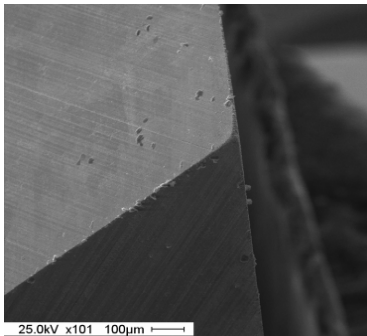


Рис. 2. – Стан ріжучої крайки інструмента після заточування

Традиційне заточування сталевого інструмента здійснюється електрокорундовими колами й колами з кубічного нітриду бору (КНБ). Як правило, при знятті більших припусків застосовують кола з електрокорунду. Для доведення й видалення малих припусків використовують кола із КНБ. Чорнове заточування твердосплавного інструмента призначене для зняття основної частини припуску з максимально припустимою інтенсивністю знімання й підготовки оброблюваних поверхонь до чистового заточення й доведенню.

Процес заточування твердосплавних фрез полягає в шліфуванні ріжучих пластин з обох торців до одержання номінального розміру по висоті фрези із припусками на чистове шліфування. Потім ведеться чорнове шліфування передньої й задньої поверхонь із кутами, збільшеними на 2...40 по порівнянню із заданими.

Для чорнового заточування твердосплавного інструмента, як правило, застосовуються шліфувальні кола з карбіду кремнію зеленого. Тому що чорнова обробка дозволяє вести інтенсивне знімання матеріалу, те можливе використання грубозернистих кіл ($F46...F60$) на керамічному зв'язуванні (V), середньом'якої групи твердості (K, L) і середньоплотної структури (№ 5, 6). Пропонуються наступні режими обробки: швидкість кола 12...15 м/с, поздовжня подача 1,5...2,5 м/хв, глибина шліфування 0,08...0,12 мм. Заточування колами з карбіду кремнію зеленого рекомендується при рясному охолодженні, яке усуває можливість перегріву, місцевих прижогів і утвору мікротріщин і поліпшує якість поверхні, що заточується.

Чистове заточування ріжучих поверхонь інструмента виконується при необхідних кутах зі збереженням мінімальних припусків на доведення інструмента й призначене для підвищення точності розмірів і зменшення шорсткості оброблюваної поверхні.

Кола з карбіду кремнію зеленого, традиційно використовувані у виробничих умовах для чорнового заточування інструмента, оснащеного твердим сплавом, наносять серйозні дефекти інструментальному матеріалу у вигляді відколів, макро- і мікротріщин (рис. 3). Це пояснюється високими силовими й температурними навантаженнями, що виникають у зоні обробки в процесі заточування. Аналіз технологій виготовлення (формоутворення) твердосплавних ріжучих елементів інструмента для обробки композиційних неметалічних матеріа-

лів показав, що при підготовці різального інструменту до роботи важливе значення має якість формування ріжучого леза.

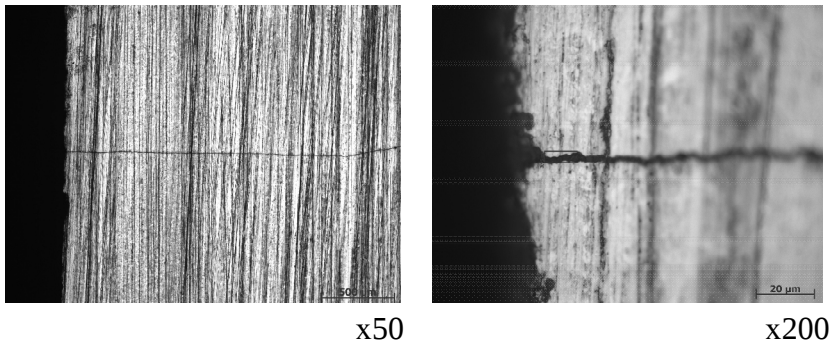


Рис. 3. – Загальний вид передніх поверхонь твердого сплаву марки VK8 після заточування колами з карбіду кремнію

Крім того, істотним фактором, що впливає на зносостійкість інструмента, є рівень залишкових напруг на поверхні й у приповерхніх шарах на ріжучому лезі, після операції заточування. Для моделювання процесу заточування твердосплавного ріжучого елемента розглянемо схему обробки й діючі при цьому динамічні складові процесу (рис.4).

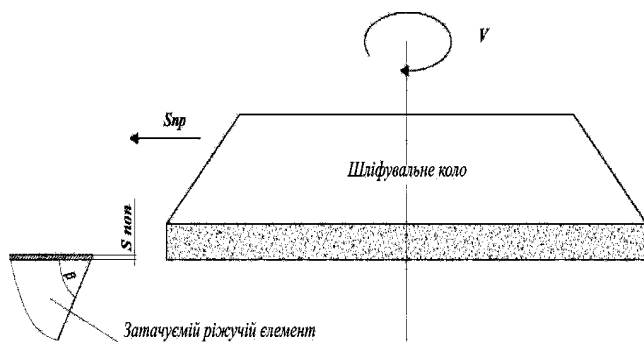


Рис. 4.– Схема заточування ріжучого елемента

Ріжучий елемент, що заточується, має форму клина з кутом загострення β закріплений нерухомо в спеціальному кріпильному пристосуванні. Шліфувальне коло (у цьому випадку чашковий конічний) обертається навколо своєї осі з постійною швидкістю V (м/с). Крім того, шліфувальне коло поступально рухається, що убік заточується ріжучого елемента з постійною швидкістю, рівній величині поздовжньої подачі $S_{пр}$ (м/хв).

У процесі заточування з поверхні ріжучого елемента знімається шар матеріалу, що дорівнює величині поперечної подачі $S_{поп}$ (мм/дв.хід).

Прийmemo деякі допущення для оцінки напружено-деформованого стану ріжучої крайки й поверхонь при заточуванні. Матеріал ріжучого елемента вважається однорідним, суцільним і анізотропним. У процесі обробки він випробовує незначні деформації. Передбачається, що ріжуча крайка є абсолютно гострою (радіус округлення дорівнює нулю) і зовнішні сили розподілені рівномірно по ширині різця, а задня поверхня не навантажена.

Виберемо в якості об'єкта дослідження клин певної ширини й довжини з кутом при вершині, що варіюється в межах $\beta = 50^\circ \dots 60^\circ$ залежно від умов обробки й комбінації інструментального й оброблюваного матеріалу. Довжина пластини b залежить від призначення ріжучого елемента й може варіюватися в межах від 3 до 21 мм (рис.5).

Фізико-математична модель включає рівняння збереження маси, імпульсу й енергії, записані в рамках Лагранжевого підходу континуальної механіки. Визначальне рівняння середовища, що ушкоджується, сформульоване з використанням моделі Джонсона-Холквіста. Визначальне рівняння в середовищі, що ушкоджується, ухвалює вид:

$$s_{ij} = (1 - D) \dot{\epsilon}_{ij} + S_{ij} \dot{\epsilon}_{ij}, \quad (1)$$

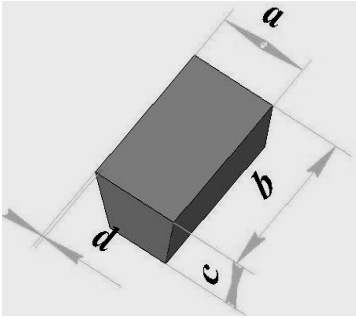


Рис. 5 – Умовні розміри оброблюваної пластини

де σ_{ij} – компоненти тензора ефективного (усередненого в представницькому обсязі ушкодженого середовища) напруги; D – параметр пошкодження середовища; δ_{ij} – символ Кронекера; P , S_{ij} – тиск і девіатор тензора напруги в конденсованій фазі ушкодженого середовища.

Параметр пошкодження середовища D обчислювався шляхом підсумовування прирощень на дискретних інтервалах часу, відповідних до кроку інтегрування:

$$D = \frac{1}{a} \sum_{i=1}^n \frac{\sigma_{eq}^P \Delta t_i}{e_f}$$

Рівняння стану для конденсованої фази сплаву ВК6 (Wc-wt 5.7% Co) у поліноміальній формі Мі – Грюнайзена:

$$P = A_1 + A_2 + A_3 + (B_0 + B_1) \ln \left(\frac{\rho}{\rho_0} \right) - 1 \text{ при } \rho > \rho_0 \text{ (стиснення)}$$

$$P = T_1 + T_2 + B_0 \ln \left(\frac{\rho}{\rho_0} \right) E_T, \text{ при } \rho < \rho_0 \text{ (розтягнення)}$$

де P – тиск; $A_1, A_2, A_3, B_0, B_1, T_1, T_2$ – постійні матеріалу; ρ, ρ_0 – поточна й початкова масова щільність відповідно; E_T – тепла складова питомої внутрішньої енергії.

Як приклад, досліджуємо систему композиційного твердого сплаву марки ВК6, до складу якого входять карбіди вольфраму WC і кобальт Co у якості сполучного.

Для цього була побудована розрахункова область відповідна до оброблюваної пластини зі сплаву (рис. 6). Габаритні розміри пластини в розрахунковій моделі були прийняті рівними: висота $c = 3$ мм, ширина пластини $a = 21$ мм, довжина пластини $b = 12$ мм, кут загострення $\beta = 50^\circ$.

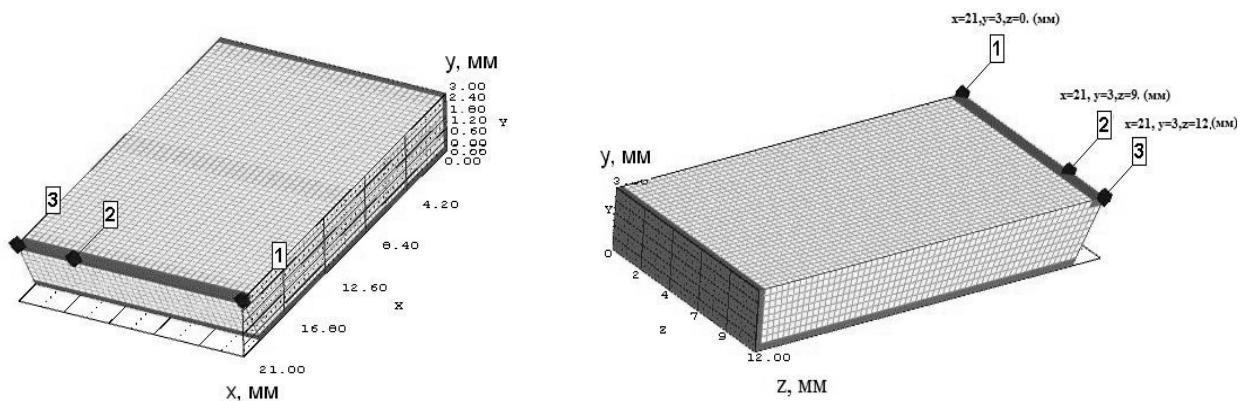


Рис. 6 – Розрахункова модель твердосплавної пластини, що заточується

На рис. 6 показані граничні умови на поверхнях твердого закріплення. На бічних поверхнях були задані граничні умови, що відповідають вільній від навантаження поверхні. На передній поверхні виділена область, відповідна до ділянки d уздовж ріжучої крайки інструмента, шириною 1 мм, де були задані змішані граничні умови. Кінематичні граничні умови імітували зрушення поверхневого шару в результаті впливу алмазного кола на поверхню пластини, а силові імітували дію розподіленої по поверхні сили, що притискає, виникають в області контакту.

Висновки

З метою підвищення ефективності механічної обробки композиційних неметалевих матеріалів необхідно оснащувати ріжучий інструмент прогресивними інструментальними матеріалами. Зокрема, за результатами досліджень ефективності застосування різних марок інструментальних матеріалів в конструкціях інструменту для обробки композиційних матеріалів, найбільший економічний ефект досягається при застосуванні твердого сплаву.

Список використаних джерел

1. Абрамов Ю.А. Применение информационно-поисковой системы САПР для изготовления специального режущего инструмента / Ю.А. Абрамов, Ю.Б. Сажин // Известия вузов. – М.: Машиностроение. – 1985. – № 8. – С. 111–114.
2. Ящерицын, П.И. Основы резания материалов: учебное пособие / П.И. Ящерицын, В.Д. Ефремов. — Минск : БГАТУ, 2008. — 644 с.
3. Баранчиков, В.И. Обработка специальных материалов в машиностроении: Справочник. Библиотека технолога / В.И. Баранчиков, А.С. Тарапанов, Г.А. Харламов. – М.: Машиностроение, 2002. – 264 с.
4. Башков, В.М. Испытания режущего инструмента на стойкость / В.М. Башков, П.Г. Кацев. – М.: Машиностроение, 1985. – 136 с.
5. Бердник, В.В. Электроабразивное шлифование / В.В. Бердник, А.В. Мамай.– Киев: Техника, 1981. – 64 с.
6. Васильев, В.В. Композиционные материалы: справочник / под общ. ред. В.В. Васильева, Ю.М. Тарнопольского. – М.: Машиностроение, 1990. – 512 с.
7. Артамонов, Е.В. Расчет и проектирование сменных режущих пластин и сборных инструментов / Е.В. Артамонов, Т.Е. Помигалова, М.Х. Утешев; под общей ред. М.Х. Утешева. – Тюмень: ТюмГНГУ, 2011. – 152 с.
8. Andre L., Klaus S. Investigation of tool path interpolation on the manufacturing of die and molds with HSC technology” Journal of Materials Processing Technology Vol. 179, 2006, 178–184.
9. Skorkin, A., Kondratyuk, O., Starchenko, O. (2018). Theoretical bases of optimizing a tool idle motion while milling complex surfaces. Innovative Technologies and Scientific Solutions for Industries, 4 (6), 62–70. doi: <https://doi.org/10.30837/2522-9818.2018.6.062>
10. Helleno, A. L., Schtzer, K. (2006). Investigation of tool path interpolation on the manufacturing of die and molds with HSC technology. Journal of Materials Processing Technology, 179 (1-3), 178–184. doi: <https://doi.org/10.1016/j.jmatprotec.2006.03.092>

References

- 1 Abramov, JuA & Sazhin, JuB 1985, ‘Primenenie informacionno-poiskovoj sistemy SAPR dlja izgotovlenija specialnogo rezhushhego instrumenta’, Izvestija vuzov, no. 8, pp. 111-114.
2. Jashhericyn, PI & Efremov, VD 2008, Osnovy rezanija materialov, Belorusskij gosudarstvennyj agrarnyj tehnikeskij universitet, Minsk.
3. Baranchikov, VI, Tarapanov, AS & Harlamov, GA 2002, Obrabotka specialnyh materialov v mashinostroenii: Spravochnik. Biblioteka tehnologa, Mashinostroenie, Moskva.
4. Bashkov, VM & Kacev, PG 1985, Ispytanija rezhushhego instrumenta na stojkost, Mashinostroenie, Moskva.
5. Berdnik, VV & Mamaj, AV 1981, Jeлектроабразивное shlifovanie, Tehnika, Kiev.
6. Vasilev, VV, Protasov, VD, Bolotin, VV et al. 1990, Kompozicionnye materialy, Mashinostroenie, Moskva.
7. Artamonov, EV, Pomigalova, TE & Uteshev, MH 2011, Raschet i proektirovanie smennyh rezhushhih plastin i sbornyh instrumentov, Tjumenskij gosudarstvennyj neftegazovyj universitet, Tjumen.
8. Andre, L & Klaus, S 2006, ‘Investigation of tool path interpolation on the manufacturing of die and molds with HSC technology’, Journal of Materials Processing Technology, vol. 179, pp. 17-184.
9. Skorkin, A, Kondratyuk, O & Starchenko, O 2018, ‘Theoretical bases of optimizing a tool idle motion while milling complex surfaces’, Innovative Technologies and Scientific Solutions for Industries, no. 4 (6), pp. 62-70.
10. Helleno, AL & Schtzer, K 2006, ‘Investigation of tool path interpolation on the manufacturing of die and molds with HSC technology’, Journal of Materials Processing Technology, no. 179 (1-3), pp. 178-184.

Стаття надійшла до редакції 12 квітня 2019 р.

DOI 10.32820/2079-1747-2019-23-41-48

УДК 621.923

РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ТЕПЛОВОГО ПОТОКА ПРИ ЭЛЕКТРОЭРОЗИОННОМ АЛМАЗНОМ ШЛИФОВАНИИ

©Стрельчук Р. М.

Украинская инженерно-педагогическая академия

Информация об авторе:

Стрельчук Роман Михайлович: ORCID: 0000-0002-7221-031X; r.m.strelchuk@gmail.com; кандидат технических наук; доцент кафедры информационных компьютерных технологий и математики; Украинская инженерно-педагогическая академия, ул. Университетская 16, г. Харьков, 61003, Украина.

В работе показано, что увеличение скорости продольной подачи, также как и глубины шлифования приводит к росту плотности теплового потока. Это объясняется повышением уровня термодинамических нагрузок вследствие увеличения толщины слоя срезаемого одним зерном. Широкое распространение наряду с многопроходным (маятниковым) шлифованием получило однопроходное (глубинное) шлифование, когда весь припуск на обработку снимают за один рабочий ход. При этом происходит увеличение длины контакта круга с изделием, и длительность теплового воздействия оказывается на один-два порядка больше, чем при маятниковом шлифовании. Особенностью шлифования является малое время воздействия теплового источника при наличии больших удельных нагрузок в зоне контакта круга с обрабатываемой поверхностью. За время действия алмазного круга тончайшие слои материала (до 1 мкм) нагреваются до температур 600...1000°C. Вслед за нагревом происходит быстрый отвод тепла в глубинные слои материала со скоростями охлаждения поверхностных слоев примерно такими же, как и при нагреве. Такая кинетика тепловых процессов шлифования способствует формированию в поверхностных слоях деталей структурных изменений, внешне характеризующихся прижогами. Кроме прижогов на поверхностях деталей после шлифования часто наблюдаются трещины в результате действия мгновенных и суммарных остаточных внутренних напряжений, возникающих вследствие неоднородной пластической деформации в разных зонах поверхностного слоя. Как показали исследования, уменьшение скорости продольной подачи позволяет значительно снизить теплонапряженность процесса. Таким образом, анализ показывает, что наибольшее значение плотности теплового потока, также как и при маятниковом шлифовании, наблюдаются при $\gamma = 0^\circ$. В этом случае глубина шлифования будет максимальной, следовательно, сила резания и тепловой поток наибольшими. При глубинном шлифовании увеличение скорости изделия приводит к росту плотности теплового потока. Это объясняется увеличением толщины срезаемого слоя одним алмазным зерном. Анализ показывает, что при глубинном шлифовании плотность теплового потока достигает больших значений, чем при маятниковом. Однако, соответствующей коррек-

ровкой технологических режимов можно добиться уменьшения теплонапряженности процесса.

Ключевые слова: электроэрозионное алмазное шлифование, плотность теплового потока, длина дуги контакта.

Стрельчук Р.М. «Розподіл теплового потоку при електроерозійному алмазному шліфуванні»

В роботі показано, що збільшення швидкості поздовжньої подачі, також як і глибини шліфування призводить до зростання щільності теплового потоку. Це пояснюється підвищенням рівня термодинамічних навантажень внаслідок збільшення товщини шару, що зрізається одним зерном. Широке поширення поряд з багатопрхідним (маятниковим) шліфуванням отримало однопрхідне (глибинне) шліфування, коли весь припуск на обробку знімають за один робочий хід. При цьому відбувається збільшення довжини контакту круга з виробом, і тривалість теплового впливу виявляється на один-два порядки більше, ніж при маятниковому шліфуванні. Особливістю шліфування є малий час впливу теплового джерела при наявності великих питомих навантажень в зоні контакту круга з оброблюваною поверхнею. За час дії алмазного круга найтонші шари матеріалу (до 1 мкм) нагріваються до температур 600 ... 1000°C. Слідом за нагріванням відбувається швидке відведення тепла в глибинні шари матеріалу зі швидкостями охолодження поверхневих шарів приблизно такими ж, як і при нагріванні. Така динаміка теплових процесів шліфування сприяє формуванню в поверхневих шарах деталей структурних змін, зовні характеризуються як прижоги. Крім прижогів на поверхнях деталей після шліфування часто спостерігаються тріщини в результаті дії миттєвих і сумарних залишкових внутрішніх напружень, що виникають внаслідок неоднорідної пластичної деформації в різних зонах поверхневого шару. Як показали дослідження, зменшення швидкості поздовжньої подачі дозволяє значно знизити теплонапружність процесу. Таким чином, аналіз показує, що найбільше значення щільності теплового потоку, також як і при маятниковому шліфуванні, спостерігаються при $\gamma=0^\circ$. У цьому випадку глибина шліфування буде максимальною, отже, сила різання і тепловий потік найбільшими. При глибинному шліфуванні збільшення швидкості виробу призводить до зростання щільності теплового потоку. Це пояснюється збільшенням товщини зрізаного шару одним алмазним зерном. Аналіз показує, що при глибинному шліфуванні щільність теплового потоку досягає великих значень, ніж при маятниковому. Однак, відповідним коригуванням технологічних режимів можна домогтися зменшення теплонапружності процесу.

Ключові слова: електроерозійне алмазне шліфування, щільність теплового потоку, довжина дуги контакту.

Strelchuk R. «Distribution of heat flow during electrical discharges diamond grinding».

The paper shows that an increase in the speed of the longitudinal feed, as well as the depth of grinding, leads to an increase in the heat flux density. This is due to the increased level of thermodynamic loads due to an increase in the thickness of the layer being cut by a single grain. Along with multipass (pendulum) grinding, one-pass (deep) grinding became widespread, when the entire allowance for processing is removed in one working stroke. When this occurs, the increase in the length of the contact of the circle with the product, and the duration of thermal exposure is one to two orders of magnitude longer than with pendulum grinding. The peculiarity of grinding is the short time of exposure of the heat source in the presence of large specific loads in the zone of contact of the circle with the surface being treated. During the action of the diamond wheel, the thinnest layers of material (up to 1 micron) are heated to temperatures of 600 ... 1000 ° C. Following heating, there is a rapid heat removal to the deep layers of the material with the rates of cooling of the surface layers approximately the same as during heating. Such kinetics of thermal grinding processes contributes to the formation of structural changes in the surface layers of parts that are externally characterized by burns. In addition to prizmog, cracks are often observed on the surfaces of parts after grinding as a result of the action of instantaneous and total residual internal stresses resulting from non-uniform plastic deformation in different zones of the surface layer. Studies have shown that reducing the speed of the longitudinal feed can significantly reduce the thermal stress of the process. Thus, the analysis shows that the highest value of the heat flux density, as well as during pendulum grinding, is observed at $\gamma = 0^\circ$. In this case, the depth of grinding will be maximum, therefore, the cutting force and heat flux are the greatest. During deep grinding, an increase in the speed of the product leads to an increase in the density of the heat flux. This is due to an increase in the thickness of the cut layer by a single diamond grain. The analysis shows that with deep grinding the heat flux density reaches higher values than with the pendulum. However, a corresponding adjustment of technological regimes can reduce the thermal stress of the process.

Key words: electrical discharges diamond grinding, heat flow density, contact arc length.

Введение

Основным параметром, характеризующим источник тепла, возникающий при алмазном шлифовании, является плотность теплового потока, которая представляет собой количество тепла, переходящее в единицу времени и отнесенное к единице площади изотермической поверхности. в общем случае плотность теплового потока при шлифовании может быть рассчитана по формуле [1, 2]:

$$q = \frac{P_z V_{kp}}{F}, \quad (1)$$

где P_z – тангенциальная составляющая силы резания, н, $V_{кр}$ – скорость шлифовального круга, м/с, F – площадь контакта шлифовального круга с изделием, мм².

Методология исследования

В отличие от обработки кругом прямого профиля, когда площадь контакта круга с изделием представляет собой прямоугольник, при электроэрозионном профильном шлифовании она имеет сложную форму. для определения локальной плотности теплового потока на отдельном участке выделим из шлифовального круга элемент шириной db и рассмотрим его взаимодействие с изделием. При плоском шлифовании длина дуги контакта определяется следующим образом [3, 4]:

$$L_{ki} = \sqrt{D_i t}, \quad (2)$$

где D_i – диаметр круга в рассматриваемой точке, мм, t – глубина шлифования, мм.

Результаты исследований

Расчеты показывают, что при изменении глубины профиля изменение диаметра круга составляет около 5%. При этом изменение длины дуги контакта будет не более 2,5%. Отсюда можно сделать вывод, что перепады профиля не оказывают существенного влияния на изменение величины L_{ki} . Исходя из этого вывода, диаметр шлифовального круга можно принять постоянным.

При электроэрозионном профильном шлифовании образующая линия профиля круга имеет сложную форму, вследствие чего условия резания на отдельных его участках, а также площадь контакта круга с изделием будут существенно различаться. Для произвольной точки профиля фактическая глубина шлифования t_{gi} определится как [4]:

$$t_{gi} = t \cos g_i, \quad (3)$$

где g_i – угол наклона местной нормали.

Учитывая (3), длину дуги контакта найдем следующим образом:

$$L_{ki} = \sqrt{D_i t_{gi}}. \quad (4)$$

Площадь контакта dF алмазного круга с обрабатываемой поверхностью выразится как:

$$dF = dBL_k, \quad (5)$$

С учетом (4), получим:

$$dF_i = dB\sqrt{D_i t_{gi}}, \quad (6)$$

Зависимость, иллюстрирующая изменение длины дуги контакта L_k и площади контакта F по профилю показана на рис. 1-2.

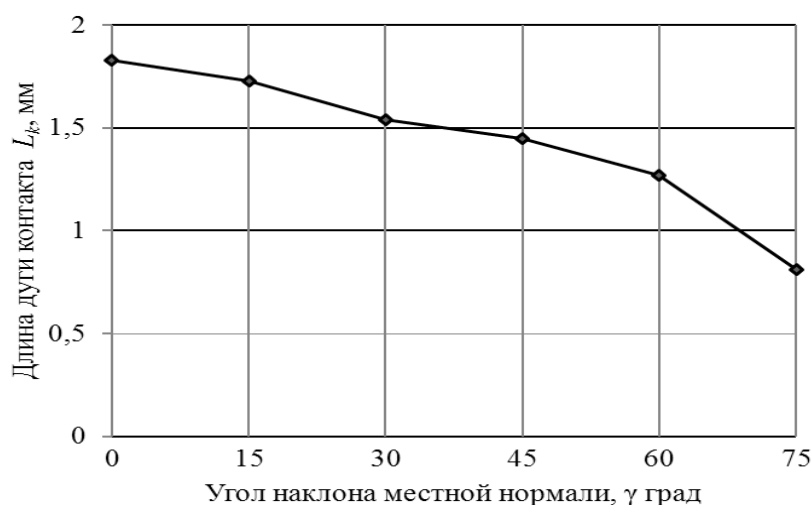


Рис. 1 Влияние угла наклона местной нормали ϑ на длины дуги контакта L_k

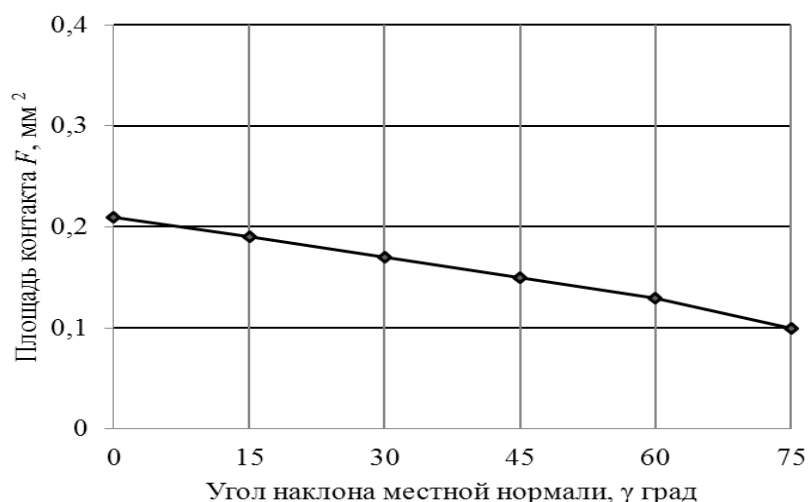


Рис. 2 Влияние угла наклона местной нормали ϑ на площадь контакта F

Из графиков видно, что увеличение угла ϑ приводит к уменьшению длины кривой контакта, и как следствие снижение величины площади контакта круга с деталью.

Тангенциальная составляющая силы резания P_z , возникающая при шлифовании, в общем случае определится как [5, 6, 7]:

$$P_z = C_{P_z} \times V_u^{x_{P_z}} \times V_{kp}^{y_{P_z}} \times B^{z_{P_z}} \times dB, \quad (7)$$

где C_{P_z} – коэффициент, учитывающий влияние обрабатываемого материала и условия обработки; V_u – скорость продольной подачи изделия; V_{kp} – скорость круга; B – ширина круга;

x_{P_z} , y_{P_z} , z_{P_z} – показатели степени, характеризующие степень влияния режимов шлифования.

Для элементарного участка dB с учетом (3) величина P_z находится следующим образом:

$$dP_z = C_{P_z} \times (t \cos g_i)^{x_{P_z}} \times V_u^{y_{P_z}} \times V_{kp}^{z_{P_z}} \times dB. \quad (8)$$

Скорость резания V_{kp} на элементарном участке будет равна:

$$V_{kp} = \frac{p D n}{1000 \times 60}, \quad (9)$$

где n – частота вращения шлифовального круга.

Тогда текущая величина плотности теплового потока выразится как:

$$q_i = \frac{dP_{z_i} \times V_{kp}}{dF_i}, \quad (10)$$

После подстановки (6), (8), (9) в (10) и преобразований получим формулу для расчета плотности теплового потока на элементарном участке профиля:

$$q_i = C_1 \times (\cos g_i)^{x_{P_z} - 0.5} \times D^{0.5 - z_{P_z}} \times 10^6, \quad (11)$$

где $C_1 = C_{P_z} \times t^{x_{P_z} - 0.5} \times V_u^{y_{P_z}} \times n^{1 - z_{P_z}} \left(\frac{p}{60 \times 10^3} \right)^{1 - z_{P_z}}$

На рис. 3 показано изменение плотности теплового потока q по профилю изделия. Из графика видно, что своего максимального значения тепловой поток достигает на горизонтальных участках профиля при $g = 0^\circ$. С увеличением угла наклона местной нормали тангенциальная составляющая силы резания уменьшается, вследствие чего снижается и плотность теплового потока. Анализ показывает, что увеличение скорости продольной подачи, также как и глубины шлифования приводит к росту плотности теплового потока. Это объясняется повышением уровня термодинамических нагрузок вследствие увеличения толщины слоя срезаемого одним зерном.

Широкое распространение наряду с многопроходным (маятниковым) шлифованием получило однопроходное (глубинное), когда весь припуск на обработку снимают за один рабочий ход. При этом происходит увеличение длины контакта круга с изделием, и длительность теплового воздействия оказывается на один-два порядка больше, чем при маятниковом шлифовании. Как показали исследования, уменьшение скорости продольной подачи позволяет значительно снизить теплонапряженность процесса. На рис. 4 показаны зависимости распределения плотности теплового потока при глубинном шлифовании.

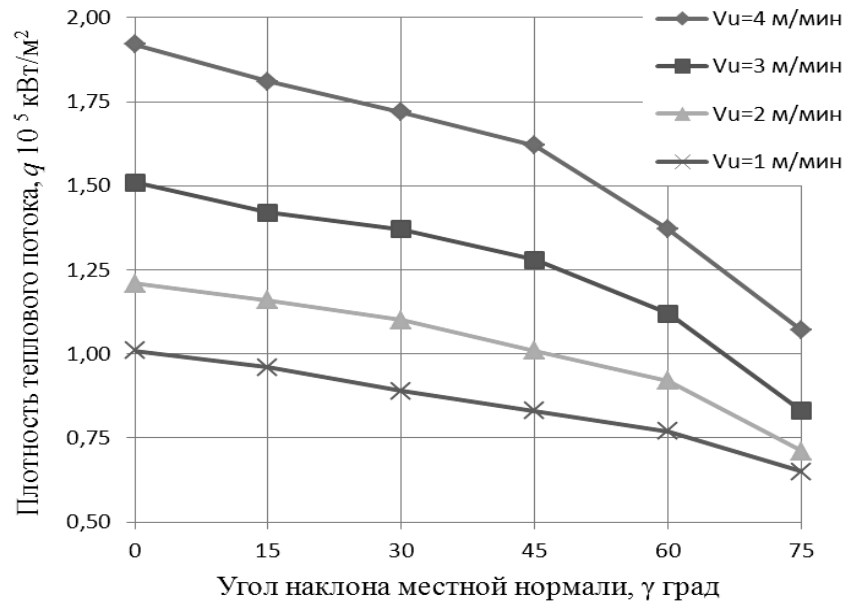


Рис. 3 Изменение плотности теплового потока от угла наклона местной нормали при маятниковом шлифовании

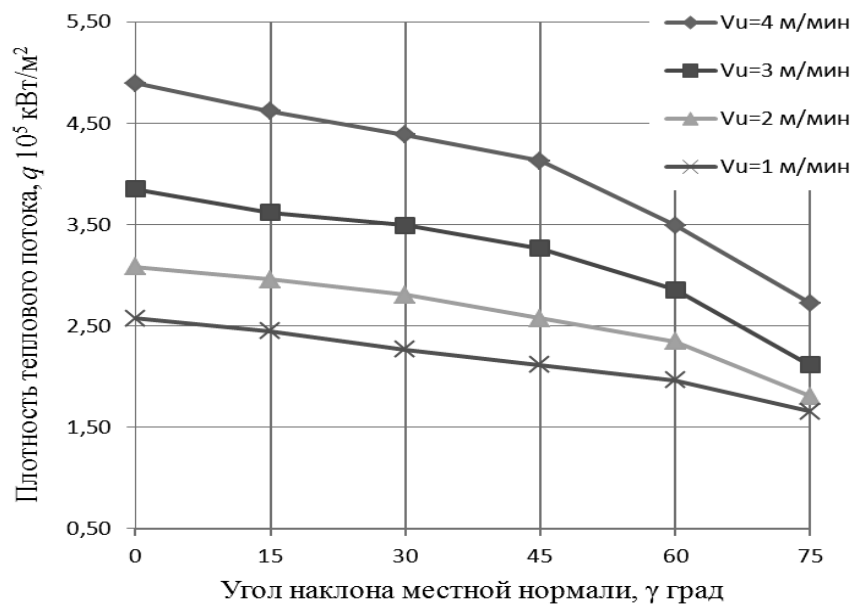


Рис. 4 Изменение плотности теплового потока от угла наклона местной нормали при глубинном шлифовании

Выводы

Таким образом, анализ показывает, что наибольшие значения плотности теплового потока, также как и при маятниковом шлифовании, наблюдаются при $\gamma = 0^\circ$. В этом случае глубина шлифования будет максимальной, следовательно, сила резания и тепловой поток наибольшими. При глубинном шлифовании увеличение скорости изделия приводит к росту

плотности теплового потока. Это объясняется увеличением толщины срезаемого слоя одним алмазным зерном. Анализ показывает, что при глубинном шлифовании плотность теплового потока достигает больших значений, чем при маятниковом. Однако, соответствующей корректировкой технологических режимов можно добиться уменьшения теплонапряженности процесса.

Список використаної літератури:

1. Дорофеев В. Д. Основы профильной алмазно-абразивной обработки / В.Д. Дорофеев. – Саратов : Изд-во Саратов. гос. ун-та, 1983. – 186 с.
2. In process estimation of fracture surface morphology during wheel scribing of a glass sheet by high-speed photoelastic observation / R. Hasegawa, S. Matsusaka, H. Hidai [et al.] // *Precis Engineering*. – 2016. –N 48. – Pp. 164-171.
3. Семко М. Ф. Основы алмазного шлифования / М. Ф. Семко, А. И. Грабченко, А. Ф. Раб, М. Д. Узунян [и др.]. – Киев : Техніка, 1978. – 192 с.
4. Gutsalenko Yu. Exploitative destruction features for detonation ultra-dispersed diamonds of initial metallic protection for abrasive powder grains to diamond-spark grinding tools / Yu. Gutsalenko, C. Iancu, S. Bratan // *Fiability & Durability*. – 2015. – No. 1 (14). – Pp. 3-8.
5. Кобзарь Л. Е. Прогрессивное алмазно-искровое шлифование / Л. Е. Коб-зарь, В. А. Фадеев, Н. К. Беззубенко. – Харьков : ХГПУ – ХНПО «ФЭД», 1995. – 152 с.
6. Development of a scribing wheel for cutting ceramic substrates and its wheel scribing and breaking technology / N. Tomei, K. Murakami, T. Hashimoto [et al.] // *JSAT*. – 2015. – N 59. – Pp. 705-710.
7. Физико-математическая теория процессов обработки материалов и технологии машиностроения : в 10 т. Т. 4 : Теория абразивной и алмазно-абразивной обработки материалов / под общ. ред. Ф. В. Новикова и А. В. Якимова. – Одесса : ОНПУ, 2002. – 802 с.

References

1. Dorofeev, VD 1983, *Osnovy profilnoj almazno-abrazivnoj obrabotki*, Izdatelstvo Saratovskogo gosudarstvennogo universiteta, Saratov.
2. Hasegawa, R, Matsusaka, S, Hidai, H, Chiba, A, Morita, N & Onuma, T 2016, 'In-process estimation of fracture surface morphology during wheel scribing of a glass sheet by high-speed photoelastic observation', *Precis Engineering*, no. 48, pp. 164-171.
3. Semko, MF, Grabchenko, AI, Rab, AF, Uzunjan, MD et al. 1978, *Osnovy almaznogo shlifovaniya*, Tehnika, Kiev.
4. Gutsalenko, Yu, Iancu, C & Bratan, S 2015, 'Exploitative destruction features for detonation ultra-dispersed dia-monds of initial metallic protection for abrasive powder grains to diamond-spark grinding tools', *Fiability & Durability*, no. 1 (14), pp. 3-8.
5. Kobzar, LE, Fadeev, VA & Bezzubenko, NK 1995, *Progressivnoe almazno-iskrovoe shlifovanie*, Harkovskij gosudarstvennyj pedagogicheskij universitet, HNPO FJeD, Harkov.
6. Tomei, N, Murakami, K, Hashimoto, T, Kitaichi, M, Hirano, S & Fukunishi, T 2015, 'Development of a scribing wheel for cutting ceramic substrates and its wheel scribing and breaking technology', *JSAT*, no. 59, pp. 705-710.
7. Novikov, FV & Jakimov, AV (eds.) 2002, *Fiziko-matematicheskaja teorija processov obrabotki materialov i tehnologii mashinostroenija*, vol. 4 *Teorija abrazivnoj i almazno-abrazivnoj obrabotki materialov*, Odesskij nacionalnyj politehnicheskij universitet, Odessa.

Стаття надійшла до редакції 12 квітня 2019 р.

DOI 10.32820/2079-1747-2019-23-49-57

УДК 620.18

ФОРМУВАННЯ СТРУКТУРИ ТА МЕХАНІЧНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ ЗВАРНИХ З'ЄДНАНЬ ТИТАНО-АЛЮМІНІЄВИХ КОМПОЗИТІВ

©Сичов Ю. І., Дереза К.О.

Українська інженерно-педагогічна академія

Інформація про автора:

Сичов Юрій Іванович: ORCID: 0000-0002-6576-8083; shanhaj_2007@ukr.net; кандидат технічних наук; доцент кафедри машинобудування та транспорту; Українська інженерно-педагогічна академія; вул. Університетська, 16, м. Харків, 61003, Україна.

Дереза Кирило Олексійович: ORCID: 0000-0001-7965-8371; scirill@gmail.com; студент факультету Комп'ютерних і інтегрованих технологій в виробництві та освіті; Українська інженерно-педагогічна академія; вул. Університетська, 16, м. Харків, 61003, Україна.

У статті показано аналіз композитних матеріалів та технологія їх одержання, металографічні особливості формування композиційних сполук з алюмінієвих сплавів. Наведені результати дослідження впливу деформаційних і термічних впливів на властивості композита ОТ4–АД1–АмГ6, вплив температурно-тимчасових факторів на кінетику дифузійної взаємодії титану з розплавом алюмінію в шаруватих матеріалах ВТ1-0–АД1 і ВТ1-0–АД1-ВТ1-0, конструктивні схеми й комплексна технологія одержання титано-алюмінієвих шаруватих інтерметалідних композитів.

Ключові слова: алюміній, титан, композити, інтерметаліди, структура.

Сычев Ю. И., Дереза К. А. «Формирование структуры и механических свойств сварных соединений титано-алюминиевых композитов».

В статье показано анализ композитных материалов и технология их получения, металлографические особенности формирования композиционных соединений из алюминиевых сплавов. Приведены результаты исследования влияния деформационных и термических воздействий на свойства композита ОТ4–АД1–АмГ6, влияние температурно-временных факторов на кинетику диффузионной взаимодействия титана с расплавом алюминия в слоистых материалах ВТ1-0–АД1 и ВТ1-0–АД1-ВТ1-0, конструктивные схемы и комплексная технология получения титано-алюминиевых слоистых интерметаллидных композитов.

Ключевые слова: алюминий, титан, композиты, интерметаллиды, структура.

Sychev Yu., Dereza K. «Formation of structure and mechanical properties of welded joints of titanium-aluminum composites».

The article shows that the structure that formed as a result of the liquid-phase diffusion of the layer is dispersed intermetallic inclusions of TiAl₃ in the matrix of aluminum-based solid solution. It is shown that the process of diffusion interaction of titanium with liquid aluminum consists of three stages: "initial stage" - low active growth of intermetallic interlayers at the Ti-Al interface; "Growth stage" - intensive formation of dispersed intermetallic TiAl₃ particles as a result of reaction at the border with titanium and the growth of an intermetallic layer with a constant for a given temperature TiAl₃ content; "Saturation stage" - an increase in the volume content of the TiAl₃ phase in the intermetallic layer.

The article presents the analysis of composite materials and the technology of their production, metallographic features of the formation of composite compounds from aluminum alloys. The results of the study of the influence of deformation and thermal effects on the properties of the composite OT4 – AD1-AMg6, the influence of temperature-time factors on the kinetics of the diffusion interaction of titanium with aluminum melt in layered materials VT1-0 –AD1 and VT1-0 –AD1-0, design schemes and complex technology for producing titanium-aluminum layered intermetallic composites.

It was found that the structure formed as a result of liquid phase diffusion of the layer is the disperse intermetallic inclusion of $TiAl_3$ in the matrix from a solid solution based on aluminum. It is shown that the process of diffusion interaction of titanium with liquid aluminum consists of three stages: the initial stage - the low-active growth of the intermetallic layer at the boundary of Ti-Al; stage growth - intense formation of disperse intermetallic particles $TiAl_3$ as a result of reaction on the boundary with titanium and growth of intermetallic layer with constant, for this temperature, content of $TiAl_3$; the saturation stage is an increase in the volume content of the $TiAl_3$ phase in the intermetallic layer.

Keywords: titanium, composites, intermetallic compounds, structure.

Актуальність. Актуальним напрямом у сучасному матеріалознавстві є створення жароміцних матеріалів з підвищеними службовими властивостями - шаруватих інтерметалідних композитів (ШМК), у яких інтерметаліди відіграють роль зміцнюючого компонента.

Ціль роботи. Розробка методів одержання титано-алюмінієвих шаруватих металевих і інтерметалідних композитів (ШМК і ШІК) на базі визначення закономірностей формування структурно-механічної неоднорідності з обліком температурно-тимчасових і деформаційних факторів.

Виклад основного матеріалу.

Деформування зразків КМ ОТ4-АД1-Амг6 здійснювали на універсальній гідравлічній машині УММ-10 за трьохточковою або консольною схемою з реалізацією на границі з'єднання ОТ4-АД1 поздовжніх деформацій розтягання або стиску. Розподіл залишкової поздовжньої деформації δ розраховували за результатами виміру параметрів прямокутної координатної сітки, що була попередньо нанесена на поліровану бічну грань зразків.

Металографічні дослідження композиційних титано-алюмінієвих зразків виконували на модульному моторизованому оптичному мікроскопі Olympus BX-61 із цифровою фіксацією мікроструктур компонентів композитних матеріалів (КМ) при збільшеннях 50-1000 разів. Вимірювання параметрів структури досліджуваних КМ здійснювали шляхом обробки цифрових фотографій на з використанням програми «AnalySIS» фірми Soft Imaging System GmbH.

Мікромеханічні властивості досліджуваних композитів після термосилових впливів оцінювали за результатами вимірювання мікротвердості за ДСТ 9450-76 на мікротвердомірі ПМТ-3.

Рентгеноструктурні дослідження проводили на універсальному дифрактометрі ДРОН-3 у характеристичному випромінюванні з використанням Ni-Фільтра для виключення випромінювання. Параметри тонкої структури компонентів титано-алюмінієвого композита ОТ4-

АД1-Амг6 вивчали після зварювання вибухом, вигину з різною величиною деформації, а також після термообробки деформованих зразків. Дифузійні процеси досліджували в умовах твердофазної взаємодії титану та алюмінію в КМ ОТ4-АД1-Амг6 при температурах 560, 590 і 630 °С та рідкофазного (з розплавленням алюмінію) при нагріванні композитів ОТ1-0 – АД1 і ВТ1-0 – АД1 – ВТ1-0 до 675, 700 і 750°С.

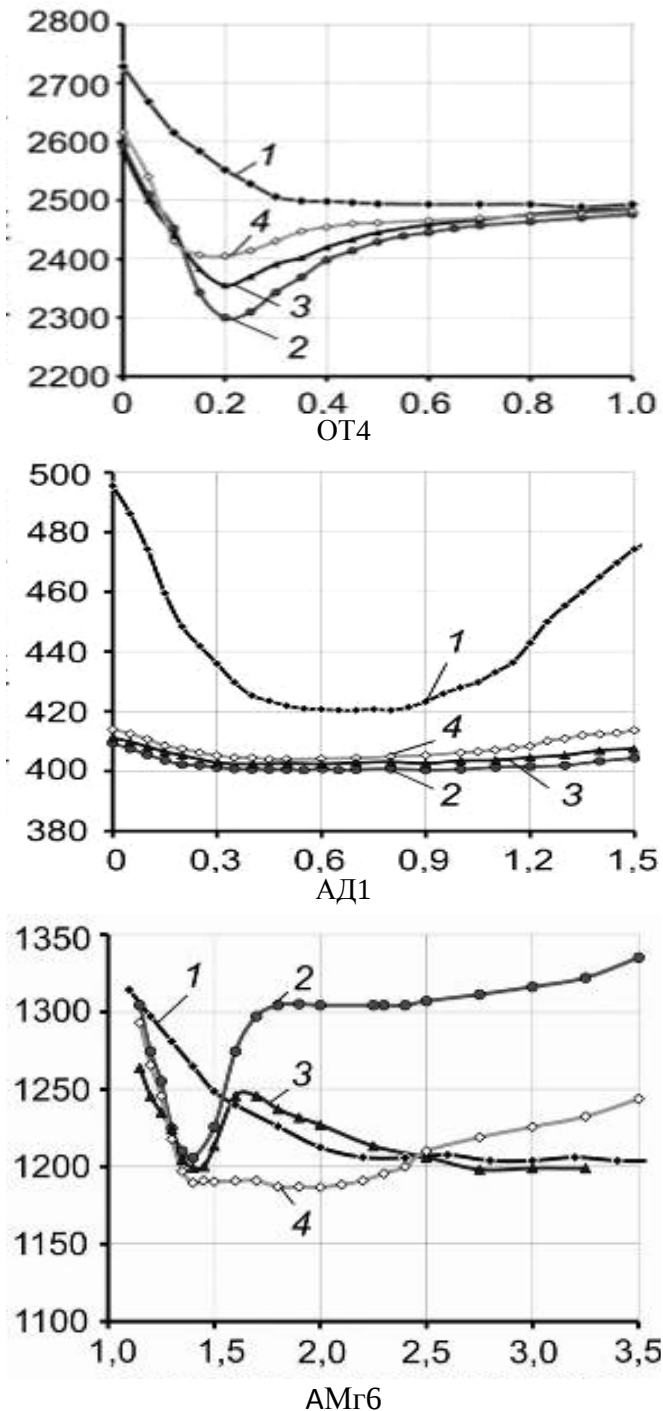


Рис. 1 – Зміна мікротвердості зварного композита ОТ4-АД1-Амг6

Результати дослідження впливу деформаційних і термічних впливів на властивості композита ОТ4 – АД1-Амг6. Максимальна величина реалізованих деформацій стиску зони з'єднання ОТ4-АД1 становила 1,7 %, деформацій розтягання - 17,5 %. У ході експериментів на прикладі титано-алюмінієвого композита ОТ4-АД1-Амг6 показано, що при деформуванні шаруватих КМ із компонентами, що різко різняться за властивостями, формування зон, що розтягуються і стискаються пластичними деформаціями у матеріалі, значно відрізняється від аналогічного при деформуванні монометалів і залежить від співвідношення механічних характеристик і товщин шарів КМ.

Розподіл мікротвердості за товщиною шарів композита після зварювання вибухом мало традиційний характер з її підвищенням у міру наближення до зони біля шва (ЗБШ), де зміцнення становило в сплаві ОТ4 - 12%, алюмінії АД1 - 20%, сплаві Амг6 - 7% у порівнянні із середньою твердістю за товщиною відповідних шарів (рис. 1 крива 1).

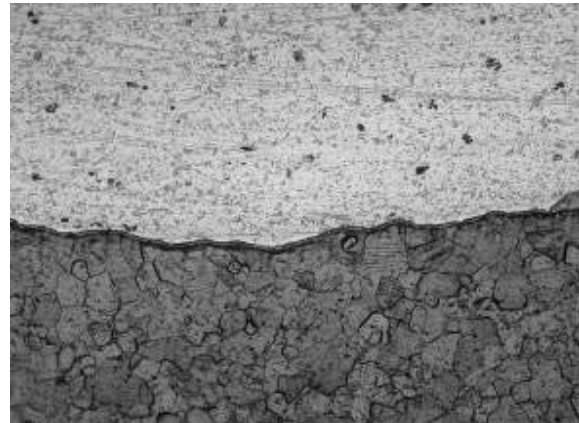
Деформація вигину композиційних зразків призвела, в основному, до підвищення й перерозподілу рівня мікротвердості компонентів КМ, вносячи додаткову механічну неоднорідність до уже існуючої у композиті після зварювання вибухом у вигляді зміцнених колошовних зон.

Однак вигин з реалізацією деформації стиску колошовної зони до 2 % з наступним розгинанням до вихідного стану призводив до локального знеміцнення ЗБШ, що максимально проявляється на відстані близько 0,2 мм від границь з'єднання (рис.1). Величина знеміцнення становила в сплаві ОТ4 - 5-8 %, в алюмінії - 10-15 % і в сплаві АМг6 - 5-6 % у порівнянні з вихідною твердістю після зварювання вибухом. Явище локального знеміцнення ЗБШ у досліджуваній композиції, виявлене раніше при вигині і розтяганні титано-сталевих і прокатці титано-алюмінієвих шаруватих металевих композитів, необхідно враховувати при розрахунку міцності композиційних вузлів і конструкцій. Нагрівання титано-алюмінієвого композита ОТ4-АД1-АМг6 до 560 °С у продовж 2 і 3 годин вплинув на його мікромеханічні властивості: так мікротвердість алюмінію АД1 і сплаву АМг6 знизилася на 30-50 % – до рівня твердості цих сплавів у відпаленому стані, у той час як у титановому сплаві ВІД4 зниження твердості відбулося на 8-10 %. Результати рентгеноструктурних досліджень звареного вибухом і деформованого титано-алюмінієвого композита показали, що найбільші зміни параметрів тонкої структури після зварювання вибухом і деформування вигином у зоні мінімальної (δ до 0,5 %) і максимальної деформації (δ від 15 до 29 %), спостерігалися в колошовних зонах титанового сплаву АД4 і алюмінії АД1 на відстані до 0,5 мм від границі з'єднання ОТ4-АД1. Фізичне розширення дифракційних ліній кристалічних ґраток ОТ4 і алюмінії АД1 обумовлені мікронапруженнями II роду. Нагрівання деформованих зразків при 560 °С призвело до значного зниження мікродеформацій осередків кристалічних ґраток сплаву ОТ4 (в 3-5 разів) і алюмінію АД1 (практично до нуля).

Вплив температурно-тимчасових факторів на утворення та зростання інтерметалідного прошарку на границі Ti-Al в умовах твердофазної дифузії досліджували при нагріві композита ОТ4-АД1-АМг6 до температур 560, 590 і 630 °С. Ріст суцільного інтерметалідного шару на границі Ti-Al (рис.2) відбувався відносно повільно, а максимальна його товщина становила в середньому 2,5, 3,5 і 14 мкм після нагрівання протягом 16 годин при 560, 590 і 630 °С, відповідно (рис. 3). Встановлено, що реалізована при вигині композита пластична деформація δ зони з'єднання ОТ4-АД1 величиною від -1,7 до +17,5 %, практично не впливає на кінетику зародження й росту інтерметалідного прошарку в процесі високотемпературних нагрівів. Побудовано температурно-тимчасову залежність утворення інтерметалідів у титано-алюмінієвих з'єднаннях (рис. 4) з урахуванням їх впливу на показники міцності зварного композитного матеріалу (ЗКМ). На графіку виділені три області: безпечні нагриви, при яких інтерметаліди не утворюються, припустимі нагриви з товщиною інтерметалідного прошарку до 2 мкм, що не призводить до зниження міцності з'єднаних шарів, і небезпечні нагриви, при яких товщина інтерметалідів перевищує припустиму величину 2 мкм, що значно знижує показники міцності титано-алюмінієвих з'єднань. Узагальнення результатів досліджень твердофазної дифузії показало, що низька швидкість росту інтерметалідів у титано-алюмінієвих композитах не дозволяє ефективно застосовувати існуючі комплексні технології для одержання титано-алюмінієвих зварних інтерметалідних композитів (ЗІК), з об'ємним вмістом інтерметалідів до 20 - 60 %. Для рішення цього завдання була розроблена нова комплексна технологія одержання титано-алюмінієвих ЗІКз необхідним об'ємним вмістом інтерметалідів, яка передбачає здійснення термообробки титано-алюмінієвих ЗКМ, що формує інтерметалідні шари в умовах рідкофазної дифузійної взаємодії титану і алюмінію.



1 година



2 години



4 години



8 годин

Рис. 2 – Суцільний інтерметалідний прошарок $TiAl_3$ на границі з'єднання ОТ4 – АД1 після відпалу при 630 °C (500)

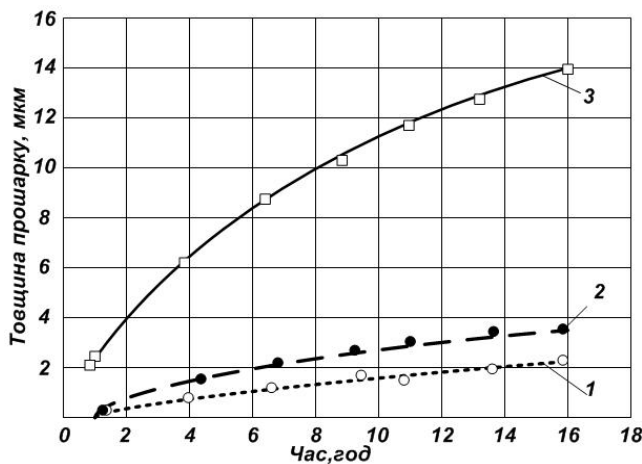


Рис. 3 – Залежність зміни періоду утворення інтерметалідного прошарку від часу відпалу

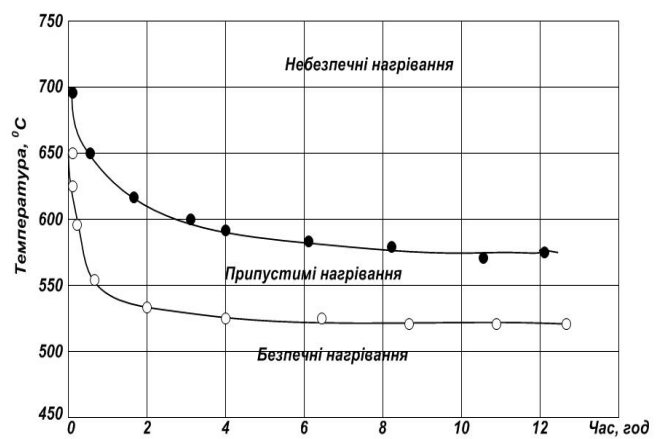


Рис. 4 - Температурно-годинна залежність утворення інтерметалідів в титано-алюмінієвих ЗКМ

Встановлені закономірності процесу формування структури дифузійного шару (рис. 5), що полягає в зародженні в зоні контакту металів тонкого інтерметалідного прошарку, що після певного періоду починає активно проникати вглиб титану, розчиняючи його поверхневий шар з виділенням дисперсних інтерметалідних часток $TiAl_3$ у розплав. Частки $TiAl_3$, що

виділяються, формують дифузійний шар, який за рахунок поступового збільшення своєї товщини заповнює весь обсяг розплавленого алюмінію. Після його заповнення одночасно триває ріст товщини дифузійного шару (за рахунок розчинення титану) і відбувається збільшення вмісту в ньому інтерметаліда $V_{об}$ до повного зникнення алюмінієвої фази.

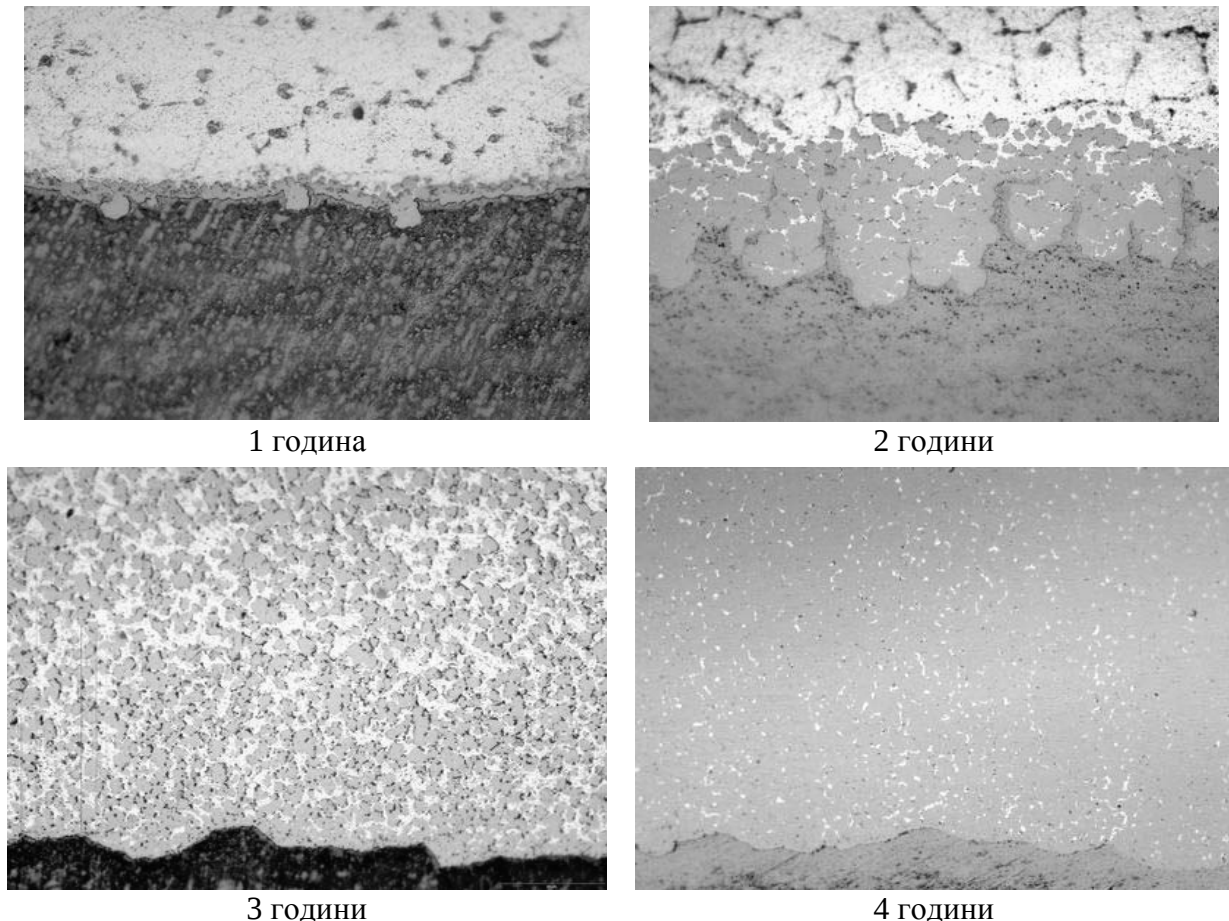


Рис. 5 – Структура композита BT1-0-АД1 після відпалу при 700 °С ($\times 500$)

У процесі формування дифузійного шару при рідкофазній взаємодії титану і алюмінію можна виділити три етапи (рис. 6): «початкова стадія» - малоактивний ріст інтерметалідного прошарку на границі Ti-Al; «стадія росту» - інтенсивне збільшення товщини дифузійного шару з постійним для даної температури вмістом дисперсних часток інтерметаліда $TiAl_3$; «стадія насичення» - збільшення об'ємного вмісту фази $TiAl_3$ у дифузійному шарі.

Встановлено, що в результаті взаємодії титану з розплавом алюмінію формуються дифузійні шари, товщини яких на один-два порядки перевищують товщини інтерметалідних прошарків при твердофазній дифузії. Структура дифузійного шару матрична на базі твердого розчину на основі алюмінію з дисперсними інтерметалідними включеннями. Рентгенофазовий аналіз показав, що дисперсна фаза, яка виникає на всіх стадіях рідкофазної дифузійної взаємодії титану та алюмінію при температурах 675, 700 і 750 °С, є інтерметалідом $TiAl_3$.

Зміна об'ємного вмісту інтерметалідної фази в дифузійному шарі в процесі відпалу при різних температурах показана на рис. 7. В «початковій стадії» помітних змін вмісту інте-

рметалідів у розплаві не відбувалося; в «стадії росту» спостерігалось поступове збільшення вмісту фази TiAl_3 в алюмінії до постійної для кожної температури нагрівання величини: 80, 60 і 50 % при 675, 700 і 750 °С, відповідно; в «стадії насичення» вміст інтерметалідів збільшувався одночасно в повному обсязі дифузійного шару.

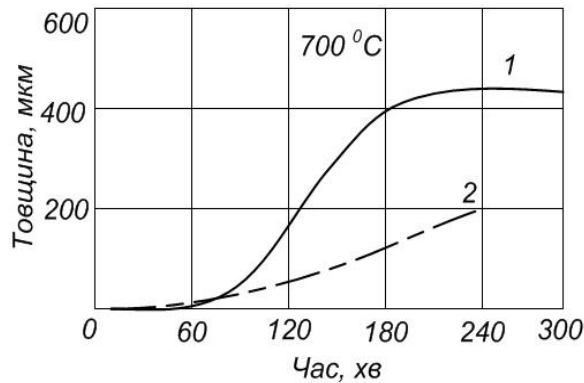


Рис. 6 – Кінетика росту інтерметалідного шару та розчинення титану при різних температурах

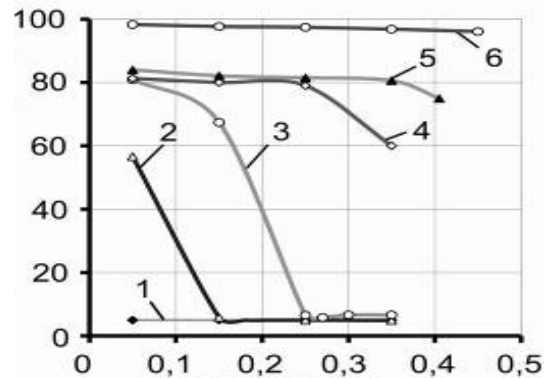
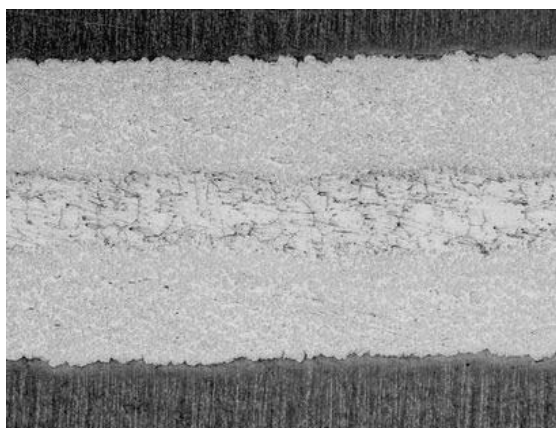


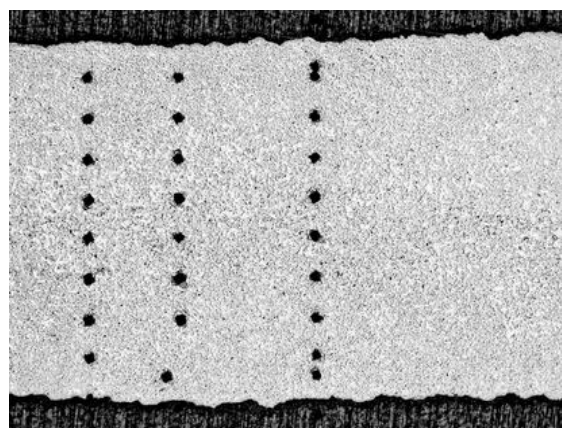
Рис. 7 – Зміна об'ємного вмісту інтерметалідних включень $V_{об}$ за товщиною дифузійного шару

На прикладі тришарового композита ОТ1-0-АД1-ВТ1-0 показано (рис. 8), що процес формування і параметри дифузійних шарів на кожній із границь з'єднання багатшарових титано-алюмінієвих КМ практично однакові й не залежать від кількості вихідних шарів і їхньої просторової орієнтації.

Вимірювання мікротвердості показали (рис. 9), що істотні зміни мікромеханічних характеристик інтерметалідного шару відбуваються при об'ємному вмісті $V_{об}$ дисперсних часток TiAl_3 в алюмінієвій матриці понад 40-50 %.



а



б

Рис. 8 – Структура композита ВТ1-0-АД1-ВТ1-0 після відпалу при 700 °С ($\times 500$) протягом: а - 2 год, б - 3 год

Результати дослідження кінетики процесів рідкофазної дифузійної взаємодії в титано-алюмінієвих ЗКМ і властивостей одержуваних інтерметалідних композитів показали доцільність застосування комплексних технологій з термічною обробкою при температурах вище

температури плавлення алюмінію для одержання шаруватих інтерметалідних композитів з об'ємним вмістом інтерметалідної фази до 20 – 60 %.

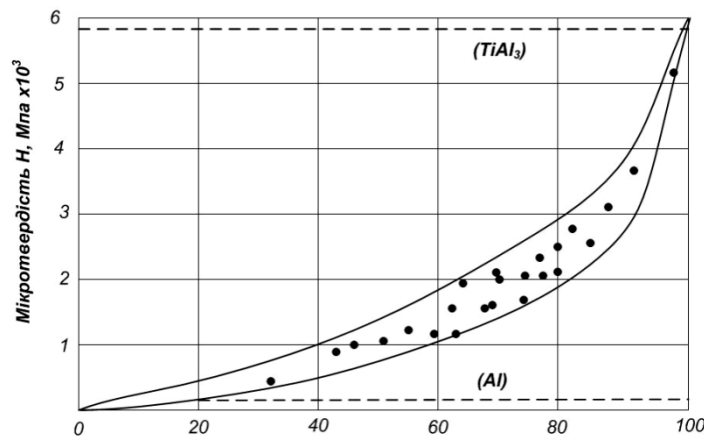


Рис. 9 – Зміна мікротвердості дифузійного шару залежно від вмісту $TiAl_3$

На базі проведених досліджень розроблені композити із шарів титану, що забезпечують міцність і пластичність при нормальних температурах, та інтерметаліда $TiAl_3$ - зміцнюючого компонента, що підвищує жароміцність (рис. 10).



Рис. 10 – Схема комплексного технологічного процесу виготовлення титано-алюмінієвих шаруватих інтерметалідних композитів

Розроблена комплексна технологія включає зварювання шаруватих композитів, обробку тиском і високотемпературну обробку. Операція зварювання шарів може виконуватися шляхом спільної прокатки або за допомогою енергії вибуху.

Висновки.

Виявлено, структура що сформувалась в результаті рідкофазної дифузії шару являє собою дисперсні інтерметалідні включення $TiAl_3$ у матриці із твердого розчину на основі алюмінію. Показано, що процес дифузійної взаємодії титану з рідким алюмінієм складається із трьох етапів: «початкова стадія» - малоактивний ріст інтерметалідного про шарку на границі $Ti-Al$; «стадія росту» - інтенсивне утворення дисперсних інтерметалідних часток $TiAl_3$ у результаті реакції на границі з титаном і ріст інтерметалідного шару з постійним, для даної температури, змістом $TiAl_3$; «стадія насичення» - збільшення об'ємного змісту фази $TiAl_3$ в інтерметалідному шарі.

Список использованных источников:

1. Влияние деформации изгиба на кинетику диффузии в сваренном взрывом композите OT4–AD1–AMg6 / Ю. П. Трыков, Л. М. Гуревич, А. Н. Жоров [и др.] // Перспективные материалы. – 2003. – № 6. – С. 76-80.
2. Особенности деформирования и кинетика диффузии в сваренном взрывом титано-алюминиевом композите / Ю. П. Трыков, Л. М. Гуревич, А. Н. Жоров [и др.] // Физика и химия обработки материалов. – 2004. – № 3. – С. 50-54.
3. Трыков Ю. П. Диффузионные процессы в сваренных взрывом титано-алюминиевых соединениях / Ю. П. Трыков, Л. М. Гуревич, А. Н. Жоров // Конструкции из композиционных материалов. – 2005. – № 2. – С. 19-23.
4. Elmarakbi A. Advanced Composite Materials for Automotive Applications: Structural Integrity and Crashworthiness / A. Elmarakbi. – Delhi : John Wiley & Sons, 2014. – 470 p.
5. Advanced Composite Materials / Ed. by Ashutosh Tiwari, Moha mmad Rabia Alenezi, Seong Chan Jun. – New Delhi : Scrivener Publishing LLC, 2016. – 480 p.

References

1. Trykov, JuP, Gurevich, LM, Zhorov, AN et al. 2003, 'Vlijanie deformacii izgiba na kinetiku diffuzii v svarennom vzryvom kompozite OT4–AD1–AMg6', Perspektivnye materialy, no. 6, pp. 76-80.
2. Trykov, JuP, Gurevich, LM, Zhorov, AN et al. 2004, 'Osobennosti deformirovaniya i kinetika diffuzii v svarennom vzryvom titano-aljuminievom kompozite', Fizika i himija obrabotki materialov, no. 3, pp. 50-54.
3. Trykov, JuP, Gurevich, LM & Zhorov, AN 2005, 'Diffuzionnye processy v svarennyh vzryvom titano-aljuminievyh soedinenijah', Konstrukcii iz kompozicionnyh materialov, no. 2, pp. 19-23.
4. Elmarakbi, A 2014, Advanced Composite Materials for Automotive Applications: Structural Integrity and Crashworthiness, John Wiley & Sons, Delhi.
5. Ashutosh Tiwari, Moha mmad Rabia Alenezi, Seong Chan Jun Advanced (eds.) 2016, Composite Materials, Scrivener Publishing LLC, New Delhi.

Стаття надійшла до редакції 15 квітня 2019 р.

DOI 10.32820/2079-1747-2019-23-58-67

УДК 621.867.82

**ПРОЕКТУВАННЯ ВАЖІЛЬНИХ МЕХАНІЗМІВ
В КУРСІ ТММ З ВИКОРИСТАННЯМ ПЕОМ**

©Сичов Ю.І.¹, Вадимов Е. О.²

*Українська інженерно-педагогічна академія¹
Навчально-науковий професійно-педагогічний інститут
Української інженерно-педагогічної академії (м. Бахмут)²*

Інформація про авторів:

Сичов Юрій Іванович: ORCID: 0000-0002-6576-8083; shanhaj_2007@ukr.net; кандидат технічних наук; доцент кафедри машинобудування та транспорту; Українська інженерно-педагогічна академія; вул. Університетська, 16, м. Харків, 61003, Україна.

Вадимов Едуард Олександрович: ORCID: 0000-0003-3377-3192; vladimiroved1937@gmail.com; кандидат технічних наук; доцент кафедри електромеханічних та комп'ютерних систем; Навчально-науковий професійно-педагогічний інститут Української інженерно-педагогічної академії; вул. Миру, 5, м. Бахмут, 84500, Україна.

У статті наведено виклад оригінальної методики комплексного розрахунку важільного механізму другого класу, наведено програмне забезпечення що включає оригінальні методики, встановлені в середовищі TurboPascal, робочу програму розрахунку механізму розробляє сам користувач, керуючись доданими методичними вказівками, візуалізація роботи програми заснована на використанні графічних засобів середовища TurboPascal, серйозна увага приділяється контролю правильності роботи програми на всіх етапах її розробки, результати роботи програми можна спостерігати на екрані дисплея і роздруковувати на твердому носії, графічні побудови вручну повністю відсутні.

Ключові слова: динамічний аналіз механізму, момент інерції маховика, диференціальне рівняння, динамічна модель, ланка, привод, структурна група.

Сычев Ю.И., Вадимов Э.А. «Проектирование рычажных механизмов в курсе ТММ с использованием ПЭВМ».

В статье приведено изложение оригинальной методики комплексного расчета рычажного механизма второго класса, приведен программное обеспечение включает оригинальные методики, установленные в среде TurboPascal, рабочую программу расчета механизма разрабатывает сам пользователь, руководствуясь приложенными методическими указаниями, визуализация работы программы основана на использовании графических средств среды TurboPascal, серьезное внимание уделяется контролю правильности работы программы на всех этапах ее разработки; результаты работы программы можно наблюдать на экране дисплея и распечатывать на твердом носителе, графические построения вручную полностью отсутствуют.

Ключевые слова: динамический анализ механизма, момент инерции маховика, дифференциальное уравнение, динамическая модель, звено, привод, структурная группа.

Sychev Yu., Vadimov E. «The theory of mechanisms and machines is a fundamental discipline for students of machine-building profile, and the course project-the first comprehensive work, the main provisions of which are used in the future in the study of special disciplines».

It should be noted that the main theoretical provisions of the course are based on the use of mathematical apparatus with the use of analytical and graphical methods for solving problems that are the basis for solving problems of course design.

Analytical methods are characterized by significant labor input, as well as graphic and low accuracy. For several decades of the last century, the course project was carried out by the method, the main provisions of which were laid out in several editions of the textbook. Since the eighties in the process of course design began the introduction of computer technology. At the same time, different researchers had different approaches to solving individual stages of the course project. In this regard, it is important to determine the optimal construction of the course project and methods of its implementation.

The analysis of previous developments was carried out by studying and familiarizing with educational and methodical literature. A large number of original materials are now available on the Internet. However, in all these sources there is no single approach to the study of lever mechanisms. The article presents the original method of complex calculation of the lever mechanism of the second class; the software includes the original methods installed in the TurboPascal environment; the working program of the mechanism is developed by the user himself, guided by the attached methodological instructions; the visualization of the program is based on the use of graphical tools of the TurboPascal environment; serious attention is paid to the control of the correctness of the program at all stages of its development; the results of the program can be seen on the display screen and printed on a hard drive; graphic construction manually completely absent.

Keywords: Dynamic analysis of the mechanism, the moment of inertia of the flywheel, differential equation, dynamic model, link, drive, structural group.

Актуальність. У різних дослідників були різні підходи вирішення окремих етапів проектування важільних механізмів. У зв'язку з цим актуальним є визначення оптимальної побудови розрахунків з використанням ПЕОМ.

Ціль роботи. Ознайомити читачів з оригінальною методикою комплексного розрахунку важільного механізму другого класу.

Виклад основного матеріалу.

Комплексний розрахунок важільного механізму складається з наступних етапів:

1) структурний аналіз важільного механізму, що містить довільне число структурних груп Асура п'яти видів; 2) метричний аналіз, що включає визначення передавальних функцій нульового (ПФ0), першого (ПФ1) і другого (ПФ2) порядків основних елементів механізму: окремих точок і поздовжніх осей ланок; 3) контроль правильності отриманих результатів; 4) визначення параметрів динамічної моделі механізму: приведених до початкової ланки моменту всіх зовнішніх активних сил (крім моменту двигуна), приведенного моменту інерції і його похідної за узагальненою координатою (УК) всіх ланок (крім маховика); 5) вибір асинхронного електродвигуна для приводу механізму; 6) рішення диференціального рівняння руху початкової ланки механізму з одночасним визначенням моменту інерції маховика і передавального відношення приводу; 7) кінематичний аналіз механізму і визначення інерційних навантажень на ланки механізму; 8) контроль правильності динамічного аналізу механізму;

9) силовий розрахунок структурних груп з аналізом його правильності; 10) глобальна перевірка правильності розрахунку механізму.

Для вирішення поставлених завдань було розроблено спеціальне програмне забезпечення для роботи в середовищі TurboPascal.

Для виконання метричного аналізу за пунктом 2 були розроблені спеціальні процедури як для розрахунку початкової ланки, так і для розрахунку дволанкових структурних груп всіх п'яти видів.

Вхідними параметрами в цих процедурах є передавальні функції зовнішніх досновних КП і геометричні параметри всіх ланок групи. Процедура повертає ПФ елементів групи. Слід зазначити, що крім розрахунків ПФ процедура малює на екрані дисплея зображення відповідної структурної групи і після послідовного приєднання структурних груп можна отримати повне зображення механізму. Укладаючи цей фрагмент програми в цикл, можна отримати рухоме зображення механізму, тобто його мультимедійну модель.

Аналіз мультимедійної моделі дозволяє оцінити правильність структурного аналізу механізму за пунктом 1, тому що при помилковому виборі структурних груп або геометричних розмірів елементів на екрані буде спотворене зображення механізму або з'явиться напис «Складання немає».

Важливим етапом роботи програми є контроль правильності визначення передавальних функцій всіх елементів механізму. Якісна перевірка здійснюється за допомогою спеціальної процедури Grafik.pas, яка виводить на екран з графіка передавальних функцій будь-якого елементу механізму, які пов'язані між собою операціями диференціювання. Аналіз цих графіків щодо положень точок екстремуму і точок перегину дозволяє попередньо оцінити правильність виконаних розрахунків, а остаточний висновок можна отримати за допомогою спеціальної процедури TestPf.pas, яка виконує порівняння результатів, отриманих аналітичним і чисельним методами. Визначення параметрів динамічної моделі механізму за пунктом 4 виконується за допомогою операторів, включених в текст програми.

Зокрема, приведений до початкової ланки момент всіх зовнішніх активних сил (крім моменту двигуна) визначається з виразу:

$$Q_1 = \sum_{i=1}^n (G_{iy} y_{Si}^0 + F_{ix} x_{Ki}^0 + F_{iy} y_{Ki}^0 + M_{ij} j_i^0) \quad (1)$$

а приведений момент інерції і його похідної за УК всіх ланок (крім маховика) визначаються за формулами:

$$I_{II} = \sum_{i=2}^n [m_i (x_{Si}^2 + y_{Si}^2) + I_{Si} j_i^2] \quad (2)$$

$$I'_{II} = 2 \times \sum_{i=2}^n [m_i (x_{Si}^0 x_{Si}^0 + y_{Si}^0 y_{Si}^0) + I_{Si} j_i^0 j_i^0] \quad (3)$$

Вибір асинхронного електродвигуна для приводу механізму за пунктом 5 виконується за допомогою спеціальної діалогової процедури Motor.pas по каталогу двигунів. При цьому вихідними даними є максимально допустима частота обертання ротора двигуна і його потрі-

бна потужність. Процедура повертає механічну характеристику обраного двигуна, за допомогою якої можна оцінити і вибрати коефіцієнт нерівномірності обертання кривошипа.

Далі за пунктом 6 за допомогою спеціальної процедури `Dinamo.pas` виконується рішення диференціального рівняння руху початкової ланки механізму з одночасним визначенням моменту інерції маховика і передавального відношення приводу.

На наступному етапі за допомогою операторів, що включаються в текст програми, виконується кінематичний аналіз механізму, що містить визначення проекцій на координатні осі швидкостей і прискорень точок механізму, а також кутових швидкостей і прискорень ланок механізму, що дозволяє визначити інерційні навантаження на ланки: проекції на координатні осі головних векторів сил інерції і головних моментів сил інерції.

Далі у відповідність з пунктом 8 проводиться контроль правильності динамічного аналізу механізму за допомогою оператора, що представляє собою запис рівняння Лагранжа-Даламбера (загального рівняння динаміки) у формі:

$$\begin{aligned} \text{Pogr1[i]} := & \text{Mpd[i]} + \text{Mpc[i]} + \text{Mf1[i]} + (\text{F2x[i]} * \text{Xa_1[i]} + \text{F2y[i]} * \text{Ya_1[i]} + \\ & \text{F3x[i]} * \text{Xs3_1[i]} + \text{F3y[i]} * \text{Ys3_1[i]} + \text{F4x[i]} * \text{Xs4_1[i]} + \text{F4y[i]} * \text{Ys4_1[i]} + \\ & \text{F5y[i]} * \text{Yd_1[i]}) / 1000 + (\text{Mf2[i]} + \text{Mf3[i]}) * \text{Fik_1[i]} + \text{Mf4[i]} * \text{Ficd_1[i]}; \end{aligned}$$

Аналіз отриманого результату оцінюється за допомогою графіка, що виводиться на екран. Наступними етапами розрахунку є проведення силового розрахунку всіх структурних груп механізму за допомогою спеціальних процедур з перевіркою їх правильності. В процесі роботи цих процедур на екрані можна спостерігати побудову планів сил для будь-якого положення механізму. На закінчення за пунктом 10 проводиться глобальна перевірка правильності розрахунку механізму.

Методика виконання роботи полягає в наступному. Спочатку постановник завдання направляє на скайп або електронну пошту виконавця програми, які створюють оригінальний модуль `tr7` і додаткові модулі у форматі `dos`, що включають всю необхідну додаткову інформацію. Після завантаження за посиланням цих файлів користувач, керуючись пояснюючою інформацією, приступає до розробки програми. Далі наведені копії екранів, де представлені основні результати роботи програми. На рис.1 представлена схема механізму для одного з 48-ми положень мультимедійної моделі механізму.

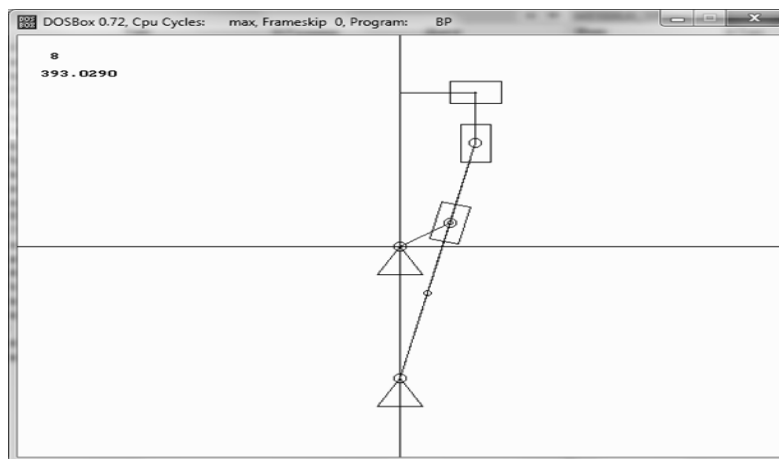


Рис.1. Кінематична схема механізму для одного з 48-ми положень кривошипа.

У лівому верхньому кутку номер положення кривошипа і кут, відлічуваний від позитивного напрямку осі абсцис.

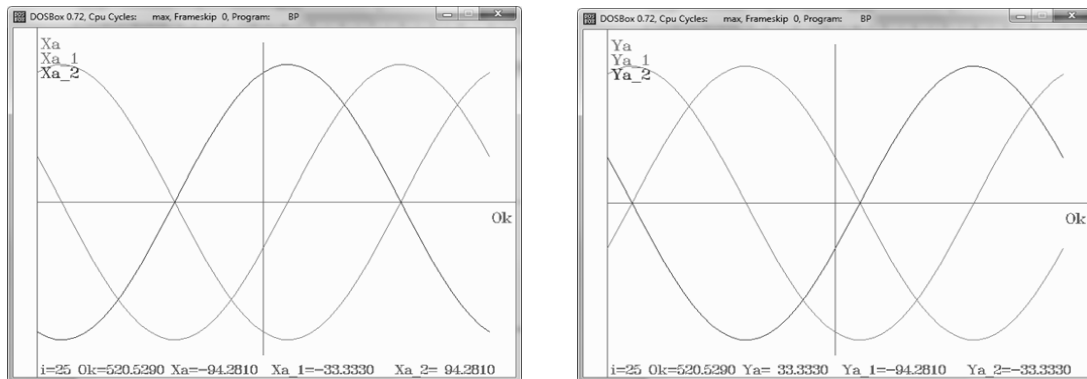


Рис.2.Графіки проєкцій лінійних передавальних функцій осі шарніра А кривошипа: зелена крива-передавальна функція нульового порядку (ПФ0), червона крива- передавальна функція першого порядку (ПФ1), бузкова крива- передавальна функція другого порядку (ПФ2), вертикальна лінія-курсор, нижній рядок містить номер положення механізму і значення ПФ в мм.

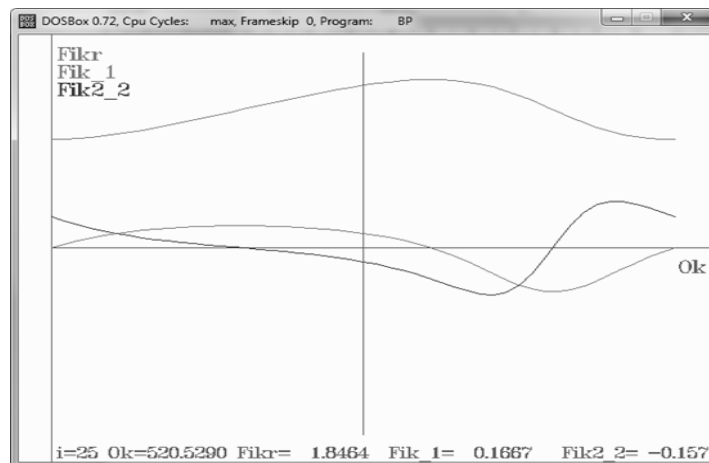


Рис.3.Графіки ПФ повздовжньої осі куліси ПФ0 у рад, а ПФ1 и ПФ2-безрозмірні величини

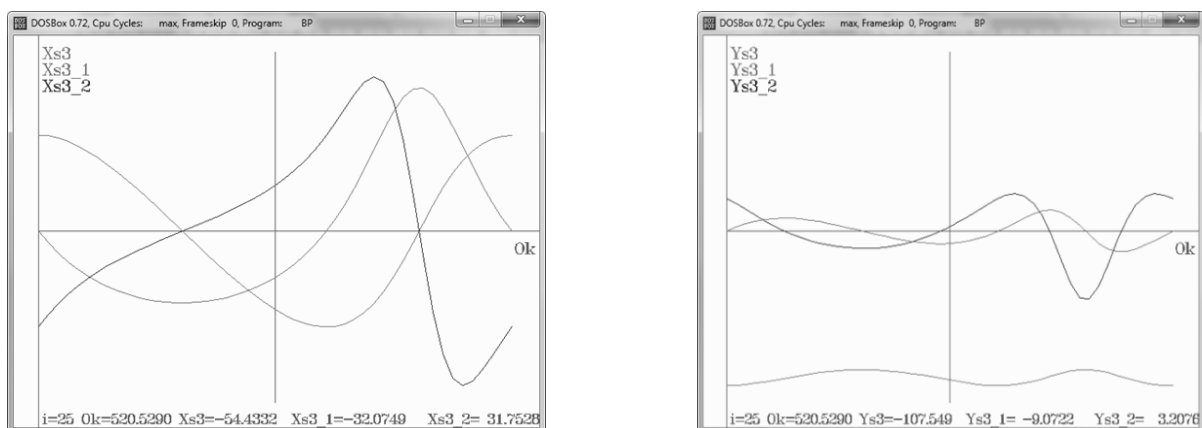


Рис.4. Графіки проєкцій ПФ центра мас куліси у мм

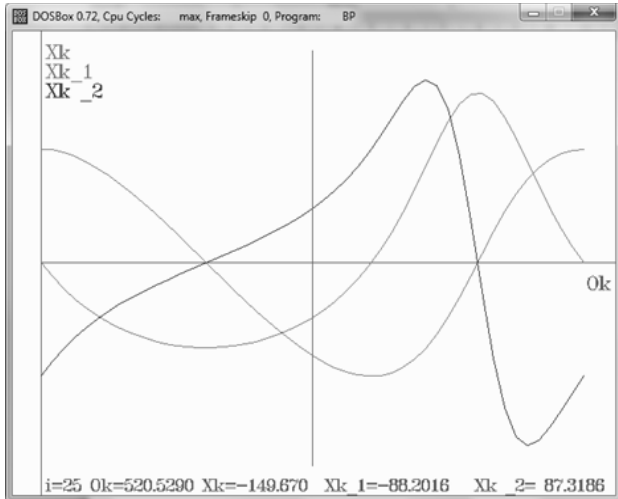


Рис.5. Графіки ПФ повзуна у мм

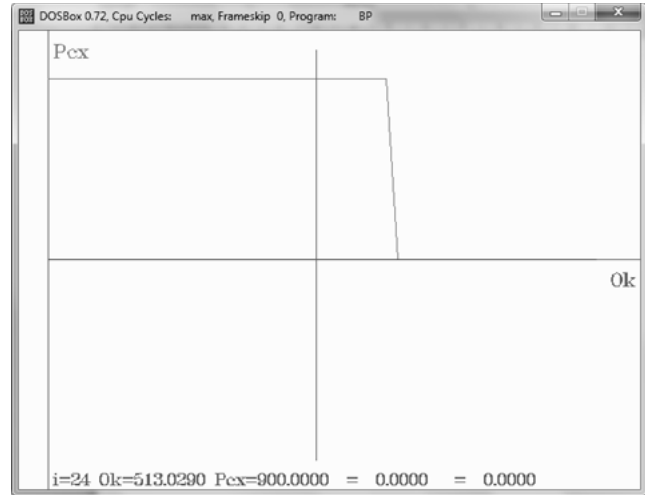


Рис.6. Графік сили технологічного опору у Н

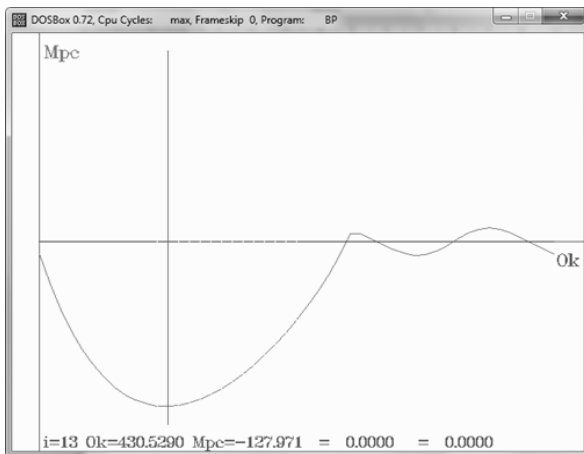


Рис.7. Графік приведенного до кривошипу сумарного моменту сили технологічного опору і сил тяжіння ланок у Нм

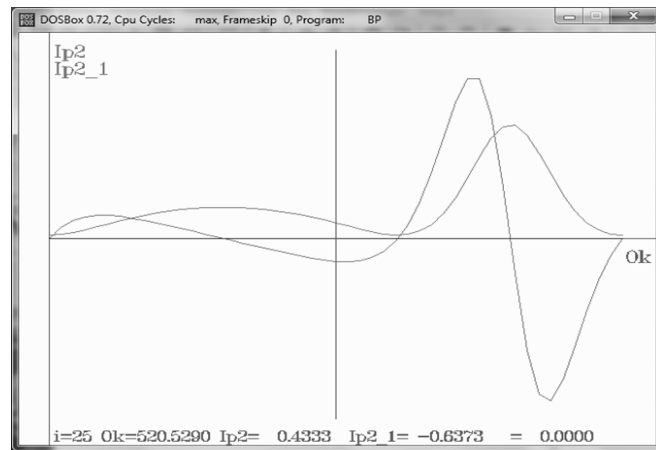
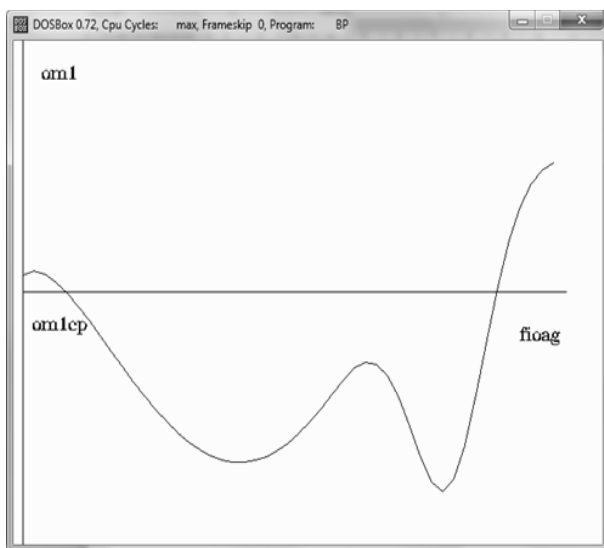
Рис.8. Графіки приведенного моменту інерції ланок механізму (зелена крива у $\text{кг}\cdot\text{м}^2$) і першої похідної за УК(червона крива)

Рис.9. Графік зміни кутової швидкості кривошипа на протязі першого обороту

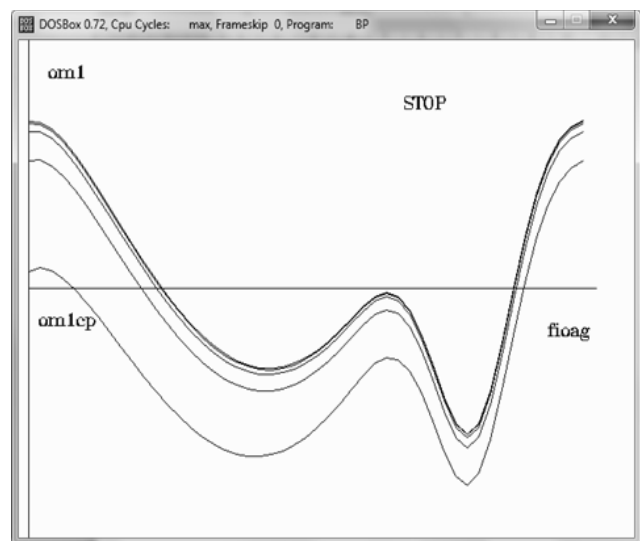


Рис.10. Ітераційний процес рішення диференціального рівняння обертання кривошипу

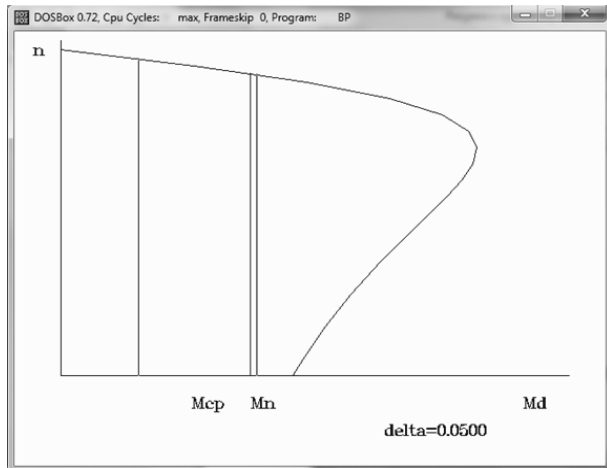


Рис.11. Механічна характеристика вибраного асинхронного двигуна з зазначенням робочої ділянки, якій відповідає $\delta=0,05$

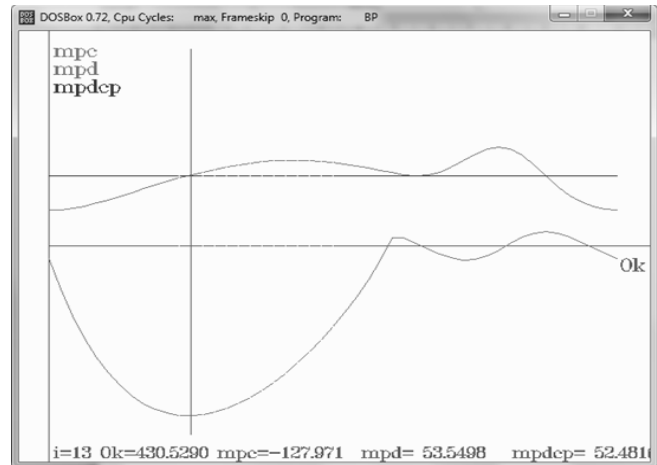


Рис.12. Графіки приведених моментів сил опору (зелена крива), моменту двигуна (червона крива) та середнього моменту рушійних сил (бузкова крива)

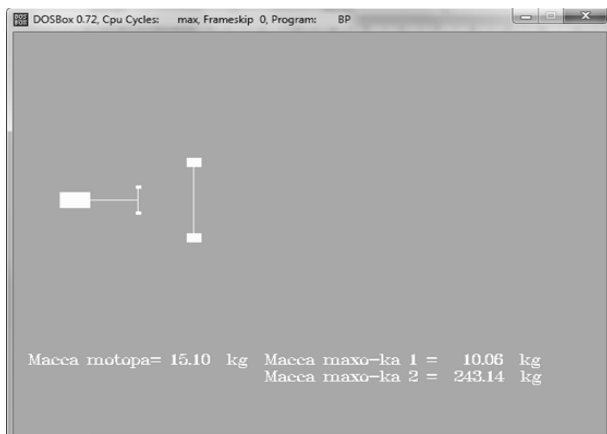


Рис.13. Порівняльна оцінка габаритів і маси двигуна і маховика для двох варіантів його установки: на валу двигуна і на вихідному валу редуктора

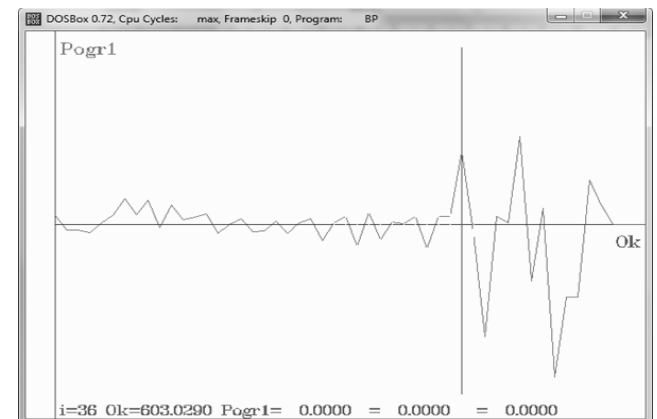


Рис.14. Контроль правильності динамічного аналізу механізму. Похибка розрахунку Pogr1-це машинні нулі, що свідчать про правильність виконаного розрахунку.

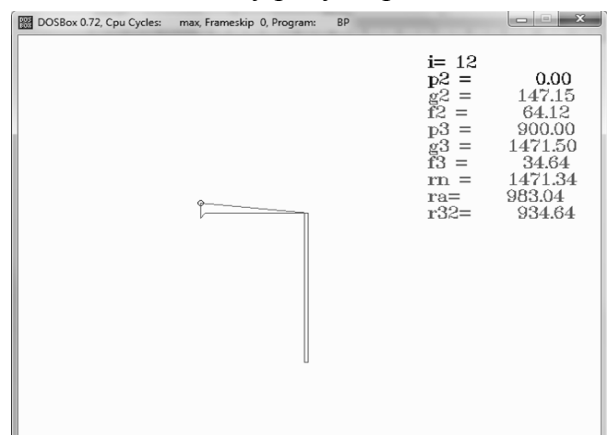
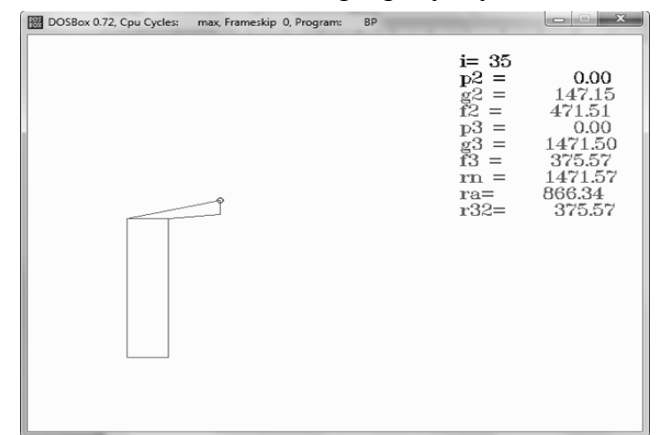


Рис.15. Побудова планів сил для двох положень групи Ассура 5-го виду (положення 12 для робочого ходу та положення 35-для холостого ходу)



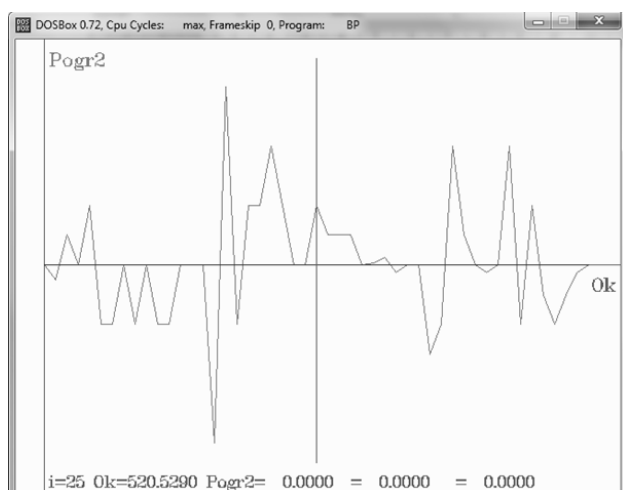


Рис.16. Контроль правильності силового розрахунку групи 5-го виду

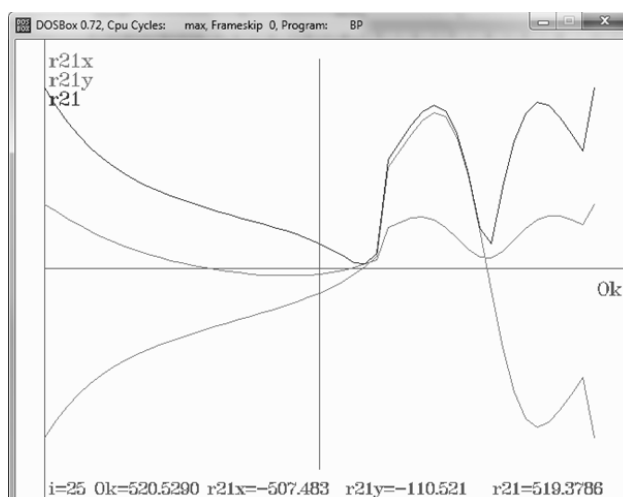


Рис.19. Проекції і модуль реакції у КП(кінематичній парі) «кривошип- камінь»

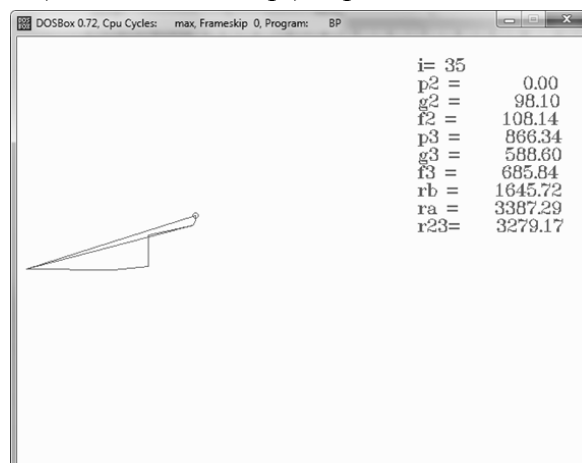
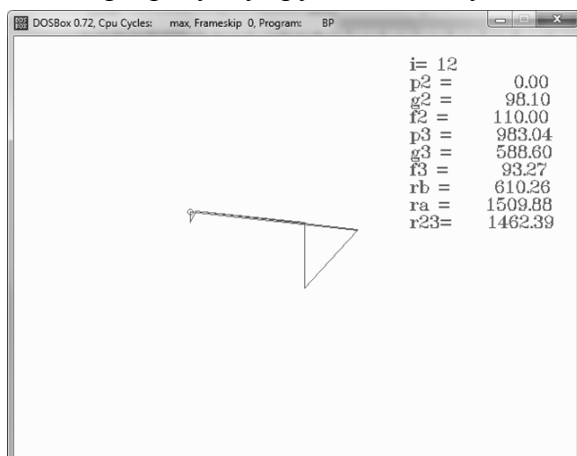


Рис.17. Побудова планів сил для двох положень групи Асура 3-го виду (положення 12 для робочого ходу та положення 35-для холостого ходу)

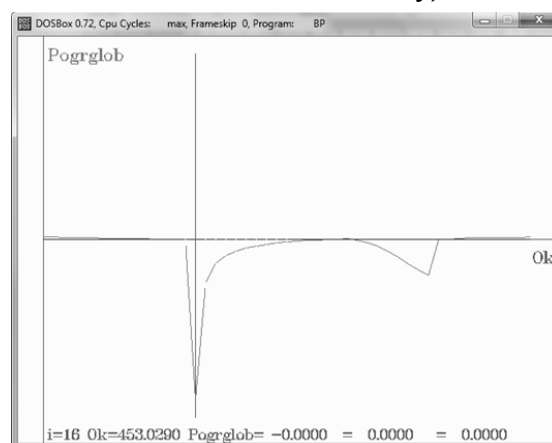
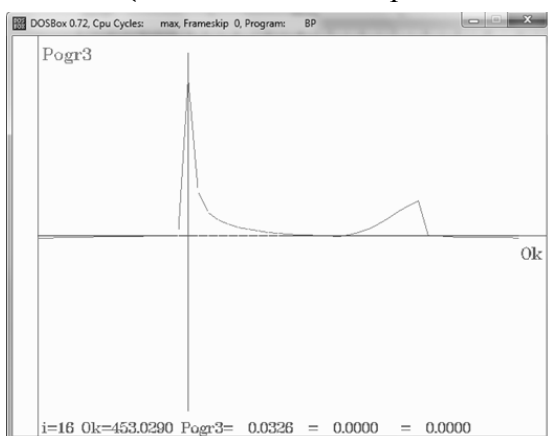


Рис.18. Контроль правильності силового розрахунку групи 3-го виду та визначення глобальної похибки

Далі приведені результати силового розрахунку.

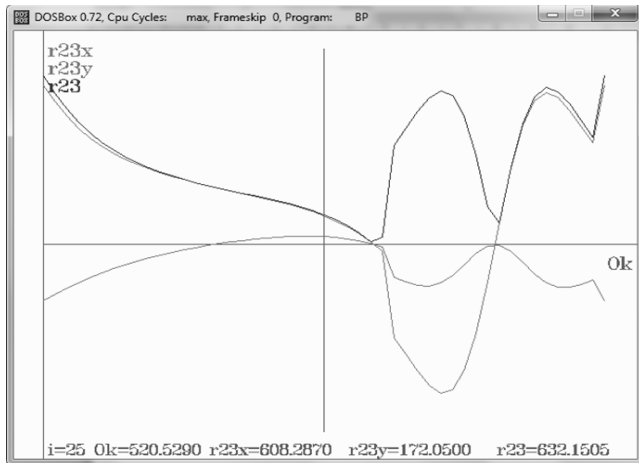


Рис.20. Проекції і модуль реакції у КП
«камінь-куліса»

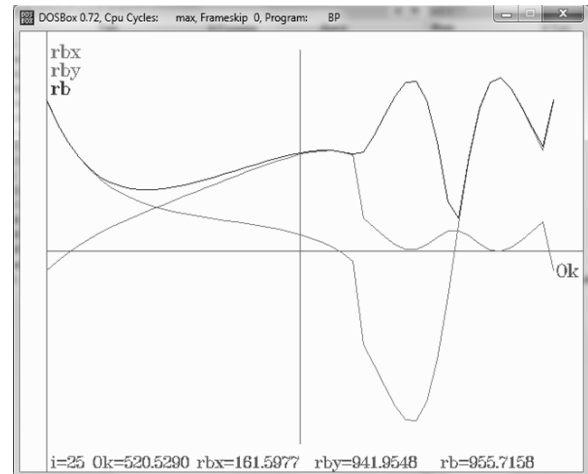


Рис.21. Проекції і модуль реакції
у КП «стояк-куліса»

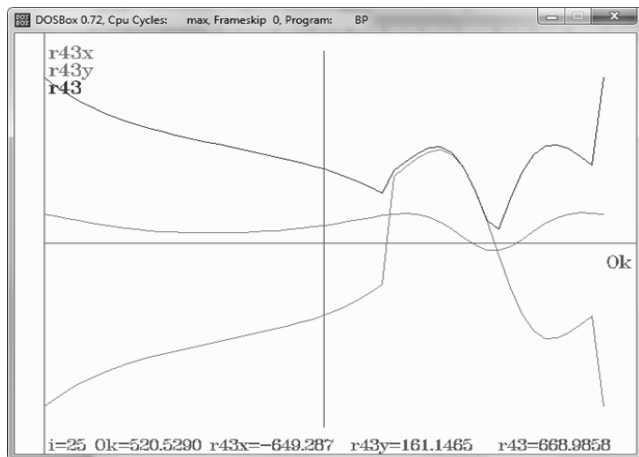


Рис.22. Проекції і модуль реакції у КП
«куліса-камінь»

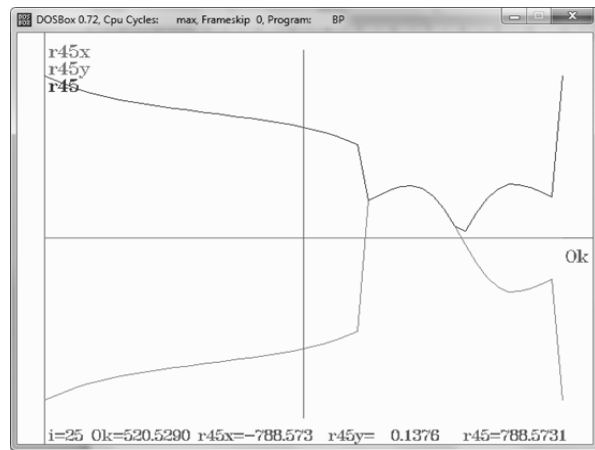


Рис.23. Проекції і модуль реакції у КП
«камінь-повзун»

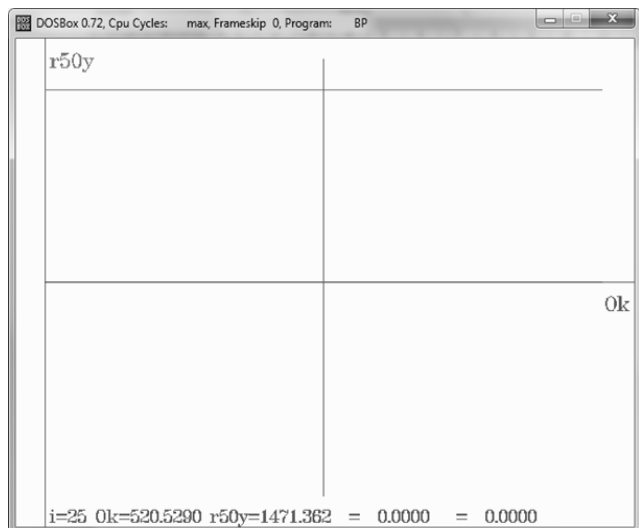


Рис.24. Модуль реакції у поступальній КП

Висновки.

Розроблена методика дозволяє вирішити всі сформульовані раніше завдання. Більш того, за рахунок розробки нових спеціальних процедур можна вирішувати більш складні завдання, наприклад, розрахунок механізмів вище другого класу або розрахунок механізму з урахуванням тертя.

Список использованных источников:

1. Теория механизмов и машин. Курсовое проектирование в системе Microsoft Excel : учебное пособие / А. Ф. Дашенко, И. М. Белоконов, К. И. Белоконов [и др.]. – Одесса : Стандартъ, 2007. – 243 с.
2. Кіницький Я. Т. Теорія механізмів і машин в системі Mathcad : навч. посіб. / Я. Т. Кіницький, В. О. Хоржевський, М. В. Марченко. – Хмельницький : РВЦ ХНУ, 2014. – 324 с.
3. Grous A. Applied Mechanical Design / A. Grous. – London : IST, 2018. – 504 p.
4. Rider M. J. Design and Analysis of Mechanisms: A Planar Approach / Michael J. Rider. – London : John Wiley & Sons, 2013. – 316 p.

References

1. Dashhenko, AF, Belokonev, IM, Belokonev, KI et al. 2007, Teorija mehanizmov i mashin. Kursovoe proektirovanie v sisteme Microsoft Excel, Standart, Odessa.
2. Kinytskyi, YaT, Khorzhevskiy, VO & Marchenko, MV 2014, Teoriia mekhanizmv i mashyn v systemi Mathcad, RVTs Khmelnytskoho natsionalnoho universytetu, Khmelnytskyi.
3. Grous, A 2018, Applied Mechanical Design, IST, London.
4. Rider, MJ 2013, Design and Analysis of Mechanisms: A Planar Approach, John Wiley & Sons, London.

Стаття надійшла до редакції 15 квітня 2019 р.

DOI 10.32820/2079-1747-2019-23-68-75

УДК 629.413 - 592.112

К ВОПРОСУ ОЦЕНКИ ТЕПЛОПЕРЕДАЧИ ЧЕРЕЗ МЕТАЛЛИЧЕСКИЕ ФРИЦИОННЫЕ ЭЛЕМЕНТЫ ЛЕНТОЧНО-КОЛОДОЧНОГО ТОРМОЗА БУРОВЫХ ЛЕБЕДОК

©Вольченко Д. А., Скрыпник В. С., Журавлев Д. Ю., Чуфус В. С.

Ивано-Франковский национальный технический университет нефти и газа

Информация об авторах:

Вольченко Дмитрий Александрович: ORCID 0000-0001-9161-198X; mechmach@nung.edu.ua; доктор технических наук; профессор кафедры добычи нефти и газа; Ивано-Франковский национальный технический университет нефти и газа; ул. Карпатская, 15, г. Ивано-Франковск, 76019, Украина.

Скрипник Виктор Сергеевич: ORCID 0000-0002-4905-5200; mechmach@nung.edu.ua; кандидат технических наук; старший научный сотрудник Научно-исследовательского института нефтегазовой энергетики и экологии; Ивано-Франковский национальный технический университет нефти и газа; ул. Карпатская, 15, г. Ивано-Франковск, 76019, Украина.

Журавлев Дмитрий Юрьевич: ORCID 0000-0001-8092-5326; mechmach@nung.edu.ua; кандидат технических наук; доцент кафедры технической механики; Ивано-Франковский национальный технический университет нефти и газа; ул. Карпатская, 15, г. Ивано-Франковск, 76019, Украина.

Чуфус Владимир Сергеевич: ORCID 0000-0001-6964-7054; mechmach@nung.edu.ua; аспирант кафедры технической механики; Ивано-Франковский национальный технический университет нефти и газа; ул. Карпатская, 15, г. Ивано-Франковск, 76019, Украина.

В материалах статьи показано, что основным параметром при оценке энергонагруженности пар трения тормозных устройств является коэффициент теплопередачи, с помощью которого в дальнейшем представляется возможным определить термическое сопротивление и коэффициенты распределения тепловых потоков.

Ключевые слова: тормозное устройство, ленточно-колодочный тормоз, тормозной шкив, лента, фрикционная накладка, коэффициент теплопередачи, термическое сопротивление, коэффициент распределения тепловых потоков пар трения.

Вольченко Д. О., Скрипник В. С., Журавльов Д. Ю., Чуфус В. С. «До питання оцінки теплопередачі через металеві фрикционные елементи стрічково-колодкового гальма бурових лебідок».

Показано, що основним параметром при оцінці енергетичного навантаження пар тертя гальмівних пристроїв є коефіцієнт теплопередачі, за допомогою якого додатково можна визначити тепловий опір і коефіцієнти розподілу теплових потоків. Останнім часом з'явилися роботи, в яких наведені досить точні методи розрахунку температури в зоні тертя в залежності від теплофізичних властивостей матеріалів, енергетичного навантаження та контактних характеристик. Однак ці способи не завжди враховують теплопередачу через металевий фрикційний елемент гальмівних пристроїв, що завжди має помітний вплив на енергетичне навантаження їх пар тертя. Відомо, що при розрахунку об'ємних температур в ободі гальмівного лебідки шківа вище 350 ° С, майже завжди необхідно враховувати теплообмін. Остання не пов'язана з теплопровідністю матеріалів металевих фрикційних елементів таким чином, як коефіцієнт теплопередачі через їх тіло, оскільки останній має зворотне значення - тепловий опір товщини металевого фрикційного елемента.

Теплові проблеми на сучасному рівні вирішуються за допомогою граничних умов другого роду, коли задається тепловий потік, який спрямований на контактну межу всередині тертя. При відомому виділенні тепла в зоні контакту завдання полягає в тому, щоб правильно визначити розподіл теплового потоку між тертями.

Коефіцієнти розподілу теплового потоку в діапазоні температур від 100 до 450 °C варіювали для елемента тертя металу в діапазоні 0,531 - 0,756, для неметалевого елемента - 0,469 - 0,244. Внаслідок наявності зовнішніх пар тертя гальма відбувається динамічна і, як наслідок, відбувається термічна розвантаження його внутрішніх пар тертя. У зв'язку з цим існує ймовірність термічної стабілізації обода гальмівного шків. У цьому випадку фрикційні накладки повинні працювати за межами зони температур, прийнятних для їх матеріалів.

Таким чином, було оцінено тепловіддачу через металеві фрикційні елементи пар тертя стрічкового гальмівного гальма, що дозволило додатково визначити коефіцієнти розподілу теплового потоку між їх робочими частинами.

Ключові слова: гальмівний пристрій, стрічково-колодкове гальмо, гальмівний шків, стрічка, фрикційна накладка, коефіцієнт теплопередачі, термічний опір, коефіцієнт розподілу теплових потоків пар тертя.

Volchenko D., Skrypnyk V., Zhuravlov D., Chufus V. «To the question of estimation of thermal transmission through metal friction elements of band-shoe brake of drilling winches».

The article shows that the main parameter in estimating the energy load of friction pairs of braking devices is the heat transfer coefficient, with the help of which it is further possible to determine the thermal resistance and distribution coefficients of heat fluxes. Recently, works have appeared where sufficiently accurate methods for calculating the temperature in the friction zone are given, depending on the thermophysical properties of materials, energy load and contact characteristics. However, these methods do not always take into account the heat transfer through the metal friction element of braking devices, which always has a noticeable effect on the energy load of their friction pairs. It is known that when calculating the bulk temperatures in the rim of a brake winch pulley above 350 °C, it is almost always necessary to take heat transfer into account. The latter is not related to the thermal conductivity of the materials of metal friction elements in this way as the coefficient of heat transfer through their body, since the latter is the inverse value is the thermal resistance of the thickness of the metal friction element.

Thermal problems at the modern level are solved with the help of boundary conditions of the second kind, when the heat flow is specified, which is directed at the contact boundary inside the rubbing body. With a known heat release in the contact zone, the task is to correctly determine the distribution of heat flux between the rubbing bodies.

The coefficients of heat flow distribution in the temperature range from 100 to 450 °C were varied for the metal friction element in the range of 0.531 - 0.756, for the non-metal element - 0.469 - 0.244. Due to the presence of external friction pairs of the brake, dynamic and, as a result, thermal unloading of its internal friction pairs occurs. In this regard, there is the likelihood of thermal stabilization of the rim of the brake pulley. In this case, the friction linings should work outside the zone of temperatures acceptable for their materials.

Thus, the heat transfer through the metal friction elements of friction pairs of the drawstring tape-brake brake was evaluated, which made it possible to further determine the coefficients of heat flow distribution between their working parts.

Keywords: braking device, belt-brake brake, brake pulley, belt, friction lining, heat transfer coefficient, thermal resistance, heat distribution coefficient of friction pairs.

Введение

Процесс внешнего электротермомеханического трения и износа зависит от температуры в зоне фрикционного взаимодействия [1-3]. В последнее время появились работы, где приводятся достаточно точные методы расчета температуры в зоне трения в зависимости от теплофизических свойств материалов, энергонагруженности и характеристик контакта [4]. Однако эти методы не всегда учитывают теплопередачу через металлический фрикционный элемент тормозных устройств, которая всегда оказывает заметное влияние на энергонагруженность их пар трения. Известно, что при расчете объемных температур в ободу тормозного шкива буровой лебедки выше 350°C практически всегда необходимо учитывать теплоотдачу. Последняя не связана с коэффициентом теплопроводности материалов металлических фрикционных элементов таким образом как коэффициент теплопередачи через их тело, поскольку последнего обратная величина является термическим сопротивлением толщины металлического фрикционного элемента.

Состояние проблемы.

Тепловые задачи на современном уровне решаются с помощью граничных условий второго рода, когда задан тепловой поток, направленный на границе контакта внутри трущегося тела. При известном тепловыделении в зоне контакта задача заключается в правильном определении распределения тепловых потоков между трущимися телами. Количественно данное соотношение выражается через коэффициент распределения тепловых потоков $\sigma_{m.n.}$. Если при трении на единицу поверхности в единицу времени генерируется тепловой поток q , то в металлический элемент трения его попадает $q_1 = \sigma_{m.n.} \cdot q$, а в контртело, то есть во фрикционную накладку – $q_2 = (1 - \sigma_{m.n.}) \cdot q$, следовательно, $q = q_1 + q_2$. При этом q , q_1 , q_2 в процессе трения непрерывно изменяются во времени.

Существующие методы оценки коэффициентов распределения тепловых потоков во фрикционных узлах тормозных устройств выложено в работе [5]. Они имеют ряд существенных недостатков, к которым следует отнести: указанные коэффициенты необходимо определять не только во время торможения, но и при разомкнутом фрикционном узле тормоза; при рассмотрении составляющей тепловой модели (фрикционной накладки) в ней необходимо учитывать термодинамическое состояние рабочего приповерхностного состояния; необходимо оценивать термическое сопротивление элементов пары трения (шкива и фрикционной накладки); при определении указанных коэффициентов необходимо оперировать коэффициентами теплопередачи через металлический и неметаллический фрикционные элементы тормоза.

Постановка задачи

В данной публикации рассмотрены следующие вопросы применительно к данной проблеме: особенности конструкции фрикционных узлов и их тепловые модели в тормозных

устройствах; оценка теплопередачи через металлические фрикционные элементы тормозных устройств: ленточно-колодочных тормозов буровых лебедок;

Цель работы

Предложить обобщенный метод оценки теплопередающей способности металлических фрикционных элементов с последующим определением их термического сопротивления, а также коэффициентов распределения тепловых потоков между парами трения применительно к видам тормозных устройств.

Результаты исследования

Выполним оценку теплопередачи через металлические фрикционные элементы тормозных устройств ленточно-колодочных тормозов буровых лебедок. Волнистость микровыступов металлического фрикционного элемента приводит к концентрации удельных нагрузок в парах трения тормозов и, следовательно, к тепловыделению на отдельных участках поверхностей фрикционного контакта. Возникающее термическое сопротивление микровыступов носит объемный характер, т. е. является внутренним. Это сопротивление часто называют сопротивлением "стягивания" (или "расширения"), подчеркивая тем самым тот факт, что оно возникает вследствие стягивания линий теплового тока к пятнам фактического контакта, общая площадь которых значительно меньше номинальной поверхности соприкосновения. Таким образом, указанные участки интенсивно нагреваясь, расширяются (выпучиваются) и воспринимают большие импульсные нормальные усилия, снижая при этом нагруженность других участков поверхностей. Одновременно с термическим расширением участков, происходит их изнашивание, вследствие чего в контакт вступают новые участки поясов трения металлических фрикционных элементов, которые импульсно нагреваются, расширяются и воспринимают увеличенную нагрузку. При этом действие последней на старые участки поверхности снижается, поскольку они выходят из контакта и вынужденно охлаждаются воздушными потоками. Эти аperiодические циклические процессы зависят от коэффициента взаимного перекрытия ($k_{\text{вз}}$) пар трения тормоза. Чем больше $k_{\text{вз}}$, тем меньше частота циклических процессов "нагревание - охлаждение" и "охлаждение - нагревание", и наоборот.

Однако равномерно установившейся тепловой поток в теле металлического фрикционного элемента испытывает возмущение из-за изменения геометрии микровыступов или из-за несовершенства механического контакта двух сопряженных поверхностей. Все это способствует неравномерному распределению плотности теплового тока и появлению локального возрастания поверхностного температурного градиента. Фрикционные узлы ленточно-колодочного тормоза буровой лебедки, а также конструктивные параметры тормозного шкива и его элементов приведены на рис. 1. При затягивании тормозной ленты 7 накладки 5 фрикционно взаимодействуют с рабочей поверхностью цилиндрической оболочки шкива 1. Расчеты производим по формулам (1-6) для четырех материалов, из которых изготовлен тормозной шкив. Коэффициенты теплопроводности материала шкива (λ) относятся к стали 20Л; магниевому сплаву; латуни и алюминиевому сплаву.

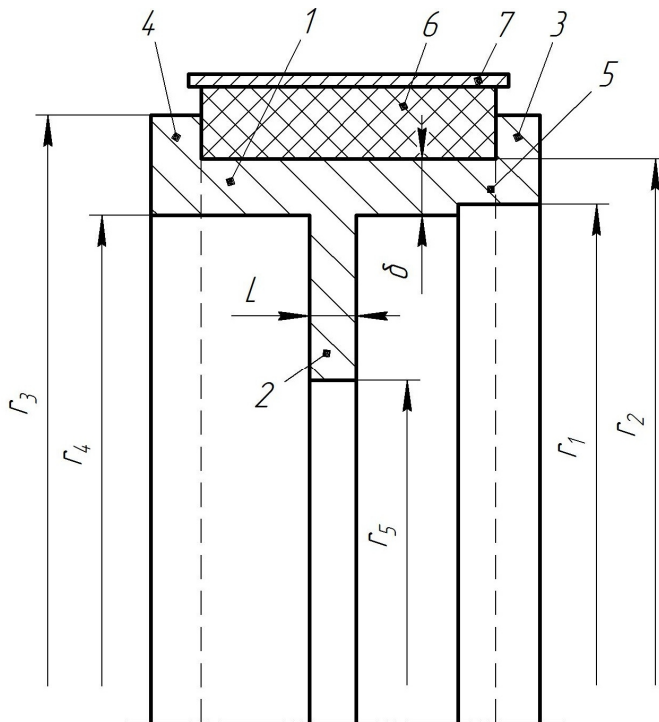


Рис. 1 – Конструктивные параметры тормозного шкива и его элементы: 1 – цилиндрическая оболочка; 2 – фланец; 3, 4 – реборды; 5 – цилиндрический диск; 6 – фрикционная накладка; 7 – тормозная лента

Термические сопротивления для различных конструктивных элементов шкива изменялся в границах: цилиндрическая оболочка 0,051 – 0,015 ($\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{С}/\text{Вт}$); фланец 0,028 – 0,008 ($\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{С}/\text{Вт}$); реборда шкива 0,011 – 0,0033 ($\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{С}/\text{Вт}$); цилиндрический диск 0,0034 – 0,001 ($\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{С}/\text{Вт}$). Суммарное термическое сопротивление тормозного шкива буровой лебедки изменялось от 0,102 до 0,03 ($\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{С}/\text{Вт}$). Наличие фланца и двух реборд в тормозном шкиве увеличили его термическое сопротивление сравнительно с цилиндрической оболочкой (для всех материалов) в два раза.

Рассмотрим на примере ленточно-колодочного тормоза определение коэффициентов теплопередачи через его элементы.

Согласно тепловой модели фрикционного узла (лента с накладкой - обод тормозного шкива) определяем коэффициенты теплопередачи в теплообменных процессах через такие многослойные объекты: среда межконтактной зоны между парами трения – полированная (рабочая) поверхность обода тормозного шкива – воздух, омывающий матовую (нерабочую) поверхность обода тормозного шкива:

$$K = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_1} + \frac{d_1}{\lambda_1} + \frac{1}{\alpha_2}} \quad (1)$$

где α_1 и α_2 – коэффициенты теплоотдачи от: межконтактной среды к рабочей (полированной) поверхности металлического элемента трения; внешней матовой поверхности шкива к омывающему воздуху; d_1 – толщина металлического элемента трения; λ_1 – коэффициент теплопроводности материала обода шкива.

Среда межконтактной зоны между парами трения определяется как приповерхностный слой фрикционной накладки – тормозная лента – воздух, омывающий матовую (нерабочую) поверхность тормозной ленты:

$$K = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_1} + \frac{\delta_n}{\lambda_n} + \frac{d_n}{\lambda_n} + \frac{d_c}{\lambda_c} + \frac{1}{\alpha_3}} \quad (2)$$

где δ_n , d_n , d_c – толщины приповерхностного слоя фрикционной накладки, накладки и тормозной ленты; α_3 – коэффициент теплоотдачи от матовой поверхности тормозной ленты к омывающему воздуху.

Таблица 1
Начальные данные и результаты расчетов термического сопротивления элементов тормозного шкива буровой лебедки У2-5-5

Элементы шкива	Конструктивные параметры				Расчетная формула	Коэффициент теплопроводности материалов шкива, (м²·°C)/Вт.	Величины	
	r1, м	r2, м	L, м	δ, мм			R _и , (м²·°C)/Вт.	K _и , Вт/(м²·°C).
1	0,565	0,590	0,220	0,025	$R = \frac{L}{\lambda \cdot \pi \cdot [r_1^2 - r_2^2]}; (5)$	47,8	0,051	19,608
						79,1	0,031	32,258
						109,0	0,022	45,455
						163,0	0,015	66,667
						47,8	0,028	35,714
2	0,420	0,565	0,035	0,145	$R = \frac{\ln \frac{r_1}{r_2}}{2 \cdot \pi \cdot \lambda \cdot L}; (6)$	79,1	0,017	58,824
						109,0	0,012	83,333
						163,0	8,274·10 ⁻³	120,861
						47,8	0,011	90,909
						79,1	6,825·10 ⁻³	146,520
3	0,565	0,615	0,025	0,050		109,0	4,953·10 ⁻³	201,898
						163,0	3,312·10 ⁻³	301,932
						47,8	8,957·10 ⁻³	111,645
						79,1	5,413·10 ⁻³	184,740
						109,0	3,928·10 ⁻³	254,582
4	0,575	0,615	0,025	0,040		163,0	2,627·10 ⁻³	380,662
						47,8	3,43·10 ⁻³	291,545
						79,1	2,073·10 ⁻³	482,393
						109,0	1,504·10 ⁻³	664,894
						163,0	1,006·10 ⁻³	994,036
5	0,575	0,590	0,025	0,015		47,8	0,102	9,804
						79,1	0,062	16,129
						109,0	0,044	22,727
						163,0	0,030	33,333
Суммарное термическое сопротивление шкива					$\sum R$			

Таблиця 2

Начальные данные, а также результаты расчетов коэффициентов теплопередачи через элементы пар трения и распределения тепловых потоков между их поверхностями взаимодействия ленточно-колочного тормоза буровой лебедки У2-5-5

Температуры поверхностей: $\frac{t_{\text{п}}}{t_{\text{м}}}$	100	150	200	250	300	350	400	450	500	550	600	650
обода тормозного шкива, °C	50	90	160	210	250	340	400	425	470	510	560	590
матовой тормозной ленты, °C	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120	130
Толщина:	28,0											
приведення обода тормозного шкива $\delta_{\text{ш}}$, мм	6,0											
тормозной ленты $\delta_{\text{л}}$, мм	5,6	8,2	11,4	14,4	15,8	19,6	22,8	25,6	28,4	30,72	34,0	35,4
приповерхностного слоя фрикционной накладки $\delta_{\text{сл}}$, мкм;	30,0											
фрикционной накладки $\delta_{\text{фл}}$, мкм;												
Коэффициенты теплопроводности материалов элементов фрикционной пары, Вт/(м·°C);												
обода тормозного шкива ($\lambda_{\text{ш}}$);	48,85											
тормозной ленты ($\lambda_{\text{л}}$);	53,94											
фрикционной накладки ($\lambda_{\text{фл}}$);	0,736											
приповерхностного слоя накладки ($\lambda_{\text{сл}}$);	1,02											
Коэффициенты теплоотдачи от поверхностей, Вт/(м²·°C);												
полированной ($\alpha_{\text{п}}$);	6,67											
матовой ($\alpha_{\text{с}}$) обода шкива;	6,67			9,73	15,1	25,0	37,5	45,1	57,08	73,75	89,17	111,67
тормозной ленты ($\alpha_{\text{л}}$)	6,67											
Теплопередачи через элементы пары трения: Вт/(м²·°C);												
обод тормозного шкива ($K_{\text{ш}}$)	3,329	3,329	3,329	3,948	5,93	7,653	9,325	12,517	16,405	18,243	23,278	32,78
фрикционную наладку ($K_{\text{л}}$)	2,935	2,935	2,935	2,935	3,417	3,56	3,693	4,033	4,297	4,319	4,504	4,655
термического сопротивления, (м²·°C)/Вт;												
обода шкива ($R_{\text{ш}}$);	0,3	0,3	0,3	0,253	0,169	0,131	0,107	0,08	0,061	0,055	0,043	0,031
фрикционной накладки ($R_{\text{л}}$);	0,341	0,341	0,341	0,341	0,293	0,281	0,271	0,248	0,233	0,232	0,222	0,215
Коэффициент распределения тепловых потоков через элементы пары трения:												
металлический ($\sigma_{\text{м.л}}$)	0,531	0,531	0,531	0,574	0,634	0,683	0,716	0,756	0,793	0,809	0,838	0,876
нематаллический ($\sigma_{\text{н.л}}$)	0,469	0,469	0,469	0,426	0,366	0,317	0,284	0,244	0,207	0,191	0,162	0,124

При помощи коэффициентов теплопередачи в парах трения, находящихся в замкнутом и разомкнутом состояниях, определяют коэффициенты распределения теплоты между их элементами:

$$a_{m.n.} = \frac{K}{K + K_1}, \quad (3) \quad a_{\text{вн.}} = \frac{K_1}{K + K_1}. \quad (4)$$

Данная тепловая модель серийного ленточно-колодочного тормоза адекватна тепловой модели барабанно-колодочного тормоза с той лишь разницей, что в первой используется тормозная лента, а во второй – тормозная колодка, а также тем, что в первой рабочей поверхностью является внешняя поверхность обода шкива, а во второй – внутренняя поверхность обода барабана. Начальные данные, а также результаты расчетов коэффициентов теплопередачи через элементы пар трения и распределение тепловых потоков между их поверхностями взаимодействия для ленточно-колодочного тормоза буровой лебедки У2-5-5 приведены в табл. 1-2. Коэффициенты распределения теплового потока в интервале температур от 100 до 450°C изменялись для металлического элемента трения в пределах 0,531 – 0,756, для неметаллического элемента – 0,469 – 0,244.

За счет наличия внешних пар трения тормоза происходит динамическая и, как следствие, тепловая разгрузка его внутренних пар трения. В связи с этим существует вероятность тепловой стабилизации обода тормозного шкива. При этом фрикционные накладки должны работать вне зоны допустимых для их материалов температур.

Выводы

Таким образом, произведена оценка теплопередачи через металлические фрикционные элементы пар трения ленточно-колодочного тормоза буровой лебедки, позволившая в дальнейшем определить коэффициенты распределения тепловых потоков между их рабочими деталями.

Список использованных источников:

1. Расчет, испытания и подбор фрикционных пар / А. В. Чичинадзе, Э. Д. Браун, А. Г. Гинзбург, З. В. Игнатьев. – М.: Наука, 1989. – 267 с.
2. Горячева И. Г. Контактные задачи в трибологии / И. Г. Горячева, М. Н. Добычин. – М.: Машиностроение, 1998. – 256 с.
3. Основы трибологии / Под ред. Чичинадзе А. В. – М.: Машиностроение, 2001. – 644 с.
4. Гаркунов Д. Н. Триботехника. Износ и безопасность / Д. Н. Гаркунов. – М.: Из-во МСХА, 2001. – 616 с.
5. Проектный и проверочный расчет фрикционных узлов буровых лебедок. Стандарт / А. Х. Джанахмедов, А. И. Вольченко, Н. А. Вольченко [и др.]. – Баку: Апострофф, 2016. – 272 с.
6. Mechanical Engineering Design by J.F.Shigley, McGrawhill.2003.
7. A Text Book of Machine Design by R.S.Khurmi and J.K.Gupta, S.Chand Pub.2005.

References

1. Chichinadze, AV, Braun, Ed, Ginzburg, AG, Ignatev, ZV 1989. Raschet, ispytaniya i podbor frikcionnyx par. *Nauka, Moskva*.
2. Goryacheva, IG, Dobychin, MN 1998. Kontaktnye zadachi v tribologii. *Mashinostroyeniye, Moskva*.
3. Chichinadze, AV 2001. Osnovy tribologii. *Mashinostroyeniye, Moskva*.
4. Garkunov, DN, 2001. Tribotexnika. Iznos i bezopasnost. *MSXA, Moskva*.
5. Dzhanaaxmedov, AX, Volchenko, AI, Volchenko, NA 2016. Proektnyj i proverochnyj raschet frikcionnyx uzlov burovyx lebedok. Standart. *Apostroff, Baku*.
6. Mechanical Engineering Design by J.F.Shigley, McGrawhill.2003.
7. A Text Book of Machine Design by R.S.Khurmi and J.K.Gupta, S.Chand Pub.2005.

Стаття надійшла до редакції 15 квітня 2019 р.

DOI 10.32820/2079-1747-2019-23-76-87

УДК 629.413 - 592.112

К ВОПРОСУ ОЦЕНКИ ТЕПЛОПЕРЕДАЧИ ЧЕРЕЗ МЕТАЛЛИЧЕСКИЕ ФРИЦИОННЫЕ ЭЛЕМЕНТЫ ДИСКОВО- И БАРАБАННО-КОЛОДОЧНЫХ ТОРМОЗОВ ТРАНСПОРТНЫХ СРЕДСТВ

©Вольченко А. И.¹, Возный А. В.¹, Журавлев А. Ю.², Витвицкий В. С.¹

Ивано-Франковский национальный технический университет нефти и газа¹

Сумской государственной университет²

Информация об авторах:

Вольченко Дмитрий Александрович: ORCID 0000-0001-9161-198X; mechmach@nung.edu.ua; доктор технических наук; профессор кафедры добычи нефти и газа; Ивано-Франковский национальный технический университет нефти и газа; ул. Карпатская, 15, г. Ивано-Франковск, 76019, Украина.

Возный Александр Викторович: ORCID 0000-0002-4905-5200; mechmach@nung.edu.ua; кандидат технических наук; старший научный сотрудник Научно-исследовательского института нефтегазовой энергетики и экологии; Ивано-Франковский национальный технический университет нефти и газа; ул. Карпатская, 15, г. Ивано-Франковск, 76019, Украина.

Журавлев Анатолий Юрьевич: ORCID 0000-0001-8092-5326; dmytro.2103@ukr.net; кандидат технических наук; доцент кафедры компьютерных наук; Сумской державний университет; ул. Римский-Корсакова, 2, г. Сумы, 40007, Украина.

Витвицкий Владимир Сергеевич: ORCID 0000-0001-6964-7054; mechmach@nung.edu.ua; кандидат технических наук; ассистент кафедры инженерной и компьютерной графики; Ивано-Франковский национальный технический университет нефти и газа; ул. Карпатская, 15, г. Ивано-Франковск, 76019, Украина

В материалах статьи рассмотрены дисково- и барабанно-колодочные тормозные устройства подкатегорий транспортных средств, которые согласно Правила 13 ЕЖООН подвержены предварительным этапам испытаний типа I и II. Применительно к парам трения указанных тормозов определены для многослойных тепловых моделей коэффициенты теплопередачи и распределение тепловых потоков, а также их термическое сопротивление.

Ключевые слова: дисково-колодочный тормоз, барабанно-колодочный тормоз, тормозной диск, барабан, фрикционная накладка, многослойная тепловая модель, коэффициент теплопередачи, термическое сопротивление, коэффициент распределения теплового потока.

Вольченко А. И., Возный А. В., Журавлев А. Ю., Витвицкий В. С. «До питання оцінки теплопередачі через металеві фрикционные елементи дисково- і барабанно-колодочних гальм транспортних засобів».

У статті розглядаються дискові та барабанні гальмівні пристрої підкатегорій транспортних засобів, які згідно з Правилом 13 ЄЕК ООН, підлягають попереднім етапам випробувань типу I та II. Для пар тертя цих гальм визначаються коефіцієнти теплопередачі та розподіл теплових потоків, а також їх термічний опір для багатопоточних теплових моделей.

В даний час існують спрощені математичні моделі, що описують граничні температурні умови в окремих частинах гальмівного диска. Згідно з цими моделями передбачається, що температурне поле твердого або самовентильованого гальмівного диска має кутову симетрію, а частка теплоти, що віддається кожним елементом гальма, враховується з викорис-

танням коефіцієнта розподілу теплового потоку. Можна зменшити вказаний коефіцієнт для гальмівних дисків шляхом інтенсифікації охолодження їх поверхонь примусовим і примусовим повітрям та інших теплоносіїв непрямої дії. Однак більш ефективним способом зниження енергетичного навантаження металевих фрикційних елементів гальмівних пристроїв є правильний вибір матеріалів для них, які можуть відводити тепло в найкоротші терміни, тобто вони мають високий коефіцієнт теплопередачі, обумовлений низьким термічний опір.

Важливу роль відіграє термічний опір товщини твердого диска і напівдиска самовентильційного диска (один напівдиск з фланцем, а другий півкіло з вентиляційними каналами, утвореними ребрами) процеси електропровідного теплообміну. Зі збільшенням товщини диска необхідно змінювати коефіцієнт теплопровідності матеріалів, що використовуються для виготовлення гальмівних дисків.

Коефіцієнти розподілу теплових потоків між парами тертя трибо-спряження залежать головним чином від коефіцієнтів теплопередачі через їх елементи.

На величину коефіцієнтів теплопередачі впливають тепловими опорами фрикційних елементів гальма, які безпосередньо беруть участь у теплообмінних процесах.

Таким чином, була виконана оцінка теплопередачі через металеві фрикційні елементи пар тертя дискового і барабанно-блочного гальма транспортних засобів, що дозволило визначити коефіцієнти розподілу теплових потоків між їх робочими частинами.

Ключові слова: дисково-колодкове гальмо, барабанно-колодкове гальмо, гальмівний диск, барабан, фрикційна накладка, багатошарова тепла модель, коефіцієнт теплопередачі, термічний опір, коефіцієнт розподілу теплового потоку

Volchenko A., Vozny A., Zhuravlev A., Vitvitsky V. «To the question of the estimation of heat transfer through the metal frictional elements of the disk and drum-pad drums of the vehicles».

The article discusses disc and drum-type brake devices of subcategories of vehicles, which, according to UNECE Regulation 13, are subject to the preliminary stages of Type I and II tests. For friction pairs of these brakes, heat transfer coefficients and distribution of heat fluxes, as well as their thermal resistance, are determined for multilayer thermal models.

Currently, there are simplified mathematical models that describe the boundary temperature conditions in individual parts of the disc-brake brake. In accordance with these models, it is assumed that the temperature field of a solid or self-ventilated brake disc has angular symmetry, and the proportion of heat removed by each brake component is taken into account using the heat flux distribution coefficient. It is possible to reduce the indicated coefficient for brake discs by intensifying the cooling of their surfaces by forced and forced air and other heat transfer media of indirect action. However, a more efficient way to reduce the energy load of the metal friction elements of the braking devices is the correct selection of materials for them that can take heat away in the shortest time, that is, they have a high heat transfer coefficient due to the low thermal resistance.

The thermal resistance of the thickness of a solid disk and a half-disk of a self-ventilating disk (one half-disk with a flange, and the second half-disk with ventilation channels formed by the ribs) plays an important role in the processes of conductive heat transfer. With increasing disk thickness, it is necessary to vary the coefficient of thermal conductivity of the materials used for the manufacture of brake discs.

The coefficients of the distribution of heat fluxes between the friction pairs of the tribo-conjugation depend mainly on the coefficients of heat transfer through their elements.

The magnitude of the heat transfer coefficients is influenced by the thermal resistances of the friction elements of the brake, which directly participate in heat exchange processes.

Thus, the assessment of heat transfer through metal friction elements of friction pairs of disc and drum-block brake of vehicles was made, which allowed to determine the coefficients of distribution of heat fluxes between their working parts.

Keywords: disc-block brake, drum-block brake, brake disc, drum, friction lining, multi-layer thermal model, heat transfer coefficient, thermal resistance, heat flow distribution coefficient.

Введение

Экономия дефицитных высокопрочных материалов, создание легких конструкций тормозных дисков и барабанов, имеющих незначительные моменты инерции и снижающие подрессоренные массы является первостепенной задачей для подкатегорий транспортных средств. Кроме того дисково- и барабанно-колодочные тормозные устройства должны обеспечить безопасность движения, сохранность грузов, а также безопасность перевозимых пассажиров. При этом должна соблюдаться регламентируемая энергонагруженность пар трения тормозных устройств согласно норм Правила 13 ЕЭК ООН.

Состояние проблемы

В настоящее время существуют упрощенные математические модели [1], описывающие граничные температурные условия в отдельных деталях дисково-колодочного тормоза. В соответствии с этими моделями принято, что температурное поле цельного или самовентилируемого тормозного диска обладает угловой симметрией, а долю теплоты, отводимую каждой деталью тормоза, учитывают с помощью коэффициента распределения тепловых потоков. Указанный коэффициент представляется возможным уменьшить для тормозных дисков путем интенсификации охлаждения их поверхностей вынужденно и принудительно воздухом и другими теплоносителями косвенного действия. Однако более эффективным путем снижения энергонагруженности металлических фрикционных элементов тормозных устройств является правильный подбор для них материалов способных за минимальное время отвести теплоту, т. е. иметь высокий коэффициент теплопередачи за счет низкого термического сопротивления.

Постановка задачи

В данной публикации рассмотрены следующие вопросы применительно к данной проблеме: оценка теплопередачи через металлические фрикционные элементы тормозных

устройств: дисково-колодочных тормозов подкатегорий транспортных средств; барабанно-колодочных тормозов подкатегорий транспортных средств.

Цель работы

Предложить обобщенный метод оценки теплопередающей способности металлических фрикционных элементов с последующим определением их термического сопротивления, а также коэффициентов распределения тепловых потоков между парами трения применительно к видам тормозных устройств.

Результаты исследования

Дисково-колодочный тормоз (рис. 1) состоит из вращающегося диска, неподвижных колодок, установленных с обеих сторон диска внутри суппорта, закрепленного на кронштейне цапфы.

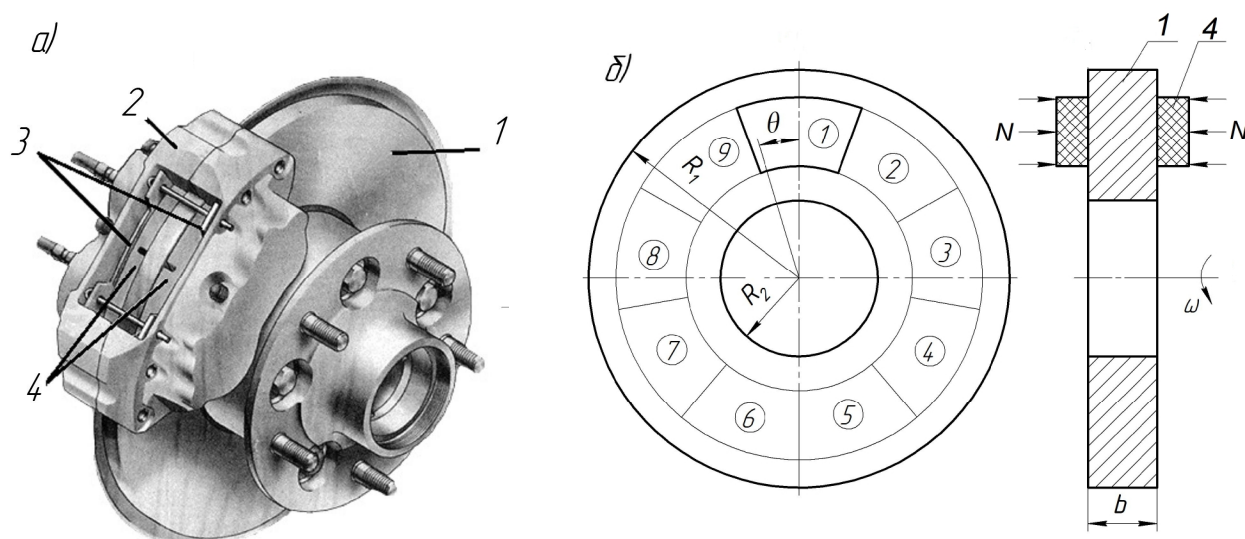


Рис. 1 – Конструкция дисково-колодочного тормоза (а) и схема фрикционного взаимодействия его пар трения (б): 1 – сплошной тормозной диск; 2 – суппорт; 3 – колодки; 4 – накладки; N – импульсное нормальное усилие; ω – угловая скорость вращения

По сравнению с колодочными тормозами барабанного вида дисковые тормозные механизмы обладают лучшими эксплуатационными свойствами, а поскольку передние колеса требуют при торможении приложения более значительных тормозных усилий, то установка на передние колеса дисковых тормозов улучшает эксплуатационные качества автомобиля.

Самовентилируемые тормозные диски содержат правый полудиск с фланцем и левый полудиск с развитой поверхностью теплообмена (оребрения создающее диффузоры и конфузоры, не сплошные кривые ребра, цилиндрические столбцы и т. д.). Соединения правого и левого полудисков и позволяет получить самовентилируемый тормозной диск.

Ограниченный строительный объем тормозного диска препятствует в системах охлаждения и термостабилизации их поясов трения использование различных физических эффектов: вихревого [2]; термоэлектрического, электрогидравлического, акустического, тепло-

вого насоса, тепловой трубы, адиабатного дросселирования воздуха, адиабатного расширения сжатого воздуха, кипение (испарение) и конденсация различных жидкостей и т. д.

Перейдем к рассмотрению многослойной тепловой модели пар трения дисково-колодочного тормоза со сплошными (*a*) и самовентилируемыми (*б*) дисками (рис. 2 *a*, *б*). Остановимся на особенностях данных тепловых моделей. Условия неидеального импульсного теплового контакта между парой «накладка-диск» моделируется с помощью введения между контактирующими поверхностями дополнительных (буферных) слоев конечных элементов взамен третьего тела. Модель импульсного теплового взаимодействия деталей не трудно представить. Кроме того, буферный слой учитывался при определении коэффициентов теплопередачи во втором и пятом слоях тепловой модели различных типов дисков.

Толщина буферного слоя и его теплофизические свойства рассчитывались из условия создания термического сопротивления заданной величины, которая зависит от величины импульсных контактных удельных нагрузок, микрошероховатостей пятен контактов и теплофизических свойств трибосопряжения. В тепловой модели (рис. 2 *a*) тело сплошного диска рассматривается под воздействием тепловых токов и ему свойственен только кондуктивный теплообмен. В то же время для тепловой модели (рис. 2 *б*) – тело полого диска с «начинкой» необходимо рассматривать энергетический баланс циркулирующего в нем воздуха с позиций сложного теплообмена: радиационного, конвективного, кондуктивного и их комбинаций.

Интенсивность тепловыделения при трении в трибосопряжении определялась по зависимости:

$$q = V \cdot f_{\partial} \cdot p \quad (1)$$

где V – скорость скольжения; f_{∂} – динамический коэффициент трения; p – импульсная контактная удельная нагрузка.

Согласно рис. 2 *a*, *б* принимается условие, что $q_1 = q_2$, а $q_3 = q_4$, хотя при эксплуатации тормозов такие условия достигнуть трудно.

На основании вышеизложенного перейдем к рассмотрению видов теплообмена, которые являются свойствами для сплошных и самовентилируемых тормозных дисков (табл.1). В табл. 1 использованы следующие условные обозначения: $K_1...K_6$ – коэффициенты теплопередачи; q_{λ} – тепловой поток; α_1, α_2 – коэффициенты теплоотдачи; $\lambda_1... \lambda_5$ – коэффициенты теплопроводности; $\delta_1... \delta_5$ – толщины слоев материалов; Δt – перепад поверхностных температур сплошного диска; R_t – тепловое сопротивление толщины сплошного диска.

В горизонтальном столбце в табл. 1, касающегося сплошного и самовентилируемого диска поставлен прочерк потому, что необходимо определить его прочность при оптимальной металлоемкости, энергонагруженности при допустимой поверхностной температуре материалов накладки и допустимых температурных напряжений при условии эффективного вынужденного охлаждения внутренних поверхностей и элементов «начинки» самовентилируемого тормозного диска.



Рис. 2 – Многослойная тепловая модель пар трения дисково-колодочного тормоза с цельными (а) и самовентилируемым (б) дисками: q_1, q_2, q_3, q_4 – тепловые потоки; $K_1, K_2, K_3, K_4, K_5, K_6$ – коэффициенты теплопередачи; I, II, III, IV, V, VI – нумерация слоев, принимающих участие в теплообмене; жирными линиями показаны полированные поверхности разных тормозных дисков

Термическое сопротивление толщины сплошного диска и полудисков самовентилируемого диска (один полудиск с фланцем, а второй полудиск с вентиляционными каналами, образованными ребрами) играет существенную роль в процессах кондуктивного теплообмена. Термическое сопротивление толщины диска или полудиска выражается отношением δ/λ и имеет единицу измерения $(\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C})/\text{Вт}$, которая является обратной единице измерения $\text{Вт}/(\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C})$, т. е. коэффициенту теплопередачи через рассматриваемую толщину диска (рис. 3 а, б).

В горизонтальном столбце в табл. 1, касающегося сплошного и самовентилируемого диска поставлен прочерк потому, что необходимо определить его прочность при оптимальной металлоемкости, энергонагруженности при допустимой поверхностной температуре материалов накладки и допустимых температурных напряжений при условии эффективного вынужденного охлаждения внутренних поверхностей и элементов «начинки» самовентилируемого тормозного диска.

Таблица 1

Оценка интенсивности теплообмена в сплошном и в самовентилируемых тормозных дисках (пара трения «диск-накладка»)

Нумерация слоев	Вид теплооб- мена:	Расчетная зависимость для дисков	Величины	
			K_i , Вт/(м ² ·°C)	R_i , (м ² ·°C)/Вт
СПЛОШНОГО				
I	радиационно- конвективный	$K_1 = 1 / \left(\frac{1}{\epsilon a_1} + \frac{d_1}{l_1} + \frac{d_2}{l_2} \right) \ddot{\theta}; \quad (2)$	57,1	0,0175
II	конвективный	$K_2 = 1 / \left(\frac{1}{\epsilon a_1} + \frac{d_3}{l_3} + \frac{d_4}{l_4} \right) \ddot{\theta}; \quad (3)$	15,45	0,0647
III	конвективный	$K_3 = 1 / \left(\frac{1}{\epsilon a_2} + \frac{d_4}{l_4} + \frac{d_5}{l_5} \right) \ddot{\theta}; \quad (4)$	12,34	0,0810
тело диска	кондуктивный	$q_l = Dt / R_t; \quad (5)$	-	-
самовентилируемого				
IV	радиационный и сложный	$K_4 = 1 / \left(\frac{1}{\epsilon a_1} + \frac{d_1}{l_1} + \frac{d_2}{l_2} \right) \ddot{\theta}; \quad (6)$	67,37	0,0148
V	конвективный	$K_5 = 1 / \left(\frac{1}{\epsilon a_1} + \frac{d_3}{l_3} + \frac{d_4}{l_4} \right) \ddot{\theta}; \quad (7)$	15,45	0,0647
VI	конвективный	$K_6 = 1 / \left(\frac{1}{\epsilon a_2} + \frac{d_4}{l_4} + \frac{d_5}{l_5} \right) \ddot{\theta}; \quad (8)$	12,31	0,0810

Из представленных графических зависимостей следует, что с увеличением толщины диска необходимо варьировать коэффициентом теплопроводности применяемых материалов для изготовления тормозных дисков. При этом с помощью зависимости вида $q = \frac{l}{d}(t - t_0)$ (где t, t_0 - температуры: объемная диска и окружающей среды) проиллюстрирована графическая зависимость вида $q = f\left(\frac{1}{\epsilon a}, t\right)$ (рис. 4).

В последней фигурирует величина λ/δ , которая является обратной термическому сопротивлению толщины тормозного диска. Выходит, что расчет и конструирование различных типов дисков подкатегорий транспортных средств проводится не только для определения конструктивных и весовых параметров, но и с учетом энергоемкости поясов трения тормозных дисков.

Коэффициенты распределения тепловых потоков между парами трения трибосопряжения зависят, в основном, от коэффициентов теплопередачи через их элементы.

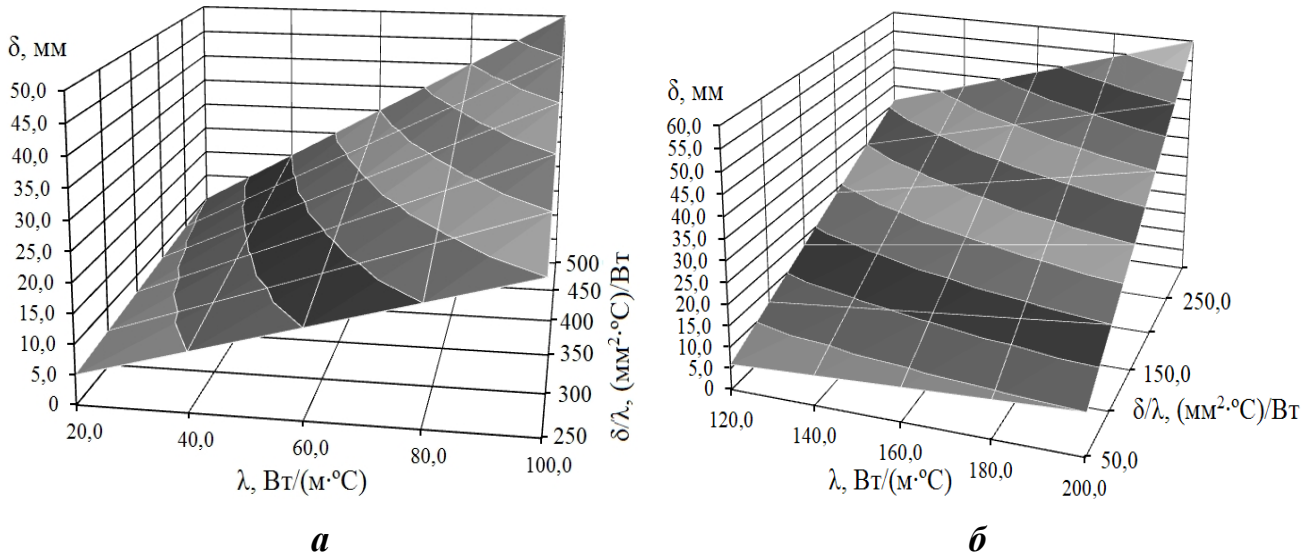


Рис. 3 – Закономерности изменения термического сопротивления (δ/λ) тормозных дисков в зависимости от их толщины (δ) и коэффициентов теплопроводности материалов (λ), изменяющихся от: а – (20 - 100) Вт/(м $\cdot$ °C) и б – (120 - 200) Вт/(м $\cdot$ °C)

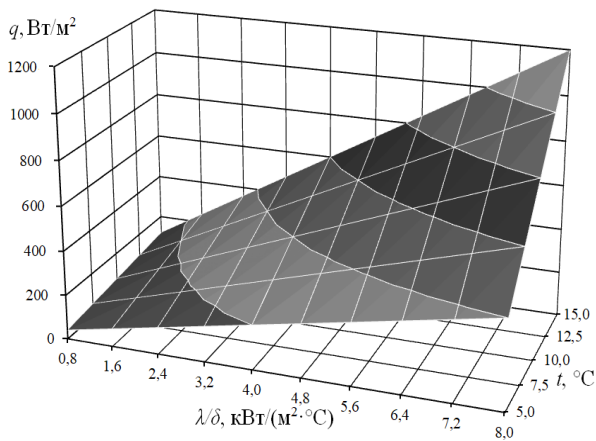


Рис. 4 – Закономерности изменения теплового потока (q), пронизывающего пояс трения тормозного диска при фрикционном взаимодействии пары трения накладка - диск" тормоза в зависимости от параметра (λ/δ) и объемной температуры в теле диска

На величину коэффициентов теплопередачи влияют термические сопротивления элементов трения тормоза, которые непосредственно принимают участие в теплообменных процессах. На рис. 5 приведены общие закономерности изменения поверхностных температур (t) фрикционных узлов барабанно-колодочного тормоза в зависимости от термического сопротивления (R) по толщине их элементов трения. При этом использованы следующие обозначения: t_K , t_{K1} – температуры внутренней и внешней поверхности основания тормозной колодки; t_H , t_{H1} , t_{H2} – температуры внутренней и рабочей поверхности фрикционной накладки и ее приповерхностного слоя; t_B , t_{B1} – температуры рабочей и наружной поверхностей обода тормозного барабана; R_1 , R_2 , R_3 , R_4 – термические сопротивления основания тормозной колодки, фрикционной накладки и ее приповерхностного слоя, а также обода тормозного барабана.

Представим закон Фурье в форме, аналогичной закону Ома в электротехнике, оперируя понятиями о термическом сопротивлении неоднородной многослойной стенки с температурами поверхностей деталей фрикционного узла барабанно-колодочного тормоза. Получили следующую зависимость для определения величины теплового потока:

$$q = \frac{t_{di} - t_k}{\sum_{i=1}^n R_i} \quad (9)$$

где $\sum_{i=1}^n R_i = R_1 + R_2 + R_3 + R_4$.

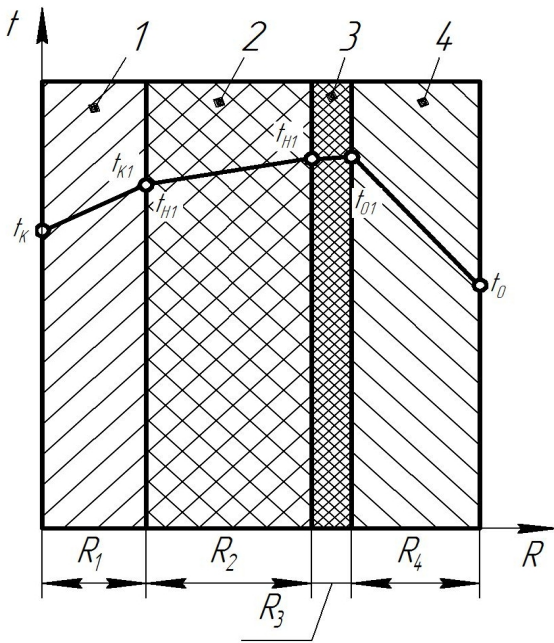


Рис. 5 – Тепловая модель фрикционного узла барабанно-колодочного тормоза:

- 1 – основание тормозной колодки;
- 2, 3 – фрикционная накладка и ее приповерхностный слой;
- 4 – обод тормозного барабана

В свою очередь, термическое сопротивление любого слоя стенки равно:

$$R = \frac{d_i}{\lambda_i},$$

где d_i , λ_i – толщина слоя и коэффициент его теплопроводности.

Зависимость для определения термического сопротивления фрикционного узла барабанно-колодочного тормоза имеет вид:

$$R = \frac{d_1}{\lambda_1} + \frac{d_2}{\lambda_2} + \frac{d_3}{\lambda_3} + \frac{d_4}{\lambda_4} \quad (10)$$

Оценим интенсивность теплопередачи через элементы пары трения с учетом физико-химического состояния приповерхностного слоя фрикционной накладки. Коэффициент теплопередачи в теплообменном процессе через «среду межконтактной зоны – приповерхностный слой фрикционной накладки – тело фрикционной накладки – основание тормозной колодки – омывающий ее воздух» определяется зависимостью вида:

$$K_1 = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_{Л1}} + \frac{d_1}{\lambda_1} + \frac{1}{\alpha_{Л2}}}, \quad (11)$$

где $\alpha_{Л1}$, $\alpha_{Л2}$ – коэффициенты теплоотдачи от: межконтактной среды к рабочей (полированной) поверхности металлического элемента трения; внешней (матовой) его поверхности к омывающему воздуху; d_1 , λ_1 – толщина и коэффициент теплопроводности металлического элемента трения.

Коэффициент теплопередачи в теплообменном процессе через «среду межконтактной зоны-приповерхностный слой фрикционной накладки-основание тормозной колодки-омывающий ее воздух» определяется зависимостью вида:

$$K_2 = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_{Л1}} + \frac{\delta_n}{\lambda_n} + \frac{d_i}{\lambda_i} + \frac{d_{Л\delta}}{\lambda_{Л\delta}} + \frac{1}{\alpha_{Л3}}}, \quad (12)$$

где $\alpha_{Л3}$ – коэффициент теплоотдачи от матовой поверхности основания тормозной колодки к омывающему воздуху; δ_n , d_i , $d_{Л\delta}$ – толщина приповерхностного слоя фрикционной накладки,

собственно накладки и основания тормозной колодки; λ_n , λ_i , λ_L – коэффициенты теплопроводности приповерхностного слоя накладки, собственно накладки, и основания тормозной колодки.

В случае достижения стабилизационного теплового состояния металлическим элементом трения тормозного устройства зависимость для определения коэффициента теплопередачи через «омывающий воздух -металлический элемент трения - среду межконтактной зоны - приповерхностный слой фрикционной накладки» имеет вид:

$$K_3 = \frac{1}{\frac{1}{a_{L2}} + \frac{d_1}{l_1} + \frac{1}{a_{L1}} + \frac{d_{H2}}{l_{H2}}}. \quad (13)$$

Зависимости (12) и (13) учитывают термическое сопротивление (δ_{H2}/λ_{H2}) приповерхностного слоя фрикционной накладки, от величины которого зависит направление теплового потока.

По значениям коэффициентов теплопередачи в парах трения определим коэффициенты распределения теплоты между их элементами в процессе торможения:

$$K = \frac{\dot{a} K_{cp}}{\dot{a} K_{cp} + \dot{a} K_{cp}}. \quad (14)$$

Для определения коэффициента распределения теплоты между элементами пары трения тормозных устройств при достижении стабилизационного теплового состояния ободом барабана в зависимость (14) необходимо подставить выражение (13). $\dot{a} K_{cp}$ определен за период торможения, который равен продолжительности его стабилизационного теплового состояния.

Проанализируем значения коэффициентов теплопередачи через элементы пар трения (зависимость 14) заднего барабанно-колодочного тормоза транспортного средства КрАЗ-250 (табл. 2).

Из выполненного анализа следует, что дисково-колодочный тормоз транспортного средства в процессе испытаний типа I и II обладает высокой стабильностью своих эксплуатационных параметров.

При изменении теплового состояния полированной (рабочей) поверхности тормозного барабана от 100 до 350°C коэффициент теплопередачи (K) увеличился с 5,82 до 51,17 Вт/(м² °C), т. е. примерно в 8,8 раза. Коэффициент распределения тепловых потоков между элементами пары трения барабанно-колодочного тормоза для первого элемента в интервале температур от 100 до 350°C увеличился от 0,55 до 0,875, а для второго элемента уменьшился от 0,45 до 0,125. Это свидетельствует о том, что в зоне допустимой температуры для материала фрикционной накладки обод тормозного барабана аккумулирует тепловую энергию, что обуславливает интенсификацию адсорбционно-десорбционных процессов в приповерхностных слоях элементов трения.

Таблиця 2

Начальные данные и результаты расчетов коэффициентов теплопередачи через элементы пары трения и распределение тепловых потоков между поверхностями трения заднего тормозного механизма транспортного средства КрАЗ-250

Поверхностные температуры: $\frac{\text{полированной } (t_{II})}{\text{матовой } (t_M)}$ обода тормозного барабана, °C	$\frac{100}{70}$	$\frac{150}{80}$	$\frac{240}{140}$	$\frac{250}{140}$	$\frac{300}{300}$	$\frac{350}{330}$
Толщина:						
приведенная обода тормозного барабана $\delta_{об}$, мм:	22,5					
Приповерхностного слоя фрикционной накладки δ_{H2} , мкм:	5,6	8,2	11,4	14,4	15,8	19,6
Фрикционной накладки δ_H , мм;	20,0					
Основания тормозной колодки δ_K , мм.	20,0					
Коэффициенты теплопроводности материалов элементов фрикционной пары, Вт/(м·°C):						
обода тормозного барабана ($\lambda_{об}$);	52,47					
тормозной колодки (λ_K);	52,47					
фрикционной накладки (λ_H).	0,53					
Коэффициенты теплоотдачи от поверхностей, Вт/(м² °C):						
полированной (α_{II});	11,67	11,67	24,5	25,0	40,0	76,67
и матовой (α_{I2}) обода барабана;	11,67	11,67	23,7	82,1	123,3	164,67
тормозной колодки (α_{I3}).	11,67					
Коэффициенты теплопередачи через элементы трения, Вт/(м² °C):						
обод тормозного барабана ($K_{об}$);	5,82	5,82	11,98	19,0	29,82	51,17
фрикционную накладку (K_H).	4,772	4,772	6,072	6,102	6,72	7,303
Термическое сопротивление, (м² °C)/Вт:						
обода тормозного барабана ($R_{об}$);	0,172	0,172	0,083	0,053	0,033	0,019
фрикционной накладки (R_H).	0,210	0,210	0,165	0,164	0,149	0,137
Коэффициенты распределения тепловых потоков через элементы пар трения:						
металлический ($\alpha_{Т.П.1}$);	0,55	0,55	0,664	0,757	0,816	0,875
Неметаллический ($\alpha_{Т.П.2}$).	0,45	0,45	0,336	0,243	0,184	0,125

Произведем анализ температурных градиентов дисков и барабанов тормозных устройств при циклических (тип I) и длительных (тип II) [3] испытаниях автотранспортного средства КрАЗ-250 (табл. 3): в вентилируемом тормозном диске объемные и поверхностные градиенты в два раза больше, нежели в сплошном диске при типе испытаний I; при типе испытаний II колебания указанных выше градиентов составило от 1,66 до 2,0 (рассматривались только стальные диски); в тормозных барабанах, изготовленных из стали и чугуна, объемные и поверхностные градиенты колебались от 1,48 до 1,86 при типе испытаний I; при типе испытаний II колебания указанных выше градиентов составило от 1,6 до 2,2.

Таблиця 3

Ограничения температурным градиентам металлических
фрикционных элементов тормозных устройств

Вид тормозного устройства	Металлический фрикционный элемент				
Дисково-колодочный	вентилируемый:		сплошной:		
	в начале	в конце	в начале	в конце	
	торможения с температурными градиентами:				
	объемными		поверхностными		
	I^*	$\frac{\ t_n\ }{\ d_o\ } \leq 5,0 \frac{^\circ C}{мм}$	$\frac{\ t_n\ }{\ r\ } \leq 20,0 \frac{^\circ C}{мм}$	$\frac{\ t_n\ }{\ d_o\ } \leq 2,5 \frac{^\circ C}{мм}$	$\frac{\ t_n\ }{\ r\ } \leq 10,0 \frac{^\circ C}{мм}$
	II^*	$\frac{\ t_n\ }{\ d_o\ } \leq 2,5 \frac{^\circ C}{мм}$	$\frac{\ t_n\ }{\ r\ } \leq 10,0 \frac{^\circ C}{мм}$	$\frac{\ t_n\ }{\ d_o\ } \leq 1,5 \frac{^\circ C}{мм}$	$\frac{\ t_n\ }{\ r\ } \leq 5,0 \frac{^\circ C}{мм}$
Барабанно-колодочный	стальной:		чугунный:		
	в начале	в конце	в начале	в конце	
	торможения с температурными градиентами:				
	объемными		поверхностными		
	I^*	$\frac{\ t_n\ }{\ d_o\ } \leq 8,0 \frac{^\circ C}{мм}$	$\frac{\ t_n\ }{\ r\ } \leq 30,0 \frac{^\circ C}{мм}$	$\frac{\ t_n\ }{\ d_o\ } \leq 5,5 \frac{^\circ C}{мм}$	$\frac{\ t_n\ }{\ r\ } \leq 18,0 \frac{^\circ C}{мм}$
	II^*	$\frac{\ t_n\ }{\ d_o\ } \leq 4,5 \frac{^\circ C}{мм}$	$\frac{\ t_n\ }{\ r\ } \leq 21,0 \frac{^\circ C}{мм}$	$\frac{\ t_n\ }{\ d_o\ } \leq 3,0 \frac{^\circ C}{мм}$	$\frac{\ t_n\ }{\ r\ } \leq 9,5 \frac{^\circ C}{мм}$

Выводы.

Таким образом, произведена оценка теплопередачи через металлические фрикционные элементы пар трения дисково- и барабанно-колодочного тормоза транспортных средств, позволившая в дальнейшем определить коэффициенты распределения тепловых потоков между их рабочими деталями.

Список использованных источников:

1. Расчет, испытания и подбор фрикционных пар / А. В. Чичинадзе, Э. Д. Браун, А. Г. Гинзбург [и др.]. – М. : Наука, 1989. – 267 с.
2. Горячева И. Г. Контактные задачи в трибологии / И. Г. Горячева, М. Н. Добычин. – М. : Машиностроение, 1998. – 256 с.
3. Основы трибологии / Под ред. А. В. Чичинадзе. – М. : Машиностроение, 2001. – 644 с.
4. V. Ganesan, Internal Combustion Engines, Tata McGraw Hill Co., Third Edition, 2007.
5. K.K. Ramalingam, “Automobile Engineering”, Scitech Publications Pvt. Ltd., 2005.

References

1. Chichinadze, AV, Braun, JeD, Ginzburg, AG et al. 1989, Raschet, ispytaniya i podbor frikcionnyh par, Nauka, Moskva.
2. Gorjacheva, IG & Dobychin, MN 1998, Kontaktnye zadachi v tribologii, Mashinostroenie, Moskva.
3. Chichinadze, AV (ed.) 2001, Osnovy tribologii, Mashinostroenie, Moskva
4. V. Ganesan, Internal Combustion Engines, Tata McGraw Hill Co., Third Edition, 2007.
5. K.K. Ramalingam, “Automobile Engineering”, Scitech Publications Pvt. Ltd., 2005.

Стаття надійшла до редакції 15 квітня 2019 р.

DOI 10.32820/2079-1747-2019-23-88-93

УДК 621.165

К ВОПРОСУ О ПОВЫШЕНИИ ЭКСПЛУАТАЦИОННОЙ НАДЕЖНОСТИ ОТВЕТСТВЕННЫХ ДЕТАЛЕЙ ТУРБИН АЭС

©Фурсова Т. Н.

Украинская инженерно-педагогическая академия

Информация об авторе:

Фурсова Татьяна Николаевна: ORCID 0000-0003-1900-7432; tatiana2507@ukr.net; кандидат технических наук, доцент кафедры теплоэнергетики и энергосбережения; Украинская инженерно-педагогическая академия; ул. Университетская 16, г. Харьков, 61003, Украина.

В данной статье обсуждается возможность повышения эксплуатационной надежности одних из наиболее ответственных и напряженных деталей паровых турбин АЭС – хвостовых соединений рабочих лопаток цилиндра низкого давления - и приводятся некоторые из результатов исследований в этой области. Появление повреждений в рабочих лопатках, работающих в зоне фазового перехода, обусловлено коррозионным растрескиванием под напряжением в местах их концентрации, а также коррозионной усталостью и усталостью. Целью представленной статьи является анализ условий работы хвостовых соединений рабочих лопаток, работающих в зоне фазового перехода, а также возможностей повышения их эксплуатационной надежности и ресурса путем замены материала лопаток. Проведено исследование напряженно – деформированного состояния двухопорного хвостового соединения грибовидного типа 4 ступени цилиндра низкого давления турбины К-1000-60/1500 в пределах упругих деформаций в двумерной постановке задачи с помощью программного комплекса на базе метода конечных элементов и сравнение с известными экспериментальными данными. Определены зоны конструкции, которые представляют наибольшую опасность вследствие силовой и геометрической концентрации напряжений. Рассмотрена возможность замены материала рабочей лопатки из стали 12Х13Ш КП 45, используемой в настоящее время на более прочную сталь 15Х11МФШ КП 60. Проанализированы конструктивные решения, применяемые заводом - изготовителем для повышения конструкционной прочности и долговечности рассматриваемых рабочих лопаток. Результаты данной работы могут быть использованы в области энергомашиностроения, при проектировании и эксплуатации паровых турбин. Предлагается применять полученные результаты для предотвращения возможных повреждений в зонах концентрации напряжений хвостовых соединений рабочих лопаток паровых турбин.

Ключевые слова: эксплуатационная надежность, паровая турбина, напряженно – деформированное состояние, хвостовое соединение, сталь.

Фурсова Т.Н. «До питання про підвищення експлуатаційної надійності відповідальних деталей турбін АЕС»

У даній статті обговорюється можливість підвищення експлуатаційної надійності одних з найбільш відповідальних і напружених деталей парових турбін АЕС - хвостових з'єднань робочих лопаток циліндру низького тиску - і приводяться деякі з результатів дослід-

дження. Поява пошкоджень у робочих лопатках, які працюють у зоні фазового переходу, обумовлена корозійним розтріскуванням під напругою в місцях їх концентрації, а також корозійною втомою і втомою. Метою представленої статті є аналіз умов робіт хвостових з'єднань робочих лопаток, які працюють у зоні фазового переходу, а також можливостей підвищення їх експлуатаційної надійності та ресурсу шляхом заміни матеріалу лопаток. Проведене дослідження напружено - деформованого стану двохопального грибовидного хвостового з'єднання 4-го ступеня циліндру низького тиску турбін К-1000-60 / 1500 у межах пружних деформацій в двомірній постановці задачі із застосуванням програмного комплексу на базі методу кінцевих елементів та порівняння з відомими експериментальними даними. Визначені зони конструкції, які представляють найбільшу небезпеку внаслідок силової та геометричної концентрації напруг. Розглянуто можливість заміни матеріалу робочих лопаток зі сталі 12Х13Ш КП 45, що використовується у даний час на більш міцну сталь 15Х11МФШ КП 60. Проаналізовані конструктивні рішення, що використовуються заводом – виготовником для підвищення конструктивної міцності і довговічності розглядаємих робочих лопаток. Результати цієї роботи можуть бути використані в області енергомашинобудування, при проектуванні й експлуатації парових турбін. Пропонується застосовувати отримані результати для запобігання можливим пошкодженням у зонах концентрації напруг хвостових з'єднань робочих лопаток парових турбін.

Ключові слова: експлуатаційна надійність, парова турбіна, напружено - деформований стан, хвостове з'єднання, сталь.

Fursova T. «To the issue of improving the operational reliability of the responsible parts of the NPP turbines»

This article deals with the possibility of increasing the operational reliability of some of the most responsible and stressed parts of the steam turbines at nuclear power plants - the rotor blades roots of the low pressure cylinder - and some of the results of research in this area are given. The appearance of damage in the rotor blades operating in the phase transition zone is due to corrosion cracking under stress in places of their concentration as well as corrosion fatigue and fatigue. The purpose of the presented article is to analyze the working conditions of blades roots working in the phase transition zone as well as the possibilities to increase their operational reliability and resource by replacing the material of the blades. The examination of the stressed - deformed state of the two - supports root of the mushroom type for 4 stage of the low pressure cylinder of the K-1000-60/1500 turbine is carried out within the limits of elastic deformations in the two-dimensional formulation of the problem using a software complex based on the finite element method and a comparison with the known experimental information. The construction zones that represent the greatest danger due to the load and geometric concentration of stresses are determined. The possibility of replacing the material of the rotor blades from the steel 12X13Ш КП 45 which is currently used for the stronger steel 15X11МФШ КП 60, is considered. The constructive decisions used by the manufacturer to increase the structural strength and durability of the considered rotor blades are analyzed. The results of this work can be used in the industry of power engineering, in

the design and operation of steam turbines. It is proposed to use the obtained results to prevent possible damage in the concentration stress zones of the rotor blades roots of steam turbines.

Key words: operational reliability, steam turbine, stressed - deformed state, blade root, steel.

Введение

К одним из наиболее ответственным и напряженным деталям паровых турбин относятся хвостовые соединения для крепления рабочих лопаток на роторе.

Хвостовое соединение представляет собой конструкцию, работающую в условиях сложнапряженного состояния, определяемого неравномерностью распределения силовых линий в объеме конструкции при наличии концентраторов напряжений в зонах угловых переходов. Основными нагрузками, действующими на хвостовые соединения и влияющими на их прочность, являются статическое растяжение от центробежных сил и знакопеременный изгиб, возникающий при колебаниях лопаток. [1].

Особенно тяжелые условия характерны для рабочих лопаток цилиндров низкого давления (ЦНД) паровых турбин АЭС, работающих в зоне фазового перехода, определяемой осаждением коррозионно-активных веществ на омываемых паром поверхностях, что, в свою очередь, способствует активизации процессов коррозионной усталости.

Данные о повреждениях рабочих лопаток и хвостовых соединений паровых турбин приводятся в [2]. Для двухопорных грибовидных хвостовых соединений, используемых в турбинах К-1000-60/1500, трещины возникают в местах концентрации напряжений в закруглениях опорных поверхностей, а также в углах буртиков, препятствующих деформации хвостовиков под действием центробежных сил (рис. 1).

Появление повреждений в лопатках, работающих в зоне фазового перехода, обусловлено коррозионным растрескиванием под напряжением в местах их концентрации, а также коррозионной усталостью, вызываемой высоким значением местных напряжений и пониженного значения предела выносливости (усталости).

Целью работы является анализ условий работы хвостовых соединений лопаток, работающих в зоне фазового перехода, а также возможностей повышения их эксплуатационной надежности и ресурса путем замены материала лопаток.

Методология исследования. Существует ряд причин, вызывающих повреждения в хвостовиках рабочих лопаток турбин К-1000-60/1500– усталость, коррозионная усталость, коррозионное растрескивание под напряжением. Это обусловлено как работой в зоне фазового перехода и наличием зон концентрации напряжений в конструкции, так и отклонениями от требований чертежей при изготовлении лопаток и технологическими нарушениями при облопачивании.

Для определения напряженно-деформированного состояния (НДС) стандартной конструкции профиля двухопорного хвостового соединения и выявления его наиболее опасных зон с точки зрения возникновения повреждений проведено исследование с помощью программного комплекса на базе метода конечных элементов (МКЭ) в двухмерной постановке задачи. Следует отметить, что численные методы расчета на ЭВМ с помощью МКЭ позволяют проводить подробное исследование общего НДС и характера распределения местных напря-

жений в двухмерной и объемной постановке задач, заменяя дорогостоящие эксперименты [3 - 4]. Контакт задавался по всем опорным поверхностям хвостовика и грибка обода диска, включая его бурты.

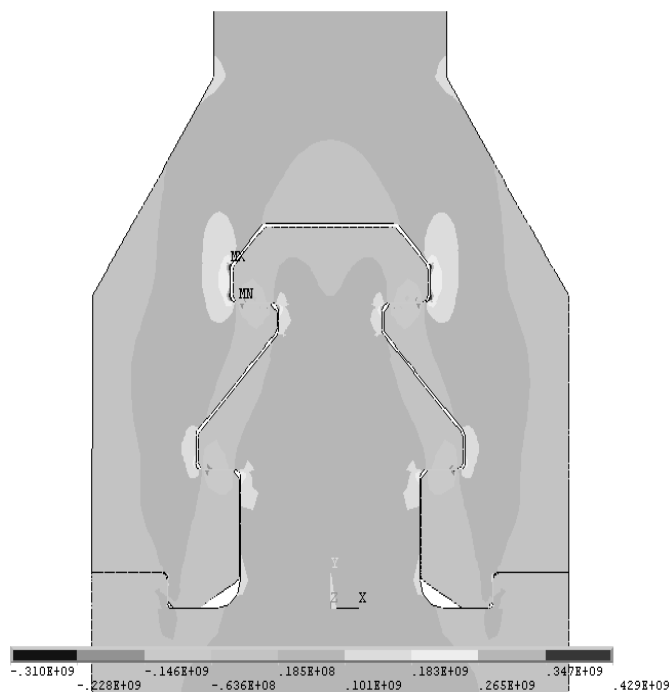


Рис. 1 – Распределение напряжений в конструкции двухопорного грибовидного хвостовика

Характер распределения напряжений в конструкции при контакте по всем опорным поверхностям представлен на рис. 1. Для анализа были выбраны сечения в зоне наиболее напряженного верхнего зубца, показанные на рис. 2.

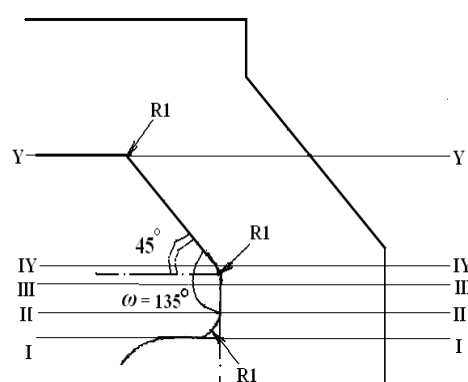


Рис. 2 – Расчетные сечения зубца хвостовика

Средние напряжения в сечениях I – I, II – II, III – III, IV – IV имеют одинаковый уровень, что объясняется практически одинаковой шириной этих сечений, и составляют 96 МПа (в эксперименте [1] – 90 МПа). В менее напряженном сечении V – V средние напряжения составляют 46 МПа.

В зоне нижнего зубца средние напряжения в сечениях, аналогичных I ÷ IV составляют 72 МПа. Максимум напряжений в зоне верхнего зубца имеет место в сечении II – II и составляет 429 МПа.

Распределение максимальных напряжений в сечениях хвостовика представлено на рис. 3. При анализе неравномерности распределения местных напряжений в рассматриваемых сечениях хвостовика наблюдается их различный уровень, что обусловлено как величинами теоретических коэффициентов концентрации K_t (рис. 4), так и неравномерностью распределения силовых линий в конструкции.

При работе хвостового соединения отдельные контактные поверхности и расчетные сечения могут оказаться перегруженными, поскольку упругие деформации в элементах хвостового соединения не компенсируют существующие технологические зазоры. В результате при наличии нескольких контактных поверхностей, предназначенных для восприятия соответствующей доли реактивного усилия, вызванной внешней нагрузкой, в контакте находятся не все опоры [3 - 4].

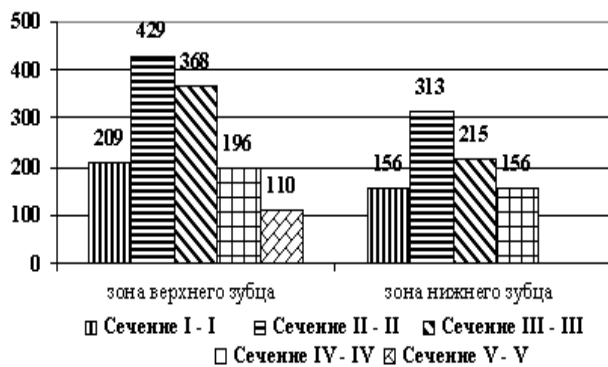


Рис. 3 – Максимальные напряжения в расчетных сечениях хвостовика

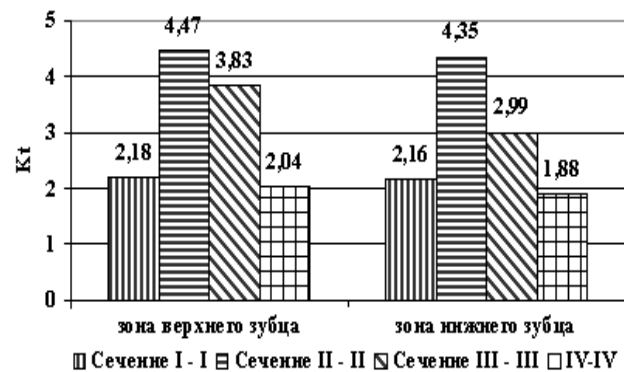


Рис. 4 – Теоретические коэффициенты концентрации напряжений в расчетных сечениях хвостовика

Предложения и рекомендации

Для изготовления рабочих лопаток, работающих при температуре пара ниже 450 °С, в том числе и для лопаток предпоследних и последних ступеней цилиндров низкого давления (ЦНД), применяется сталь 12Х13Ш КП45 [1, 5 - 6]. Высоконагруженные лопатки последних ступеней ЦНД изготавливаются из стали 15Х11МФШ КП70 из условия обеспечения необходимых запасов прочности.

Для изготовления рабочих лопаток и хвостовых соединений 4-й ступени турбин К-1000-60/1500 применяется сталь 12Х13Ш КП45. Рассмотрим замену указанной стали на сталь 15Х11МФШ КП60 (механические свойства в соответствии с ОСТ 108.020.03-82 [7]- табл. 1) в качестве материала рабочих лопаток, для исключения усталостных поломок в зонах активной части или хвостовика.

Таблица 1

Механические свойства сталей 12Х13Ш КП45 и 15Х11МФШ КП60

Марка материала	Категория прочности	Механические свойства					
		$\sigma_{0,2}$, МПа	σ_B , МПа	δ , %	ψ , %	КСУ, кДж·м ⁻²	НВ
12Х13Ш	45	441,0 - 637,0	$\geq 617,4$	≥ 20	≥ 60	$> 784,0$	192 - 229
15Х11МФШ	60	568,4 - 755,0	$\geq 755,0$	≥ 14	≥ 50	$> 588,0$	229 - 269
15Х11МФШ	70	666,4 – 813,4	≥ 784	≥ 13	≥ 40	> 393	248 - 293

Критическая температура хрупкости стали 12Х13Ш КП45 составляет $T_{50} \leq 0^\circ\text{C}$, для стали 15Х1МФШ КП60 $T_{50} \leq +15^\circ\text{C}$, для стали 15Х1МФШ КП70 $T_{50} \leq +30^\circ\text{C}$. Значения критической температуры хрупкости этих материалов приведены в паспортах на сталь 12Х13Ш и 15Х11МФШ. По данным паспортов рассматриваемых сталей при испытаниях образцов с концентратором напряжений (круговой надрез $r = 1$ мм) значение предела выносливости при базе испытаний 10^7 циклов для стали 12Х13Ш КП45 составляет 185 МПа, для стали 15Х1МФШ КП60 – 220 МПа, 15Х11МФШ КП70 - 230 МПа. Таким образом, имея больший предел выносливости по сравнению со сталью 12Х13Ш КП45 и несколько лучшие показатели пластичности, ударной вязкости, критической температуры хрупкости, чем у стали 15Х11МФШ КП70, сталь 15Х11МФШ КП60 может быть использована для изготовления лопаток 4 ступени ЦНД по технической документации завода – изготовителя. Следует отметить, что для повышения эксплуатационной надежности рабочих лопаток 4 ступени ЦНД турбин типа К-1000-

60/1500 заводом-изготовителем применяются следующие конструктивные решения, позволяющие повысить сопротивляемость усталостным разрушениям и снизить уровень переменных напряжений, действующих на профильную и хвостовую части лопаток: увеличенный радиус в угловом переходе буртика хвостовика; цельнофрезерованные бандажи с демпферными вставками типа «ласточкин хвост», с помощью которых достигается кольцевая перевязка лопаток на рабочем колесе; цилиндрические штифты, установленные по стыкам всех хвостовиков, поверх грибка диска.

Выводы

В работе рассмотрены возможности повышения эксплуатационной надежности и ресурса двухпорных хвостовых соединений рабочих лопаток паровых турбин К-1000-60/1500, работающих на АЭС, с точки зрения повышения трещиностойкости в зонах концентрации напряжений на основе анализа условий их работы: проведено исследование НДС двухпорного грибовидного хвостового соединения и установлены наиболее опасные зоны с точки зрения возникновения повреждений, рассмотрена возможность замены материала рабочей лопатки из стали 12Х13Ш КП45 на более прочную сталь 15Х11МФШ КП 60, проанализированы конструктивные решения, используемые для повышения конструкционной прочности и долговечности рабочих лопаток.

Список использованных источников:

1. Прочность элементов паровых турбин / под ред. Л. А. Шубенко-Шубина. – М. ; Киев : ГНТИ машиностроит. лит-ры, 1962. – 568 с.
2. Исследование изломов. Методические рекомендации и атлас повреждений деталей проточной части турбин / сост. В. Ф. Резинских, Э. С. Гинзбург, А. М. Клышина. – М. : Изд-во ВТИ, 1993. – 132 с.
3. Улучшение равномерности распределения напряжений в елочных хвостовых соединениях рабочих лопаток турбин / А. Л. Шубенко, В. П. Сухинин, Т. Н. Фурсова [и др.] // Вестник Нац. техн. ун-та "ХПИ" : сб. науч. тр. Темат. вып. : Энергетические и теплотехнические процессы и оборудование. – Харьков : НТУ "ХПИ", 2013. – № 12. – С. 120-127.
4. Failure analysis of the 350 MW steam turbine blade root / J. Kubiak, SzJ. A. Segura, G. Gonzalez [et al.] // Engineering Failure Analysis. – 2009. – Vol. 16, Iss. 4. – Pp. 1270-1281.
5. Трухний А. Д. Теплофикационные паровые турбины и турбоустановки / А. Д. Трухний, Б. В. Ломакин. – М. : Изд-во МЭИ, 2002. – 540 с.
6. Михайлов-Михеев П. Б. Справочник по металлическим материалам турбино- и моторостроения / П. Б. Михайлов-Михеев. – М. ; Л. : ГНТИ машиностроит. лит - ры, 1961. – 838 с.
7. ОСТ 108.020.03-82. Заготовки лопаток турбин и компрессоров штампованные, свободноткованные и катанные из коррозионно-стойкой и жаропрочной стали. Общие технические условия. – Взамен ОСТ 24.020.30-75 ; введ. 1982–08–03. – СПб : НПО ЦКТИ, 2010. – 13 с.

References

1. Shubenko-Shubin, LA (ed.) 1962, Prochnost jelementov parovyh turbin, Gosudarstvennoe nauchno-tehnicheskoe izdatelstvo mashinostroitelnoj literatury, Moskva, Kiev.
2. Rezinskih, VF, Ginzburg, JeS & Klypina, AM (comp) 1993, Issledovanie izlomov. Metodicheskie rekomendacii i atlas povrezhdenij detalej protochnoj chasti turbin, Izdatelstvo Vserossijskogo teplotehnicheskogo instituta, Moskva.
3. Shubenko, AL, Suhinin, VP, Fursova, TN et al. 2013, 'Uluchshenie ravnomernosti raspredelenija naprjazhenij v elochnyh hvostovyh soedinenijah rabochih lopatok turbin', Vestnik Nacionalnogo tehničeskogo universiteta Harkovskij politehničeskij institut, Tematičeskij vypusk Jenergetičeskije i teplotehničeskije processy i oborudovanie, Nacionalnij tehničeskij universitet Harkovskij politehničeskij institut, Harkov, no. 12, pp. 120-127.
4. Kubiak, J, Segura, SzJA, Gonzalez, G, García, RJC, Sierra, F, Nebradt, EJ & Rodriguez, GJA 2009, 'Failure analysis of the 350 MW steam turbine blade root', Engineering Failure Analysis, vol. 16, iss. 4, pp. 1270-1281.
5. Truhnij, AD & Lomakin, BV 2002, Teplofikacionnye parovye turbiny i turboustanovki, Izdatelstvo Moskovskogo jenergetičeskogo instituta, Moskva.
6. Mihajlov-Miheev, PB 1961, Spravochnik po metallicheskim materialam turbino- i motorostroenija, Gosudarstvennoe nauchno-tehnicheskoe izdatelstvo mashinostroitelnoj literatury, Moskva, Leningrad.
7. Nauchno-proizvodstvennoe obedinenie Centralnogo kotloturbinnogo instituta 2010, OST 108.020.03-82. Zagotovki lopatok turbin i kompressorov shtampovannye, svobodnokovannye i katannye iz korrozionno-stojkoj i zharopročnoj stali. Obshhie tehničeskije uslovija, Sankt-Peterburg.

Стаття надійшла до редакції 26 квітня 2019 р.

DOI 10.32820/2079-1747-2019-23-94-99

УДК 655.3.021

**РАЗРАБОТКА НОРМАТИВНОЙ БАЗЫ РЕСУРСОСБЕРЕГАЮЩИХ
ТЕХНОЛОГИЙ ПРИ МЕХАНИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКЕ**

©Гордеев А.С.

*Украинская инженерно-педагогическая академия***Информация об авторе:**

Гордеев Андрей Сергеевич: ORCID: 0000-0001-6521-3937; gordeew@ukr.net; доктор технических наук; профессор кафедры информационных компьютерных технологий и математики; Украинская инженерно-педагогическая академия; ул. Университетская, 16, г. Харьков, 61003, Украина.

В статье была сформулирована система связей интегрального энергетического критерия процесса резания с режимами резания. При механической обработке расход энергии, необходимой на снятие стружки, уменьшается на 10-15%, если снимается не максимальный припуск, а вероятностный. Расход тепловой энергии, идущей на нагрев заготовки при точении уменьшается на 20%, при снятии действительного припуска.

Ключевые слова: механическая обработка, энергетический критерий, режимы резания, нормативная база.

Гордеев А.С. «Розробка нормативної бази ресурсозберігаючих технологій при механічній обробці».

Метою роботи є аналіз енергетичних перетворень при чистовому точінні сталей різцями з твердосплавними ріжучими пластинами з подальшою розробкою нормативної бази ресурсозберігаючих технологій при механічній обробці. Універсальні теоретичні моделі для визначення оптимальних режимів різання повинні базуватися на розгляді процесу різання як комплексу взаємопов'язаних явищ, інтенсивність кожного з яких може бути виражена через єдиний інтегральний енергетичний критерій. Значна кількість взаємопов'язаних фізичних процесів при точінні сталей твердосплавним інструментом зі зміцненням або зносостійким покриттям і залежність інтенсивності їх протікання від режимів різання і властивостей поверхневого шару інструменту, придбаних ним у результаті зміцнюючого впливу, вимагає всебічного аналізу системи зв'язків інтегрального енергетичного критерію процесу різання з режимами різання.

У статті була сформульована система зв'язків інтегрального енергетичного критерію процесу різання з режимами різання. При механічній обробці витрата енергії, необхідної на зняття стружки, зменшується на 10-15%, якщо знімається не максимальний припуск, а імовірнісний. Витрата теплової енергії, що йде на нагрів заготовки при точінні зменшується на 20%, при знятті дійсного припуску. Корисну частиною енергетичного балансу будемо вважати постійною для заданої пари «твердий сплав - опрацьований матеріал». Мінімум теплової енергії або будь-якого збільшення внутрішньої енергії, необхідний і достатній для утворення поверхні при знятті шару матеріалу з заданим перетином зрізу. Надлишок складової енергії, що перевищує цей мінімум, будемо вважати «шкідливою» частиною, яка витрачається на інтенсифікацію контактів процесів, і, відповідно, - на знос інструменту. У статті на основі аналізу енергетичних перетворень при чистовому точінні сталей різцями з твердосплавними ріжучими пластинами була сформульована система зв'язків ін-

тегрального енергетичного критерію процесу різання з режимами різання. При механічній обробці витрата енергії, необхідної на зняття стружки, зменшується, якщо знімається не максимальний припуск, а імовірнісний. Витрата теплової енергії, що йде на нагрів заготовки при точінні зменшується, при знятті дійсного припуску.

Ключові слова: механічна обробка, енергетичний критерій, режими різання, нормативна база.

Gordeev A. «Development of a normative base for resource-saving technologies in mechanical processing»

The aim of the work is to analyze energy transformations in the finishing turning of steel with carbide-tipped cutting blades with the subsequent development of the regulatory framework for resource-saving technologies for machining. Universal theoretical models for determining the optimal cutting conditions should be based on consideration of the cutting process as a complex of interrelated phenomena, the intensity of each of which can be expressed through a single integral energy criterion. A significant number of interconnected physical processes in steel turning with a carbide tool with reinforcement or wear-resistant coating and the dependence of their intensity on cutting conditions and properties of the surface layer of the tool acquired by it as a result of reinforcing effect requires a comprehensive analysis of the links of the integrated energy criterion of the cutting process with cutting conditions.

The article formulated a system of links of the integral energy criterion of the cutting process with cutting conditions. During machining, the energy consumption required for chip removal is reduced by 10-15%, if not the maximum allowance is removed, but probabilistic. The consumption of thermal energy going to heat the workpiece when turning decreases by 20% when removing the actual allowance. A useful part of the energy balance will be considered constant for a given pair of "solid glow - processed material". The minimum of thermal energy or any increase in internal energy is required and sufficient to form a surface when removing the material layer with a given section of the cut. The surplus of the energy component that exceeds this minimum will be considered as a "harmful" part, which is spent on the intensification of contact processes, and, accordingly, on the demolition of the instrument. In the article on the basis of the analysis of energy transformations in the finishing of steel by cutters with carbide cutting plates, the system of connections of the integral energy criterion of cutting process with cutting modes was formulated. When machining the amount of energy needed to remove chips, it decreases if not the maximum allowable, but probabilistic. The consumption of heat energy, which goes to the heating of the workpiece at the precision, decreases, with the removal of the actual allowance.

Key words: *machining, energy criterion, cutting conditions, regulatory framework.*

Введение

Неуклонное увеличение удельного веса чистовой токарной обработки в структуре технологических процессов изготовления стальных деталей тел вращения обуславливает актуальность разработки моделей для расчетно-аналитического определения оптимальных режимов резания при чистовом точении сталей резцами с твердосплавными пластинами.

Универсальные теоретические модели для определения оптимальных режимов резания должны базироваться на рассмотрении процесса резания как комплекса взаимосвязанных явлений, интенсивность каждого из которых может быть выражена через единый интегральный энергетический критерий. Значительное количество взаимосвязанных физических процессов при точении сталей твердосплавным инструментом с укреплением или износостойким покрытием и зависимость интенсивности их протекания от режимов резания и свойств поверхностного слоя инструмента, приобретенных им в результате упрочняющего воздействия, требует всестороннего анализа системы связей интегрального энергетического критерия процесса резания с режимами резания.

Учитывая широкое использование методов укрепления и нанесения износостойких покрытий для повышения стойкости твердосплавного инструмента, особенно актуальной является разработка подобных моделей для твердосплавного инструмента, подвергнутого предварительному упрочняющему энергетическому воздействию.

Рассмотрение процесса резания как комплекса взаимосвязанных и взаимообусловленных физических явлений является общей чертой работ В.Ф. Безъязычного [1], А. Л. Водолагина [2], А. М. Дальского [3], В. В. Закураева [4], В. К. Старкова [5], С. И. Тахмана [6], Л. Ш. Шустера [7], Ф. Я. Якубова [8] и других. В качестве параметров, обуславливающих интенсивность физических явлений при резании, в первую очередь - интенсивность износа инструмента, как основного фактора, определяющего работоспособность резцов при чистовом точении, в рассмотренных работах используются показатели, которые по своей сути являются энергетическими: температура резания (показатель, связан с количеством тепловой энергии в зоне резания) [3], накопленная внутренняя энергия поверхностного слоя инструмента [8], скрытая энергия деформирования срезаемого слоя и скрытая энергия деформирования поверхностного слоя обработанной детали [5]. Теоретические концепции и рекомендации, приведенные в работах [1-8], создают широкое поле решений для выбора оптимальных режимов резания при чистовом точении сталей твердосплавными резцами.

Вместе с тем, в перечисленных работах отсутствует исчерпывающий анализ взаимных связей всех физических процессов и энергетических преобразований в зоне резания. Акцент сделан на зависимости интенсивности износа инструмента от энергетического состояния зоны резания, каждый из которых не может быть признан интегральным энергетическим критерием в силу пренебрежения теми или иными физическими явлениями, признанными авторами концепций как малозначимые. Выше сказанное обуславливает необходимость разработки универсальной теоретической модели процесса резания, которая учитывала бы связи всех различных по природе физических явлений (и, соответственно, энергетических преобразований), которые влияют на интенсивность изнашивания инструмента.

Общие принципы разработки подобной модели процесса резания для чистового точения сталей твердосплавным инструментом с укреплением или износостойким покрытием приведены в работах авторов [9, 10]. В них предусматривается выражения целевой функции и системы ограничений через интегральный энергетический критерий процесса резания, ра-

вный соотношению удельной энергии отделения единицы массы (объема) обрабатываемого материала (или удельной энергии образования единицы площади обработанной поверхности), и удельной энергии диспергирования единицы массы (объема) твердого сплава при износе режущей пластины.

Целью работы является анализ энергетических преобразований при чистовом точении стальных резцами с твердосплавными режущими пластинами с последующей разработкой нормативной базы ресурсосберегающих технологий при механической обработке.

2. Анализ энергетических преобразований при чистовом точении стальных резцами с твердосплавными режущими пластинами

При чистовом точении стойкость инструмента и технологические характеристики деталей определяются интенсивностью изнашивания резцов. Соответственно, условием оптимальности процесса резания должна быть наименьшая удельная интенсивность износа резцов при отделении единицы массы срезаемого слоя (или образовании единицы площади обработанной поверхности). Поэтому интегральный энергетический критерий определяем как:

$$E = E_{\min} + (E_{\max} - E_{\min})e^{-J}, \quad (1)$$

где $E_{\min}$ – минимальный расход энергии, при котором еще возможно реализовать данную операцию; $E_{\max}$ – расход энергии при консервативной (неполной) информации об объекте или процессе; J – информация, получаемая при измерениях; e – основание натуральных логарифмов.

Основной задачей чистовой токарной обработки, в отличие от черновой и получистовой, является не снятие наибольшего припуска, а образование большей площади новых поверхностей детали заданной точности и качества за единицу времени. Поскольку в зоне резания определяющим процессом является снятие материала заготовки с превращением его в стружку в результате пластической деформации. И именно на осуществление этой деформации расходуется наибольшая составляющая механической работы сил в зоне резания [5], то в промежуточных расчетах при формировании теоретической модели процесса резания может использоваться формула (1).

Информация об измеряемом параметре при равноточных и независимых измерениях с учетом случайной составляющей погрешности измерительного прибора подчиняется закону нормального распределения

$$J = \ln \sqrt{\frac{0.5 \times p \times e^{\frac{2}{n}}}{C_e^2 n^{2N}} \frac{1}{C_{np}^2} + \frac{T^2}{n}} \quad (2)$$

где C_{np} – цена деления измерительного прибора; T – допуск на измерение; n – число измерений или объем выборки измеряемых деталей; C_e – коэффициент, зависящий от закона распределения измеряемой величины; N – показатель степени.

Критерии в выражениях (1) и (2) трактуем как соотношение «полезного» и «вредной» составляющих энергии процесса резания. «Полезная» составляющая энергии расходуется на образование новой поверхности, «вредная» - на износ инструмента. Оптимальным условиям резания соответствует максимум, т.е. наибольшая удельная доля «полезной» составляющей в общем энергетическом балансе зоны резания.

Приведенный вид уравнения (2) учитывает все энергетические факторы процесса резания различной физической природы.

«Полезную» часть энергетического баланса будем считать постоянной для заданной пары «твердый сплав - обрабатываемый материал». Минимум тепловой энергии или любого приращение внутренней энергии, необходим и достаточен для образования поверхности при снятии слоя материала с заданным сечением среза. Избыток составляющей энергии, превышающей этот минимум, будем считать «вредной» частью, которая тратится на интенсификацию контактов процессов, и, соответственно, - на износ инструмента.

Выводы

В статье на основе анализа энергетических преобразований при чистовом точении стальных резцами с твердосплавными режущими пластинами была сформулирована система связей интегрального энергетического критерия процесса резания с режимами резания. При механической обработке расход энергии, необходимой на снятие стружки, уменьшается на 10-15%, если снимается не максимальный припуск, а вероятностный. Расход тепловой энергии, идущей на нагрев заготовки при точении уменьшается на 20%, при снятии действительного припуска.

Список использованных источников:

1. Татьяначенко А. Г. Особенности развития тепловых процессов при чистовой обработке отверстий комбинированным осевым инструментом / А. Г. Татьяначенко, И. Н. Лаппо // *Вісник СевНТУ: зб. наук. пр. Сер. Машиноприладобудування та транспорт.* – Севастополь. – 2013. – Вип. 140. – С. 178-183.
2. Резников А. Н. Термоупругие деформации изделия и инструмента в процессе развертывания / А. Н. Резников, Л. Е. Яценко // *Теплофизика технологических процессов : межвед. науч. сб.* – Саратов : Изд. Саратовского ун-та, 1973. – Вип. 1. – С. 24-35.
3. Татьяначенко О. Г. Теоретичні основи прогнозування термопружних деформацій осьового інструменту і деталі і їх вплив на точність обробки отворів : автореф. дис. д-ра техн. наук : 05.03.01 «Процеси механічної обробки, верстати і інструменти» / О. Г. Татьяначенко. – Донецьк : ДонНТУ, 2006. – 36 с.
4. Tatianchenko A.G. Perspectives of heightening of exactitude fair handlings of holes by the axial instrument / A. G. Tatianchenko, I. N. Lappo, T. M. Brizhan // IX Международная конференция «Strategy of Quality in Industry and Education»: Материалы. В 3-х томах. – Варна. – 2013. – Т. 3. – С. 202-207.
5. Малышко И. А. Температурные деформации детали при обработке отверстий / И. А. Малышко, А. Г. Татьяначенко // *Прогрессивные технологии и системы машиностроения : международный сб. науч. тр.* – Донецк, 2001. – Вип. 17. – С. 45-51.
6. Малышко И. А. Температурное состояние детали при развертывании отверстий / А. И. Малышко, А. Г. Татьяначенко, С. И. Бочаров // *Вісник інженерної академії.* – Київ, 2001. – № 3. – С. 231-233.
7. Лаппо І. М. Удосконалення нормативної документації забезпечення якості лезової обробки отворів : дис.. канд. техн. наук : 05.01.02 / Лаппо Ірина Миколаївна. – Харків, 2016. – 181 с.
8. Даниелян А. М. Резание металлов и инструмент / А. М. Даниелян. – М. : Государственное научно-техническое издательство машиностроительной литературы, 1950. – 454 с.
9. Розенберг Ю. А. Резание материалов : учебник для вузов / Ю. А. Розенберг. – Курган : Полиграфический комбинат, 2007. – 294 с.

10. Ящерицын Т. И. Теория резания : учеб. / П. И. Ящерицын, Е. Э. Фельдштейн, М. А. Корниевич. – 2-е изд., испр. и доп. – Минск : Новое знание, 2006. – 512 с.
11. Методические указания. Выбор универсальных средств измерения линейных размеров до 500 мм. (По применению ГОСТ 8.051–81): РД 50–98–89 – М. : Изд-во стандартов. – 1987. – 80 с.
12. Силин Р. И. Анализ процесса снятия стружки металла режущим клином / Р. И. Силин, А. А. Мясищев, С. С. Ковальчук // Известия вузов. – Машиностроение. – 1989. – № 2. – С. 145-148.
13. Zemzemi F et al. Identification of a friction model at tool/chip/workpiece interfaces in dry machining of AISI 4142 treated steels. *J. Mater. Process. Technol.* 2009; 209:3978-3990.
14. Brocail J et al. Identification of a friction model for modelling of orthogonal cutting. *Int. J. Mach. Tool Manuf.* 2010; 50:807-814.

References

1. Tatjanchenko, AG & Lappo, IN 2013, 'Osobennosti razvitija teplovyh processov pri chistovoj obrabotke otverstij kombinirovannym osevim instrumentom', *Visnyk Sevastopolskoho natsionalnogo tekhnicheskoho uniwersytetu, Seriya Mashynoprylادobuduvannya ta transport, Sevastopol*, iss. 140, pp. 178-183.
2. Reznikov, AN & Jacenko, LE 1973, 'Termouprugie deformacii izdelija i instrumenta v processe razvertyvaniya', *Teplofizika tehnologicheskikh processov, Izdatelstvo Saratovskogo universiteta, Saratov*, iss. 1, pp. 24-35.
3. Tatjanchenko, OH 2006, 'Teoretychni osnovy prohnozuvannya termopruzhnnykh deformatsii osovoho instrumentu i detali i yikh vplyv na tochnist obrobky otvoriv', *Doct.tech.n. abstract, Donetskyy natsionalnyi tekhnichnyi universytet, Donetsk*.
4. Tatjanchenko, AG, Lappo, IN & Brizhan, TM 2013, 'Perspectives of heightening of exactitude fair handlings of holes by the axial instrument', *Strategy of Quality in Industry and Education, Varna*, vol. 3, pp. 202-207.
5. Malyshko, IA & Tatjanchenko, AG 2001, 'Temperaturnye deformacii detali pri obrabotke otverstij', *Progressivnye tehnologii i sistemy mashinostroenija, Doneck*, iss. 17, pp. 45-51.
6. Malyshko, IA, Tatjanchenko, AG & Bocharov, SI 2001, 'Temperaturnoe sostojanie detali pri razvertyvanii otverstij', *Visnyk inzhenernoi akademii, Kyiv*, no. 3, pp. 231-233.
7. Lappo, IM 2016, 'Udoskonalennia normatyvnoi dokumentatsii zabezpechennia yakosti lezovoi obrobky otvoriv', *Kand.tech.n. thesis, Kharkiv*.
8. Danieljan, AM 1950, *Rezanie metallov i instrument, Gosudarstvennoe nauchno-tehnicheskoe izdatelstvo mashinostroitelnoj literatury, Moskva*.
9. Rozenberg, JuA 2007, *Rezanie materialov, Poligraficheskij kombinat, Kurgan*.
10. Jashhericyn, TI, Feldshtejn, EJe & Kornievich, MA 2006, *Teorija rezanija*, 2nd edn, *Novoe znanie, Minsk*.
11. Metodicheskie ukazaniya. Vybor universalnyh sredstv izmerenija linejnyh razmerov do 500 mm. (Po primeneniju GOST 8.051–81): RD 50–98–89 1987, *Izdatelstvo standartov, Moskva*.
12. Silin, RI, Mjasishhev, AA & Kovalchuk, SS 1989, 'Analiz processa snjatija struzhki metala rezhushhim klinom', *Izvestija vuzov, Mashinostroenie*, no. 2, pp. 145-148.

Стаття надійшла до редакції 16 квітня 2019 р.

DOI 10.32820/2079-1747-2019-23-100-106

УДК 621.791.92

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ СПОСОБА НАНЕСЕНИЯ ПОКРЫТИЙ НА КАЧЕСТВО ВОССТАНОВЛЕННЫХ ДЕТАЛЕЙ СРЕДСТВ ТРАНСПОРТА

©Дерябкина Е.С.

Украинская инженерно-педагогическая академия

Информация об авторе:

Дерябкина Евгения Станиславовна: ORCID: 0000-0002-5531-0124, itmzv@uipa.edu.ua, кандидат технических наук, доцент кафедры интегрированных технологий в машиностроении и сварочного производства, Украинская инженерно-педагогическая академия; ул. Университетская, 16, г. Харьков, 61003, Украина.

Разработан интегрированный способ нанесения газопламенных покрытий, позволяющий совершенствовать технологический процесс восстановления цилиндрических поверхностей деталей с одновременным увеличением их ресурса за счет повышения качественных показателей напыленных покрытий. Щеточная обработка применена для обработки поверхности детали под нанесение покрытия и обработки напыляемых слоев в процессе формирования, что обеспечивает их микропластическую деформацию. Установлено, что технологическими факторами влияющими на прочность сцепления и пористость, твердость напыленного покрытия являются конструктивно-технологические параметры щетки.

Для получения обобщенной интегральной оценки качества предложено использовать среднее гармоническое оценок качества факторов: прочности сцепления, пористости и износостойкости. Выполненные сравнительные лабораторные исследования по двум технологиям: традиционной и интегрированной показали, что качество покрытия последней выше на 26%.

Ключевые слова: интегрированное газопламенное напыление, прочность сцепления, пористость, интегральная оценка качества.

Дерябкина Е.С. «Дослідження впливу способу нанесення покриттів на якість відновлених деталей засобів транспорту».

Розроблено інтегрований спосіб нанесення газополумєневих покриттів, що дозволяє удосконалити технологічний процес відновлення циліндричних поверхонь деталей з одночасним збільшенням їх ресурсу за рахунок підвищення якісних показників напилених покриттів. Щіткова обробка застосована для обробки поверхні деталі під нанесення покриття і обробки шарів, що напилюються, в процесі формування, що забезпечує їхню мікропластичну деформацію. Встановлено, що технологічними чинниками, які впливають на міцність зчеплення і пористість, твердість напиленого покриття є конструктивно-технологічні параметри щітки.

Для отримання узагальненої інтегральної оцінки якості запропоновано використовувати середнє гармонійне оцінок якості факторів: міцності зчеплення, пористості і зносостійкості. Виконані порівняльні лабораторні дослідження за двома технологіями: традиційній та інтегрований, показали, що якість покриття останньої вище на 26%.

Розроблено спосіб формування зносостійкого поверхні газополумєневим напиленням, інтегрованим з щітковою обробкою. Встановлено, що технологічними чинниками впливають на адгезійну і

когезійну міцність зчеплення напиляного покриття з основою є конструктивно-технологічні параметри щітки. Запропоновано використовувати узагальнену інтегральну оцінку якості напиляного покриття як середнє гармонійне оцінок якості факторів: міцності зчеплення, пористості і зносостійкості.

З метою забезпечення показників, що характеризують якість покриття, розроблений спосіб формування зносостійкого поверхні газополуменевим напиленням, інтегрується-ванням зі щіткової обробкою. На основі дослідження кінетики і механізму формування покриттів, а також теоретичної та експериментальної оцінки процесів, що протікають при щеточній обробці напилюються шарів, встановлено, що технологічними чинниками впливають на адгезійну і когезійну міцність зчеплення напиляного покриття з основою є конструктивно-технологічні параметри щітки. Отримані результати дозволяють рекомендувати інтегровану технологію газопламенного нанесення покриттів для відновлення і зміцнення деталей засобів транспорту типу вал.

Ключові слова: інтегроване газополуменеве напилювання, міцність зчеплення, пористість, інтегральна оцінка якості.

Deryabkina E. «Study of the impact of the method of drawing the quality of restorative coatings».

An integrated method of application of gas-flame coatings has been developed, which allows to improve the technological process of restoration of cylindrical surfaces of parts with simultaneous increase of their resource due to the improvement of quality indicators of spray coatings. Brush treatment is used to process the surface of the part under the application of coating and treatment of the spraying layers during the formation process, which ensures their microplastic deformation. It is established that the technological factors that influence the strength of grip and porosity, hardness of the spray coating are the structural and technological parameters of the brush.

To obtain a generalized integrated quality assessment, it is proposed to use the average harmonic quality estimation of factors: bond strength, porosity and wear resistance. Comparative laboratory research performed on two technologies: traditional and integrated, showed that the quality of coverage of the latter is higher by 26%.

The method of forming a wear-resistant surface by gas-flame spraying, integrated with brush treatment has been developed. It was established that the technological factors influence the adhesion and cohesive bonding strength of the coating coating with the basis are structural and technological parameters of the brush. It is proposed to use a generalized integral assessment of the quality of the coating coating as an average harmonious quality assessment of the factors: bond strength, porosity and wear resistance.

In order to provide indicators that characterize the quality of the coating, a method of forming a wear-resistant surface by gas-flame spraying, an integrated-bath with a brush treatment is developed. On the basis of the study of kinetics and the mechanism of coating formation, as well as theoretical and experimental evaluation of the processes occurring when brushing the treated spray layers, it has been established that the technological factors affect the adhesion and cohesive bonding strength of the coating coating with the base are structural and technological parameters

brushes The obtained results of dosage-recommend to recommend an integrated technology of gas-fired coatings for the recovery and strengthening of parts of vehicles such as shaft.

Key words: integrated flame spraying, adhesion strength, porosity, integral quality assessment.

1. Постановка проблемы

Качественные параметры газопламенных покрытий не всегда отвечают повышенным требованиям, предъявляемым к эксплуатационным характеристикам восстановленных деталей машин и средств транспорта, работающих в условиях интенсивных нагрузок.

Широкому применению газопламенного напыления препятствует низкая адгезионно - когезионная прочность напыленных покрытий и их высокая пористость. Исследования газопламенного напыления направлены на рациональное активирование процесса нанесения покрытий путем интегрирования его с другими технологиями. Повысить качество покрытий, по нашему мнению, возможно совмещением технологии газопламенного напыления с технологией щеточной обработки.

2. Анализ последних исследований

Анализ работ по совмещению плазменного напыления с виброобработкой [1], как одного из физико-механических способов воздействия, показал перспективность ее использования при нанесении покрытий. Применительно к плазменному нанесению покрытий, при котором время кристаллизации напыляемых частиц $10^{-7} \dots 10^{-4}$ с, влияние вибрации следует рассматривать с учетом ее воздействия на структуру напыленного материала. Приложение переменных напряжений, не превышающих предела усталости, позволяют обеспечить релаксацию напряжений. Комбинирование технологии электроэрозионного легирования с технологией поверхностного пластического деформирования позволяет сформировать поверхностные слои с высокой твердостью и износостойкостью, повышенной усталостной прочностью [2]. Электроискровое легирование с наложением ультразвука до 4-х раз увеличивает массоперенос, что позволяет формировать покрытия большой толщины.

Вместе с тем, в имеющихся на сегодняшний день работах отсутствует научно-техническая информация о влиянии способа восстановления на свойства покрытий в процессе эксплуатации, что делает задание исследований актуальным.

3. Цель работы - разработка способа нанесения покрытий, позволяющего при минимальных дополнительных затратах обеспечить повышение прочности сцепления напыленных покрытий и снижение его пористости.

4. Основной материал

На основании теоретических и экспериментальных исследований разработан способ интегрированного газопламенного напыления [3]. Предлагается в процессе газопламенного порошкового напыления производить механическую обработку специальной металлической

щеткой формирующихся слоев покрытия для удаления частиц с низкой когезионной прочностью, окислов и пылевидных частиц (рис. 1). Щеточная обработка применяется также для подготовки поверхности детали перед напылением для очистки от загрязнений и создания необходимой шероховатости, активации поверхности основы.

Стоимостные затраты на оборудование для щеточной обработки примерно составляют $\frac{1}{4}$ часть от затрат на оборудование для абразиво - струйной обработки. Режимы щеточной обработки резко отличаются от режимов абразивной обработки - скорость вращения в 5-10 раз меньше, а усилия прижатия и резания больше. Процесс микрорезания осуществляется режущими инструментами – иглами металлической щетки. Щеточная обработка выводит обрабатываемую поверхность из состояния термодинамического равновесия со средой, освобождая межатомные связи поверхностных атомов, повышает суммарную площадь приваривания за счет создания требуемой шероховатости, что способствует осуществлению контактных процессов, созданию наклепа.

Процесс образования структуры газотермических покрытий связан с деформацией частиц, газонасыщением материала покрытия примесями элементов внедрения, появлением новых химических соединений или их распадом, что отражается на свойствах покрытий. Для частиц покрытий, сохранивших сферическую форму (что говорит об отсутствии деформации), зафиксировано различие микротвердости по сечению.

Повышение прочности сцепления достигается за счет увеличения площади взаимодействия частиц с основой и анкерного зацепления расплавленных частиц с микронеровностями поверхности детали путем искусственного формирования шероховатости на поверхности основы (рис. 2).

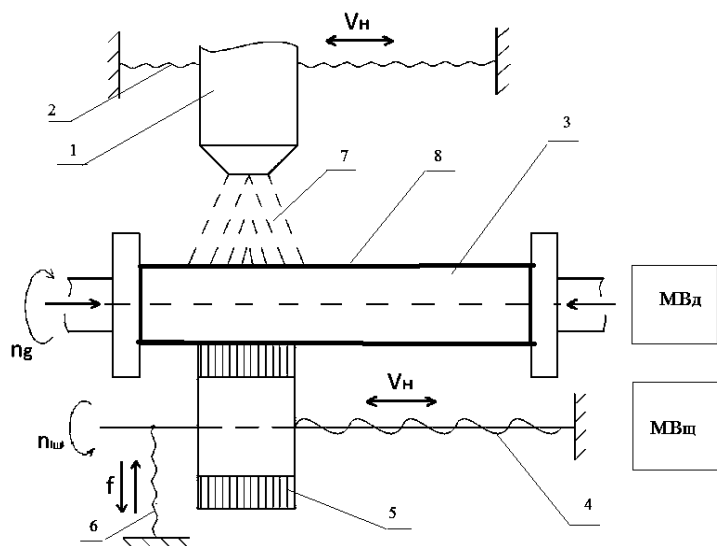


Рис. 1 - Схема интегрированного процесса нанесения покрытий.

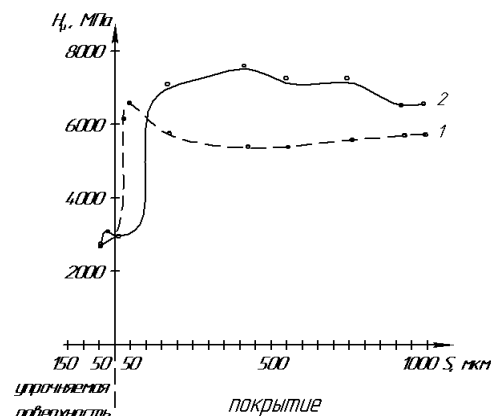


Рис. 2 - Распределение микротвердости по толщине напыленного покрытия: 1- по традиционной технологии; 2- по интегрированной технологии

Известно, что при обычно применяемых режимах газопламенного напыления, в покрытии имеется до 15-20% пор (по объему). Степень пористости, как и другие характеристики покрытия, зависит от вида напыляемого материала, режима напыления и состояния поверхности восстанавливаемой детали. Для уменьшения пористости покрытия его подвергают дальнейшей

обработке механической; обкатке роликом и т.п. Значительное снижение пористости после щеточной обработки слоев покрытия объясняется положительной ролью механического фактора, определяющего в условиях воздействия высоких температур развитие микропластических деформаций.

Минимальный интервал времени между активацией поверхности и взаимодействием ее с частицами напыляемого материала существенно ограничивает адсорбцию газов, паров и жидкостей, окисление и образования других твердых пленок на поверхности металла.

Применение щеточной обработки для подготовки поверхности под напыление и слоев покрытия при нанесении покрытия позволяет существенно сократить время поступления обработанного участка в зону напыления. При диаметральной расположении щетки и газопламенной горелки указанное время можно рассчитать по выражению:

$$t = \frac{30}{n_0}, \quad (1)$$

где t – время, через которое обработанный щеткой участок поступит в зону напыления, с;

n_0 – количество оборотов напыляемой детали, об/мин.

При напылении деталей диаметром от 20 до 200 мм количество оборотов n_0 должны составлять 287-29 об/мин, для обеспечения скорости поверхности в зоне напыления 300 мм/с. Тогда время, через которое обработанная поверхность поступит в зону напыления, рассчитанное по формуле (1), составит лишь 0,1- 1,0 с. Известно, что толщина оксидной пленки на железе и его сплавах составляет 50-100 Å, а время образования окисной пленки составляет $2,4 \cdot 10^{-9}$ секунды при давлении 760 мм. рт. ст. Применение обработки металлической щеткою взамен традиционной струйной обработки абразивом позволяет выдвинуть гипотезу об уменьшении толщины окисной пленки на поверхности основы из-за короткого промежутка времени между обработкой и поступлением ее в зону напыления, что в свою очередь облегчает процесс очистки поверхности за счет ударного давления p_u напыляемых частиц и улучшает физический контакт материалов частицы и основы. Таким образом, применение механической обработки для обработки поверхности основы и слоев в процессе напыления покрытия обеспечивает снятие окислов [4]. Физическая сущность предлагаемого способа повышения качества газопламенных напыляемых покрытий состоит в следующем: иглы активируют дислокационный механизм. Число дислокаций увеличивается за счет создания точечных дефектов; за счет микропластической деформации, создаваемой при щеточной обработке слоев, в напыленном покрытии создается наклеп на глубину 0,1-0,15 мм [35], и, как следствие, повышается твердость покрытия на 15-20%; управляя скоростью вращения щетки, можно варьировать прочность сцепления покрытия с основой и его пористость. Иглы деформируют поверхность металла за счет сил сдвига, в результате уплотнения слоев происходит снижение пористости, что обеспечивает увеличение плотности покрытия и, соответственно, его износостойкости (рис.3). В качестве основных управляемых факторов, определяющих качество покрытия, выделим технологические параметры щетки, скорость её вращения, натяг. Эффективное использование предлагаемой технологии основано на возможности нанесения покрытий с заданными свойствами. Несмотря на недостаточную изученность явлений происходящих на поверхности и отсутствие расчетных методов конструирования интегрированной технологии практическое преимущество ее очевидно.

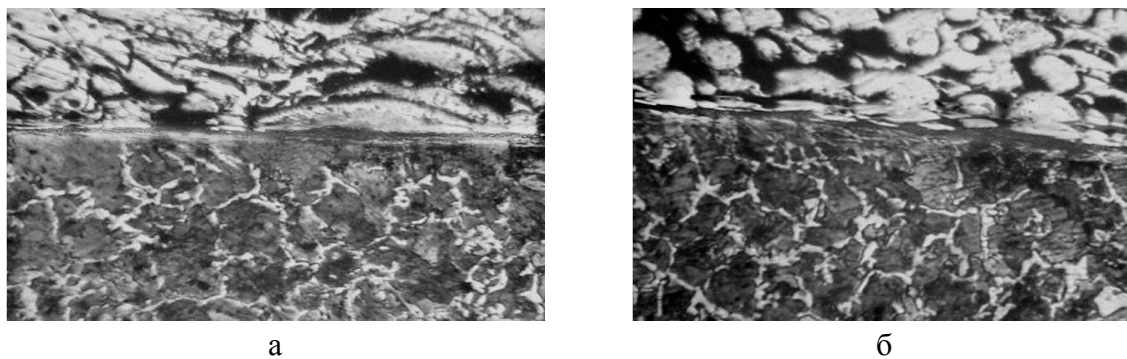


Рис.3 - Структура напыленных покрытий из сплава ПГ-10Н-01 на стали 45(х130) без щеточной обработки (а) и со щеточной обработкой (б): при подготовке поверхности ($n_1=150$ об/мин) и в процессе напыления ($n_2=2100$ об/мин) при $N=3$ мм, $d_{ш}=0,8$ мм, $l_{ш}=40$ мм.

При газопламенном напылении одними из основных свойств, характеризующих качество покрытий являются – прочность сцепления $s_{сч}$, износ D и пористость W . По результатам исследований: при традиционном газопламенном напылении $s_{сч1} = 20 \text{ МПа}$, $D_1 = 0,08 \text{ мг}$, $W_1 = 18\%$, при интегрированном нанесении покрытий: $s_{сч2} = 26,8 \text{ МПа}$, $D_2 = 0,045 \text{ мг}$, $W_2 = 10\%$ (рис.4).

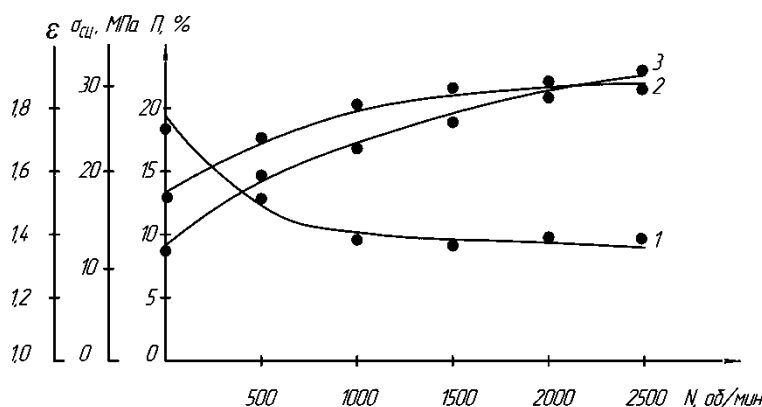


Рис.4 - Влияние скорости вращения щетки на пористость напыленных покрытий(1), прочность сцепления(2), относительную износостойкость(3).

Разработан метод интегральной оценки качества, применение которого позволило определить качество покрытий и технологию, лучшую по параметрам качества напыленного покрытия. Интегральной оценкой качества предлагается такая характеристика как среднее гармоническое факторов качества:

$$I = \frac{m}{\sum_{j=1}^m \frac{1}{K_j}}, \quad (2)$$

где m - количество факторов входящих в интегральную оценку.

Если в качестве интегрального показателя качества взять среднее значение величин, среднее геометрическое и среднее гармоническое качеств, то при традиционном газопламенном напылении получим $I_{сч1}=0,7165$, $I_{D1}=0,6966$, $I_{W1}=0,6757$. Соответствующие значения для интегрированного газопламенного напыления следующие: $I_{сч2}=0,9631$, $I_{D2}=0,9626$, $I_{W2}=0,9621$. Среднее гармоническое есть осторожная оценка качества изделия. Из сравнения по качеству двух покрытий с одинаковыми требованиями по качеству, следует, что предложенная технология газопламенного напыления с применением механической обработки вращающейся щеткой увеличивает интегральный показатель качества покрытия на 26%.

Выводы

С целью обеспечения показателей, характеризующих качество покрытия, разработан способ формирования износостойкой поверхности газопламенным напылением, интегриро-

ванним со щеточной обработкой. На основе исследования кинетики и механизма формирования покрытий, а также теоретической и экспериментальной оценки процессов, протекающих при щеточной обработке напыляемых слоев, установлено, что технологическими факторами влияющими на адгезионную и когезионную прочность сцепления напыленного покрытия с основой являются конструктивно-технологические параметры щетки. Для оценки качества факторов, определяющих качество напыленного покрытия, предложено использовать обобщенную интегральную оценку качества как среднее гармоническое оценок качества факторов: прочности сцепления, пористости и износостойкости. Полученные результаты позволяют рекомендовать интегрированную технологию газопламенного нанесения покрытий для восстановления и упрочнения деталей средств транспорта типа вал.

Список використаних джерел:

1. Пузряков А. Ф. Теоретические основы технологии плазменного напыления / А. Ф. Пузряков. – М. : Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2003. – 360 с.
2. Технология восстановления и упрочнения наружных и внутренних поверхностей плазменным напылением / Г. М. Русев, В. В. Овсянников, С. М. Киселев [и др.] // Автоматическая сварка. – 2000. – № 12. – С. 61-62.
3. Пат. 44994 Україна, МПК(2009) C23C4/00. Спосіб напылювання газотермічного порошкового покриття / Лузан С. О., Дерябкіна Е. С. ; заявник та патентовласник УПІА. – № u200904703 ; заявл. 12.05.2009 ; опубл. 12.10.2009, Бюл. № 19. – 3 с.
4. Полянский А. С. Обоснование возможности подготовки поверхности металлическими щетками для газотермического напыления покрытий / А. С. Полянский, С. А. Лузан, Е. С. Дерябкина // Пр. Тавр. держ. агро-технол. ун-ту. – Вип.11, Т.1. – Мелитополь : ТДАТУ, 2011. – С. 34-42.
5. Robert Eriksson, " Thermal Barrier Coatings – Durability Assessment and Life Prediction," Linköping Studies in Science and Technology, Dissertation No.1527, August-2013.
6. S. Matthews and B. James, " Review of Thermal Spray Coating Applications in the Steel Industry: Part 1—Hardware in Steel Making to the Continuous Annealing Process," Journal of Thermal Spray Technology, Volume 19(6), December 2010, pp.1267.

References

1. Puzrjakov, AF 2003, Teoreticheskie osnovy tehnologii plazmennogo napylenija, Izdatelstvo Moskovskogo Gosudarstvennogo Tehnicheskogo Universiteta imeni N. Je. Baumana, Moskva.
2. Rusev, GM et al. 2000, 'Tehnologija vosstanovlenija i uprochnenija naruzhnyh i vnutrennih poverhnostej plazmennym napyleniem', Avtomaticheskaja svarka, no. 12, pp. 61-62.
3. Luzan, SO & Deriabkina, ES 2009, Sposib napyliuvannia hazotermichnoho poroshkovoho pokryttia, UA Patent 44994.
4. Poljanskij, AS, Luzan, SA & Derjabkina, ES 2011, 'Obosnovanie vozmozhnosti podgotovki poverhnosti metallichesкими shhetkami dlja gazotermicheskogo napylenija pokrytij', Pratsi Tavriiskoho derzhavnogo ahrotekhnolohichnoho universytetu, Melitopol, iss. 11, vol. 1, pp. 34-42.
5. Robert Eriksson, " Thermal Barrier Coatings – Durability Assessment and Life Prediction," Linköping Studies in Science and Technology, Dissertation No.1527, August-2013.
6. S. Matthews and B. James, " Review of Thermal Spray Coating Applications in the Steel Industry: Part 1—Hardware in Steel Making to the Continuous Annealing Process," Journal of Thermal Spray Technology, Volume 19(6), December 2010, pp.1267.

Стаття надійшла до редакції 16 квітня 2019 р.

DOI 10.32820/2079-1747-2019-23-107-114

УДК 621.791.92

СПОСІБ КРІПЛЕННЯ ТРУБ ДО ТОНКОЇ ТРУБНОЇ РЕШІТКИ КОЖУХОТРУБЧАТОГО ТЕПЛООБМІННИКА

©Дерябкіна Є.С.

Українська інженерно-педагогічна академія

Інформація про авторів:

Дерябкіна Євгенія Станіславівна: ORCID: 0000-0002-5531-0124, itmzv@uipa.edu.ua, кандидат технічних наук, доцент кафедри інтегрованих технологій в машинобудуванні і зварювального виробництва, Українська інженерно-педагогічна академія; вул. Університетська, 16, м. Харків, 61003, Україна.

Проведено аналіз конструктивних особливостей і способів кріплення труб до трубних решіток кожухотрубчатих теплообмінників. Досліджені переваги використання стикового зварного з'єднання торця труби з торцем відбортованого отвору тонкої трубної решітки. При цьому підвищуються вимоги до точності відбортовки для забезпечення строгої совісності і перпендикулярності торця до вісі труби. Розраховані розміри відбортовки отворів під труби діаметром 38×2 мм, діаметр отворів і шаг розташування їх на трубній решітці зі сталі 12X18H10T товщиною 2-3 мм і діаметром 1000 мм.

Розроблено принципову схему установки і зварювального пальника для автоматичного зварювання труб устик з відбортованими отворами в трубних решітках. Відпрацьовано технологію одержання якісного стикового з'єднання труби з тонкою трубною решіткою з використанням аргонодугового зварювання електродом, що не плавиться, без присадки. Приведені параметри режиму зварювання, що забезпечують задовільне формування зварного шва.

У результаті проведених досліджень встановлена принципова можливість одержання якісного стикового зварного з'єднання труби з відбортовкою отворів аргонодуговим зварюванням електродом, що не плавиться, використання якого дозволить підвищити якість приварювання і можливість контролю зварних з'єднань, зменшити на 20 мм довжину труби і, відповідно, металоемність кожухотрубчатих теплообмінників.

Ключові слова: тонка трубна решітка, відбортовка отворів, стикове з'єднання, автоматичне зварювання в аргоні, електрод, що не плавиться, межа міцності, сталь 12X18H10T.

Дерябкина Е.С. «Способ соединения труб с тонкой трубной решеткой кожухотрубчатого теплообменника».

Проведен анализ конструктивных особенностей и способов крепления труб к трубным решеткам кожухотрубчатых теплообменников. Исследованы преимущества использования стыкового сварного соединения торца трубы с торцом отбортованного отверстия тонкой трубной решетки. При этом повышаются требования к точности отбортовки для обеспечения строгой соостности и перпендикулярности торца к оси трубы. Рассчитаны размеры отбортовки отверстий под трубы диаметром 38×2 мм, диаметр отверстий и шаг расположения их на трубной решетке из стали 12X18H10T толщиной 2-3 мм и диаметром 1000 мм.

Разработана принципиальная схема установки и сварочной горелки для автоматической сварки труб встик с отбортованными отверстиями в трубных решетках. Отработана технология получения качественного стыкового соединения трубы с тонкой трубной решеткой с использованием аргонодуговой сварки неплавящимся электродом без присадки. Приведены параметры режима сварки, обеспечивающие требуемое формирование сварного шва.

В результате проведенных исследований установлена принципиальная возможность получения качественного стыкового сварного соединения трубы с отбортовкой отверстий аргонодуговой сварки неплавящимся, использование которого позволит повысить качество приварки и возможность контроля сварных соединений, уменьшить на 20 мм длину трубы и, соответственно, металлоемкость кожухотрубчатых теплообменников.

Ключевые слова: тонкая трубная решетка, отбортовка отверстий, стыковое соединение, сварка в аргоне, неплавящийся электрод, предел прочности, сталь 12X18H10T.

Deryabkina E. «The method of connecting pipes with a thin tube sheet of a shell-and-tube heat exchanger».

The analysis of methods of fastening of pipes in a thin tube grid of shell and tube-type heat exchangers is carried out and the choice of joints of welded joints of pipes with deflection holes of thin pipe grating is substantiated. Calculated dimensions of holes, diameter drilling and the pitch of their placement on a pipe grid.

The optimal diameter of the drill holes for the trowel is 25 mm, which ensures that there are no cracks and burrs when the holes are $\varnothing 38$ mm. The technique of obtaining a qualitative butt joint of a pipe with a thin pipe grid of steel 12X18H10T with the use of argon-arc welding with a non-melted electrode, without the addition of the automation of the welding process is worked out.

The basic scheme of installation and a welding torch for automatic welding of pipes with a broken openings in pipe grids is developed. For pipe connection of steel 12X18H10T with a wall thickness of 2 mm, the satisfactory formation of the seam is established at a welding current of 75-95 A, the voltage of the arc 18-19 V and welding speed 12,0-13,0 m / g, the consumption of argon is 10- 12 l / min

Properties of discharge and butt joints of tubes with a tubular lattice have been investigated, on the basis of which analysis it was established that: the maximum strength of the weld seam of a pipe with a thin tubular lattice is ensured when jointed and connected to the V-shaped bevel edges; in the zone of thermal impact of the butt weld compound an increase in grain is observed up to 9 points (against 11 points in the main steel of steel 12X18H10T); a brittle brewing of the thickness of the metal and a satisfactory formation of the joints is provided when welding with a tungsten electrode that does not melt in two passages.

As a result of the carried out researches it is established the principle possibility of obtaining a qualitative butt weld joint of the pipe with annealing openings with argon arc welding with non-melted electrode, the use of which will improve the quality of welding and the ability to control

welded joints, reduce the length of the pipe by 20 mm and, accordingly, metal thickness of shell and tube heat exchangers.

Key words: thin tube sheet, flanging of holes, butt joint, welding in argon, non-consumable electrode, tensile strength, steel 12X18H10T.

1. Актуальність.

На заводах хімічного машинобудування при виготовленні кожухотрубчатих теплообмінників в основному застосовуються товсті трубні решітки. З 2000 р. одночасно з товстими, застосовуються тонкі трубні решітки [1,2,7] товщиною 2,5 мм, з нержавіючих хромонікелевих сталей типу 12X18H10T, для випарних апаратів діаметром до 1000 мм із отвором під трубу 38 мм, у яких труби вводяться у відбортовані отвори й закріплюються нахлесточними зварними з'єднаннями, що виконуються ручним дуговим зварюванням. Застосовувана конструкція нахлесточного зварного з'єднання труби з тонкими решітками не дозволяє здійснювати контроль якості зварного шва, а зазор між трубою і отвором створює умови для виникнення щілинної корозії. З'єднання труби із решітками може бути позбавлено цих недоліків у тому випадку, якщо торець відбортованого отвору буде з'єднаний у стик з торцем труби [4]. Впровадження результатів розробок дозволить підвищити надійність роботи трубного пучка кожухотрубчатого теплообмінника при зниженні металоємкості і собівартості його виготовлення.

2. Постановка проблеми.

Велика кількість конструктивно-технологічних рішень по зварюванню труб з трубними решітками в теплообмінних апаратах поставила цю проблему в число дискусійних. Численні роботи, що з'явилися, особливо в останні роки, дають в основному приватні рішення, які не завжди можуть бути успішно застосовні [1-6]. Тому дослідження впливу різних технологічних рішень зварювання на величину залишкової напруги в зварних швах, на зміну механічних властивостей і структури в зонах зварних з'єднань; розробка практичних рекомендацій для вдосконалення технології виготовлення зварного вузла "труба - трубні решітки" є актуальними.

В [4] визначено, що вибір типу з'єднання і способу зварювання грає вирішальну роль у підвищенні герметичності і надійності труба-трубна дошка теплообмінника, запропоновано використання зварного з'єднання без канавок і попереднього розвальцювання отворів.

Доведено, що використання процесу лазерного зварювання у сполученні з роботизованим комплексом для виготовлення теплообмінних апаратів забезпечує практичне виключення деформацій, позитивний економічний ефект та їх високу конкурентоздатність [3].

Виконання зварювання труб устик з отворами в решітках ручним зварюванням практично утруднене, тому необхідно використовувати автоматичне зварювання. Конструкція стикового з'єднання з відбортованими отворами у тонких трубних решітках не одержала широкого застосування через відсутність технології виготовлення відбортованих отворів у тонких трубних решітках, технології і оснащення для складання теплообмінників із трубами,

привареними устик, через відсутність зварювального устаткування для автоматичного приварювання труб до решіток [6].

Метою досліджень є удосконалення технології приварювання відбортовки отворів в тонкій трубній решітці теплообмінника до труб з заміною кутового з'єднання на стикове, що дозволить підвищити якість зварного з'єднання, знизити трудомісткість і матеріалоємність.

3.Основной материал.

З метою порівняння властивостей зварних з'єднань труби з тонкими трубними решітками, дослідженню піддавалися зразки з різними конструктивними елементами зварного з'єднання з відбортовкою отвору (рис. 1): без виступання труби під відбортовку (а); з виступанням труби на 2-3 мм під відбортовку (б); стикове з'єднання труби з відбортовкою труби (в).

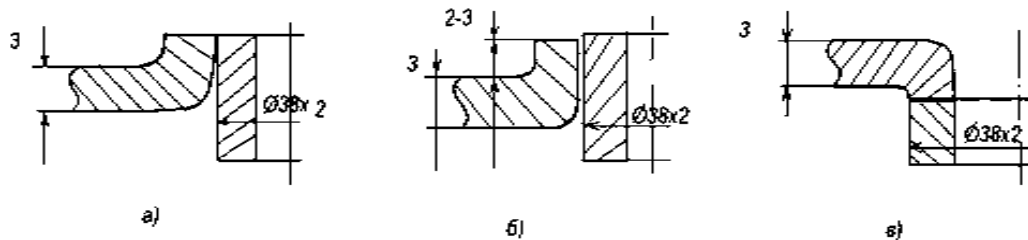


Рис. 1 - Типи з'єднання труби з відбортовкою отворів в тонких трубних решітках.

Зварювання виконувалося в аргоні вручну вольфрамовим електродом, що не плавиться, діаметром 0,3 мм й електродом, що плавиться, діаметром 1,2 мм на постійному струмі прямої полярності. Якість швів зварних з'єднань оцінювалося зовнішнім оглядом, вимірами і металографічними дослідженнями поперечних перерізів, за результатами механічних випробувань. Контролювалися геометричні розміри зварних швів, наявність пор, підрізів, якість захисту. Мікроструктура зварних з'єднань труба - тонкі трубні грати досліджувалися на мікроскопі МІМ - 7 при збільшенні $\times 120$. Шліфи зі сталі 12Х18Н10Т травили електролітично в 10% - вому водному розчині щавлевої кислоти. Бал зерна визначали за ГОСТ 5639-82.

Для виготовлення зразків зварного з'єднання труби устик з відбортованим отвором у решітках прийнята конструкція зразка з одним отвором (рис. 2).

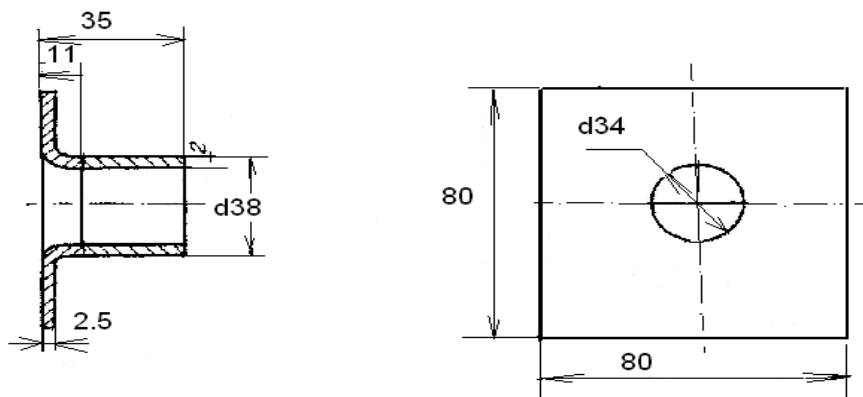


Рис. 2- Зразки для досліджень стикового зварного з'єднання труби з тонкими решітками.

Аналіз отриманих результатів (табл.1) свідчить, що при стиковому з'єднанні труби з відбортовкою отвору трубних решіток забезпечується достатньо висока межа міцності, величина якої перевищує межу міцності кріплення труби в товстих трубних решітках і дорівнює міцності з'єднання, виконаному при виступанні труби над відбортовкою 2-3 мм. Передбачалося одержати максимальну висоту відбортованої частини отвору при високій якості торця - відбортовки.

Таблиця 1 - Результати випробування дослідних зразків

Спосіб аргонодугового зварювання, присадочний матеріал	Площа поперечного перетину шва, мм ²	Зусилля, яке руйнує, кгс	Межа міцності, кгс/мм ²	Прогин трубних ґрат, мм
Напівавтоматичне електро- дом, що плавиться, Св - 07X18H10B ø 1,2	131	7720	59,1	0,26
Автоматичне електродом, що не плав., без присадки	137	8550	63,4	0
Напівавтоматичне електро- дом, що плавиться, Св - 07X18H10B ø 1,2	162	9850	60,8	0,30
Ручне електродом, що не плав., без присадки,	120	6840	57,0	0,23
Напівавтоматичне електро- дом, що плавиться Св - 07X18H10B ø 1,2	126	7600	60,3	0,21
Автоматичне електродом, що не плав., без присадки	145	9630	66,2	0,21
Автоматичне електродом, що не плав., без присадки	159	10300	65,2	0,20

Діаметр свердлування отвору в решітках під відбортовку розраховується по формулі:

$$d = 48 - 2 (AB + BC + CD), \text{ мм} \quad (1)$$

$$\text{де } AB = \frac{6,26 \times 4 \times 95 \times 75}{360} \times 6,48; \quad BC = \frac{CK}{\sin 15^\circ}; \quad CD = 5,75 - B.$$

$$BC = 4,95 \cdot \cos 15^\circ = 4,95 \cdot 0,966 = 4,75; \quad CD = 5,75 - 4,78 = 0,97; \quad BC = \frac{0,97}{0,259} = 3,75$$

$$d = 48 - 2 \cdot (6,48 + 3,75 + 2,0) = 23,54 \text{ мм}$$

Висота відбортованої частини отвору:

$$H = 2,0 + KB + OA + 2,25, \text{ мм} \quad (2)$$

$$\text{де } KB = 0,97 \cdot \operatorname{ctg} 15^\circ = 0,97 \cdot 3,73 = 3,62; \quad OA = 4,95 - OM = 4,95 - 4,95 \cdot \sin 15^\circ = 3,67.$$

$$H = 2,0 + 3,62 + 3,67 + 1,25 = 10,54 \text{ мм}$$

Форма перетину і висота відбортовки наведена на рис. 3. Розрахунок показав, що при діаметрі свердлування отвору під відбортовку 23,54 мм висота відбортовки буде дорівнювати 10,54 мм. При цьому не враховується величина можливої витяжки металу. Після

ля проведення експериментів, при яких враховувалася якість відбортovanого торця отвору приймаємо діаметр свердлування отвору під відбортровку равним 25 мм. Розраблена схема установки для автоматичного зварювання труб встик з відбортovanими отворами в решітках (рис.3), що містить пристрій для електродугового внутрішнього приварювання труб до трубних решіток з пальником для аргонодугового зварювання неплавящимся електродом, механізм кругового переміщення пальника й системи ковзного підведення струму й захисного газу.

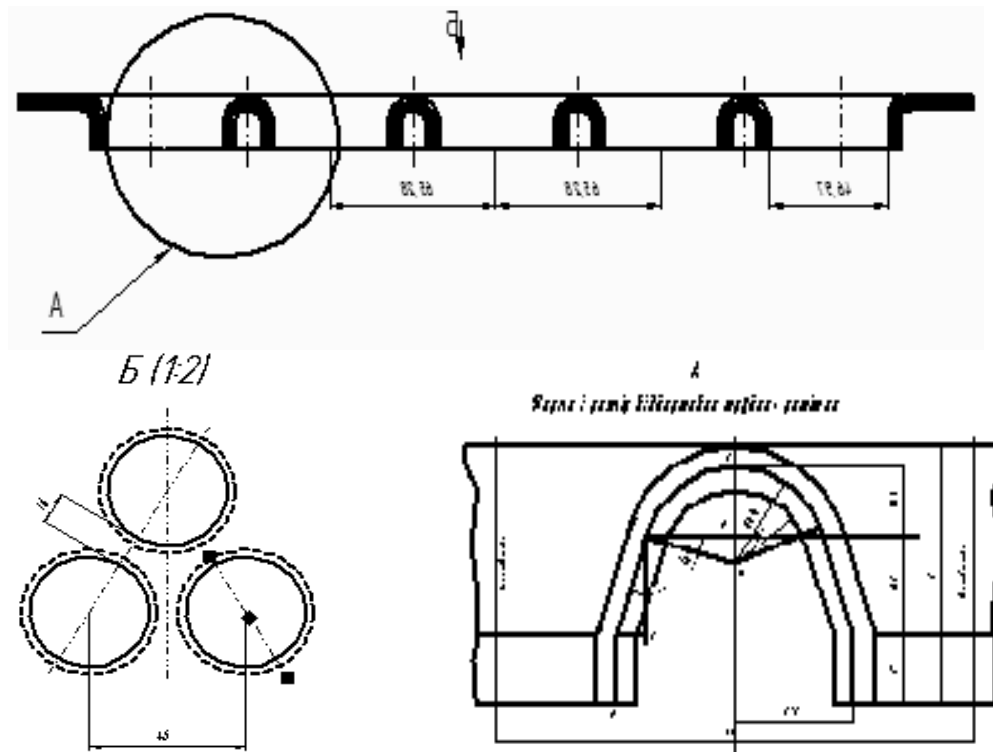
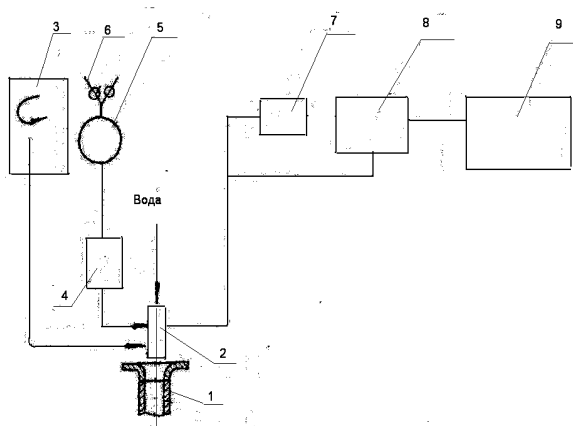


Рис. 3 – Форма і розміри відбортовки трубної решітки.



Для підвищення продуктивності і якості електрод такого пристрою виконаний у вигляді вигнутого під прямим кутом стрижня, закріпленого в пальнику цанговим затискачем (рис.4).

Рис.4 - Схема установки для автоматичного зв'язування труб встик з відбортованими отворами в решітках.

1 - трубе з'єднання; 2-зварювальний пальник для аргонодугового зварювання; 3-механізм обертання зварювального пальника; 3-газовий клапан; 4-газовий балон з аргоном; 5-редуктор; 6-осцилятор; 7-баластовий реостат; 8-джерело живлення

Для зварювання тонколистових матеріалів у якості електрода або його робочої ділянки застосовувано вольфрамовий дріт малого діаметра, розроблені спеціальні пальники і електрод (табл.3). Якісне формування шва встановлене при зварювальному струмі $I_{зв}=75$ А, $U_{зв}=11$ В и швидкості зварювання 11,0-12,0 м/г. Витрата аргону в пальнику при цьому становить 8-40 л/хв і забезпечує задовільний захист зварювальної ванни. Висота валика зворотної сторони шва 0,5 - 1 мм. Ослаблення висоти шва з боку зварювання становить 0,2 - 0,4 мм. Одержання висоти зварного шва урівень з товщиною стінки забезпечується при зварюванні в 2 проходи.

Таблиця 2 - Характеристика пальника і електрода

Об'єкт досліджень	Діаметр електродного дроту, мм	Число дротів *	Струм, А	Щільність струму *, А/мм ²
Пальник	0,16	-	1-6	300
	0,30	-	2-15	215
Багатодротовий електрод	0,30	2	6- 25	180
	0,30	4	10-50	180

* На робочій ділянці електрода.

Висновки.

Виконано аналіз способів кріплення труб у тонкій трубній решітці кожухотрубчатих теплообмінників і обгрунтовано вибір стикового зварного з'єднання труб з відбортовкою отворів тонкої трубної решітки. Розраховані розміри відбортовки отворів, діаметр свердлування і шаг їх розміщення на трубній решітці.

Оптимальний діаметр свердлування отворів під відбортовку дорівнює 25 мм, що забезпечує відсутність тріщин і заусенців при відбортовці отворів $\varnothing 38$ мм. Відпрацьовано технологію одержання якісного стикового з'єднання труби з тонкою трубною решіткою зі сталі 12X18H10T с використанням аргонодугового зварювання електродом, що не плавиться, без присадки при автоматизації процесу зварювання.

Розроблено принципову схему установки і зварювального пальника для автоматичного зварювання труб встик з відбортованими отворами в трубних решітках. Для трубного з'єднання зі сталі 12X18H10T з товщиною стінки 2 мм задовільне формування шва встановлене при зварювальному струмі 75-95 А, напрузі дуги 18-19 В і швидкості зварювання 12,0-13,0 м/г, витраті аргону - 10-12 л/хв.

Досліджені властивості напускних і стикових з'єднань труб з трубною решіткою, на основі аналізу яких встановлено, що:

- максимальна міцність зварного шва труби з тонкою трубною решіткою забезпечується при стиковому з'єднанні і з'єднанні з V- образним скосом кромок;
- у зоні термічного впливу стикового зварного з'єднання спостерігається збільшення зерна до 9 балів (проти 11 балів в основному металі сталі 12X18H10T);

- крихкий провар товщини металу і задовільне формування стикового шва забезпечується при зварюванні вольфрамовим електродом, що не плавиться у два проходи.

У результаті проведених досліджень встановлена принципова можливість одержання якісного стикового зварного з'єднання труби з відбортовкою отворів аргонодуговим зварюванням електродом, що не плавиться, використання якого дозволить підвищити якість приварювання і можливість контролю зварних з'єднань, зменшити на 20 мм довжину труби і, відповідно, металоємність кожухотрубчатих теплообмінників.

Список використаних джерел:

1. Орлик Г. В. Совершенствование технологии сварки теплообменных аппаратов / Г. В. Орлик, А. Г. Орлик, А. Ю. Сапожников // Альманах современной науки и образования. – 2016. – № 12 (114). – С.71-74.
2. Нефтяная и газовая промышленность. Кожухотрубчатые теплообменники. Технические требования : ГОСТ Р 53677-2009. – [Введ. в действие 01.01.2011]. – М. : Стандартинформ. – 33 с.
3. Москвитин Г. В. Применение методов лазерной сварки в современном промышленном производстве / Г. В. Москвитин, А. Н. Поляков, Е. М. Биргер // Сварочное производство. – 2012. – № 6. – С. 36-47.
4. Тукаев Р. Ф. Сравнительный анализ сварных швов в узле «труба – трубная решетка» кожухотрубчатого теплообменного аппарата из жаропрочной стали 15Х5М, полученных различными способами сварки [Электронный ресурс] / Р. Ф. Тукаев [и др.] // Нефтегазовое дело : электронный научный журнал. – 2013. – № 5. – Режим доступа : http://ogbus.ru/authors/TukaevRF/TukaevRF_1.pdf.
5. Vänskä M. P. Implementing the Modern Fiber Laser Technology for Welding of Stainless Tubular Products: Master's Thesis / M. P. Vänskä. – Lappeenranta : Lappeenranta University of Technology, 2009. – С. 26-41.
6. Лащинский А. А. Конструирование сварных химических аппаратов: справочник / А. А. Лащинский. – Л. : Машиностроение, Ленинградское отд-е., 1991. – 382 с.

References

1. Orlik, GV, Orlik, AG & Sapozhnikov, AJu 2016, 'Sovershenstvovanie tehnologii svarki teploobmennyyh apparatov', Almanah sovremennoj nauki i obrazovanija, no. 12 (114), pp.71-74.
2. Standartinform 2009, Neftjanaja i gazovaja promyshlennost. Kozhuhotrubchatye teploobmenniki. Tehnicheskie trebovanija, GOST R 53677-2009, Standartinform, Moskva.
3. Moskvitin, GV, Poljakov, AN & Birger, EM 2012, 'Primenenie metodov lazernoj svarki v sovremennom promyshlennom proizvodstve', Svarochnoe proizvodstvo, no. 6, pp. 36-47.
4. Tukaev, RF, Ibragimov, I, Fayrushin, A & Sisanbaev, A 2013, 'Sravnitelnyj analiz svarnyh shvov v uzle «truba – trubnaja reshetka» kozhuhotrubchatogo teploobmennogo apparata iz zharoprochnoj stali 15H5M, poluchennyh razlichnymi sposobami svarki', Neftegazovoe delo, no. 5, viewed 5 May 2019, <http://ogbus.ru/authors/TukaevRF/TukaevRF_1.pdf>.
5. Vänskä, MP 2009, Implementing the Modern Fiber Laser Technology for Welding of Stainless Tubular Products: Master's Thesis, Lappeenranta University of Technology, Lappeenranta, pp. 26-41.
6. Lashhinskij, AA 1991, Konstruirovanie svarnyh himicheskikh apparatov, Mashinostroenie, Leningradskoe otделение, Leningrad.

Стаття надійшла до редакції 6 травня 2019 р.

DOI 10.32820/2079-1747-2019-23-115-121

УДК 621.791

РОЗРОБКА ЕЛЕКТРОДНОГО ПОКРИТТЯ ДЛЯ ЕЛЕКТРОДУГОВОГО РІЗАННЯ**©Ізотова. К.О.***Українська інженерно-педагогічна академія***Інформація про авторів:**

Ізотова Катерина Олександрівна: ORCID 0000-0002-6585-6681, itmzv@uipa.edu.ua, кандидат технічних наук, доцент кафедри інтегрованих технологій в машинобудуванні і зварювального виробництва, Українська інженерно-педагогічна академія; вул. Університетська, 16, м. Харків, 61003, Україна.

Метою розробки є створення електрода для електродугового різання металів і сплавів, що забезпечує підвищення продуктивності різання і покращення якості металу в зоні різку за рахунок зміни газшлакової системи електродного покриття.

Для оптимізації газшлакової системи електродного покриття в його склад, що містить мармур, глину, слюду, соду, калій хромовокислий і гематит додатково вводять оксид міді.

Результатом розробки нового складу покриття є забезпечення високих технологічних властивостей спеціальних електродів і покращення якості металу в зоні різку.

Оксид міді збільшує кількість виділеного кисню у зоні плавлення металу, що підвищує продуктивність процесу різання.

Технологія виготовлення електродів з розробленим складом покриття не відрізняється від серійної, яка використовується для аналогічних електродів.

Для перевірки технологічних властивостей і якості металу в зоні різку була проведена різка маловуглецевої сталі 20, чавуну марки СЧ 21 і нержавіючої сталі 12Х18Н10Т. Товщина зразків становила 10 мм.

Результати перевірки технологічних властивостей електродів і якості металу в зоні різку показують, що забезпечується підвищення продуктивності різання на 30%.

Якість металу в зоні різку висока, тріщин і інших дефектів не виявлено. Твердість металу на поверхні різку дозволяє наступну механічну обробку кромки різку.

Ключові слова: електроди, покриття, різання, струм, зварювання.

Изотова Е.А. «Разработка электродного покрытия для электродугового резания».

Целью разработки является создание электрода для электродуговой резки металлов и сплавов, обеспечивающего повышение производительности резки и улучшения качества металла в зоне реза за счет изменения газшлаковой системы электродного покрытия.

Для оптимизации газшлаковой системы электродного покрытия в его состав, содержащий мрамор, глину, слюду, соду, калий хромовокислый и гематит дополнительно вводят оксид меди.

Результатом разработки нового состава покрытия является обеспечение высоких технологических свойств специальных электродов и улучшения качества металла в зоне реза.

Оксид меди увеличивает количество выделенного кислорода в зоне плавления металла, повышает производительность процесса резания.

Технология изготовления электродов с разработанным составом покрытия не отличается от серийной, используемой для аналогичных электродов.

Для проверки технологических свойств и качества металла в зоне реза была проведена резка малоуглеродистой стали 20 чугуна марки СЧ 21 и нержавеющей стали 12Х18Н10Т. Толщина образцов составляла 10 мм.

Результаты проверки технологических свойств электродов и качества металла в зоне реза показывают, что обеспечивается повышение производительности резки на 30%.

Качество металла в зоне реза высокое, трещин и других дефектов не обнаружено.

Твердость металла на поверхности реза позволяет последующую механическую обработку кромок реза.

Ключевые слова: электроды, покрытие, резка, ток, сварка.

Izotova E. «Development of electro-coating for electric arc cutting».

The aim of the development is the creation of an electrode for arc cutting of metals and alloys, ensuring an increase in cutting performance and improving the quality of the metal in the cutting zone by changing the gas-slag electrode coating system.

To optimize the gas-slag system of the electrode coating, copper oxide is additionally introduced into its composition containing marble, clay, mica, soda, potassium chromoxidation and hematite.

The result of the development of a new coating composition is to ensure the high technological properties of special electrodes and to improve the quality of the metal in the cut zone.

Copper oxide increases the amount of oxygen released in the metal melting zone, improves the performance of the cutting process.

The technology of manufacturing electrodes with the developed composition of the coating does not differ from the standard used for similar electrodes.

To check the technological properties and quality of the metal in the cutting zone, sharp low-carbon steel 20 cast iron of grade SC 21 and stainless steel 12X18H10T was carried out. The thickness of the samples was 10 mm. The introduction of the proposed composition of the electrode coating in production will have a significant economic effect compared with mechanical or oxygen cutting due to the high technological properties of the electrodes, which allow to perform cuts defects in seams and casting, removal of grating, the construction of the surface of parts, cutting metal structures and the development of edges for welding parts.

The proposed composition of the electrode coating with copper oxide ensured an increase in the efficiency of electric arc cutting.

The quality of the metal in the cutting zone is high. The hardness of the metal on the cutting surface allows for the following machining of the edges under the welding operations.

The results of testing the technological properties of the electrodes and the quality of the metal in the cut zone show that the cutting performance is improved by 30%.

The quality of the metal in the cut zone is high, no cracks or other defects were detected. The hardness of the metal on the cut surface allows subsequent machining of the cut edges.

Key words: electrodes, coatings, cutting, current, welding.

1. Постановка проблеми

У сучасному зварювальному виробництві широко використовується технологія електродугового різання. По продуктивності електродугове різання може конкурувати з кисневою різкою малої товщини металу (приблизно до 10-15 мм). З подальшим збільшенням товщини металу продуктивність електродугового різання швидко падає і починає сильно відставати від продуктивності кисневого різання. Тому електродугове різання сталі значних товщин (понад 15-20 мм), як правило, є недоцільним.

Істотним недоліком електродугового дугового різання, в порівнянні з газокисневим, є збільшення ширина різі і менша чистота поверхні його крайок, недостатня продуктивність різання і якість металу в зоні різі.

2. Аналіз останніх досліджень

За роботами [1-3] відомі способи плазмового різання металів, що забезпечують необхідну продуктивність і якість різі, але вони потребують спеціального складного обладнання і дорогих витратних матеріалів і захисних газів.

Більш дешевим і доступним при ремонтних роботах є спосіб електродугового різання спеціальними покритими електродами.

У зварювальному виробництві відомі склади спеціальних електродних покриттів для електродугового різання [4 - 7], які вміщують гематит, карбонати металу, різні алюмосилікати, соду, органічні речовини, калієво-натрієве рідке скло та інші компоненти.

Найбільш близьким по складу компонентів до складу, що розробляється і взяте в якості прототипу є покриття [7], яке вміщує наступні компоненти, в мас. %: мармур 30 – 42, глина 2 – 6, слюда 3 – 6, сода 0,5 - 1,5, калій хромовокислий 0,5 - 1,5, калій хлорноватокислий 0,5 - 1,5, гематит – решта.

Це електродне покриття руднокислого виду, призначене для виробництва електродів, які використовуються для електродугового різання металів і сплавів на постійному та змінному струмі у всіх просторових положеннях.

Недоліком аналогічних електродів є недостатня продуктивність різання і якість металу в зоні різі, що не дозволяє використовувати згадані електроди для різання деталей у серійному виробництві, а лише для умов ремонту і будівництва.

Основними причинами, по яким неможливо отримати технічний результат, що досягається розробкою, є недосконала газошлакова система покриття електродів, що не дозволяє отримати високу продуктивність різання і якісний метал в зоні різання.

3. Постановка завдання досліджень

Метою дослідження є підвищення продуктивності різання і покращення якості металу в зоні різі шляхом зміни газошлакової системи електродного покриття.

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити задачу збільшення концентрації кисню у зоні плавлення основного металу. Розробити методику експериментального дос-

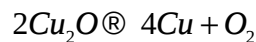
лідження технологічних характеристик електродугового різання. Виконати експериментальне дослідження продуктивності та якості електродугового різання різних матеріалів.

4. Експериментальна частина

Для оптимізації газшлакової системи покриття в його склад, що містить мармур, глину, слюду, соду, калій хромовокислий і гематит пропонується додатково вести оксид міді у кількості 2-5%.

Істотність відмін складу покриття, що досліджується полягає у використанні в ньому оксиду міді (Cu_2O) в якості окислювача і наповнювача електродного покриття, що забезпечує додаткове окислення металу шва і покращення якості металу в зоні різу.

За рахунок відновлення міді з оксиду міді у електричній дузі при температурі вище 1800°C виділяється кисень по реакції:



Додатковий кисень у зоні плавлення металу підвищує продуктивність процесу різання шляхом активації процесу окислення заліза. Крім того, мідь, що відновлюється з оксиду під час плавлення електродів надає металу зони різу спеціальні властивості-зменшує твердість і схильність до утворення тріщин, тим самим покращуючи якість металу в зоні різу.

Максимальна кількість оксиду міді, яку можна ввести до складу покриття 5% обмежується залишковим вмістом міді в металі зони різу, що становить величину не більше 0,1 %. Залишкова кількість міді в наплавленому металі залежить від окислювального потенціалу покриття, яке в свою чергу залежить від вмісту гематиту.

Введення оксиду міді до складу покриття в кількості менше 2 % не забезпечує повного окислення металу в зоні різу і підвищення продуктивності процесу. Крім того, не забезпечується помітне підвищення якості металу в зоні різу, що проявляється в високій твердості металу і наявності тріщин.

4. Експериментальна частина

Методика дослідження включає в себе технологію виготовлення електродів зі складом покриття, що досліджується, шляхом обпресування покриття на пресі високого тиску.

У якості електродних стрижнів використовувався зварювальний дріт діаметром 5 мм по ГОСТ 2246-70 марки Св-08А.

Було виготовлено 5 варіантів електродів з дослідним складом покриття і прототип.

Варіанти складу покриття виготовлених електродів діаметром наведені у табл. 1.

Для перевірки технологічних властивостей і якості металу в зоні різу була проведена різка маловуглецевої сталі 20, чавуну марки СЧ 21 і нержавіючої сталі 12Х18Н10Т. Товщина зразків становила 10 мм.

Оптимальний режим різання при застосуванні електродів діаметром 5 мм склав 340-380А. Випрямляч ВДУ-504 УЗ. Струм постійний, полярність пряма.

Продуктивність процесу електродугового різання визначається кількістю виплавленого металу в одиницю часу:

$$G_v = a_v I t, \text{ звідки } a_v = G_v / (I t), \text{ г / А год}$$

де G_v - кількість металу, виплавленого в годину, г

I - величина струму при різанні, А;

t - час горіння дуги для визначення продуктивності, год;

a_v - коефіцієнт виплавки, г / А год.

Продуктивність залежить від сили струму і кута нахилу електрода відносно поверхні оброблюваного металу.

Встановлено, що найбільша продуктивність буде при куті нахилу 10° (рис.1). При такому куті нахилу підвищується ефективна теплова потужність дуги за рахунок зменшення втрат тепла в навколишній простір. Характеристика твердості металу в зоні різання залежить від розмірів відбитка, що залишається металевою кулькою, вдавненою в поверхню різання. Дослідження проводили на стаціонарному приладі - пресі Бринеля і регламентованого ГОСТ 9012. Вимірювання проводили на зразках з шорсткістю поверхні 1,25 - 2,5 Ra.

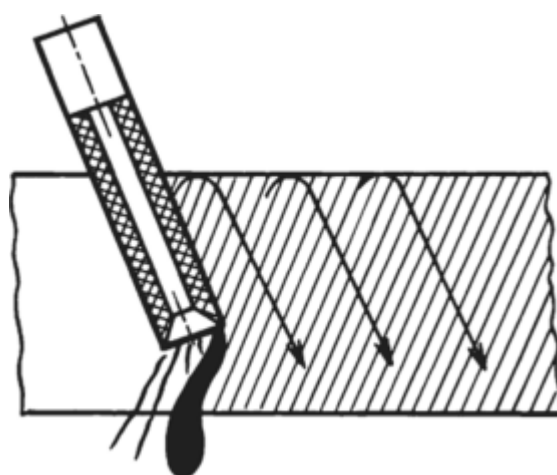


Рис.1. Схема дугового різання металевим електродом

Зовнішній вигляд зразків металу вирізаних електродами з дослідним покриттям представлено на рис.2. і в табл.1. Як видно, низьковуглецева сталь 20 ріжеться з меншою продуктивністю і має не рівні краї різання, а нержавіюча сталь ріжеться більш продуктивно, але має внизу залишок ґрату, що утворився при окисленні легуючих елементів сталі хрому і нікелю. Ґрат необхідно видаляти механічним способом.



а



б

Рис. 2 – Зовнішній вигляд зразків вирізаних зі сталі 20 (а) та нержавіючої сталі (б) марки 12X18H10T

Характеристика твердості металу в зоні різання залежить від розмірів відбитка, що залишається металевою кулькою, вдавненою в поверхню різання. Дослідження проводили на стаціонарному приладі - пресі Бринеля і регламентовано ГОСТ 9012. Вимірювання проводили на зразках з шорсткістю поверхні 1,25 - 2,5 Ra.

Таблиця 1 – Склад дослідних покриттів електродів для електродугового різання

Компоненти покриття	Склади електродних покриттів, мас. %					
	Прототип	1	2	3	4	5
Мармур	40	29	30	40	42	43
Глина	3	1	2	3	6	7
Слюда	4	2	3	4	6	7
Сода	1	0,4	0,5	1	1,5	2
Калій хромовоокислий	1	0,4	0,5	1	1,5	2
Калій хлорноватокислий	5	2	3	5	10	11
Оксид міді		1	2	4	5	6
Гематит	решта	решта	решта	решта	решта	решта

Наявність дефектів у зоні різу виявляли зовнішнім оглядом та методом магнітопорошкової дефектоскопії на наявність тріщин.

Результати перевірки технологічних властивостей електродів і якості металу в зоні різу (див. табл. 2) показують, що оптимальними є 2, 3 і 4 варіанти складу покриття, які забезпечують підвищення продуктивності різання на 30%.

Якість металу в зоні різу висока, тріщин, пор і інших дефектів не виявлено. Низька твердість металу на поверхні різу дозволяє виконувати наступну механічну обробку кромки різу.

Таблиця 2 – Результати технологічних випробувань дослідних електродів

Варіант електродів	Продуктивність різання, кг/год виплавленого металу			Якість металу у зоні різу					
				Твердість на поверхні, НВ			Наявність дефектів		
	Ст.20	СЧ-21	12Х18Н10Т	Ст.20	СЧ-21	12Х18Н10Т	Ст.20	СЧ-21	12Х18Н10Т
Прототип	16	17	21	200	380	200	нема	тріщ.	нема
1	17	17,5	21,5	195	375	200	нема	тріщ.	нема
2	20	18	22	190	370	200	нема	нема	нема
3	21	18,8	24	180	360	190	нема	нема	нема
4	20,8	19	23	185	355	195	нема	нема	нема
5	20,5	19,8	22,5	200	380	200	нема	нема	нема

Склади електродних покриттів варіантів 1 і 5, що вміщують відповідно занижену і завищену кількість заявлених компонентів не забезпечують досягнення вказаного технічного завдання.

Впровадження запропонованого складу електродного покриття у виробництво дасть значний економічний ефект у порівнянні з механічним або кисневим різанням за рахунок високих технологічних властивостей електродів, що дозволяють виконувати вирізку дефектів

швів і литва, видалення ґрату, строжку поверхні деталей, різання металоконструкцій і розробку кромки під зварювання деталей.

Висновки

Запропонований склад електродного покриття з оксидом міді забезпечив підвищення продуктивності електродугового різання на 30%. Якість металу в зоні різки висока. Твердість металу на поверхні різки дозволяє виконувати наступну механічну обробку кромки під виконання зварювальних робіт.

Список використаних джерел:

1. Балановский А. Е. Особенности структурообразования в сталях при плазменном упрочнении / А. Е. Балановский. – Иркутск, ИрГТУ, 2014. – 450 с.
2. Балановский А. Е. Основные вопросы теории плазменного поверхностного упрочнения металлов (Обзор. Часть 1) / А. Е. Балановский // Упрочняющие технологии и покрытия. – 2015. – № 12. – С. 18-30.
3. Назарова О. И. Крылов-Олефиренко В.В. Состояние стали после плазменной резки // Физика и химия обработки материалов, – 2014. – №1. – С. 63-65.
4. А.с. СССР № 712223. В23К 35/365. Состав электродного покрытия / А. Е. Аснис, Л. М. Гутман, И. Р. Явдошин, Г. И. Осадчук, В. Р. Покладий, Я. М. Юзькив, В. А. Поздняков, Д. Г. Дубинский. – № 2497417; заяв. 16.06.1978 ; опубл. 30.01.1980, Бюл. № 4. – 3 с.
5. А.с. СССР № 831466. В23К 35/365. Электродное покрытие / Р. Г. Шнейдеров, В. А. Бирюков, В. Г. Сергеев, П. В. Чувашов, А. Л. Боголюбовский, А. П. Куликов, Г. Ш. Лазовская, П. К. Мартыненко. – № 2721864/25-27 ; заяв. 07.02.1979 ; опубл. 23.05.1981, Бюл. № 19. – 4 с.
6. Mei, L., et al., Research on laser welding of high-strength galvanized automobile steel sheets. Optics and Lasers in Engineering, 2009. 47(11): p. 1117-1124.
7. Joaquin, A., Elliott, A.N.A, Jiang, C., Vaidyanath Rajan, Hartman, D., Chris Karas, Gas Metal Arc Welding of Coated Advanced High Strength Steel (AHSS) – Developments for Improved Weld Quality. SAE World Congress & Exhibition, 2007. 2007-01-1360.

References

1. Balanovskij, AE 2014, Osobennosti strukturoobrazovaniya v staljah pri plazmennom uprochnenii, Irkutskij gosudarstvennyj tehničeskij universitet, Irkutsk.
2. Balanovskij, AE 2015, 'Osnovnye voprosy teorii plazmennogo poverhnostnogo uprochnenija metallov (Obzor. Chast 1)', Uprochnjajushhie tehnologii i pokrytija, no. 12, pp. 18-30.
3. Nazarova, OI & Krylov-Olefirenko, VV 2014, 'Sostojanie stali posle plazmennoj rezki', Physics and chemistry of materials processing, no 1, pp. 63-65.
4. Asnis, AE, Gutman, LM, Javdoshin, IR, Osadchuk, GI, Pokladij, VR, Juzkiv, JaM, Pozdnjakov, VA & Dubinskij, DG 1980, A.s. SSSR № 712223. В23К 35/365. Состав jelektrodnogo pokrytija, no. 2497417.
5. Shnejderov, RG, Birjukov, VA, Sergeev, VG, Chuvashov, PV, Bogoljubskij, AL, Kulikov, AP, Lazovskaja, GSh & Martynenko, PK 1981, A.s. SSSR № 831466. В23К 35/365. Jelektrodoe pokrytie, no. 2721864/25-27.
6. Mei, L., et al., Research on laser welding of high-strength galvanized automobile steel sheets. Optics and Lasers in Engineering, 2009. 47(11): p. 1117-1124.
7. Joaquin, A., Elliott, A.N.A, Jiang, C., Vaidyanath Rajan, Hartman, D., Chris Karas, Gas Metal Arc Welding of Coated Advanced High Strength Steel (AHSS) – Developments for Improved Weld Quality. SAE World Congress & Exhibition, 2007. 2007-01-1360.

Стаття надійшла до редакції 8 травня 2019 р.

DOI 10.32820/2079-1747-2019-23-122-129

УДК 621.791

РОЗРОБКА ТЕРМІТНОГО ЕЛЕКТРОДНОГО ПОКРИТТЯ ДЛЯ ЗВАРЮВАННЯ СТАЛЕЙ В МОНТАЖНИХ УМОВАХ

©Ізотова. К.О.

Українська інженерно-педагогічна академія

Інформація про авторів:

Ізотова Катерина Олександрівна: ORCID 0000-0002-6585-6681, itmzv@uipa.edu.ua, кандидат технічних наук, доцент кафедри інтегрованих технологій в машинобудуванні і зварювального виробництва, Українська інженерно-педагогічна академія; вул. Університетська, 16, м. Харків, 61003, Україна.

В статті показано розробка технології створення електрода для зварювання низьковуглецевих і низьколегованих сталей в монтажних умовах, при використанні джерел змінного струму з малою силою струму і напругою холостого ходу 50 В, що забезпечуються за рахунок зміни системи розкислення, шлакової і газової системи захисту металу шва компонентами електродного покриття.

Високі зварювально-технологічні властивості електродів дозволяють виконувати зварювання відповідальних конструкцій при використанні джерел живлення з напругою холостого ходу 50 В, а також виконувати монтажні шви у всіх просторових положеннях без утворення дефектів. Використання термітного ефекту дозволяє вдвічі зменшити силу струму.

Ключові слова: *електроди, покриття, терміт, струм, зварювання.*

Ізотова Е.А. «Разработка термитного электродного покрытия для сварки сталей в монтажных условиях»

В статье показана технология создания электрода для сварки низкоуглеродистых и низколегированных сталей в монтажных условиях, при использовании источников переменного тока с малой силой тока и напряжением холостого хода 50 В за счет изменения системы раскисления, шлаковой и газовой системы защиты металла шва компонентами электродного покрытия.

Высокие сварочно-технологические свойства электродов позволяют производить сварку ответственных конструкций при использовании источников питания с напряжением холостого хода 50 В, а также выполнять монтажные швы во всех пространственных положениях без образования дефектов. Использование термитного эффекта позволяет вдвое уменьшить силу тока.

Ключевые слова: *качество, точность, линейный размер, детали машин, контроль.*

Izotova E. «Development of a thermite electrode coating for welding steels in installation conditions».

The aim of the development is to create an electrode for welding low-carbon and low-alloy steels in the installation conditions, using low-current and 50-V alternating current sources by changing the deoxidation system, the slag and gas system for protecting the weld metal with electrode coating components.

To optimize the deoxidation system and the gas-slag coating system, ferromanganese, silicocalcium, talc, clay, soda, marble and wood meal are additionally introduced into the composition containing hematite.

Studies have shown that the use of silicocalcium as a deoxidizer and slag-forming electrode coating provides an additional deoxidation of the metal seam, improving its quality and stable reignition of the arc due to the occurrence of the termite reaction with hematite and the release of additional heat, which goes to the heating of the electrode.

The technology for manufacturing electrodes with a new coating composition does not differ from the known one, which is used for analogous electrodes. Welding of plates made of steel VSt3sp was carried out in the lower position with alternating current of 60-80 A.

The results of testing the welding-technological properties and mechanical characteristics of the deposited metal are given in the paper. As a result of tests of welding-technological properties of electrodes and mechanical characteristics of welded metal, it has been established that the optimal composition of the coating has electrodes 2, 3, 4, which have the best results. Thus, the introduction of these components and proposed a certain ratio of coating components provides a total effect, which was expressed in improving the welding and technological properties of the electrodes and the mechanical characteristics of the weld metal.

The high welding and technological properties of the electrodes allow welding of the responsible structures from carbon and low-alloy steels to constant and alternating current at 50V single-voltage power sources and also to perform assembly joints in all spatial positions without defects. In addition, the use of the termite effect can reduce the strength of current, which significantly reduces the cost of welding electricity.

Keywords: electrodes, coating, termite, current, welding.

1. Постановка проблеми

У теперішній час розширився обсяг досліджень по пошуку дешевої регіональної сировини, придатної для виробництва зварювальних електродів. Це викликано гострим дефіцитом ряду шихтових матеріалів, а також труднощами з поставками багатьох видів сировини. Дослідження відноситься до області зварювального виробництва, зокрема до складу електродних покриттів, які використовуються для зварювання низьковуглецевих та низьколегованих конструкційних сталей.

Технічною проблемою при використанні відомих електродів є недостатньо стабільне повторне запалювання електрода, що ускладнює зварювання в монтажних умовах при зварюванні коротких швів, а також неможливість зварювання в промислових і побутових умовах з використанням трансформаторів, що мають напругу холостого ходу 50 В.

2. Аналіз останніх досліджень

В даний час зварювання плавленням грає провідну роль в зварювальному виробництві, основу якої складають методи ручного дугового зварювання.

Основною характеристикою масштабу застосування зварювання є структура і обсяги виробництва зварювальних матеріалів. У найближчому майбутньому методи зварювання збережуть своє провідне становище і тому підвищення якості металу шва і зварювально-

технологічних характеристик зварювальних матеріалів є однією з найважливіших проблем зварювального виробництва [1, 2].

Важливим завданням зварювального виробництва завжди було створення нових зварювальних матеріалів, що володіють високими зварювально-технологічними властивостями і якістю зварних з'єднань.

Основною причиною, що обмежує застосування електродів, зокрема, для зварювання відповідальних конструкцій є підвищений вміст кисню і неметалічних включень в металі шва [3]. Як розкислювачі в електродах з кислим покриттям використовується феромарганець і іноді невеликі кількості феросиліцію. Кількість, дисперсність і хімічний склад неметалевих включень визначається перебігом окисно-відновних реакцій марганцю і кремнію [3]. Показано, що для забезпечення рівня міцності, пластичності і ударної в'язкості металу шва електродів на рівні рутилових необхідно забезпечити в наплавленого металу вміст марганцю 0,5 ... 0,8%. Це вимагає підвищеного вмісту феромарганцю в складі покриття до 20%, що є економічно не вигідним і погіршує санітарно-гігієнічні характеристики електродів.

У зварювальному виробництві відомі склади рутилових, рутилкарбонатних, рутилалюмосилікатних та ільменітових покриттів, наприклад електродів марок АНО-4, МР-3, ОЗС-4, АНО-21, АНО-6 та ін., а також склади електродних покриттів по авторським свідоцтвам [4 - 6], які вміщують рутиловий та ільменітовий концентрат, карбонати металу (мармур, магнетит), різні алюмосилікати (польовий шпат, слюду, тальк), соду, феромарганець, органічні речовини (целюлозу, крохмаль, деревинне борошно), калієво-натрієве рідке скло та інші компоненти.

Найбільш близьким по складу компонентів до розробленого складу і взятий в якості прототипу є термітний зварювальний склад [4], що містить наступні компоненти, мас. %: алюміній 19-22, залізна окалина 37-45, оксид нікелю 2,0-2,3, оксид хрому 1,0-1,2, двоокис марганцю 13,5-19,6, графіт 0,5-0,8, фторид кальцію 4,9-5,8, металічний наповнювач 10,7-15,1. Технічним результатом від використання винаходу є забезпечення покращення механічних властивостей металу шва.

Недоліком аналогічних електродів і термітних сумішей є недостатньо стабільне запалювання електрода, що ускладнює зварювання в монтажних умовах при зварювання коротких швів у різних просторових положеннях.

Основними причинами, неможливості виконання цих умов, є недосконала система розкислення і газошлакова система покриття електродів, що не дозволяє отримати якісний метал шва і стабільне запалювання дуги при зварюванні на монтажі короткими швами.

3. Постановка завдання досліджень

Технічним завданням розробки є створення електрода для зварювання низьковуглецевих і низьколегованих сталей в монтажних умовах, при використанні джерел постійного і змінного струму з малою силою струму і напругою холостого ходу 50 В, що забезпечується за рахунок зміни системи розкислення, шлакової і газової системи захисту металу шва компонентами електродного покриття.

При цьому повинні бути забезпечені високі зварювально-технологічні властивості електродів і якість зварних з'єднань.

4. Експериментальна частина

Технологія виготовлення електродів з розробленим складом покриття не відрізняється від відомої і виконувалась методом обпресування на агрегаті моделі АОЕ-4.

У якості електродних стрижнів використовувався зварювальний дріт по ГОСТ 2246-70 марки Св-08А [8].

Було виготовлено і випробувано 5 варіантів електродів з розробленим складом покриття і прототип.

Зварювання пластин із сталі ВстЗсп розміром 200x100x5 проводилось у нижньому положенні на змінному струмі силою 60-80 А. У якості джерела живлення використовували зварювальний трансформатор моделі ТДМ-252.У2 з напругою холостого ходу 50-63 В (рис.1.).



Рис.1. Зварювальний трансформатор ТДМ-252.У2

тальк 8 – 12, глина 4 – 6, сода 0,5-1,0, мармур 27 – 32, деревинне борошно 1 – 4,5. Досліджували введення до складу покриття феромарганцю 12-18%, силікокальцію 8-12%, тальку 8-12%, глини 4-6%, соди 0,5-1,0%, мармуру 27-32% і деревинного борошна 1-4,5%.

Силікокальцій — це сплав кальцію, кремнію і заліза, який є активним комплексним розкислювачем і дегазатором зварювальної ванни, а також ефективним десульфуратором.

Істотність відмін розробленого складу покриття полягає у використанні в ньому силікокальцію в кількості 8-12%, в якості розкислювача і шлакоутворювача електродного покриття, що забезпечує додаткове розкислення металу шва, підвищення його якості і стабільне повторне запалювання дуги за рахунок протікання термітної реакції з гематитом і виділенням додаткового тепла, що йде на підігрів електрода.

При введенні силікомарганцю в кількості менше 8% не забезпечується достатній термітний ефект підігріву електрода.

При введенні силікомарганцю у склад покриття в кількості більше 12 % спостерігається збільшення вмісту вуглецю в наплавленому металі понад 0,12 %, що може привести до утворення гарячих тріщин в металі шва, а також пороутворенню за рахунок окислення вуглецю у зварювальній ванні, з виділенням CO.

Механічні властивості наплавленого металу визначались на зразках у відповідності до ГОСТ 6996-66 [9] з допомогою розривної машини Р5М і маятникового копра 2010 КМ-30. Контроль якості зварних швів оцінювали візуальним методом при зовнішньому огляді на наявність пор, тріщин і дефектів форми шва. Для оптимізації системи розкислення і газошлакової системи покриття в його склад вводили феромарганець, силікокальцій, тальк, глину, соду, мармур і деревинне борошно, при наступному співвідношенні компонентів покриття, в мас. %: гематит 25-30, феромарганець 12 –18, силікокальцій 8 – 12,

Мармур вводили до складу покриття в кількості 27-32 %. Він відноситься до групи карбонатів металу. У процесі нагрівання мармуру у електродному покритті, при плавленні електрода, протікає його дисоціація. При досягненні температури 900° С протікає реакція з виділенням вуглекислого газу:



Вуглекислий газ, що виділяється, забезпечує надійний захист розплавленого металу від взаємодії з атмосферним повітрям. Це забезпечує підвищення механічних властивостей металу шва. Шлак, що утворюється при дисоціації мармуру, вміщує основний оксид CaO. Він надійно захищає розплавлений метал від окислення, сприяє очищенню його від сірки, полегшує відокремлення шлаку і покращує формування металу шва.

Введення мармуру до складу покриття у кількості менше 27 % не забезпечує надійного газового захисту металу шва, погіршує відокремлення шлаку, знижує пластичні властивості наплавленого металу. При введенні мармуру у кількості більше 32 % відбувається підвищення основності шлаку, що погіршує формування металу шва і сприяє утворенню пор, зокрема у кратерах зварних швів. Глину вводили до складу електродного покриття у кількості 4-6 %, і застосовували як шлакоутворюючий компонент, що підвищує в'язкість шлаку, його укривну здатність, крім того глина підвищує напругу зварювальної дуги, що покращує формування зварних швів.

При введенні глини менше 4% збільшується рідкотекучість шлаку що погіршує формування металу шва. При введенні глини в кількості більше 6% збільшується тугоплавкість покриття і утворюються зашлаковки в металі шва.

Тальк являє собою мінерал, який складається з водного алюмосилікату кальцію і натрію. Використання тальку у складі електродного покриття дає технологічний ефект комплексного введення силікату, що забезпечує підвищення зварювально-технологічних властивостей електродів. Введення тальку в кількості менше 8 % не забезпечує стійкості металу шва проти пористості, зменшує продуктивність зварювання.

При введенні тальку у кількості більше 12 % значно підвищується в'язкість шлаку, зростає тугоплавкість покриття і розбризкування електродного металу.

Феромарганець вводили до складу покриття у кількості 12-18 %, як основний розкислювач зварювальної ванни і легуючий елемент. Він є самим дешевим і розповсюдженим розкислювачем у зварювальних електродах кислого виду. При введенні феромарганцю до складу покриття у кількості менше 12 % не забезпечується повне розкислення зварювальної ванни, що може бути причиною пористості і низьких механічних властивостей металу шва.

Введення феромарганцю у кількості більше 18 % погіршує санітарно-гігієнічні характеристики електродів за рахунок підвищеного вмісту оксидів марганцю у зварювальному аерозолі. Крім того, значно знижуються пластичні характеристики наплавленого металу. Гематит (Fe₂O₃) являє собою залізну руду, і вводили до складу електродного покриття у кількості 25-30 % як шлакоутворюючий компонент, що забезпечує текучість шлаку, покращення його відокремлення і формування металу шва.

Вміст гематиту у кількості менше 25 % не забезпечує покращення текучості шлаку, легкого його відокремлення і якісного формування шва. При введенні гематиту у кількості

більше 30 % спостерігається підвищена текучість шлаку, що ускладнює зварювання у вертикальному і стельовому положенні, зростає окислення марганцю у зварювальній ванні, яке призводить до зниження механічних властивостей металу шва. У якості компонента, що покращує обпресовочні властивості покриття, підвищує стабільність горіння дуги, а також утворює шлак до складу покриття ведено соду у кількості 0,5-1,0 %.

При введенні соди у кількості менше 0,5 % погіршується технологічність виготовлення електродів, нанесення покриття потребує підвищення тиску у гідравлічній системі преса. Крім того, погіршується стабільність горіння дуги, а недостатня кількість кристалізаційної води в покритті викликає виникнення водневої пористості металу шва.

Вміст соди у кількості більше 1,0 % надмірно підвищує в'язкість шлаку, збільшує розбрикування електродного металу без подальшого покращення якості металу шва. У якості речовини, яка покращує газовий захист розплавленого металу використовується деревинне борошно у кількості 1-4,5 %.

Крім того, деревинне борошно при згоранні в покритті підвищує стабільність повторного запалювання дуги за рахунок утворення на торці електрода деревинного вугілля, яке має низький потенціал іонізації і високу електропровідність.

При введенні деревинного борошна у кількості менше 1 % не забезпечується якісний газовий захист зварювальної ванни і не забезпечується стабільність повторного запалювання зварювальної дуги. Вміст деревинного борошна у кількості більше 4,5 % викликає надмірне виділення газів, що призводить до розбрикування електродного металу, збільшує виділення зварювального аерозолі, який погіршує санітарно-гігієнічну характеристику електродів.

5. Результати досліджень

Варіанти складу покриття виготовлених електродів діаметром 3 мм. наведені у табл. 1. Результати випробування зварювально-технологічних властивостей і механічних характеристик наплавленого металу приведені в табл. 2, 3. У результаті випробувань зварювально-технологічних властивостей електродів і механічних характеристик наплавленого металу встановлено, що оптимальний склад покриття мають електроди 2, 3, 4 варіантів, які мають найкращі результати. Таким чином, введення перерахованих компонентів і запропоноване певне співвідношення компонентів покриття забезпечує отримання сумарного ефекту, що виразився у покращенні зварювально-технологічних властивостей електродів і механічних характеристик наплавленого металу.

Таблиця 1 – Склад покриття дослідних варіантів електродів

Компоненти покриття	1	2	3	4	5
Гематит	21	25	28	30	32
Феромарганець	11	12	15	18	20
Силікокальцій	13	12	10	8	7
Тальк	13	12	10	8	7
Глина	7	6	5	4	3
Сода	1,5	1,0	0,7	0,5	0,4
Мармур	33	32	29	27	26
Деревинне борошно	0,5	1	2,3	4,5	4,6

Таблиця 2 – Результати технологічних випробувань

Варіант покриття	Зварювально-технологічні властивості			
	Розривна довжина дуги, мм	Формування шва	Стабільність горіння при напрузі 50 В	Наявність дефектів на 100 мм шва
Прототип	20	Задовільне	Низька	Пори - 2 шт.
1	21	Добре	Середня	Зашлаковка – 1 шт.
2	25	Відмінне	Висока	Нема
3	28	Відмінне	Висока	Нема
4	26	Відмінне	Висока	Нема
5	22	Добре	Середня	Пори - 1 шт.

Таблиця 3 – Результати технологічних випробувань

Варіант електрода	Механічні властивості наплавленого металу		
	S_B , МПа	d , %	КСУ, Дж/см ²
Прототип	485	27	145
1	480	28	135
2	490	28,5	140
3	495	30	150
4	498	29	145
5	486	27,5	138

Високі зварювально-технологічні властивості електродів дозволяють виконувати зварювання відповідальних конструкцій із вуглецевих і низьколегованих сталей на постійному і змінному струмі при використанні джерел живлення з напругою холостого ходу 50 В, а також виконувати монтажні шви у всіх просторових положеннях без утворення дефектів (рис.2). Крім того, використання термітного ефекту дозволяє зменшити силу струму, що значно зменшує витрату електроенергії при зварюванні.



Рис.2. Вигляд процесу зварювання трубопроводу у монтажних умовах

Висновки

Розроблені електроди для зварювання відповідальних конструкцій із низьковуглецевих і низьколегованих сталей на постійному і змінному струмі у монтажних умовах з використанням джерел живлення з напругою холостого ходу 50 В, при забезпеченні необхідних механічних характеристик металу шва і якості зварних з'єднань.

Список використаних джерел:

1. Рынок сварочных материалов Украины / А. А. Мазур, С. В. Пустовойт, В. С. Петрук [и др.]. // Автоматическая сварка. – 2014. – № 6-7. – с. 39–45.
2. Зовнішньоекономічна діяльність України в 2002–2015 рр. (зварювальні матеріали та обладнання). – К.: Вид-во ІЕЗ ім. Є. О. Патона, 2016. – 35 с.
3. Власов А. Ф. Нагрев и плавление электродов с экзотермической смесью в покрытии / А. Ф. Власов, Н. А. Макаренко, А. М. Куций // Автоматическая сварка. – 2014. – № 6-7. – с. 151–154.
4. Власов а. Ф. Применение экзотермических смесей при ручной дуговой сварке и электрошлаковых процессах/ А. Ф. Власов, Н. А. Макаренко, А. М. Куций // Сварочное производство. – 2016. – № 8. – с. 7–14.
5. А.с. СССР № 1130445. Состав термитной смеси / Ушаков М.В., Дуденко П.Е., Григорьев Ю.М., Ваггин В.В., Бердников В.С.; заяв. 06.04.1983, опубл. 23.12.1984, Бюл. ; 47.
6. А.с. СССР № 967740. Состав термитной смеси / Егоров Е.И., Меркулов А.Г., Сапрыкин В.Н., Маркевич О.Е.; заяв. 20.04.1981, опубл. 23.10.1982, Бюл. № 39.
7. Pramathesh Desai, “Monitoring Heat Treatment to Improve Weld Quality,” *Welding Journal*, vol. 89 (6), June 2010, pp. 109-111.
8. Girish Kumar Padhyand and Yu-ichi Komizo, “Diffusible Hydrogen in Steel Weldments-A Status Review,”*Trans. JWRI*, vol. 42 (1), 2013, pp. 39-62.
9. Bipkin Kumar Srivasstova, S. P. Twari and Jyoti Parkash, “A Review on the Effect of Preheating and / or Post Weld Heat Treatment (PWHT) on Mechanical Properties of Ferrous Metals,” *International Journal of Engineering Science & Technology*, vol. 2 (4), 2010, pp. 625-631.

References

- Rynok svarochnyh materialov Ukrainy / A. A. Mazur, S. V. Pustovojt, V. S. Petruk [i dr.]. // *Avtomaticeskaya svarka*. – 2014. – № 6-7. – s. 39–45.
2. Zovnishnoekonomichna diyalnist Ukrayini v 2002–2015 rr. (zvaryvalni materialy ta obladnannya). – K.: Vid-vo IEZ im. Ye. O. Patona, 2016. – 35 s.
3. Vlasov A. F. Nagrev i plavlenie elektrodov s ekzotermicheskoy smesyu v pokrytii / A. F. Vlasov, N. A. Makarenko, A. M. Kushij // *Avtomaticeskaya svarka*. – 2014. – № 6-7. – s. 151–154.
4. Vlasov a. F. Primenenie ekzotermicheskikh smesey pri ruchnoj dugovoy svarke i elektroshlakovyh processah/ A. F. Vlasov, N. A. Makarenko, A. M. Kushij // *Svarочноe proizvodstvo*. – 2016. – № 8. – s. 7–14.
5. A.s. SSSR № 1130445. Sostav termitnoj smesi / Ushakov M.V., Dudenko P.E., Grigorev Yu.M., Vatagin V.V., Berdnikov V.S.; zayav. 06.04.1983, opubl. 23.12.1984, Byul. ; 47.
6. A.s. SSSR № 967740. Sostav termitnoj smesi / Egorov E.I., Merkulov A.G., Saprykin V.N., Markevich O.E.; zayav. 20.04.1981, opubl. 23.10.1982, Byul. № 39.
7. Pramathesh Desai, “Monitoring Heat Treatment to Improve Weld Quality,” *Welding Journal*, vol. 89 (6), June 2010, pp. 109-111.
8. Girish Kumar Padhyand and Yu-ichi Komizo, “Diffusible Hydrogen in Steel Weldments-A Status Review,”*Trans. JWRI*, vol. 42 (1), 2013, pp. 39-62.
9. Bipkin Kumar Srivasstova, S. P. Twari and Jyoti Parkash, “A Review on the Effect of Preheating and / or Post Weld Heat Treatment (PWHT) on Mechanical Properties of Ferrous Metals,” *International Journal of Engineering Science & Technology*, vol. 2 (4), 2010, pp. 625-631.

Стаття надійшла до редакції 30 квітня 2019 р.

DOI 10.32820/2079-1747-2019-23-130-138

УДК 621.87

ДОСЛІДЖЕННЯ ЗНОШУВАНOSTI ДВИГУНІВ ВНУТРІШНЬОГО ЗГОРЯННЯ ПРИ НЕСТАЛИХ РЕЖИМАХ РОБОТИ

©Подольак О. С., Смик О.М., Староста Ж.С.

Українська інженерно-педагогічна академія

Інформація про авторів:

Подольак Олег Степанович: ORCID: 0000-0002-1477-8548; podoliak15os@gmail.com; завідувач кафедри машинобудування та транспорту; Українська інженерно-педагогічна академія; вул. Університетська, 16, м. Харків, 61003, Україна.

Смик Олександр Миколайович: ORCID: 0000-0003-1384-749X; podoliak15os@gmail.com; судовий експерт Харківського науково-дослідного експертно-криміналістичного центру МВС України; вул. Ковтуна, 34, м. Харків, 61036.

Староста Жанна Степанівна: ORCID: 0000-0002-8461-7692; podoliak15os@gmail.com; студентка факультету Комп'ютерних і інтегрованих технологій у виробництві і освіті; Українська інженерно-педагогічна академія; вул. Університетська, 16, м. Харків, 61003, Україна.

Виконано аналіз терміну служби приводу автомобільних кранів і встановлено причини передчасного руйнування поверхонь тертя основних деталей двигунів.

Проведені дослідження зношуваності деталей двигуна внутрішнього згоряння при несталіх режимах роботи з застосуванням методу планування експерименту, реалізація якого здійснювалась на програмованому стенді. Стохастичною моделлю кожного етапу випробувань були осцилограми з записами режимів роботи двигунів в реальних умовах експлуатації. Планування експерименту виконувалося методом ітерації з урахуванням швидкісних, температурних і динамічних параметрів, а також коефіцієнта динамічності механічної системи «двигун - трансмісія - вантаж».

Отримані залежності зміни зносу двигунів від основних швидкісних і навантажувальних параметрів. Встановлено ступінь впливу кожного з цих параметрів на зношуваність двигунів внутрішнього згоряння.

Ключові слова: двигун, знос, режим роботи, стенд, кривошипно-шатунний механізм, математична модель, планування експерименту, механічна система.

Подольак О.С., Смик О.М., Староста Ж.С. «Исследование изнашиваемости двигателей внутреннего сгорания при неустойчивых режимах работы».

Выполнен анализ срока службы привода автомобильных кранов и установлены причины преждевременного разрушения поверхностей трения основных деталей двигателей.

Проведены исследования изнашиваемости деталей двигателя внутреннего сгорания при неустойчивых режимах работы с применением метода планирования эксперимента, реализация которого осуществлялась на программируемом стенде. Стохастической моделью каждого этапа испытаний были осциллограммы с записями режимов работы двигателей в реальных условиях эксплуатации. Планирование эксперимента осуществлялось методом итерации с учетом скоростных, температурных и динамических параметров, а также коэффициента динамичности механической системы «двигатель – трансмиссия – груз».

Получены зависимости изменения износа двигателей от основных скоростных и нагрузочных параметров. Установлено степень влияния каждого из указанных параметров на изнашиваемость двигателя внутреннего сгорания.

Ключевые слова: двигатель, износ, режим работы, стенд, кривошипно-шатунный механизм, математическая модель, планирование эксперимента, механическая система.

Podoliak O., Smyk O., Starosta J. «Investigation of wear of the internal combustion engine at the transient operation modes».

The analysis of the service life of the actuator and mounted mobile cranes causes premature failure of the main friction surfaces of engine parts.

Investigations of wear of the internal combustion engine parts during transient operating conditions using the method of experimental design, implementation of which was carried out on a programmable stand. Stochastic model of each stage of the test were waveform recordings engine operation under real operating conditions. Experimental Design was performed by iteration with the speed, temperature and the dynamic parameters, as well as the coefficient of dynamic mechanical system "motor - transmission - the goods".

Physical modeling was performed using software installation based on the inputted therein algorithms. This setting is to set different modes (corresponding to 4 iterations of steps) experimental engine. Statistical processing of waveforms with the records engine operating modes under operating conditions will allow to select the typical waveforms and use them to create algorithms for test programs. When thus considered coolant temperature and oil load value and its time variation, velocity and acceleration of the crankshaft.

The obtained data using the correlation-regression analysis were processed on the computer according to the program, which consisted of four standard blocks: preliminary statistical analysis, multiple regression analysis, pair and multi-level correlation analyzes. The application of this program allowed, with the precision of the highway, to perform a selective selection of parameters, highlighting the main factors determining the deterioration of the engine. As a result, for each type of engine, mathematical models were described that describe the relationship between speed, load and temperature parameters and the intensity of wear.

To implement the fifth step iteration was conducted varying the moment of inertia of the flywheel masses variable experimental setup. The design allowed to change the dynamic coefficient of a mechanical system. Dependencies of engine wear changes are obtained the basic speed and load parameters. The degree of influence of each of these parameters on the wear of the internal combustion engine.

Keywords: engine wear, dynamic factor, mode of operation, a stand, a crank mechanism, mathematical model, experimental design, mechanical system.

Вступ

Режими роботи силового агрегату автомобільного крана в експлуатаційних умовах характеризуються навантажувальними, швидкісними і температурними параметрами. Систематичний відбір та аналіз терміну служби двигунів експлуатованих в різних умовах [1],

дозволив зробити висновок, що термін служби двигунів автомобільних кранів в 1,6 - 2,4 рази менше ніж при експлуатації в сталих умовах. Аналіз робіт [1, 2] показує, що основними режимами роботи силових агрегатів встановлених на вантажопідйомних машинах є несталі режими. Мається на увазі, що зміна навантажувальних і швидкісних параметрів визначається не конструктивними характеристиками, а зовнішніми експлуатаційними впливами. Основними показниками несталих режимів є не тільки величини параметрів, але і інтенсивності їх зміни.

Вивчення даної проблеми досить складно, оскільки необхідно враховувати багатофакторність процесу зміни ресурсу деталей. Найбільш повно дослідити цю проблему можна, створивши узагальнену аналітичну модель, яка враховувала б усі чинники: навантажувальні (P), швидкісні (ω), температурні (T). Проблемою дослідження довговічності двигунів внутрішнього згоряння при експлуатаційних режимах займалися: Мішин І.А.; Ждановський Н.С.; Канарчук В.Є. [3, 4, 5]. Однак спеціальних досліджень по зношуваності двигунів кранів автомобільного типу не проводилось. Для вивчення цієї задачі пропонується включити в математичну модель зносу двигуна коефіцієнт динамічності (k_d) механічної системи «двигун – трансмісія – вантаж

1. Мета роботи

Встановити закономірності зношування деталей ДВС, що враховують вплив коефіцієнта динамічності, навантажувальних, швидкісних та температурних режимів роботи.

2. Планування експерименту

Дослідження моделі зносу двигуна автомобільного крана ускладнено великою кількістю факторів, що впливають на нього. Тому теоретичний опис в цій області носить лише якісний характер і дозволяє науково обґрунтовано спланувати етапи дослідження. Кількісний опис моделі можна отримати експериментально великою кількістю трудомістких дослідів.

Досвід застосування математичних методів планування зносних динамічних випробувань показує, що використовувана методологія їх проведення математично строго і фізично коректно дозволяє поставити сучасний експеримент в рандомізованій формі.

Для встановлення закономірностей інтенсивності зносу двигуна необхідно мати відомості про значення параметрів, що входять у наступну багатовимірну функцію:

$$\frac{du}{dQ} = f(P_e; W_p; \omega; j; k_d), \quad (1)$$

де P_e – ефективне навантаження, W_p – інтенсивність зміни навантаження, ω – кутова швидкість колінчастого валу, j – прискорення колінчастого валу, k_d – коефіцієнт динамічності. Для дослідження функції (1) задамося наступними умовами:

1) робота двигуна відбувається з постійною швидкістю обертання колінчастого вала і $W_p = 0$, коефіцієнт динамічності не враховується. Тоді диференціальне рівняння зміни ресурсу перетворюється в двовірну функцію, що має наступний вигляд:

$$\frac{du}{dQ} = f_1(P_e). \quad (2)$$

З виразу (2) видно, що на першому етапі дослідження слід експериментально встановити закономірності зміни ресурсу в залежності від сталого навантаження;

2) двигун працює з постійним навантаженням, причому прискорення колінчастого вала дорівнює нулю, коефіцієнт динамічності не враховується. Тоді

$$\frac{du}{dQ} = f_2(w). \quad (3)$$

З виразу (3) видно, що необхідно вивчити вплив швидкісного режиму на ресурс;

3) двигун працює при постійній швидкості і змінних навантаженнях, коефіцієнт динамічності не враховується. При цьому аналізована функція має наступний вигляд:

$$\frac{du}{dQ} = f_3(W_p). \quad (4)$$

З рівняння (4) видно, що потрібно експериментально вивчити вплив інтенсивності зміни навантаження на ресурс;

4) припустимо, що двигун працює при постійному навантаженні і змінюється в часі швидкості, коефіцієнт динамічності не враховується. Тоді диференціальне рівняння перетворюється в функцію

$$\frac{du}{dQ} = f_4(j). \quad (5)$$

5) припускаємо, що двигун працює при постійній швидкості і навантаженні з урахуванням впливу коефіцієнта динамічності. Тоді маємо диференціальне рівняння

$$\frac{du}{dQ} = f_5(k_d). \quad (6)$$

З виразу (6) видно, що при ітераційному методі вирішення узагальненого диференціального рівняння слід експериментально визначити вплив коефіцієнта динамічності на ресурс силового агрегату. Два перших кроки ітерації (2), (3) показують шляхи вивчення ресурсу силового агрегату при стаціонарних параметрах і не становлять значних труднощів для експериментальної перевірки.

Для перевірки умов (4), (5) і (6) необхідно скласти динамічну програму і використовувати експериментальну установку, що забезпечує її відтворення. Запропоновані алгоритми дозволяють реалізувати експериментальну перевірку третього і четвертого кроків ітерації, які можуть бути представлені в загальному вигляді:

$$\begin{array}{|l|l|l|}
\hline
\vdots & n = n_1, n_2; & j = j_1 \quad \ddot{\cup} \\
\vdots & n = n_1, n_2; & j = j_2 \quad \vdots \\
\vdots & n = n_1, n_2; & j = j_3 \quad \vdots \\
\vdots & \dots\dots\dots & \dots\dots\dots \cdot \quad \vdots \\
\vdots & n = n_1, n_2; & j = j_i \quad \vdots \\
\vdots & n = n_2, n_3; & j = j_1 \quad \vdots \\
\vdots & n = n_2, n_3; & j = j_2 \quad \vdots \\
\vdots & n = n_2, n_3; & j = j_3 \quad \vdots \\
P_{\circlearrowleft} = const & \dots\dots\dots & \dots\dots\dots \dot{\cup} n_{\circlearrowleft} = var; \\
\vdots & n = n_2, n_3; & j = j_i \quad \vdots \\
\vdots & \dots\dots\dots & \dots\dots\dots \cdot \quad \vdots \\
\vdots & \dots\dots\dots & \dots\dots\dots \cdot \quad \vdots \\
\vdots & n = n_k, n_{k+1}; & j = j_1 \quad \vdots \\
\vdots & n = n_k, n_{k+1}; & j = j_2 \quad \vdots \\
\vdots & n = n_k, n_{k+1}; & j = j_3 \quad \vdots \\
\vdots & \dots\dots\dots & \dots\dots\dots \cdot \quad \vdots \\
\vdots & n = n_k, n_{k+1}; & j = j_i \quad \cup \\
\hline
\vdots & P_e = P_{e_1}, P_{e_2}; & W_p = W_{p_1} \quad \ddot{\cup} \\
\vdots & P_e = P_{e_1}, P_{e_2}; & W_p = W_{p_2} \quad \vdots \\
\vdots & P_e = P_{e_1}, P_{e_2}; & W_p = W_{p_3} \quad \vdots \\
\vdots & \dots\dots\dots & \dots\dots\dots \cdot \quad \vdots \\
\vdots & P_e = P_{e_1}, P_{e_2}; & W_p = W_{p_j} \quad \vdots \\
\vdots & P_e = P_{e_2}, P_{e_3}; & W_p = W_{p_1} \quad \vdots \\
\vdots & P_e = P_{e_2}, P_{e_3}; & W_p = W_{p_2} \quad \vdots \\
\vdots & P_e = P_{e_2}, P_{e_3}; & W_p = W_{p_3} \quad \vdots \\
n_{\circlearrowleft} = const & \dots\dots\dots & \dots\dots\dots \dot{\cup} P_{\circlearrowleft} = var \\
\vdots & P_e = P_{e_2}, P_{e_3}; & W_p = W_{p_j} \quad \vdots \\
\vdots & \dots\dots\dots & \dots\dots\dots \cdot \quad \vdots \\
\vdots & P_e = P_{e_k}, P_{e_{k+1}}; & W_p = W_{p_1} \quad \vdots \\
\vdots & P_e = P_{e_k}, P_{e_{k+1}}; & W_p = W_{p_2} \quad \vdots \\
\vdots & P_e = P_{e_k}, P_{e_{k+1}}; & W_p = W_{p_3} \quad \vdots \\
\vdots & \dots\dots\dots & \dots\dots\dots \cdot \quad \vdots \\
\vdots & P_e = P_{e_k}, P_{e_{k+1}}; & W_p = W_{p_j} \quad \cup \\
\hline
\end{array}$$

Реалізація наведених алгоритмів базується на критерії ідентичності роботи двигуна як при сталих, так і при несталих режимах. Така аналогія дозволяє зіставити результати досліджень з даними експериментальних випробувань [5].

При здійсненні фізичного моделювання функція (1) досліджувалася наступним чином. Програмна установка (рис. 1) на підставі введених в неї алгоритмів задавала різні режими роботи випробуваному двигуну, що виконував на кожному режимі одиницю умовної роботи.

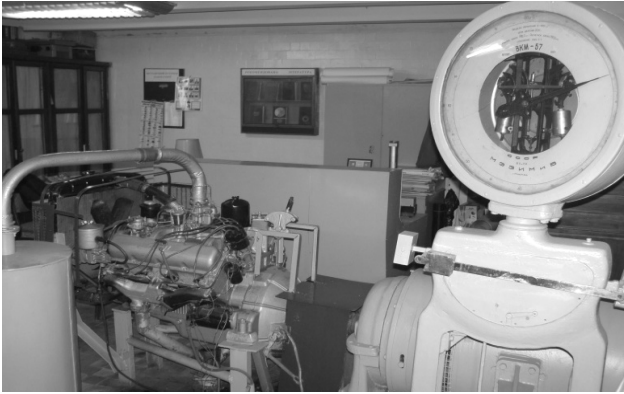


Рис 1. Загальний вид програмної установки

валу і зміни у часі зазначених режимів роботи. Ці осцилограми після розшифровки а також результати числового експерименту дали підставу для програмування програмної установки і були стохастичною моделлю кожного етапу випробувань.

З урахуванням їх варіації (по максимуму) на кожному етапі задавалося додатково по чотири режими, які вибирались за допомогою методу рангової кореляції. Проведені випробування в певній мірі дозволили відтворити експлуатаційні умови і максимально наблизити зміни параметрів до реальних умов експлуатації автомобільного крана.

Для реалізації експериментальної перевірки п'ятого кроку ітерації проводилось варіювання моментом інерції маховика змінної маси експериментальної установки. Для цього була розроблена двомасова динамічна еквівалентна модель установки, на якій виконувались зношувальні випробування (рис. 2).

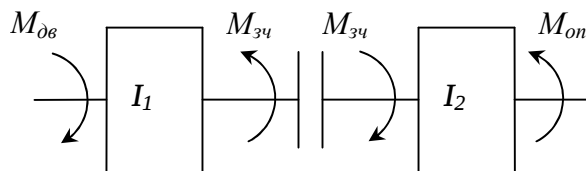


Рис. 2. Динамічна двомасова модель експериментальної установки: M_{06} – момент двигуна; M_{34} – момент зчеплення; M_{on} – момент опору руху; I_1 – момент інерції двигуна КАМАЗ – 740, I_2 – момент інерції, маховика змінної маси навантажувача установки.

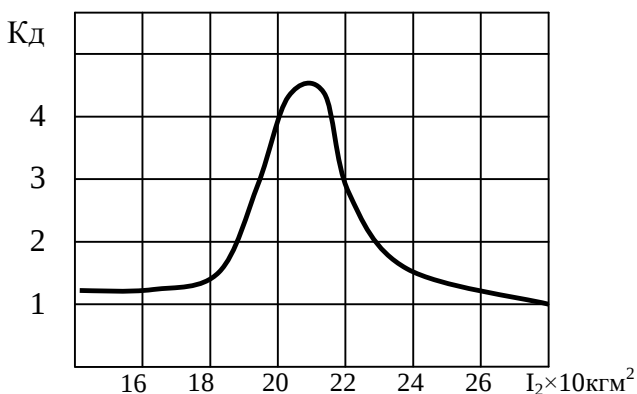


Рис. 3. Зміна коефіцієнта динамічності експериментальної установки від моменту інерції I_2 навантажувача.

Скориставшись методикою [6] складемо диференціальні рівняння коливальної системи експериментальної установки:

$$M_{12} \ddot{\varphi} + \frac{1}{I_2} \dot{\varphi} + b_{12} \varphi = \frac{c_{12}}{I_1} M_{06}(t) + \frac{c_{12}}{I_2} M_{on}(t); \quad (7)$$

Вирішивши рівняння (7) можна провести чисельний експеримент залежності коефіцієнта динамічності від моменту інерції I_2 при цьому I_1 залишається постійним (рис. 3).

Конструкція установки дозволяє змінювати момент інерції маховика змінної маси I_2 і тим самим варіювати коефіцієнтом динамічності, що дозволяє здійснити перевірку п'ятого кроку ітерації.

3. Обговорення результатів

Обробка результатів зносних випробувань двигунів показала, що інтенсивність зносу двигуна автомобільного крана в значній мірі залежить від значення коефіцієнта динаміки (рис. 4), інтенсивності зміни навантаження (рис. 5) і величини прискорень (рис. 6).

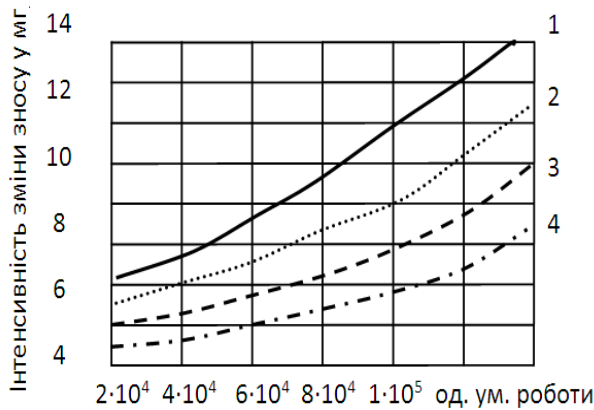


Рис. 4. Вплив коефіцієнта динамічності на знос двигуна КАМАЗ - 740 при стендових випробуваннях

1 - $K_d = 4,5$; 2 - $K_d = 3,5$;
3 - $K_d = 2,5$; 4 - $K_d = 1,5$.

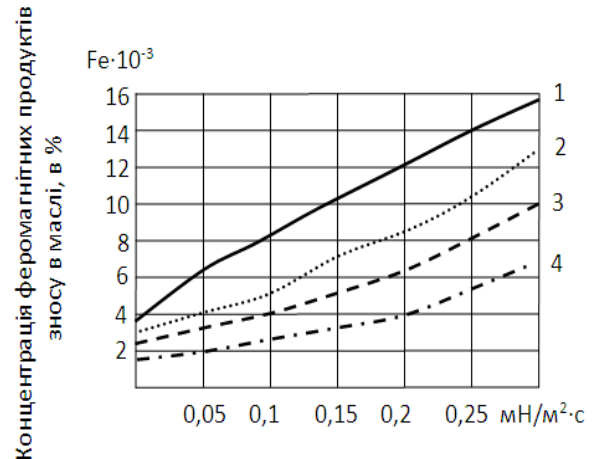


Рис. 5. Вплив швидкості зміни навантаження на інтенсивність зносу двигуна ЗІЛ - 130 при зміні режиму від 0,7 - 0,8 мН/м² (1), від 0,6 - 0,7 мН/м² (2), від 0,5 - 0,6 мН/м² (3), 0,4 - 0,5 мН/м² (4) за 10^5 од. ум. роб.

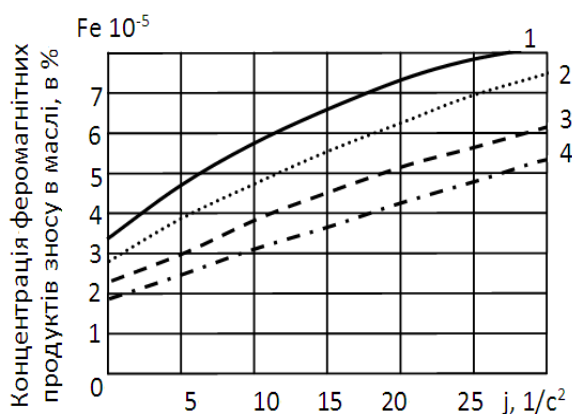


Рис. 6. Вплив прискорення на інтенсивність зносу двигуна ЗІЛ - 130 при зміні режиму від 2000 - 3000 об / хв (1), від 1400 - 2200 об / хв (2), від 1000 - 1800 об / хв (3), 800 - 1400 об / хв (4) за 10^5 од. ум. роб.

крива зносу 4 на рис. 4, змінюється майже пропорційно виконаній роботі, при зростанні коефіцієнта динамічності її крутизна збільшується, а функція набуває форму параболи. Аналізуючи експериментальні дослідження можна прийти до висновку, що незалежно від

Так робота двигуна при несталих навантажувальних режимах (0,4 - 0,8 мН/м²) призводить до збільшення зносу 2,8 рази, робота приводу при зміні прискорення від 5 до 20 1/с² (за 1×10^7 од. ум. роботи) призводить до збільшення зносу деталей двигунів ЯМЗ - 236 і КАМАЗ - 740 - в середньому в 2,2 рази, ЗІЛ - 130 - в 2,3 рази. Однак найбільший вплив на зношуваність двигуна оказує значення коефіцієнта динаміки. Криві, що характеризують інтенсивність зносу при різних значеннях K_d в діапазоні від 1,5 до 4, постійно зростають, при малих навантаженнях

типів двигунів при несталих динамічних режимах роботи автомобільних кранів в порівнянні з еквівалентними сталими режимами знос приводу зростає більш ніж в 3 рази.

Отримані залежності також вказують на те, що при сталому режимі роботи і режимах з малим прискоренням колінчастого вала (до 4 1/s^2) мінімальний знос спостерігається в межах еквівалентної швидкості колінчастого вала, рівної 1250 - 1600 об / хв. При великих навантаженнях і прискореннях знос деталей двигуна збільшується пропорційно зростанню швидкості колінчастого вала (рис.6).

По концентрації продуктів зносу в пробах картерного масла, було досліджено зношування приводу автомобільного крана. Випробування проводилися на двигунах ЗИЛ - 130 і КАМАЗ - 740, що пройшли обкатку. Отримані дані за допомогою кореляційно-регресійного аналізу оброблялися на ЕОМ за програмою, яка складалася з чотирьох стандартних блоків: попереднього статистичного аналізу, множинного регресійного аналізу, парного і множинного кореляційних аналізів. Застосування зазначеної програми дозволило з точністю до шостого знака виконати селективний відбір параметрів, виділивши основні чинники, що визначають знос двигуна. В результаті для кожного типу двигунів були отримані математичні моделі, що описують взаємозв'язок між швидкісними, навантажувальними і температурними параметрами та інтенсивністю зношування.

$$\frac{du}{dt} \Big|_{\text{ЗИЛ-130}} = 0,004235 + 0,0325(K_d - 0,006) + 0,00556(W_p - 0,017) + 4,5(j - 4,634)10^{-5} + 7,6(W_{T.B} - 4,92)10^{-6};$$

$$\frac{du}{dt} \Big|_{\text{КАМАЗ-740}} = 0,003945 + 0,03874(K_d - 0,0045) + 0,004151(W_p - 0,09) + 3,81(j - 2,75)10^{-5} + 5,98(W_{T.B} - 4,78)10^{-6}.$$

Аналіз отриманих моделей показав, що знос деталей двигуна визначають параметри (K_d ; W_p ; j ; $W_{m.v}$; $W_{m.m}$) які, як відомо, є похідними від основних параметрів (P ; n ; T_B ; T_M). При цьому встановлено, що динамічні параметри, які характеризують несталі режими роботи, істотно обумовлюють знос деталей двигуна. Найбільш вагомим є параметр K_d , значення якого в 2,4 - 4,6 рази перевершує значення інших, наступні за значимістю параметри W_p і j , в 1,3 - 3 рази перевершують інші.

Висновки

В ході досліджень виявлені закономірності зношування деталей двигунів автомобільних кранів і встановлені найбільш вагомні експлуатаційні фактори, які приводять до прискореного руйнування поверхонь тертя.

Список використаних джерел:

1. Подоляк О. С. Особенности работы приводов автомобильных кранов при переходных процессах / О. С. Подоляк, А. В. Силка // Современные направления теоретических и прикладных исследований 2008 : междунар. науч.-техн. конф., тезисы докл. – Одесса, 2008. – Т. 3. – С. 34-36.
2. Подоляк О. С. Исследование модели изменения ресурса силового агрегата автомобильного крана методом итерации / О. С. Подоляк, А. А. Мельниченко // Восточно-европейский журнал передовых технологий. –

2008. – Вып. 6 (36). – С. 27-30.

3. Мишин И. А. Долговечность двигателей / И. А. Мишин. – Л. : Машиностроение, 1976. – 288 с.

4. Ждановский Н. С. Экономичность и долговечность тракторных и автомобильных двигателей в зависимости от режимов работы. Ч. 1 / Н. С. Ждановский, А. В. Николаенко. – Л. : Машиностроение, 1967. – 91 с.

5. Канарчук В. Е. Долговечность и износ двигателей при динамических режимах работы / В. Е. Канарчук. – Киев : Наукова думка, 1978. – 256 с.

6. Нестеров А. П. Динамические нагрузки в трансмиссии автомобильных кранов при переходных процессах / А. П. Нестеров, О. С. Подоляк, А. В. Чернышенко // Збірник наукових праць Українського державного університету залізничного транспорту. – Харків : УДАЗТ. – 2006. – № 73. – С. 127-135.

7. N.H.S.Ray, M.K.Mohanty and R.C.Mohanty, „Biogas as Alternate Fuel in Diesel Engines IOSR Journal of Mechanical and Civil Engineering (IOSR-JMCE) e-ISSN: 2278-1684,p-ISSN: 2320-334X, Volume 9, Issue 1 (Sep. - Oct. 2013), PP 23-28 www.iosrjournals.org.

8. C D Rakopoulos, E G Giakoumis, and D C Rakopoulos, „Study of the short-term cylinder wall temperature oscillations during transient operation of a turbo- charged diesel engine with various insulation schemes 4 February 2008.

References

1. Podoljak, OS & Silka, AV 2008, ‘Osobennosti raboty privodov avtomobil'nyh kranov pri perehodnyh processah’, Sovremennye napravleniya teoreticheskikh i prikladnykh issledovaniy, Odessa, vol. 3, pp. 34-36.

2. Podoljak, OS & Melnichenko, AA 2008, ‘Issledovanie modeli izmeneniya resursa silovogo agregata avtomobilnogo krana metodom iteracii’, Vostochno-evropejskij zhurnal peredovyh tehnologij, iss. 6 (36), pp. 27-30.

3. Mishin, IA 1976, Dolgovechnost dvigatelej, Mashinostroenie, Leningrad.

4. Zhdanovskij, NS & Nikolaenko, AV 1967, Jekonomichnost i dolgovechnost traktornyh i avtomobilnyh dvigatelej v zavisimosti ot rezhimov raboty, part 1, Mashinostroenie, Leningrad.

5. Kanarchuk, VE 1978, Dolgovechnost i iznos dvigatelej pri dinamicheskikh rezhimah raboty, Naukova dumka, Kiev.

6. Nesterov, AP, Podoljak, OS & Chernyshenko, AV 2006, ‘Dinamicheskie nagruzki v transmissii avtomobilnyh kranov pri perehodnyh processah’, Zbirnyk naukovykh prats Ukrainskoho derzhavnoho universytetu zaliznychnoho transportu, Ukrainska derzhavna akademiia zaliznychnoho transportu, Kharkiv no. 73, pp. 127-135.

7. N.H.S.Ray, M.K.Mohanty and R.C.Mohanty, „Biogas as Alternate Fuel in Diesel Engines IOSR Journal of Mechanical and Civil Engineering (IOSR-JMCE) e-ISSN: 2278-1684,p-ISSN: 2320-334X, Volume 9, Issue 1 (Sep. - Oct. 2013), PP 23-28 www.iosrjournals.org.

8. C D Rakopoulos, E G Giakoumis, and D C Rakopoulos, „Study of the short-term cylinder wall temperature oscillations during transient operation of a turbo- charged diesel engine with various insulation schemes 4 February 2008.

Стаття надійшла до редакції 23 квітня 2019 р.

DOI 10.32820/2079-1747-2019-23-139-143

УДК 621.92

ВИЗНАЧЕННЯ ЕНЕРГОЕКОНОМІЧНИХ ТЕХНОЛОГІЙ СКЛАДАННЯ ПРЕСОВИХ З'ЄДНАНЬ

©Резніченко М. К.

Українська інженерно-педагогічна академія

Інформація про автора:

Резніченко Микола Кирилович: ORCID: 0000-0002-6989-0270; rezlynik@ukr.net; доктор технічних наук, професор; завідувач кафедри інтегрованих технологій в машинобудуванні та зварювального виробництва; Українська інженерно-педагогічна академія, вул. Університетська 16, м. Харків, 61003, Україна

В статті розглянуті питання визначення енергоекономічного методу технологічного процесу складання пресових (з натягом) з'єднань. Показано, що енергоемність процесів залежить від геометричних розмірів деталей, структури технологічного процесу та натягу в з'єднанні.

Узагальнюючи отримані дані для різних посадок з'єднань зі сталі з полошним валом дозволяють визначити області пріоритетного застосування технологій складання запресовкою або з використанням попереднього нагріву. Рівень енергоспоживання можна максимально зменшити, як за рахунок економічного обладнання, так і за рахунок економічної технології.

Ключові слова: технологія, складання, енергоефективність, термодія, пресове з'єднання, розбирання, енергоемність, технологічний процес, натяг, контактний тиск.

Резніченко Н.К. «Определение энергоэкономичных технологий сборки прессовых соединений»

В статье рассмотрены вопросы определения энергоэкономичного метода технологического процесса сборки прессовых (с натягом) соединений. Показано, что энергоемность процессов зависит от геометрических размеров деталей, структуры технологического процесса и натяжения в соединении.

Обобщая полученные данные для различных посадок соединений из стали с полым валом позволяют определить области приоритетного применения технологий сборки запресовки, или с использованием предварительного нагрева. Уровень энергопотребления можно минимизировать, как за счет экономичного оборудования, так и за счет экономичной технологии.

Ключевые слова: технология, сборка, энергоэффективность, термодействие, соединение с натягом, разборка, энергоемность, технологический процесс, натяг, контактное давление.

Reznichenko N. «Determination of energy-efficient technologies for the assembly of press joints».

The article deals with the issues of determining the energy-economic method of the technological process of assembling press (with tension) connections. It is shown that the energy intensity of processes depends on the geometric dimensions of the parts, the structure of the technological process and the tension in the joint.

Technological design of press compounds should be considered first of all with respect to pressing technologies and using induction heating. Pressing provides, under other equal conditions, less durability of the connection than the addition with heating, but it is less energy-intensive. At high contact pressure, in the contact details, due to the high tension, when pressed on the landing surfaces there are plastic deformations that lead to the formation of risks or even zadirov. A large tension when combined with heating requires a higher temperature of heating. The dependence of the required temperature of heating of parts from steel, from the landing diameter of the connection is shown.

The graphs of the dependence of the required temperature difference for the considered landings are presented. It is shown that the heating temperatures of parts are significant for connections with small seat diameters. This is due not only to relatively large tensions, but also to relatively large thermal gaps. Thus, connections with small diameter and thick-walled covering parts for all types of landing with a tension for qualitative characteristics are in the risk zone. Reducing the necessary gap by further refinement of technical assembly systems will make it possible to collect with heating connections with diameters less than 100 mm.

Summarizing the data obtained for different landings of steel joints with a piston shaft, it is possible to determine the areas of priority application of pre-compression or pre-heating technologies. The level of energy consumption can be reduced to the maximum, both at the expense of economic equipment and at the expense of economic technology.

Keywords: technology, assembly, energy efficiency, thermodynamics, press connection, disassembly, energy consumption, technological process, tension, contact pressure.

Вступ

Сучасне машинобудівне виробництво є різносерійним, багато-номенклатурним, з частотою зміною виробів. Зросли вимоги до термінів розробки технологій, поліпшення їх якості і зниження витрат. Тому необхідно мати знання про шляхи вдосконалення технологій.

Процеси збирання та розбирання з'єднань з натягом, в яких використовується індукційний нагрів на деталі, характеризується рядом загальних закономірностей: тимчасова зміна розмірів деталей в відповідно з законами нагрівання та охолодження твердих тіл, змінність циклу через різні тривалості процесу скріплення деталей при складанні та розкріпленні з'єднання при розбиранні, вільне поєднання, чи роз'єднання деталей внаслідок наявності термічного зазору між ними.

Енергоємність процесів залежить не тільки від рівня нагріву деталей, але і від структури технологічного процесу (ТП). У зв'язку з цим необхідно визначити область ефективного застосування технологій, в яких деталі піддаються нагріванню.

1. Аналіз літературних даних та постановка проблеми

Пресові з'єднання деталей використовуються в різних галузях промисловості. Складання-розбирання з'єднань з натягом можна виконувати пресовим методом, або нагрівом, що

являється більш ефективним. Роботи з використанням електронагріву започаткував А. Годолін, ще в 19 столітті. В подальшому питаннями складання пресових з'єднань з термодією займалися М.П.Новіков, Л.І.Жабін, Г.Я.Андрєєв, Б.М.Арпентьєв і інші.

Однак, в роботах не знайшли розгляду питання визначення енергоефективних технологій складання з'єднань.

2. Ціль та задачі дослідження

В задачу дослідження ставиться питання визначення енергоефективного технологічного процесу складання з'єднань з натягом в залежності від геометричних розмірів деталей.

3. Виклад основного матеріалу дослідження

Технологічність конструкції пресових з'єднань необхідно розглядати в першу чергу по відношенню до технологій запресовки і з використанням індукційного нагрівання. Як зазначалося, запресовка забезпечує, при інших рівних умовах, меншу міцність з'єднання ніж складання з нагріванням, але вона менш енергоємна. При великому контактному тиску (P), в контакті деталей, внаслідок великого натягу (N), при запресовуванні на посадочних поверхнях виникають пластичні деформації, що призводять до утворення рисок або навіть задирів. Велика величина N при складанні з нагріванням вимагає більш високої температури нагріву. До посадок з натягом, які часто використовуються у машинобудуванні, відносяться посадки з відхиленням $H7, H8$ при $p6, p6, r6, s6, u7, u8, x7, z8$ (системні отвори) і $N7, P7, R7, S7, N8, U8$ при $h6, h7, h8$ (система валу). Розглянувши використання деяких найбільш вживаних посадок для з'єднань з конструкційної сталі з довжиною валу більшою, ніж довжина втулки, що часто застосовується в конструкціях виробів, виконані розрахунки і побудовані відповідні графіки, представлені на рис.1.

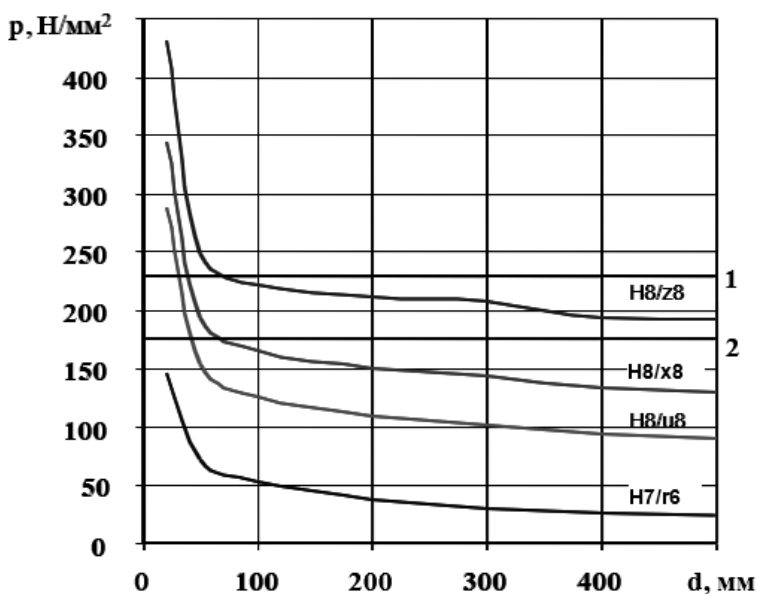


Рис. 1. Залежність питомої тиску на контактних поверхнях деталей від посадки і діаметру з'єднання

Як видно з рис.1. застосування посадки, **H7** **r6** найбільш легкої із розглянутих, для з'єднань всіх діаметрів не викликає побоювання щодо виникнення пластичного деформування матеріалу. Для посадки, **H8** **u8** можлива поява зон пластичних деформацій в разі, якщо деталь буде більш жорстка (товщина стінки втулки більше 0,4d). При розгляді з'єднань з механічними властивостями матеріалу деталей відмінних від тих, для яких визначені області застосування по рис.1., слід вносити відповідні поправки.

Як видно з графіків, при малих діаметрах з'єднання ($d < 50\text{мм}$) питомий тиск досягає значних величин, але в міру збільшення d воно різко знижується. У зоні пружних деформацій деталей (нижче лінії 1 для сталі 45 і нижче лінії 2 для сталі Ст.3) виявляються відповідно всі великогабаритні з'єднання з розглянутими посадками, і великогабаритні з'єднання і

посадками $H8/h8$, $H8/h7$ і $H7/g6$.

При розгляді з'єднань з механічними властивостями матеріалу деталей відмінних від тих, для яких визначені області застосування по рис.1., слід вносити відповідні поправки. Оскільки при наявності хоча б окремих зон пластичного деформування металу при складанні з'єднань запресовкою на посадочних поверхнях деталей з'являються ризики або навіть задири, які при експлуатації є джерелом руйнування, формування таких з'єднань, доцільно виконувати з термічним зазором. Тобто застосовувати технології, що використовують термодію. Розглянемо з позиції забезпечення якості з'єднання технологію збирання з використанням нагріву. Якщо головним обмеженням за якістю пресової технології є пластичне деформування матеріалу деталей, то для технології з нагріванням головним обмеженням є температура, оскільки нагрівання, наприклад, сталевих не термооброблених деталей вище $350\text{--}400\text{ }^{\circ}\text{C}$ викликає зміну їх фізико механічних властивостей [2,4].

Графіки залежності необхідного температурного перепаду ΔT_{max} для розглянутих посадок показані на рис.2. Тут враховується максимальне значення термічного зазору в з'єднанні (який отримують внаслідок нагрівання). Його величина розрахована по залежності $0,01\sqrt{d}$ [3]. Як видно, температури нагріву деталей значні для з'єднань з малими посадочними діаметрами. Це пояснюється не тільки відносно великими натягами, але і відносно великими термічними зазорами. Таким чином, з'єднання з малим d і товстостінними охоплюючими деталями для всіх типів посадок з натягом за якісними характеристиками знаходяться в зоні ризику.

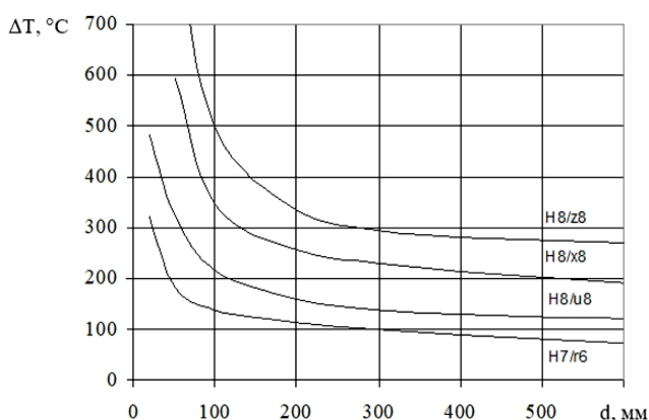


Рис.2. Залежність необхідної температури нагріву деталей зі сталі для компенсації натягу і освіти термічного зазору, від посадкового діаметра з'єднань

Слід зазначити, що зазвичай приймається термічний складальний зазор величиною $0,01\sqrt{d}$ є завищеними особливо для малих діаметрів рис.2. Зниження необхідного зазору S за рахунок подальшого вдосконалення технічних складальних систем дасть можливість збирати з нагріванням з'єднання з посадками $H8/h8$ при $d < 100\text{мм}$. Це дозволить знизити загальний витрата теплової енергії, що йде на нагрів деталей.

Висновки

Узагальнюючи отримані дані для різних посадок з'єднань зі сталі з сполосним валом дозволяють визначити області пріоритетного застосування технологій складання запресовкою або з використанням попереднього нагріву. Рівень енергоспоживання можна максимально зменшити як за рахунок економічного обладнання, так і за рахунок економічної технології.

Список використаних джерел:

1. Резніченко М. К. Якість та енергозбереження в процесах складання та розбирання з'єднань індукційним нагрівом / М. К. Резніченко ; Укр. інж-пед. акад. – Горлівка : Ліхтар, 2009. – 180 с.
2. Андреева Г. Я. Тепловая збірка колісних пар / Г. Я. Андреева. – Харків : ХДУ, 1965. – 227 с.
3. Берникер Е. И. Посадки с натягом в машиностроении / Е. И. Берникер. – М. : Машиностроение, 1996. – 168 с.
4. Лозинский М. Г. Промышленное применение индукционного нагрева / М. Г. Лозинский. – М. : Изд-во АН СССР, 1958. – 471 с.
5. Technological design of press compounds should be considered first of all with respect to pressing technologies and using induction heating.
6. Yi-Lang Yang and Shyong Lee // Journal of Materials Processing Technology 140 (2003).

References

1. Reznichenko, MK 2009, Yakist ta enerhozberezhennia v protsesakh skladannia ta rozbyrannia ziednan induktsiinym nahrivom, Ukrainiska inzhenerno-pedahohichna akademiia, Likhtar, Horlivka.
2. Andrieieva, Hla 1965, Teplova zbirka kolisnykh par, Kharkivskiy derzhavnyi universytet, Kharkiv.
3. Berniker, EI 1996, Posadki s natjagom v mashinostroenii, Mashinostroenie, Moskva.
4. Lozinskij, MG 1958, Promyshlennoe primenenie indukcionnogo nagreva, Izdatelstvo Akademii nauk Sojuza Sovetskikh Socialisticheskikh Respublik, Moskva.
5. Technological design of press compounds should be considered first of all with respect to pressing technologies and using induction heating.
6. Yi-Lang Yang and Shyong Lee // Journal of Materials Processing Technology 140 (2003).

Стаття надійшла до редакції 7 квітня 2019 р.

DOI 10.32820/2079-1747-2019-23-144-148

УДК 621.92

ИССЛЕДОВАНИЕ РАБОТЫ МОНОРЕЛЬСОВОГО ПУТИ ПРИ ПЕРЕМЕННОЙ НАГРУЗКЕ

©Резниченко Н. К., Резниченко Е. Н.

Украинская инженерно-педагогическая академия

Информация об авторах:

Резниченко Николай Кириллович: ORCID: 0000-0002-6989-0270; rezlynik@ukr.net; доктор технических наук, профессор; заведующий кафедры интегрированных технологий в машиностроении и сварочного производства; Украинская инженерно-педагогическая академия, ул. Университетская 16, г. Харьков, 61003, Украина.

Резниченко Елена Николаевна: ORCID:0000-0001-9042-7355; rezlynik@ukr.net; кандидат педагогических наук, доцент кафедры педагогики, методики и менеджмента образования; Украинская инженерно-педагогическая академия, ул. Университетская 16, г. Харьков, 61003, Украина.

В статье рассмотрена и решена задача определения коэффициента концентрации напряжений в зоне сопряжения ездовая полка-стенка двутавра, что позволяет определить несущую способность монорельсового пути. Определение напряженного состояния производилось с помощью тензодатчиков типа 2ПКБ-3-100Б, с базой 3мм, наклеенных по контуру радиусной гантели натуральных отрезков двутавров с полками постоянной и переменной толщины. Измерение производилось с помощью тензометрического моста. Выполнен анализ и исследована работа монорельса при переменной нагрузке.

Показано, что при работе монорельса при переменной нагрузке усталостные трещины возникают в зоне перехода полки к стенке. Появление трещины в полке, во всех случаях, происходило у места перехода к округлению у стенки, хотя напряжение вдоль полки больше по величине, чем у стенки.

На основании метода В.В. Васильева рассчитаны коэффициенты концентрации напряжений в галтелях двутавров существующих стандартов.

Переход к эффективным коэффициентам концентрации и испытания на пульсаторе обеспечивают расчет ездовых полок двутавров на усталость.

Ключевые слова: двутавр, балка, напряженное состояние, приварка, полоса, усиление, исследование, профиль, монорельса.

Резніченко М.К., Резніченко О. М. «Дослідження роботи монорейкового шляху при змінному навантаженні».

У статті розглянута і вирішена задача визначення коефіцієнта концентрації напружень в зоні сполучення їздова полка-стінка двутавра, що дозволяє визначити несучу здатність монорейкового шляху. Визначення напруженого стану проводилося за допомогою тензодатчиків типу 2ПКБ-3-100Б, з базою 3 мм, наклеєних по контуру радіусної гантелі натурних відрізків двутавров з полками постійної і змінної товщини. Вимірювання проводилося за допомогою тензометричного моста. Виконано аналіз і досліджена робота монорельса при змінному навантаженні.

Таким чином, представлена модель є інструментом для встановлення особливостей навантаження елементів аркового кріплення при русі рухомого складу по монорельсу і розрахунків величин навантажень, надають безпосередній вплив на несучу здатність аркового кріплення в транспортних виробках з підвісною монорельсовою дорогою. Регулюючи параметри взаємодії даної системи «Рухомий склад - монорельс - арочна кріплення - масив гірських порід», такі як швидкість транспортування і маса вантажу, що перевозиться, яка припадає на одну пару опорних роликів, можна прогнозувати пропускну здатність підготовчих виробок і відповідно темпи їх проведення і час підготовки нових виїмкових стовпів в умовах інтенсифікації гірських робіт.

Показано, що при роботі монорельса при змінному навантаженні втомні тріщини виникають в зоні переходу полки до стінки. Поява тріщини в полиці, у всіх випадках, відбувалося у місця переходу до округлення у стінки, хоча напруга уздовж полиці більше за величиною, ніж у стінки. На підставі методу В.В. Васильєва розраховані коефіцієнти концентрації напружень в галтелях двутавров існуючих стандартів. Перехід до ефективних коефіцієнтів концентрації та випробування на пульсатор забезпечують розрахунок їзових полиць двотаврів на втому.

Ключові слова: двутавр, балка, напружений стан, приварка, смуга, посилення; дослідження, профіль, монорейки.

Reznichenko M., Reznichenko O. «Investigating the work of a monorail path with variable load».

The article considers and solves the problem of determining the stress concentration factor in the junction area of the driving flange-wall of the I-beam, which allows to determine

load bearing capacity of the monorail. The determination of the stress state was carried out using strain gauges of type 2PKB-3-100B, with a base of 3 mm, glued along the contour of the radius dumbbell of full-length I-sections with shelves of constant and variable thickness. The measurement was performed using a strain gauge bridge. The analysis was carried out and the monorail operation under variable load was investigated.

Thus, the presented model is a tool for establish the features of loading of arch support elements at the movement of rolling stock along the monorail and calculations of the values of loads that have a direct impact on the carrier arch support in transport workings with suspended monorail road. By adjusting the interaction parameters of the system in question "Rolling stock - monorail - arch support - an array of rocks", such as the speed of transportation and the mass of the transported cargo falling on one pair of support rollers, you can predict the throughput development workings and, accordingly, the pace of their implementation and the time preparation of new excavation pillars in the conditions of intensification of mountain works.

It is shown that when a monorail is operating at a variable load, fatigue cracks arise in the transition zone of the shelf to the wall. The appearance of a crack in the shelf, in all cases, occurred

at the point of transition to rounding at the wall, although the stress along the shelf is greater in magnitude than at the wall. Based on the method of V.V. Vasiliev calculated stress concentration coefficients in the fillets of I-beams of existing standards. The transition to effective concentration ratios and testing on the pulsator provide for the calculation of the flanges of the I-beams for fatigue.

Keywords: double tee, beam, stress state; welding; band, gain; study, profile, monorail.

Введение

Пути подвешенного транспорта, речь идет о путях перемещения электродеталей, подвешенных кранов, тележек подвешенных конвейеров, в ряде случаев двутавры являются элементами кранбалок, поясами пролетных балок козловых кранов и т.д. В этом случае имеет место работа полки двутавра на изгиб под нагрузками, передаваемыми колесами грузовых тележек. Во многих случаях двутавр работает одновременно и как элемент несущей конструкции, например, ригель козлового крана, как ездовая балка, воспринимающая подвижные нагрузки.

Использование стандартного проката в качестве путей передвижения ставит вопрос о концентрации напряжений в галтели двутавра. Нагрузка полки давлением колеса тележки вызывает относительно высокие напряжения у края полки и вблизи стенки.

1. Анализ литературных источников

Вопросам определения коэффициента концентрации посвящены исследования Г. Нейбера, А.Тума, Г.Н. Савина, С.П. Тимошенко, Р.М. Шнейдеровича, М.А. Барга, А.В. Верховского, В.В. Васильева и других.

Большая часть работ посвящена определению коэффициента концентрации напряжений около отверстий, выточек, вырезов, пазов, галтелей и на телах вращения.

2. Цель и задачи исследования.

Определить эффективный коэффициент концентрации напряжений в переходе полка-стенка монорельса, что позволит производить расчет ездовых полков двутавра на усталость.

3. Изложение основного материала.

Сделанный анализ геометрических параметров стандартных двутавров позволяет применить метод В.В.Васильева (на базе решения А.В. Верховского) для определения напряжений в любой точке контура.

Тогда

$$Q_u = \frac{h_H(\sin \beta + n \cos \beta) \sigma_{ном}}{(m - p \times \cos \beta + pn \sin \beta) \sin 2 \arctg(h_H - y)/h_H}$$

где ρ – радиус сопряжения полки и стенки, h – толщина полки,
 h_H – расстояние до нейтральной оси; y – зона влияния $(0,3 \dots 0,7) h_H$.

$$n = \frac{h_H}{\rho + h_H}, \quad m = \frac{\rho^2 + \rho h_H + h_H^2}{\rho + h_H}$$

β_3 – экстремальный угол соединяющий положение $\sigma_{\max}$

$$\beta_3 = \arcsin \frac{-n\rho + \sqrt{1 + n^2 - \rho^2}}{m}$$

Принятая методика расчета (рис.1) позволила получить величину коэффициента концентрации α , и значение экстремального угла β_3 для двутавров, применяемых в качестве монорельсов. Мы установили, что для двутавров с параллельными гранями полок по ТУ 14-2-24-72 имеем $\alpha=1,06 \dots 1,15$; $\beta_3 = 5 \dots 7,5^\circ$; для двутавров по ГОСТ 8239-72 $\alpha=1,15 \dots 1,2$; $\beta_3 = 7 \dots 9^\circ$; для двутавров по ГОСТ 19425-77 $\alpha=1,15 \dots 1,2$; $\beta_3 = 9 \dots 11^\circ$. Эти данные были проверены в опытах с двутаврами №24 и 36 ГОСТ 8239-72, и № 30 ТУ 142-24-72 на стенде.

Определение напряженного состояния производилось с помощью тензодатчиков типа 2ПКБ-3-100Б, с базой 3мм, наклеенных по контуру радиусной гантели натуральных отрезков двутавров с полками постоянной и переменной толщины. Измерение производилось с помощью тензометрического моста.

Характерные этапы распределения напряжений по гантели двутавра и допустимые циклы нагружения показаны на рис. 1-2.

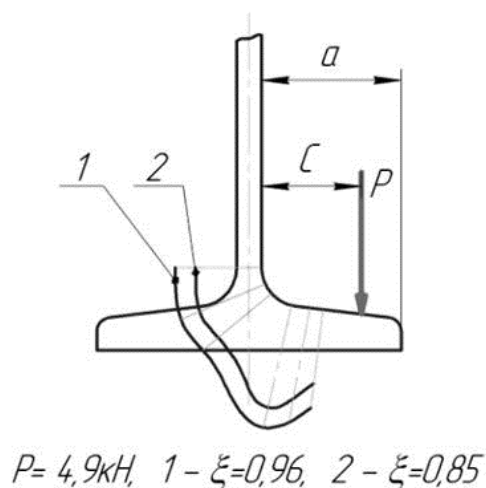


Рис. 1 – Методика расчета

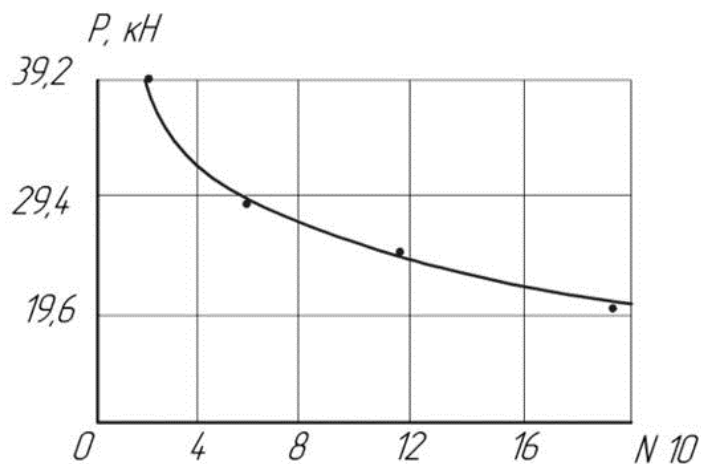


Рис. 2 – Зависимости циклов разрушения N от нагрузки P

Результаты опытов показывают, что коэффициент концентрации $\alpha = 1,14 \dots 1,21$ и угол $\beta_3 = 5 \dots 12^\circ$, что не противоречит с теоретическими расчетами. Переходя к значению эффективного коэффициента концентрации

$$K_3 = 1 + q(\alpha - 1),$$

принимаем $g = 0.55$ (для сталей Ст. 3), тогда при $\alpha = 1,15 \dots 1,2$ имеем $K_3 = 1,08 \dots 1,11$ и можно принять в среднем $K = 1,1$.

При этом конструктор получает возможность выполнять усталостные расчеты ездовой балки. Методика усталостных расчетов и испытаний обязана трудам С.В. Серенсена, И.А.Одинга, М.М. Гохберга, А.Д. Кеннеди, Н.Н. Афанасьева и других ученых.

При ограниченном числе циклов нагрузки, пределы усталости связаны с числом циклов N , зависимостью

$$\sigma^m N = \text{const.}$$

Для оценки m , нами проведены испытания на пульсаторе ТРМ-1. Испытания проводились на натурных отрезках двутавра №24 ГОСТ 8239-72, длина каждого образца 1200 мм.

Нагружение полки двутавра производилось специально изготовленными скобами симметричной нагрузкой, с предварительным нагружением усилием $2 \dots 3$ кН, и дальнейшей работой из нагрузок $P = 20, 25, 30$ и 40 кН.

Появление трещины в полке, во всех случаях, происходило у места перехода к округлению у стенки, хотя напряжение вдоль полки больше по величине, чем у стенки. Результаты экспериментов приведены на рис.2, в виде графика зависимости циклов разрушения N от нагрузки P . Полученные результаты позволяют принять в (17) значение $m = 3,1$. Выполненные расчеты проверены экспериментально.

Выводы

На основании метода В.В. Васильева рассчитаны коэффициенты концентрации напряжений в галтелях двутавров существующих стандартов. Переход к эффективным коэффициентам концентрации и испытания на пульсаторе обеспечивают расчет ездовых полки двутавров на усталость. При этом можно принять $K_9 = 1,1$ и в зависимости $\sigma^m N = \text{const.} = m = 3,1$.

Список використаних джерел:

1. Говоруха В. В. К исследованию напряженно – деформативного состояния монорельса / В. В. Говоруха. – Киев : Укр. НИИТИ, 1987. – 34 с.
2. Горынин Г. Л. Работа двутавра при переменной нагрузке / Г. Л. Горынин, Ю. В. Немирововский // Подъемно – транспортное оборудование : респ. межд. научн.-техн. сб. – 1987. – Вып. 18. – С. 48-49.
3. Congouille, R. Aubel. Transports et mametenetions. “Publications techniques des charleonnaires deFrance”., Transports et telicommunications aux Hoillires de Provance – “Industrie minerale mine”, 2005, № 3.
4. Watt R.G. Transport of Men and Materials: the Problems – Some Solutions and New Concepts / R.G. Watt, J.H. Nothard // Mining Engineering, 2012. – October.

References

1. Govoruha, VV 1987, K issledovaniyu naprjazhenno – deformativnogo sostojanija monorelsa, Ukrainskij nauchno-issledovatel'skij institut nauchno-tehnicheskoy informacii, Kiev.
2. Gorynin, GL & Nemirovovskij, JuV 1987, ‘Rabota dvutavra pri peremennoj nagruzke’, Podemno – transportnoe oborudovanie, iss. 18, pp. 48-49.
3. Congouille, R. Aubel. Transports et mametenetions. “Publications techniques des charleonnaires deFrance”., Transports et telicommunications aux Hoillires de Provance – “Industrie minerale mine”, 2005, № 3.
4. Watt R.G. Transport of Men and Materials: the Problems – Some Solutions and New Concepts / R.G. Watt, J.H. Nothard // Mining Engineering, 2012. – October.

Стаття надійшла до редакції 26 квітня 2019 р.

DOI 10.32820/2079-1747-2019-23-149-158

УДК 621.757

РАЗБОРКА ТЕРМОВОЗДЕЙСТВИЕМ СОЕДИНЕНИЙ С ГАРАНТИРОВАННЫМ НАТЯГОМ

©Малицкий И. Ф., Смирнов И. П.

Украинская инженерно-педагогическая академия

Информация об авторах:

Малицкий Игорь Федорович: ORCID: 0000-0003-0026-2791; malickiy1925@gmail.com; кандидат технических наук; доцент кафедры металло режущего оборудования и транспортных систем; Украинская инженерно-педагогическая академия; ул. Университетская, 16, г. Харьков, 61003, Украина.

Смирнов Игорь Петрович: ORCID: 0000-0002-5982-8123; smirnov_ip@gmail.com; кандидат технических наук; доцент кафедры интегрированных технологий в машиностроении и сварочного производства; Украинская инженерно-педагогическая академия; ул. Университетская, 16, г. Харьков, 61003, Украина.

При ремонте машин часто используются малоэффективные технологические операции по разборке неподвижных соединений с гарантированным натягом. Наибольшую трудность представляют такие операции при ремонте крупногабаритных узлов на тепловозо-, вагоно-, судоремонтных и других предприятиях.

Детали узлов и сборочных единиц при разборке с помощью прессы пластически деформируются, поверхности сопряжения повреждаются, что делает невозможным их повторное использование. Для разборки таких соединений более рационально было бы использовать нагрев охватывающей детали. При нагреве охватывающая деталь расширяется и имеющийся в соединении натяг переходит в зазор. После этого разборка происходит без каких либо затруднений и критических последствий для разбираемых деталей.

В настоящее время в промышленности широкое распространение получили индукционные установки для нагрева деталей токами высокой частоты. При высокочастотном нагреве тепло выделяется в поверхностном слое детали, что приводит к большим перепадам температур и внутренним напряжениям.

При уменьшении частоты тока за счет увеличения глубины проникновения тока в металл достигается более глубокий и равномерный прогрев охватывающей детали. Однако, при недостаточно интенсивном нагреве тепло, генерируемое в охватывающей детали, за счет теплопередачи переходит в охватываемую деталь и свободная разборка оказывается невозможной.

В статье дана методика определения мощности и характеристик индукционно-нагревательных установок для разборки крупногабаритных узлов и проведена экспериментальная проверка их работоспособности. Для исследования электрических и тепловых характеристик были изготовлены индукционные установки нагрева токами промышленной частоты для нагрева под разборку колесной пары тепловоза.

В результате проведенных исследований подтверждена возможность использования для разборки крупногабаритных узлов индукционно-нагревательных установок токами промышленной частоты.

Ключевые слова: разборка, крупногабаритные детали, посадка с натягом, колесная пара, индукционная установка, ток промышленной частоты, индукционно-тепловая разборка, мощность.

Малицький І.Ф., Смирнов І.П. «Розбирання термодією з'єднань із гарантованим натягом»

При ремонті машин часто використовуються малоефективні технологічні операції з розбирання нерухомих з'єднань з гарантованим натягом. Найбільшу трудність представляють такі операції при ремонті великогабаритних вузлів на тепловозо-, вагоно-, судноремонтних та інших підприємствах.

Деталі вузлів і складальних одиниць при розбиранні за допомогою преса пластично деформуються, поверхні сполучення пошкоджуються, що унеможливає їх повторне використання. Для розбирання таких з'єднань раціональніше було б використовувати нагрів деталей, що охоплює. При нагріванні охоплює деталь розширюється і наявний в з'єднанні натяг переходить в зазор. Після цього розбирання відбувається без будь-яких ускладнень і критичних наслідків для розбираємо деталей.

В даний час в промисловості широкого поширення набули індукційні установки для нагріву деталей струмами підвищеної частоти. При високочастотному нагріванні тепло виділяється в поверхневому шарі деталі, що призводить до великих перепадів температур і внутрішнім напруженням.

При зменшенні частоти струму за рахунок збільшення глибини проникнення струму в метал досягається більш глибокий і рівномірний прогрів деталі, що охоплює. Однак, при недостатньо інтенсивному нагріванні тепло, яке генерується в деталі, що охоплює, за рахунок теплопередачі переходить в охоплювану деталь і вільне розбирання стає неможливим.

У статті дана методика визначення потужності і характеристик індукційно-нагрівальних установок для розбирання великогабаритних вузлів і експериментальна перевірка їх працездатності. Для дослідження електричних і теплових характеристик були виготовлені індукційні установки нагріву струмами промислової частоти для нагріву під розбирання колісної пари тепловоза.

В результаті проведених досліджень підтверджена можливість використання для розбирання великогабаритних вузлів індукційно-нагрівальних установок струмами промислової частоти.

Ключові слова: розбирання, великогабаритні деталі, посадка з натягом, колісна пара, індукційна установка, струм промислової частоти, індукційно-теплове розбирання, потужність.

Malickiy I., Smirnov I. «Disassembly of the thermal impact of coupling with a guaranteed stress state».

When repairing machines, inefficient technological operations are often used to disassemble fixed joints with a guaranteed stress state. The greatest difficulty is represented by such operations in the repair of large-sized units in diesel locomotive, carriage, ship repair and other enterprises.

Parts of assemblies and assembly units when disassembling using a press are subjected to plastic deformation, the mating surfaces are damaged, which makes it impossible to reuse them. For disassembly of such assembly units, it would be more appropriate to use heating the female parts.

When heated, the inner part expands and the tension present in the joint passes into the gap. After this, disassembly takes place without any difficulties and critical consequences for the disassembled parts.

At present, induction plants are widely used in industry for heating parts with high-frequency currents. With high-frequency heating, heat is released into the surface layer of the part, which leads to large temperature differences and internal stresses.

By reducing the frequency of the current by increasing the depth of penetration of the current into the metal, a deeper and more uniform heating of the female part is achieved. However, if the heating is not intensive enough, the heat generated in the inner part due to heat transfer goes into the surrounding part and free disassembly is impossible.

The article presents a method for determining the power and characteristics of induction-heating plants for disassembling large-sized couplings and experimental verification of their performance.

To study the electrical and thermal characteristics, induction heating systems were manufactured with industrial frequency currents for heating to disassemble a locomotive wheel pair.

As a result of the study, the possibility of using an induction-heating installations for dismantling large-sized equipment with industrial frequency currents was confirmed.

Key words: disassembly, large-sized parts, tight fit, wheel pair, induction installation, industrial frequency current, induction-thermal disassembly, power.

1. Постановка проблемы.

В машиностроении и особенно при ремонте машин и механизмов существуют технологические операции распрессовки сборочных единиц, собранных с гарантированным натягом. Для этого используют прессы. Наибольшую трудность представляют такие операции при ремонте крупногабаритных узлов на тепловозо-, вагоно-, судоремонтных и других предприятиях. Иногда разборка таких соединений с помощью прессы вообще невозможна из-за габаритов и сложности конфигурации геометрической формы. Сборочные же единицы, которые не имеют этих недостатков, в процессе распрессовки пластически деформируются, поверхности сопряжения повреждаются, что делает невозможным их повторное использование. Для разборки таких соединений более рационально было бы использовать нагрев охватываемой детали. При нагреве охватываемая деталь расширяется и имеющийся в соединении натяг переходит в зазор. После этого разборка происходит без каких либо затруднений и критических последствий для разбираемых деталей.

2. Анализ последних исследований.

В настоящее время в промышленности широкое распространение получили индукционные установки для нагрева деталей для термообработки или нагрева под ковку и штамповку токами высокой и повышенной частоты. При высокочастотном нагреве тепло выделяется в поверхностном слое детали, а её середина нагревается за счет теплопередачи, что при интенсивном нагреве приводит к большим перепадам температур и внутренним напряжениям. Для данной технологической операции необходим высокочастотный генератор и квалифицированный обслуживающий персонал.

При нагреве охватываемой детали для съема с охватываемой детали необходимо же иметь равномерный нагрев охватываемой детали до температуры 250-300°C с тем, чтобы получить необходимый для разборки зазор, т.е. увеличить посадочный диаметр охватываемой детали на величину $\Delta + \delta$, где δ – максимальный натяг, а Δ – требуемый зазор для свободного съема охватываемой детали.

Более глубокий и равномерный прогрев охватываемой детали можно достичь за счет увеличения глубины проникновения тока в металл. Глубина проникновения тока в металл увеличивается с уменьшением частоты тока, что видно из зависимости, мм

$$t = 5030 \sqrt{\frac{P}{f\mu}},$$

где: t – глубина проникновения тока в металл, мм;

f – частота тока, Гц;

μ – магнитная проницаемость, .

P – удельное сопротивление нагреваемой детали,

То есть, использование в индукционных нагревательных установках токов промышленной частоты $f = 50$ Гц увеличивает глубину проникновения тока в металл, при этом достигается большая равномерность прогрева по глубине.

Однако, при недостаточно интенсивном нагреве существует опасность, что генерируемое в охватывающей детали тепло за счет теплопередачи может перейти в охватываемую деталь и свободная разборка окажется невозможной.

3. Цель статьи - определение мощности и характеристики индукционно-нагревательных установок для разборки крупногабаритных узлов и экспериментальная проверка их работоспособности.

4. Основной материал.

Для решения поставленной задачи приводим расчет индуктора (рис. 1) для нагрева под разборку колесной пары тепловоза.

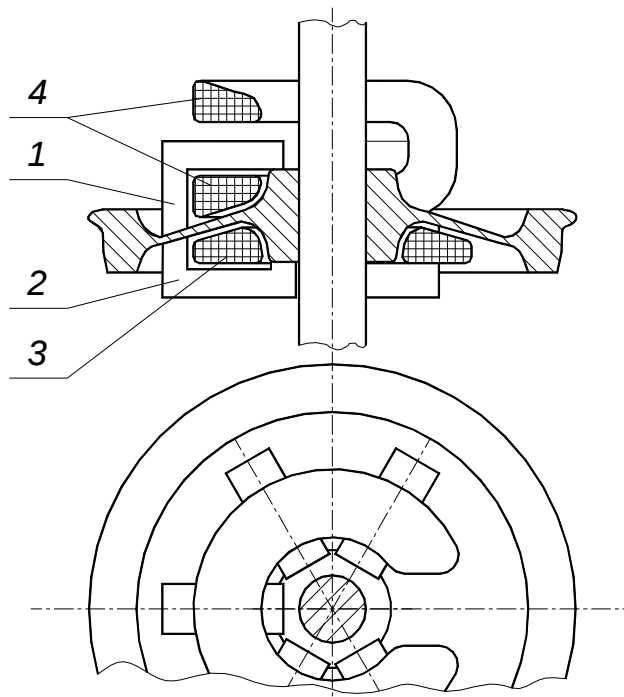


Рис. 1 - Индуктор для нагрева под разборку колесной пары тепловоза:

1, 2 - верхний и нижний магнитопроводы; 3 - круглая нижняя катушка;

4 - подковообразная верхняя катушка.

Исходные данные для расчета принимаем следующие:

- время нагрева, $\tau = 4$ мин;
- напряжение сети, $U = 380$ В;
- частота тока, $f = 50$ Гц;
- масса нагреваемой части, $G = 160$ кг;
- нагреваемый объем, $V = 20000$ см³;
- диаметр сопряжения, $D = 180$ мм;
- максимальный натяг в соединении $\delta = 0,25$ мм;

коэффициент линейного расширения нагреваемого материала, для стали $\alpha = 11,6 \times 10^{-6}$ град⁻¹;

Расчет производим в следующей последовательности:

1. Определяем необходимую температуру нагрева, которая обеспечит получение зазора $\Delta = 0,25$ мм для свободного съема охватывающей детали

$$t_2 = \frac{D+d}{Da} = \frac{0,25 + 0,25}{180 \cdot 11,6 \times 10^{-6}} = 240^\circ \text{C}$$

2. Необходимое количество тепла для нагрева ступицы колеса до температуры $t_2 = 240^\circ\text{C}$

$$Q = Gc(t_2 - t_1) = 160 \cdot 0,14(240 - 20) = 4928 \text{ ккал}.$$

где $c = 0,14 \text{ м}^2 \text{ град/сек}^2$.

3. Мощность индуктора промышленной частоты, необходимая для нагрева ступицы колеса

$$P = \frac{Q \cdot k}{0,24t} = \frac{4928 \cdot 1,25}{0,24 \cdot 4 \cdot 60} = 107 \text{ кВт},$$

где $k = 1,25$ - коэффициент, учитывающий рассеяние тепла в окружающую среду.

4. Полная мощность индуктора

$$P_{\text{инд}} = \frac{P}{\cos \varphi} = \frac{107}{0,8} = 134 \text{ кВт},$$

5. Объемная удельная мощность индуктора

$$P_{\text{уб}} = \frac{P}{V} = \frac{107 \cdot 10^3}{20000} = 5,35 \text{ Вт / см}^3$$

6. Амплитудное значение напряженности магнитного поля у поверхности ступицы колеса

$$H_0 = \sqrt{\frac{P_{\text{уб}}}{0,5 \mu f G_a(K_a r)}} = \sqrt{\frac{5,35 \cdot 10^7}{0,5 \cdot 12 \cdot 50 \cdot 0,0362}} = 2220 \text{ эрстед}$$

где μ - магнитная проницаемость, для стали принимаем $\mu = 12$;

$G_a(K_a r)$ - функция от $K_a r$, определяющая условия передачи энергии нагреваемой части втулки [1];

K_a - энергия нагреваемой ступицы, определяется из выражения

$$K_a = \sqrt{\frac{8\rho^2 f m 10^{-9}}{r}} = \sqrt{\frac{8\rho^2 50 \cdot 12 \cdot 10^{-9}}{28 \cdot 10^{-6}}} = 1,3$$

где $\rho = 28 \times 10^{-6}$ - удельное сопротивление стали в нагретом состоянии [3]

Тогда, приняв радиус нагреваемой части ступицы $r = 15 \text{ см}$, получим

$$K_a r = 1,3 \cdot 15 = 19,5$$

Если выполняется неравенство $K_a r \geq 10$, то функция $G_a(K_a r)$ определяется по формуле

$$G_a(K_a r) = \frac{1}{K_a r \sqrt{2}} = \frac{1}{19,5 \sqrt{2}} = 0,0362$$

7. Величина магнитного потока при наличии магнитного свойства нагреваемой детали

$$\Phi = F_a H_0 m \sqrt{P_a^2 + Q_a^2} + H_0 (F_c - F_a),$$

где: F_c - площадь поперечного сечения ступицы, см^2 ;

F_a - площадь поперечного сечения индуктора, см^2 ;

Q_a и P_a - коэффициенты, зависящие от $(K_a r)$,

$$P_a = Q_a = \frac{1}{K_a r} = \frac{1}{19,5}$$

тогда

$$\Phi = 455 \times 2220 \times 12 \sqrt{\frac{1}{19,5} \frac{\ddot{\phi}}{\phi} + \frac{1}{19,5} \frac{\ddot{\phi}}{\phi}} + 2220 \frac{\rho (40^2 - 30^2)}{4} = 2,07 \times 10^6,$$

8. Принимая, что напряжение U на зажимах индуктора падает на 15 %

$$U_2 = U \frac{1}{1,15} - \frac{15}{100} \frac{\ddot{\phi}}{\phi} = 380 \frac{1}{1,15} - \frac{15}{100} \frac{\ddot{\phi}}{\phi} = 320 \text{ В},$$

определяем количество витков индуктора из выражения

$$n_2 = \frac{U_2}{\sqrt{2} \rho f \Phi \times 10^{-8}} = \frac{320}{\sqrt{2} \times \rho \times 50 \times 2,07 \times 10^6 \times 10^{-8}} = 70 \text{ витков}.$$

Для исследования электрических и тепловых характеристик были изготовлены опытные индукционные установки нагрева токами промышленной частоты для нагрева под разборку колесной пары тепловоза. Экспериментальная нагревательная установка для разборки колёс колёсной пары тепловоза (рис. 1), представляет собой двухсекционный многослойный индуктор. Магнитная система состоит из пяти ветвей, выполненных в виде Г-образных верхних (поз.1) и нижних (поз.2) магнитопроводов, равномерно расположенных по торцам ступицы колеса под углом 60° . Магнитный поток замыкается через диск колеса и его ступицу. Нижняя катушка (поз.3) традиционно имеет круглую форму, верхняя же выполнена подковообразной (поз.4) для возможности её расположения в середине оси. Для определения теплодинамических условий нагрева колесо было оснащено термопарами для контроля температуры нагрева. Температура нагрева детали измерялась в характерных точках (рис. 2) системой потенциометр-термопара.

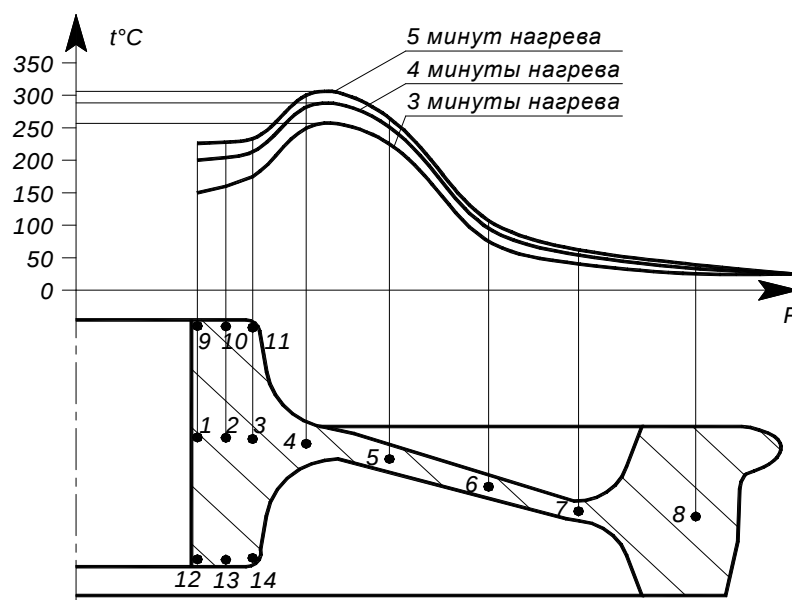


Рис. 2 – Распределение температуры нагрева при разборке колёсной пары.

Аналогично был рассчитан и, на основе выполненного расчета, разработан технический проект установки для разборки соединений с гарантированным натягом с применением тока промышленной частоты 50 Гц для съема с оси колесной пары ступицы с тормозными

дисками, по которому была изготовлена и внедрена в производство индукционная установка ТПЧ. Схема индуктора для нагрева и съема с осей тормозных дисков со ступицы приведена на рис. 3.

Особенностью установки ТПЧ, является специально разработанная конструкция индуктора имеющего разъемную С-образную магнитную систему с двумя многовитковыми индукционными катушками. Одна катушка представляет собой многовитковый соленоид, расположена в нижней части ступицы под диском (поз.5), вторая катушка-соленоид большего диаметра охватывает периферийную часть диска для осуществления прогрева как верхней части ступицы, так и самого диска. Установка так же имеет шесть радиально расположенных ветвей магнитной системы индуктора. Верхняя часть магнитной системы (поз.2) подвижная откидная, её движение осуществляется пневмоприводом для возможности загрузить в зону нагрева установки ось колесной пары со ступицами тормозных дисков. После загрузки нагреваемого узла колесной пары магнитопроводы опускаются, замыкая магнитную цепь.

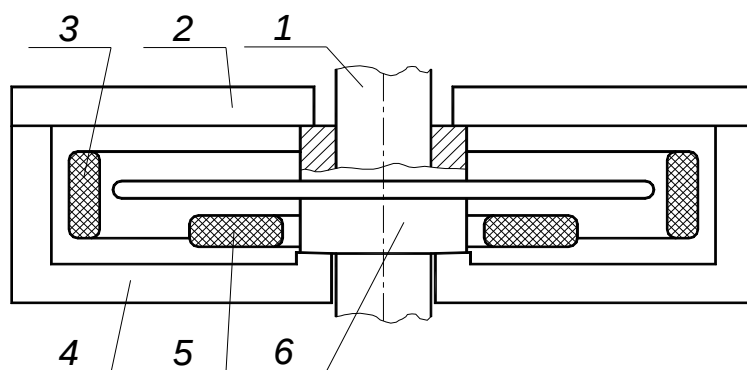


Рис. 3 - Принципиальная схема индуктора для нагрева ступиц с тормозными дисками для съема с осей колесных пар тепловозов (электровозов): 1 - ось колеса; 2 - подвижной магнитопровод индуктора; 3 - многовитковая индукционная катушка; 4 - неподвижный магнитопровод; 5 - многовитковая индукционная катушка; 6 - ступица с тормозными дисками.

Техническая характеристика установки ТПЧ для съема ступиц с тормозными дисками с осей колесных пар тепловозов (электровозов):

- время нагрева - 6-8мин;
- потребляемая мощность до 80 кВт;
- напряжение электросети - 380 В;
- частота питающей электросети - 50 Гц;
- коэффициент мощности - 0,7;
- масса установки - 700 кг.

Также было разработано оборудование для разборки термовоздействием ТПЧ узлов гидропередатчиков локомотивов. Разборка узлов гидропередатчиков локомотивов, поступающих на капитальный ремонт представляет собой трудоемкий процесс, так как сопряжения этих узлов в процессе эксплуатации подвержены интенсивному износу и с трудом поддаются разборке. Кроме того, находящейся на валах втулки, подшипники, шестерни и другие охватывающие детали, зачастую трудно доступны для съема с вала колесной пары. При обычной распрес-

совке с приложением больших усилий происходит повреждение посадочных поверхностей. Это приводит к дополнительным операциям по восстановлению сопрягаемых поверхностей

Для устранения указанных недостатков, может быть применен метод разборки термовоздействием с нагревом охватывающей детали током промышленной частоты специально изготовленных для каждого отдельного случая малогабаритных индукционных установок.

Для разборки узла вал-шестерня-подшипник изготовлена малогабаритное приспособление с нагревателем ТПЧ и гидропрессом (рис. 4). Разбираемый узел вал (поз.1), шестерня (поз.2) и подшипник (поз.3) устанавливался на подвижной плите (поз.4). Нагреватель ТПЧ состоит из четырех С –образных магнитопроводов (поз.5) на каждом из которых размещается индукционная катушка (поз.6). Магнитопроводы вводятся в соприкосновение с торцевой и боковой поверхностями и располагаются, по отношению к шестерне, радиально под 90° каждый. Индукционные катушки соединяются последовательно друг с другом с соблюдением направления витков и подключаются к электросети 220 вольт.

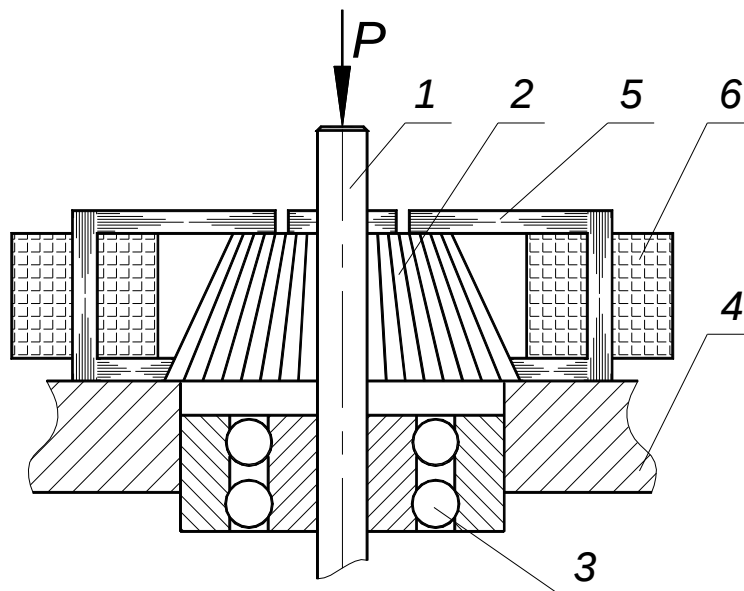


Рис. 4 - Установка ТПЧ для разборки узла вал-шестерня-подшипник

Для съема втулок карданных валов также было разработано и внедрено малогабаритное индукционное приспособление с охлаждением полости вала вилок, принципиальная схема которого показана на рисунке 5,. В качестве охладителя применяется водопроводная вода.

Установка состоит из стола (поз.11), на котором размещена вращающаяся опора (поз.10), на которую устанавливается вилка (поз.1) с валом карданного вала. Соосно с втулками (поз.2) размещен индуктор который может перемещаться с помощью ролика (поз.5) по направляющей (поз.4). Индуктор имеет магнитную систему из радиально расположенных магнитопроводов (поз.7) и индукционную катушку (поз.8).

Через штуцер с уплотнениями (поз.3) к снимаемой стороне вилки подводится охлаждающая жидкость. При надевании индуктора на нагреваемую втулку, подвижные магнито-

провода защілюються в прорези втулки (поз.9). В кінці нагріву втулка стягується за ці прорези з вилки кардана і залишається всередині індуктора. Після закінчення нагріву рухомі магнітопроводи роздвигуються і знята з вилки втулка видаляється з індуктора.

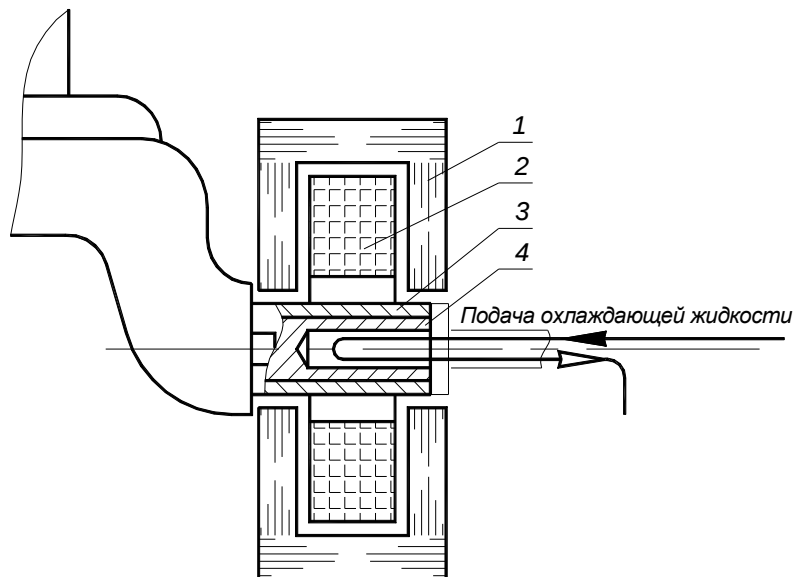


Рисунок 5 - Схема установки для съема втулки с карданного вала:

1 - магнітопровод, 2 - индукционная катушка, 3 - втулка, 4 - вал вилки.

Установка была создана и изготовлена специально для разборки этого узла (рис. 6).

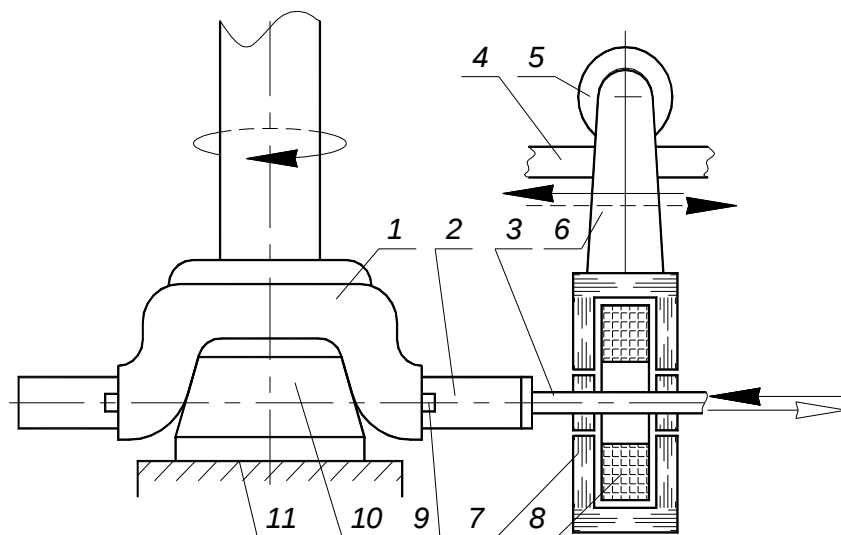


Рис. 6 - Установка для снятия втулок с вилок карданных валов методом термовоздействия ТПЧ: 1 - вилка карданного вала, 2 - втулка, 3 - штуцер для подвода и отвода охлаждающей жидкости, 4 - направляющая, 5 - ролик, 6 - кронштейн индуктора, 7 - магнітопровод, 8 - индукционная катушка, 9 - прорезь втулки, 10 - поворачивающаяся центрирующая опора, 11 - стол.

Выводы

В результате проведенных исследований подтверждена возможность использования для разборки крупногабаритных узлов индукционно-нагревательных установок токами промышленной частоты. Дана методика определения необходимой мощности и характеристик таких установок. Проведена экспериментальная проверка их работоспособности.

Список использованных источников:

1. Амелин А. А. Устройство и ремонт вагонных букс с роликовыми подшипниками / А. А. Амелин. – М. : Машиностроение, 1966. – 320 с.
2. Андреев Г. Я. Тепловая сборка в машиностроении / Г. Я. Андреев // Киев : Техника, 1968. – 210 с.
3. Смирнов И. П. Развитие технологии ремонта подъемно-транспортного оборудования / И. П. Смирнов // Машинобудування : зб. наук. пр. – Харків : УІПА, 2009. – № 4. – С. 170-177.
4. Малицкий И. Ф. Зняття маточини трамвайного колеса з осі колесної пари термовпливом / І. Ф. Малицкий, В. І. Єфремова // Машинобудування : зб. наук. пр. – Харків : УІПА, 2011. – № 7-8. – С. 160-166.
5. Малицкий И. Ф. Забезпечення якості буксового вузла при складанні колісної пари з термовпливом / І. Ф. Малицкий, І. П. Смирнов // Машинобудування : зб. наук. пр. – Харків : УІПА, 2018. – № 21. – С. 159-164.
6. Малицкий И. Ф. Теплодинамические характеристики при сборке колесной пары локомотивов с термовоздействием / И. Ф. Малицкий, И. П. Смирнов // Машинобудування : зб. наук. пр. – Харків : УІПА, 2018. – № 22. – С. 135-141.
7. Myungkwan Lim, Heesup Choi, Hyeonggil Choi, Ryoma Kitagaki & Takahumi Noguchi, 2014, Development of Eco-friendly Deconstruction Technologies for Recycling Construction Waste, Journal of Environmental Protection, v. 5, No. 7, Doi: 10.4236/jep.2014.57066.
8. Roberto Boccauthor, Arthur Hanna, The Global Energy Architecture Performance Index Report. World Economic Forum, 2014.
9. Mizutani, R. and Yoshikai, S., A New Demolition Method for Tall Building. Kajima Cut & Take down Method. CTBUH Journal, Volume 5, 2011.

References

1. Amelin, AA 1966, Ustrojstvo i remont vagonnyh buks s rolikovymi podshipnikami, Mashinostroenie, Moskva.
2. Andreev, GJa 1968, Teplovaja sborka v mashinostroenii, Tehnika, Kiev.
3. Smirnov, IP 2009, 'Razvitie tehnologii remonta podemno-transportnogo oborudovaniya', Mashynobuduvannia, Ukrainska inzhenerno-pedahohichna akademiia, Kharkiv, no. 4, pp. 170-177.
4. Malyskyi, IF & Yefremova, VI 2011, 'Zniattia matochyny tramvainoho kola z osi kolesnoi pary z termovplyvom', Mashynobuduvannia, Ukrainska inzhenerno-pedahohichna akademiia, Kharkiv, no. 7-8, pp. 160-166.
5. Malitskyi, IF & Smyrnov, IP 2018, 'Zabezpechennia yakosti buksovoho vuzla pry skladanni kolisnoi pary z termovplyvom', Mashynobuduvannia, Ukrainska inzhenerno-pedahohichna akademiia, Kharkiv, no. 21, pp. 159-164.
6. Malickij, IF & Smirnov, IP 2018, 'Teplodinamicheskie harakteristiki pri sborke kolesnoj pary lokomotivov s termovozdejstviem', Mashynobuduvannia, Ukrainska inzhenerno-pedahohichna akademiia, Kharkiv, no. 22, pp. 135-141.
7. Myungkwan Lim, Heesup Choi, Hyeonggil Choi, Ryoma Kitagaki & Takahumi Noguchi, 2014, Development of Eco-friendly Deconstruction Technologies for Recycling Construction Waste, Journal of Environmental Protection, v. 5, No. 7, Doi: 10.4236/jep.2014.57066.
8. Roberto Boccauthor, Arthur Hanna, The Global Energy Architecture Performance Index Report. World Economic Forum, 2014.
9. Mizutani, R. and Yoshikai, S., A New Demolition Method for Tall Building. Kajima Cut & Take down Method. CTBUH Journal, Volume 5, 2011.

Стаття надійшла до редакції 27 квітня 2019 р

DOI 10.32820/2079-1747-2019-23-159-165

УДК 621.002:658.56

КЕРУВАННЯ ЯКІСТЮ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПРОЦЕСІВ В МАШИНОБУДУВАННІ З ЗАСТОСУВАННЯМ ТРИПАРАМЕТРИЧНОГО МОДЕЛЮВАННЯ

©Черкашина О. С.

Українська інженерно-педагогічна академія

Інформація про автора:

Черкашина Ольга Сергіївна: ORCID: 0000-0002-5564-5100; olgacherkashina231@ukr.net, старший викладач кафедри охорони праці, стандартизації та сертифікації; Українська інженерно-педагогічна академія; вул. Університетська, 16, м. Харків, 61003, Україна.

У статті розглядається доцільність використання статистичних методів аналізу точності, стабільності й керування ТП, що передбачає контроль процесу лише за одним показником якості виробу. Для безрозмірного показника якості розглянуто оцінки параметрів та знайдено числові характеристики цих моделей. На основі отриманих оцінок запропоновано метод визначення якості технологічних процесів у машинобудуванні.

Ключові слова: якість, технологічний процес, моделювання, числові характеристики, безрозмірний показник.

Черкашина О.С. «Управление качеством технологических процессов в машиностроении с применением трехпараметрического моделирования».

В статье рассматривается целесообразность использования статистических методов анализа точности, стабильности и управления ТП, предусматривает контроль процесса лишь по одному показателю качества изделия. Для безразмерного показателя качества рассмотрены оценки параметров и найдены числовые характеристики этих моделей. На основе полученных оценок предложен метод определения качества технологических процессов в машиностроении.

Ключевые слова: качество, технологический процесс, моделирование, численные характеристики, безразмерный показатель.

Cherkashina O. «Management of quality of technological processes in mechanical engineering using three-parameter modeling».

The article considers the expediency of using statistical methods for the analysis of accuracy, stability and control of the technological process, which involves controlling the process with only one indicator of product quality. Recently, for the management of the quality of the technological process in mechanical engineering, preliminary simulation using two-parameter models is used. Mass experiments show that with the time of the technological process, not only the mean and dispersion but also the shape of the distribution curve changes. This suggests that the distribution of quality indices should have a form parameter. To find a generalized model quality indicator that has three parameters, it is advisable to apply a dimensionless quality score. In some works this figure is given, but it is used only with symmetric deviations about the middle of the field of admission. Therefore, in the work, the dimensionless quality index is offered at any deviations of the middle of the field of admission at any time. The studies carried out on the accuracy of the manufacture of products showed that the dimensionless characteristic may also have distribution laws

For the dimensionless quality index, the estimations of parameters are considered and numerical characteristics of these models are found, namely variance, mathematical expectation. In this paper a method for obtaining estimates of model parameters and using the obtained recurrence value for mathematical expectations of ordinal statistics was proposed.

Proposed temporal dimensionless models of quality of the technological process and found for them estimation of parameters on the basis of developed methods that use ordinal statistics, can offer a method for determining the quality of technological processes in mechanical engineering.

The developed and theoretically substantiated approximate models of the dimensionless parameter of the quality of the technological process in machine building can be used with any controlled parameters, regardless of their physical nature and statistical distributions. The proposed method for determining the quality of the technological process is used to obtain estimates of the parameters of the distribution of random variables. The advantage of the developed method of quality evaluation is its simplicity. This method can be used not only for assessing the quality of the technological process in machine building, but also in other industries.

Key words: quality, technological process, modeling, numerical characteristics, dimensionless index.

Вступ

У цей час для України важливим завданням є випуск якісної конкурентоспроможної продукції, яка залежить від рівня виконання технологічних процесів (ТП). Статистичні методи аналізу точності, стабільності й керування ТП, що регламентовані нормативними документами, передбачають контроль процесу лише за одним показником якості виробу, але він звичайно характеризується декількома показниками (точністю, надійністю й ін.). Останнім часом для керування якістю ТП у машинобудуванні застосовують попереднє моделювання з використанням двопараметричних моделей. Масові експерименти показують [1], що з часом t роботи ТП змінюється не тільки середнє й дисперсія, але й форма кривої міцності розподілу. Це говорить про те, що розподіл показників якості повинен мати й параметр форми. Для знаходження узагальненого показника якості моделі, що має три параметра, доцільно застосувати безрозмірний показник якості. В роботах [1,2] приводиться такий показник, але він використовується тільки при симетричних відхиленнях щодо середини поля допуску. Тому пропонується безрозмірний показник якості при будь-яких відхиленнях середини поля допуску в будь-який момент часу t у вигляді

$$r_j(t) = \frac{x_i - x_0 - (D_1 + D_2) / 2}{(D_1 - D_2) / 2}, \quad (1)$$

де x_i - i -ого значення j показника якості ТП; x_0 - середина поля допуску j показника якості ТП; $D_1 > 0$ - верхнє відхилення, $D_2 < 0$ - нижнє відхилення j показника якості ТП.

Дослідження, які проводилися з точності виготовлення виробів, показали, що безрозмірна характеристика (1) також може мати закони розподілу, наведені в роботі [1].

Модель якості ТП. Так як при будь-якому кінцевому t величини $r_j(t)$ фізично обмежені як "зверху", так і "знизу", то безрозмірна величина $r_j(t)$ має нижній $r_{0j}(t)$ і верхній пороги $r_{\hat{a}j}(t)$ значень $r_j(t)$, які кінцеві. Причому завжди $r_{0j}(t) < r_{\hat{a}j}(t)$. Тому моменти t_{1j} й t_{2j} відмови j -ого показника системи з якості визначаються

$$r_{0j}(t) = -1 \text{ і } r_{\hat{a}j}(t) = 1, \quad (2)$$

а якість цього показника за часом характеризується величиною

$$T_j = \min(t_{1j}, t_{2j}). \quad (3)$$

Звідси якість всієї системи за показниками, що контролюються є величина

$$O\Phi = \min_{1 \leq j \in N} \{T_j\}. \quad (4)$$

Помітимо, що при такому підході оцінки якості процесу, повинні всі спостережувальні значення $r_{i(t)}$ лежати в інтервалі $(-1+\epsilon, 1-\epsilon)$, де ϵ мале позитивне число. Тому що ця оцінка $O\Phi$ визначається за неспостережуваним значенням верхнього r_a й нижнього r_o порога безрозмірного параметра r .

Очевидно, що дана модель якості не використовує припустиму ймовірність браку, як інші моделі, а, навпаки, припускає, що браку не повинно бути до моменту часу t й при інших випробуваннях за всіма показниками процесу.

У роботі [1] побудовані дві моделі безрозмірного показника якості r з функціями міцності в будь-який момент часу t

$$f_1(r) = \frac{(2+a)(1+a)}{(r_a - r_o)^{2+a}} (r - r_o)(r_a - r)^a, \quad (5)$$

$$f_2(r) = \frac{(2+a)(1+a)}{(r_a - r_o)^{2+a}} (r - r_o)^a (r_a - r) \quad (6)$$

і для них були знайдені функції розподілу

$$F_1(r) = \begin{cases} 0 & , \text{зале } r \leq r_o \\ 1 - \frac{(r_a - r)^{a+1} (r_a - r_o + (1+a)(r - r_o))}{(r_a - r_o)^{2+a}} & , \text{зале } r_o \leq r \leq r_a \\ 1 & , \text{зале } r > r_a \end{cases} \quad (7)$$

$$F_2(r) = \begin{cases} 0 & , \text{зале } r \leq r_o \\ 1 - \frac{(r_a - r)^{a+1} (r_a - r_o + (1+a)(r - r_o))}{(r_a - r_o)^{2+a}} & , \text{зале } r_o \leq r \leq r_a \\ 1 & , \text{зале } r > r_a \end{cases} \quad (8)$$

У даній роботі був запропонований метод одержання оцінок параметрів моделей (5) і (6) з використанням отриманого рекуррентного значення для математичних очікувань порядкових статистик. Ці оцінки моделі (5) для параметра форми a знаходяться з рішення рівняння

$$\frac{\hat{a}^{n-1} (i-1)(n-i)r_{(i)} - \hat{a}^{n-2} C_{n-i}^2 r_{(i)}}{\hat{a}^i C_{i-1}^2 r_{(i)} - \hat{a}^{i-2} C_{n-i}^2 r_{(i)}} = \frac{31a^3 + 192a^2 + 377a + 240}{81a^3 + 432a^2 + 747a + 420}, \quad (9)$$

а оцінка параметра теоретичного розмаху $r_k = r_a - r_o$ визначається з знайденого параметра a .

$$r_k = \frac{2(2a+5)(2a+3)(a+3) \sum_{i=3}^n a^{i-1} C_{i-1}^2 r_{(i)} - \sum_{i=1}^{n-2} a^{i-2} C_{n-i}^2 r_{(i)}}{3n(n-1)(n-2)(a+1)(a+2)}. \quad (10)$$

Оцінка нижнього порога r_0 розраховується з знайдених a і r_k

$$r_0 = \frac{6 \sum_{i=3}^n a^{i-2} C_{n-i}^2 r_{(i)}}{n(n-1)(n-2)} - \frac{2r_k(13a^2+41a+32)}{(3a+7)(3a+5)(3a+4)}. \quad (11)$$

Аналогічно визначаються оцінки $\hat{y}$ для моделі (6) за формулами

$$\frac{\sum_{i=2}^{n-1} a^{i-1}(n-i)(r_i) - \sum_{i=1}^{n-2} a^{i-2} C_{n-i}^2 r_i}{\sum_{i=3}^n a^{i-1} C_{i-1}^2 r_i - \sum_{i=1}^{n-2} a^{i-2} C_{n-i}^2 r_i} = \frac{50a^3 + 240a^2 + 370a + 180}{81a^3 + 432a^2 + 747a + 420}, \quad (12)$$

$$r_k = \frac{2(2a+5)(2a+3)(a+3) \sum_{i=3}^n a^{i-1} C_{i-1}^2 r_{(i)} - \sum_{i=1}^{n-2} a^{i-2} C_{n-i}^2 r_{(i)}}{3n(n-1)(n-2)(a+1)(a+2)}, \quad (13)$$

$$r_0 = \frac{6 \sum_{i=3}^n a^{i-2} C_{n-i}^2 r_{(i)}}{n(n-1)(n-2)} - \frac{(1+a)(27a^2+91a+76)}{(3a+7)(3a+5)(3a+4)} r_k. \quad (14)$$

Всі ці оцінки незміщені й очевидно, що оцінки розмаху r_k для цих двох моделей мають однаковий вигляд.

Перед нами стало завдання знайти нові оцінки цих моделей (5) і (6), які мали найменшу дисперсію в порівнянні з наведеними оцінками. Для цього спочатку знайдемо числові характеристики цих моделей.

Числові характеристики моделей безрозмірного параметра. Знайдемо числові характеристики моделей (5) і (6) безрозмірного параметра r , які надалі будуть необхідні для оцінки параметрів цих моделей.

Математичне очікування випадкової величини r для моделі (5) має вигляд:

$$M(r) = r_0 + \frac{2(r_s - r_0)}{a+3}. \quad (15)$$

Математичне очікування випадкової величини r для моделі (6) визначаємо по формулі

$$M(r) = r_0 + \frac{(1+a)(r_s - r_0)}{a+3}. \quad (16)$$

Дисперсія випадкової величини r для моделі (5)

$$D(r) = \frac{2(a+1)(r_a - r_0)^2}{(a+3)^2(a+4)}, \quad (17)$$

а для моделі (6) дисперсія випадкової величини r також визначається по формулі (17).

Використовуючи формулу математичного очікування i -ої порядкової статистики з вибірки обсягу n [3]

$$m_{i:n} = n C_{n-1}^{i-1} \int_0^{\infty} x [F(x)]^{i-1} [1 - F(x)]^{n-i} f(x) dx$$

маємо для моделі (5) математичне очікування першої порядкової статистики вибірки обсягу n

$$m_{1:n} = r_0 + r_k \frac{2(2+a)F(3, 1-n; 3+n+an; -1-a)}{(2+n+an)(n+an+1)}, \quad (18)$$

де $F(b, g; d; z)$ - гіпергеометрична функція.

Для моделі (6) математичне очікування останньої порядкової статистики вибірки обсягу n

$$m_{n:n} = r_0 - r_k \frac{2(2+a)F(3, 1-n; 3+n+an; -1-a)}{(2+n+an)(n+an+1)}. \quad (19)$$

Метод одержання оцінки якості ТП і оцінки параметрів моделей безрозмірного показника якості. Для одержання оцінок моделі (5) прийемо, що середнє вибіркве значення $\bar{r}$ збігається з математичним очікуванням (15) моделі (5). Квадрат стандартного відхилення S^2 збігається з теоретичною дисперсією (17), а найменше вибіркве значення $r_{(1)}$ з математичним очікуванням першої порядкової статистики (18) вибірки обсягу n . В результаті маємо три рівняння із трьома невідомими рішеннями, які дають оцінки параметрів моделі (5).

Для знаходження оцінки параметра форми a необхідно вирішити рівняння

$$\frac{\bar{r} - r_{(1)}}{S} = \sqrt{\frac{2(a+4)}{a+1}} \left(1 - \frac{(3+a)(2+a)F(3, 1-n; 3+n+an; -1-a)}{(2+n+an)(n+an+1)} \right). \quad (20)$$

Оцінка параметра масштабу r_k визначається по знайденому параметрі форми a , з формулі

$$r_k = S(a+3) \sqrt{\frac{a+4}{2(a+1)}}, \quad (21)$$

а оцінка параметра r_0 має вигляд

$$l_0 = \bar{r} - \frac{2l_k}{a+3}. \quad (22)$$

Для одержання оцінок моделі (6) прийемо, що середнє вибіркове значення $\bar{r}$ збігається з математичним очікуванням (16) моделі (6). Квадрат стандартного відхилення S^2 збігається з теоретичною дисперсією (17), а найбільше вибіркове значення $r_{(n)}$ з математичним очікуванням останньої порядкової статистики (19) вибірки обсягу n . В результаті маємо три рівняння із трьома невідомими рішеннями, які дадуть оцінки параметрів моделі (6).

Так для оцінки параметра форми a потрібно вирішити рівняння відносно a

$$\frac{r_{(n)} - \bar{r}}{S} = \sqrt{\frac{2(a+4)}{a+1}} \left(1 - \frac{(3+a)(2+a)F(3, 1-n; 3+n+a; n; 1-a)}{(2+n+a)(n+a+1)} \right). \quad (23)$$

Оцінка масштабного параметра r_k визначається по формулі (21), а оцінка нижнього порога має вигляд

$$l_0 = \bar{r} - \frac{(1+a)l_k}{a+3}. \quad (24)$$

Провівши статистичний аналіз із використанням методу Монте-Карло для двох моделей зі значеннями $D_1 = 0,08$, $D_2 = -0,09$, $a = 1$ і з нижнім порогом $x = 9,9$ при розмаху $x_k = 0,2$ з номінальним розміром $X_0 = 10$ сто вибірок обсягом $n = 20$ було отримано, що для моделі (5) кращими оцінками є оцінки (9), (10) і (11). Дані оцінки дали меншу дисперсію нижнього й верхнього порога відповідно рівну 0,000387 і 0,004729 у порівнянні з оцінками (20), (21) і (22). Для моделі (6) з розкиду виявилися кращими оцінки, які використовують формули (23), (21) і (24).

Пропоновані тимчасові безрозмірні моделі якості ТП (5) і (6) і знайдені для них оцінки параметрів на основі розроблених методів, що використовують порядкові статистики, дозволяють запропонувати метод визначення якості технологічних процесів.

Даний метод полягає в наступному:

1. За результатами вимірів обсягом $n \geq 3$ кожного з контрольованих j -тих параметрів x ТП у кожному тимчасовому перерізі t , по (1) визначаються відповідні безрозмірні параметри r й далі з них складаються варіаційні ряди r_i ($1 \leq i \leq n$) (порядкові статистики).
2. По запропонованим формулам для моделей (5) і (6) у кожному тимчасовому перерізі t розраховуються нижні й верхні пороги безрозмірного параметра.
3. Як тільки один із чотирьох порогів по абсолютній величині, стане більше одиниці, процес розрахунку припиняється.
4. По тим порозі, що по абсолютній величині, став більше одиниці, будемо в тимчасових перерізах t інтерполяційний багаточлен.
5. Дорівнюючи даний багаточлен до одиниці або мінус одиниці залежно від знака порога знаходимо те значення часу T_j , що характеризує j -ий показник якості.
6. Знайшовши всі T_j , визначаємо з них найменше, котре характеризує якість усього ТП.

Висновки. Розроблені й теоретично обґрунтовані наближені моделі безрозмірного параметра якості ТП у машинобудуванні можуть бути використані при будь-яких контрольованих параметрах незалежно від їхньої фізичної природи й статистичних розподілів. Запропонований метод визначення якості ТП застосовуємо для одержання оцінок параметрів розподілу випадкових величин. Перевагою розробленого методу оцінки якості ТП є його простота. Даний метод можливо використовувати не тільки для оцінки якості ТП у машинобудуванні, але й в інших галузях промисловості.

Список использованных источников:

1. Куцин А. Н. Оценка качества технических систем / А. Н. Куцин, Ю. И. Созонов // Сборка в машиностроении, приборостроении. – 2004. – № 7. – С. 23-27.
2. Резниченко Н. К. Безразмерный комплексный параметр качества технологической системы / Н. К. Резниченко // Високі технології в машинобудуванні: зб. наук. пр. – Харків : «ХП», 2006. – Вип. 1 (12). – С. 417-423.
3. Дэйвид Г. Порядковые статистики / Г. Дэйвид. – М. : Наука. Главная редакция физико-математической литературы, 1979. – 336 с.
4. Abdullah M.M., Tari J.J. "The influence of ST and HT quality management practices on performance". Asian pacific management review, Vol.17, No. 2, 2012, 177-193.
5. Islam M.A., A.F.M.A. Haque "Pillars of TQM implementation in manufacturing organization- An empirical study", Journal of Research in international business and management, Vol.2, No.5, 2012, 128-141.
6. Li, J. G, Yao, Y. X., Wang, P. Assembly accuracy prediction based on CAD model [Text]. /J. G. Li, Y. X. Yao, P. Wang // The International Journal of Advanced Manufacturing Technology. 2014–Volume 75 – P. 825–832.
7. Mohammed A. Rahim, Yasir A. Siddiqui, Moustafa Elshafei /Integration of Multivariate Statistical Process Control and Engineering Process Control// Proceedings of the 2014 International Conference on Industrial Engineering and Operations Management Bali, Indonesia, January 7 – 9, 2014.

References

1. Kucin, AN & Sozonov, JuI 2004, 'Ocenka kachestva tehniceskikh sistem', Sbornik v mashinostroenii, priborostroenii, no. 7, pp. 23-27.
2. Reznichenko, NK 2006, 'Bezrazmernyj kompleksnyj parametr kachestva tehnologicheskoy sistemy', Vysoki tekhnologii v mashynobuduvanni, Kharkivskyi politekhnichnyi instytut, Kharkiv, iss. 1 (12), pp. 417-423.
3. Djevid, G 1979, Porjadkovye statistiki, Nauka. Glavnaja redakcija fiziko-matematicheskoy literatury, Moskva.
4. Abdullah M.M., Tari J.J. "The influence of ST and HT quality management practices on performance". Asian pacific management review, Vol.17, No. 2, 2012, 177-193.
5. Islam M.A., A.F.M.A. Haque "Pillars of TQM implementation in manufacturing organization- An empirical study", Journal of Research in international business and management, Vol.2, No.5, 2012, 128-141.
6. Li, J. G, Yao, Y. X., Wang, P. Assembly accuracy prediction based on CAD model [Text]. /J. G. Li, Y. X. Yao, P. Wang // The International Journal of Advanced Manufacturing Technology. 2014–Volume 75 – P. 825–832.
7. Mohammed A. Rahim, Yasir A. Siddiqui, Moustafa Elshafei /Integration of Multivariate Statistical Process Control and Engineering Process Control// Proceedings of the 2014 International Conference on Industrial Engineering and Operations Management Bali, Indonesia, January 7 – 9, 2014.

Стаття надійшла до редакції 19 квітня 2019 р.

DOI 10.32820/2079-1747-2019-23-166-171

УДК 655.3.021

**РАСТРУВАННЯ КОЛЬОРОПОДІЛЕНИХ ЗОБРАЖЕНЬ ТА АНАЛІЗ ПАРАМЕТРІВ,
ЩО ВПЛИВАЮТЬ НА ЧІТКІСТЬ ПОЛІГРАФІЧНОЇ РЕПРОДУКЦІЇ****©Яценко Л.О.***Українська інженерно-педагогічна академія***Інформація про автора:**

Яценко Лариса Олександрівна: ORCID: 0000-0002-6158-6207; osip0755@i.ua; старший викладач кафедри інформаційних комп'ютерних технологій і математики; Українська інженерно-педагогічна академія; вул. Університетська, 16, м. Харків, 61003, Україна.

У статті розглядається доцільність використання одержання багатофарбового растрового зображення при друкуванні. Необхідне суміщення растрових однофарбових зображень може призвести до появи періодичного візерунка, який називається муаром. Застосування нерегулярних растрів виключає муароутворення і підвищує різкість зображення. Правда, нерегулярні растри не виключають, так званих, сюжетних муарів, які з'являються при репродукуванні зображень з регулярним малюнком, наприклад, текстуру тканин тощо. Серед недоліків нерегулярного растрування можна відзначити підвищені вимоги до витратних матеріалів і обладнання, технологічної дисципліни.

Спеціалісти не мають єдиної думки щодо того який растр кращий. Частіше за все відзначають, що для кожного сюжету має бути свій растр.

Ключові слова: растрування, растр, растрова точка, муар, розетковий муар, амплітудно-модульоване растрування, частотно-модульоване растрування.

Яценко Л.О. «Растрирование цветоделенных изображений и анализ параметров, влияющих на четкость полиграфической репродукции».

В статье рассматривается целесообразность использования получения многокрасочного растрового изображения при печати. Необходимое совмещение растровых однокрасочных изображений может привести к появлению периодического узора, который называется муаром. Применение нерегулярных растров исключает муарообразование и повышает резкость изображения. Но регулярные растры не исключают, так называемых, сюжетных муаров, которые появляются при репродуцировании изображений с регулярным рисунком, например, текстуру тканей и тому подобное. Среди недостатков нерегулярного растрирования можно отметить повышенные требования к расходным материалам и оборудования, технологической дисциплины.

Специалисты не имеют единого мнения относительно того, какой растр лучше. Чаще всего отмечают, что для каждого сюжета должен быть свой растр.

Ключевые слова: растрирование, растр, растровая точка, муар, розеточный муар, амплитудно-модулированное растрирование, частотно-модулированное растрирование.

Yatsenko L. «Rastering of color-coded images and analysis of parameters influencing clarity in printed production».

Estimation of influence of parameters of implementation and output of an image in computer publishing system on the received result is given in this paper, the tasks of making up practical recommendations are concerned in relation to optimization of the process of bar image reproducing in the system of element-by-element information processing.

The concept of FM rasterization is based on the fact that randomly located dots cannot cause moire structure. Programs for FM rasterization use complex mathematical algorithms to calculate the optimal, pseudo-random placement of dots so that they do not cause the appearance of artifacts on the image.

It is reasonable to use a frequency-modulated raster for multi-color printing with more than 4 paints using “high fidelity” (hi-fi) technologies, for example, in Hexachrome system using more than four main CMYK paints, adding the fifth (orange) and the sixth (green) paint. At the same time, the latter should divide the angles of the raster with two of the four triad paints, usually blue and yellow, and in such conditions moire arises inevitably. FM rasterization eliminates this problem.

Traditional rasterization, called amplitude modulated (AM), where amplitude means the area of a dot, imitates the semitones of the original in print due to its division into raster dots of various size and area. In the process of FM rasterization dots, on the contrary, have the same area, and transitions of tones are achieved with the help of frequency variations, or the number of dots per area unit, and their placement. In FM rasterization there are no notions of angles and raster frequency. Dots are placed randomly and do not line up in any directions (i.e. angles). Therefore, this rasterization method is ideal for high-quality multi-color work.

Among disadvantages of irregular rastering it is possible to point out enhanced requirements to the expendable and equipment, technological discipline.

Among specialists there is no consensus as to the best raster. Most often they say that for every plot it is necessary to apply a special raster.

Key words: rastering, raster, raster dot, moire, rosette-like moiré, amplitude-modulated rasterization, frequency-modulated rasterization.

Вступ

Для того щоб отримати високоякісну репродукцію, необхідно якісно відтворювати деталі зображення. Чіткість зображення оцінюють по відтворенню штрихових деталей, які можуть бути одиничними або входити до складу групи штрихів періодичних решіток. Штрихові деталі в репродукційному процесі можуть використовуватися в двох аспектах: при відтворенні тільки штрихового зображення, наприклад, при скануванні і відтворенні графіки, логотипів, тексту; при відтворенні деталей у складі растрованого зображення, наприклад, дрібних гілок дерев. Відтворення штрихових деталей є складним процесом, що включає в себе зчитування штрихового зображення з широко регульованими параметрами зчитування:

роздільна здатність зчитування, розмір апертури, якість самої зчитувальної системи та подальшої обробки отриманого сигналу; фотовивід, який може теж здійснюватися з різною роздільною здатністю і різними параметрами записуючої плями, з використанням різних експозиційних умов, терміну запису і властивостей фотоматеріалу. Результати залежать від розмірів штриха і геометричного положення штриха щодо системи запису-зчитування.

Мета і задачі роботи

Метою роботи є оцінка впливу параметрів введення і виведення зображення в комп'ютерній видавничій системі на одержуваний результат, вирішення задач оптимізації процесу відтворення штрихового зображення в системі поелементної обробки інформації.

Основний матеріал

Для створення градаційних переходів у високому і плоскому офсетному друці застосовується принцип, що називається автотипним або растровим. Перетворення півтонового зображення у мікроштрихове носить назву автотипного растрування.

При цьому в процесі растрування здійснювалося перетворення півтонового оригінала в чорно-білу (двохградаційну) інформацію (елементи зображення, растрові точки), придатну для одержання форми (фотоформи, якщо вона використовується або друкарської форми). Якщо растрові структури з відстані розгляду зображення здаються досить дрібними, то завдяки інтегруючій дії ока це зображення «розмивається», і, отже, спостерігач сприймає растрове зображення як безперервне тонове, що візуально відповідає оригіналу з його півтоновими переходами. Чим більше растрових точок на одиницю площі, тим природніше виглядає зображення. Близькість растрових точок одна до одної визначається так званою лініатурою растру (або растровою частотою). Око при спостереженні растрової структури з лініатурою 60 лін/см (відповідає відстані між растровими точками $w = 1/l = 0,167$ мм) з нормальної відстані (приблизно 30 см) не здатне розрізняти окремі растрові точки [1].

Сьогодні растрування здійснюється електронним способом із застосуванням програмних або апаратно-програмних засобів обробки сигналу зображення. При цьому зберігся принцип дискретизації зображення на різні за площею растрові точки при однаковій відстані між ними. Першими пристроями електронного растрування були записуючі і вивідні сканери (фотовивідні пристрої барабанного типу). Запис зображення на фотоплівку в них проводився дуже точно з фокусуванням лазерним випромінюванням. При цьому окремі растрові точки різної величини утворювалися сукупністю лазерних плям (елементів зображення, пікселів). Згідно з цим принципом працюють практично всі лазерні експонуючі пристрої.

Структура растрового зображення може бути періодичною (регулярною) і випадковою (нерегулярною стохастичною). Періодична растрова структура складається з растрових елементів, відстань між центрами яких регулярно повторюється, утворюючи ортогональну (іноді гексагональну) решітку. Растрування, в результаті якого утворюється періодична (регулярна) структура називають амплітудно-модульованим. У нерегулярній растровій структурі растрові елементи розташовані випадково і одержуються стохастичним раструванням. При

цьому растрові точки мають однаковий розмір і розташовуються хаотично на різній відстані одна від одної. При застосуванні стохастичного растрування, растрові точки практично непомітні, являючись мікроточками, що утворюють скануючу пляму при запису зображення. Растрування, у результаті якого утворюється стохастична нерегулярна структура, називається частотно-модульованим.

Для одержання багатофарбових ілюстрацій оригінал спочатку розкладають на кольороподілені зображення для чотирьох основних фарб друкарського синтезу: блакитну, пурпурну, жовту і чорну, а потім, на окремі друкуючі елементи. Кожне кольороподілене зображення раструють зі своїм кутом повороту растра. При неналежній орієнтації растрових структур може виникнути інтерференція, так званий муар, який значно погіршує враження від репродукції. На етапі додрукарської підготовки растри повертають на певні кути для того, щоб у майбутньому мінімізувати ймовірність виникнення видимої регулярної структури (муару). Найпростіший кут растра – 45° , так як під цим кутом муар у найменшій мірі помітний. При друкуванні в одну фарбу кут практично завжди складає 45° . При багатофарбовому друкуванні найтемніша фарба зазвичай друкується під кутом 45° , наступна за нею по світлоті друкується під кутом 75° тощо. Кути растрів усіх фарб повинні відрізнятися на 30° . Удекількох фарб не може бути однакового кута растра. У чотирифарбовому тріадному друкуванні (СМІК) чорна фарба (Black) має кут 45° , пурпурова (Magenta) – 75° , блакитна (Cyan) – 15° , і жовта (Yellow) – 0° (90°). На рис. 1 подані розрахункові ідеальні кути повороту растра.

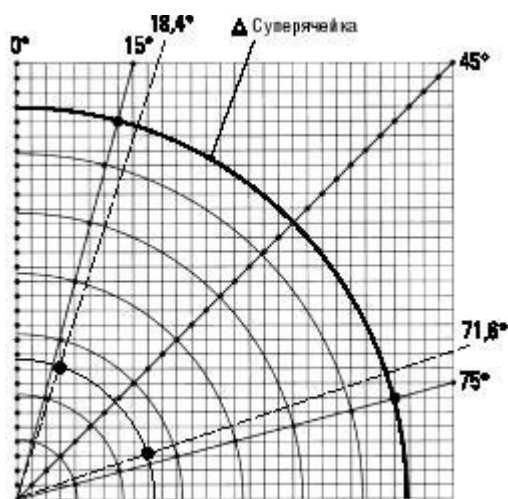


Рис. 1 – Ідеальні кути повороту растра.

Цим можна майже повністю запобігти виникненню видимої муарової сітки, причиною якої є періодична структура кольороподілених зображень. Проте муар, що виникає через взаємодію растрової структури з періодичною структурою самого зображення, неможливо повністю виключити як перешкоду для зорового сприйняття репродукції. Незважаючи на оптимальні кути повороту, що зменшують інтерференційні ефекти (муар), на кольорових ділянках рівномірного тону все ж виникають растрові розетки (точки кожного растру розташовуються навколо однієї «спільної» точки тріадного

кольору, одержаного їх послідовним накладанням). Утворення розеткової структури залежить також і від позиціонування кольороподілених зображень одне відносно одного. Коливання приведення фарби в друкарському процесі можуть призводити до зміни форми розеток. Також вірно і те, що чим вища лініатура растрів, тим структура муару стає менш помітною. У сучасній кольоровій репродукції в більшості робіт використовується лініатура 60 лін/см. Для оригіналів з чітко вираженою тонкою власною структурою (наприклад, тканина або

філігранний візерунок) можлива поява об'єктного муару, який практично неможливо усунути. Високолінійні растри (до 150 лін/см), які інколи застосовуються для відтворення супердрібних деталей, хоча і дозволяють зменшити ефект муару, але все таки не завжди можуть йому запобігти. Використання високолінійних структур пов'язане з високими вимогами до технології репродукційних процесів і друкування. При частотно-модульованому растрованні немає необхідності повороту растрових структур при багатофарбовому друкуванні і, як наслідок цього, немає причин виникнення муару [2].

В основному розрізняють наступні форми растрових точок: кругла, квадратна, ланцюгоподібна, еліптична. Перераховані вище растрові точки являються найбільш типовими і такими, що часто застосовуються в звичайному і серійному виробництві. Однак цими формами «багатогранність» далеко не вичерпується. Існує ще велика кількість растрових точок найрізноманітніших форм. Вони використовуються або з естетичною метою, або у тих випадках, коли експерименти показують, що та або інша форма точки для того чи іншого виробництва тієї або іншої продукції. Було практично неможливо встановити ідеальну форму растрової точки оскільки умови її використання і технологічні можливості часто не збігалися. Відмінності в репродукції є не лише наслідком вживаних алгоритмів растровання, що базуються на різному програмному забезпеченні, використовуваному в цифрових процесах растровання. Відмінності в отриманій якості пов'язані також і з технічними характеристиками компонентів апаратного забезпечення, вживаного для експонування растрових зображень.

Під якістю відтворення зображення розуміють не тільки якість перенесення кольорів, градаційну передачу, але і якість відтворення деталей зображення. Якість визначається геометричною точністю і різкістю кордонів штрихових деталей як у складі чистого штрихового зображення, так і у складі растрового поля. У сукупності геометрична точність, різкість кордонів штрихових деталей, а також їх контраст визначають якість відтворення деталей – чіткість зображення. У процесі репродукування зображення вирішення завдання формування якості залежить від системи відтворення, параметрів і технічних можливостей окремих ланок системи, параметрів процесу відтворення. До параметрів введення інформації, що впливає на чіткість зображення, можна віднести: напрям розгорнення при скануванні, роздільну здатність сканування, апертуру сканування, режим сканування, параметр «поріг бінаризації», співвідношення параметрів сканування і запису.

При виведенні штрихових деталей виникають такі явища: записуюча пляма (апертура) певного розміру і з певним розподілом енергії під час запису зображення створює розмиття, втрату чіткості; дискретний синтез в процесі виведення формує ступінчасту структуру краю штрихових деталей і видимий розмір цієї ступінчастості залежить від просторової орієнтації штриха. На якість відтворення штрихових елементів на виході системи поелементної обробки зображення (споі) впливають такі фактори: розмір записуючої апертури - визначає апертурну фільтрацію, що впливає на величину спотворень штрихової деталі; параметри розподілу енергії в промені джерела випромінювання під час запису визначають формування меж штрихових елементів; вплив оптики - неточності у фокусуванні, наявність аберацій, а також ступінь забруднення системи будуть призводити до змін у розподілі енергії в записувальній плямі, а, отже, впливати на розмір і різкість штрихових елементів; вплив фотографічного ма-

теріалу - наявність розмиття випромінювання у фотографічному матеріалі і ореолів відображення знижує якість відтворювальних штрихів. Для отримання якісної фотоформи необхідна фотоплівка, що володіє пороговими властивостями, тобто з крутою характеристичною кривою. Ці фактори впливають на ширину прикордонної зони штриха.

При відтворенні зображень, що містять штрихові деталі в складі растрового поля, на якість відтворення впливають всі перераховані фактори, стосовно штрихового зображення в умовах бінаризації, а також додаються чинники, пов'язані з перетворенням штрихового зображення у растрове: тип растрування, тобто вибір регулярної або нерегулярної структури; лініатура растрування для регулярних растрових структур; форма растрової точки для регулярних растрових структур; діаметр растрової точки для нерегулярних структур; тощо[3].

Висновки

Аналіз систем і технологічних параметрів процесу відтворення штрихового зображення в умовах бінаризації і під час растрування показав, що на формування чіткості зображення може впливати і підлягає дослідженню під час растрування - регулярність растрових структур, просторове розташування деталей зображення щодо напрямлення сканування і кута повороту растрової структури, форма і розмір растрової точки, співвідношення роздільної здатності введення - виведення, значення параметра коефіцієнт якості в поєднанні з частотою растрування.

Список использованных источников:

1. Андреев Ю. С. Про оцінку структурних параметрів системи сканер- фотовивідний пристрій / Ю. С. Андреев, Т. А. Макеєва // Поліграфія. – 2005. – № 6. – С. 86-87.
2. Самарин Ю. Н. Технологические процессы автоматизированных производств (полиграфическое производство) : учебник / Ю. Н. Самарин; Московский гос. ун-т печати им. Ивана Федорова. – М. : МГУП, 2015. – 556 с.
3. Романо Ф. Принт-медиа-бизнес. Современные технологии издательско-полиграфической отрасли / Ф. Романо; Пер. с англ. М. Бредис, В. Вобленко, Н. Друзьева ; Под ред. Б. А. Кузьмина. – М. : ПРИНТ-МЕДИА центр, 2006. – 456 с.
4. Allaire, G.; Jouve, F. and Michailidis, G. (2016). "Thickness Control in Structural Optimization via a Level Set Method". Structural and Multidisciplinary Optimization 53.6, 1349–1382.
5. Du, S.; Hu, S. and Martin, R. R. (2013). "Semiregular Solid Texturing From 2D Image Exemplars". IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics 19.3, 460–469.

References

1. Andrieiev, YuS & Makeieva, TA 2005, 'Pro otsinku strukturnykh parametrov systemy skaner- fotovyvidnyi prystrii', Polihrafiia, no. 6, pp. 86-87.
2. Samarina, JuN 2015, Tehnologicheskie processy avtomatizirovannykh proizvodstv (poligraficheskoe proizvodstvo), Moskovskij gosudarstvennyj universitet pechati imeni Ivana Fedorova, Moskva.
3. Romano, F 2006, Print-media-biznes. Sovremennye tehnologii izdatelsko-poligraficheskoy otrasli, PRINT-MEDIA centr, Moskva.
4. Allaire, G.; Jouve, F. and Michailidis, G. (2016). "Thickness Control in Structural Optimization via a Level Set Method". Structural and Multidisciplinary Optimization 53.6, 1349–1382.
5. Du, S.; Hu, S. and Martin, R. R. (2013). "Semiregular Solid Texturing From 2D Image Exemplars". IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics 19.3, 460–469.

Стаття надійшла до редакції 19 квітня 2019 р.

ДО УВАГИ АВТОРІВ

У зв'язку зі зміною редакційної політики та популяризацією за кордоном збірника наукових праць УІПА «Машинобудування» (далі – Збірник) через світові бібліографічні, наукометричні бази, міжнародні каталоги повідомляємо наступне.

Науковий фаховий Збірник приймає до публікації наукові праці з питань технології машинобудування, піднімально-транспортних машин, верстатів та інструментів і динаміки та міцності машин.

Збірник зареєстровано у Міжнародному центрі періодичних видань, йому присвоєно Міжнародний стандартний номер серіального видання ISSN (International Standard Serials Number) 2079-1747 (print). Збірник індексується в міжнародних каталогах та наукометричних базах даних: PИИЦ, Index Copernicus, Google Scholar, ROAR (Registry of Open Access Repositories), OpenDOAR (The Directory of Open Access Repositories).

Публікаційна етика та правила оформлення наукових публікацій

Редакційна колегія Збірника орієнтується в роботі на норми та принципи міжнародної організації Committee on Publication Ethics (COPE), її політика базована на рекомендаціях Budapest Open Access Initiative (BOAI).

Опубліковані в Збірнику наукових праць УІПА статті мають бути результатом наукових досліджень авторів, внеском у розвиток науки і забезпечувати спадкоємність наукових поглядів. З урахуванням цього редакція встановлює стандарти етичної поведінки для всіх сторін, що беруть участь в процесі публікації.

Обов'язки авторів

1. Стандарт авторства

Авторство має бути обмежене лише тими, хто вніс значний внесок в одержання результатів дослідження (розробка концепції, наукової ідеї та інш.). Автор, який представляє редакції рукопис, повинен гарантувати, що ним вказано всіх співавторів, що вони бачили і схвалили остаточний варіант рукопису і згодні з її поданням до редакції для публікації.

Статті, що подаються аспірантами, здобувачами, повинні мати рекомендацію наукового керівника, якщо він не є співавтором статті.

2. Стандарт однократності (неприпустимість паралельних публікацій).

Автор не повинен подавати до редакції рукопис раніше опублікованої статті. Він не повинен також подавати рукопис однієї і тієї ж за змістом статті в редакції декількох журналів одночасно.

Подача рукопису одночасно в кілька журналів є неетичною і неприйнятною.

3. Стандарт доступу до вихідних даних, дослідження та їх зберігання.

Автор зобов'язаний подати вихідні матеріали (дані) дослідження на вимогу редакції і повинен бути готовий надати публічний доступ до них. Автор повинен зберігати ці дані протягом певного часу після публікації.

4. Стандарт оригінальності і неприпустимість плагіату

Автор повинен представити в редакцію абсолютно оригінальну статтю. Якщо він використовував роботи або включає в свою статтю фрагменти з робіт (цитати) інших осіб, то таке використання має бути належним чином оформлене (лапки, виноска на джерело цитування, вказівка оригінального джерела в бібліографічному списку до статті).

Плагіат в будь-якій формі є неетичною і неприйнятною поведінкою автора.

5. Стандарт підтвердження джерел

Автор повинен в бібліографічному списку правильно вказати наукові та інші джерела, які він використовував у ході дослідження та які мали істотний вплив на результати дослідження.

Джерела, на які є виноска в тексті рукопису статті, повинні бути вказані в обов'язковому порядку. Інформація, отримана з неофіційних (приватних) джерел (розмова, листування, обговорення з третіми особами та ін.), не повинна використовуватися.

6. Стандарт виправлення помилок в опублікованих роботах

Якщо автор виявить суттєву помилку або неточність у вже опублікованій статті, то він зобов'язаний негайно повідомити про це редакцію і сприяти їй у виправленні помилки.

Якщо редакція дізнається про помилку від третіх осіб, то автор зобов'язаний негайно усунути помилку або представити докази її відсутності.

Загальні правила оформлення наукових публікацій

1. До друку приймаються наукові статті, що мають наукову і практичну цінність. Редакція приймає статті, повністю підготовлені до друку в збірнику наукових праць. Статті, оформлення яких не відповідає вказаним вимогам, не приймаються до друку.

2. Рішення щодо публікації (позитивне чи негативне) повідомляється автору. Стаття може бути повернена для доопрацювання. Рукописи авторам не повертаються.

3. Статті, відіслані авторам на доопрацювання, повинні бути повернені до редакції не пізніше, ніж через 10 днів після її одержання.

4. До розгляду приймаються наукові статті обсягом не менше 12-15 тис. знаків (включаючи таблиці, графіки, рисунки), формат паперу – А4, орієнтація – книжкова, всі поля – 2 см, міжрядковий інтервал – 1,5, кегль шрифту – 14, гарнітура – Times New Roman, абзац – 1,25 см.

5. Формули, рисунки, таблиці вставляються по тексту одразу після посилання на них. Ілюстрації повинні бути чіткими, формули – написані загально прийнятою символікою. Розмір шрифту в ілюстраційному матеріалі не менше 10 пт.

6. Статті подаються в друкованому (2 прим.) та в електронному варіантах у вигляді файлів (текст форматами DOC, RTF, графіки, рисунки – JPEG, TIFF). Якщо текст статті разом з ілюстраціями виконано у вигляді одного файлу, то необхідно додатково подати файл із ілюстраціями (одна ілюстрація – один файл).

7. На електронну адресу редакції подається комплект файлів, до якого має бути додано опис, де зазначаються:

- назва текстового редактора,
- імена файлів,
- назва збірника
- назва статті,
- розділ науки,
- прізвище, ім'я та по батькові авторів.

8. До редакції приймаються документи Microsoft Word версій до 2003 року (Word 11, Microsoft Office 2003). Документи Word 2007, Word 2010 **в форматі *.docx не приймаються.**

9. Редакція залишає за собою право вносити поправки до статей, не змінюючи основного змісту. Відповідальність за цитування та достовірність інформації несуть автори статей.

10. Мова публікацій: українська, російська, англійська.

11. Слід чітко розмежовувати тире (–) та дефіс (-). Необхідно використовувати однотипні лапки («...» – для українського та російського тексту статті та “...” – для англійського). Не допускається ставити абзацний відступ пробілами та клавішею Tab. Рядки тексту в межах абзацу не повинні розділятися клавішею Enter.

12. Не допускається використання переносів. Між ініціалами, ініціалами та прізвищем ставиться нерозривний пробіл. Нумерація сторінок не проставляється.

13. Збірник з опублікованою статтею надсилається авторові поштою або видається у редакції.

Структура наукової статті (відповідно вимог ДСТУ 7152:2010

«Видання. Оформлення публікацій у журналах і збірниках»)

Матеріали, подані до збірника, мають відповідати вимогам Постанови Президії ВАК України від 15.01.2003 р. №7-05/1 «Про підвищення вимог до фахових видань, внесених до переліків ВАК України», Постанови Кабінету Міністрів України від 27 січня 2010 р. № 55 «Про впорядкування транслітерації українського алфавіту латиницею» та повинні мати такі необхідні відомості:

1. **Індекс УДК** (вирівнювання по лівому краю). Визначити код УДК ви можете на сайті бібліотеки: <http://library.uipa.edu.ua/>

2. **Назва статті** (вирівнювання по центру, шрифт – напівжирний, великі літери).

3. **Прізвище та ініціали авторів**, співавторів (шрифт напівжирний)

4. **Анотація** (авторське резюме) без слова «Анотація» подається трьома мовами – українською, російською, англійською. Анотація містить прізвища та ініціали авторів (напівжирний курсив), назву статті у лапках, текст анотації. Обсяг анотації повинен бути не менше 1800 знаків.

5. **Ключові слова** (напівжирний курсив) – 5-6 слів через крапку з комою трьома мовами – українською, російською, англійською.

6. **Текст наукової статті.**

7. **Список використаних джерел** українською або російською мовами відповідно до ДСТУ ГОСТ 7.1-2006 (дивись сайт бібліотеки <http://library.uipa.edu.ua/vikladacham-i-kuratoram.html>), англійською мовою відповідно до міжнародних стандартів (<https://web.library.uq.edu.au/files/424/filename.pdf>). В оригінальних роботах цитують не більш 15 праць, а в оглядах – до 50. Список повинний містити публікації за останні 10 років, більш ранні допускаються лише в особливих випадках.

8. **References** – список використаних джерел латинськими літерами відповідно до стандарту Harvard (Постанова Кабінету Міністрів України від 27 січня 2010 р. №55 «Про впорядкування транслітерації українського алфавіту латиницею»).

На сайті <http://www.slovyk.ua/services/translit.php> можна безкоштовно скористатися сервісом транслітерації україномовного тексту в латиницю.

На сайті <http://www.translit.net> є сервіс для транслітерації російськомовного тексту (стандарт BGN).

9. Стаття повинна супроводжуватися **авторською довідкою** (для кожного автора) трьома мовами – українською, російською, англійською.

10. Авторська довідка містить наступні дані:

- назва статті;
- прізвище, повне ім'я та по батькові;
- рік народження;
- вчений ступінь, вчене звання;
- місце роботи (англійською мовою – повна офіційно-прийнята назва установи);
- посада;
- ідентифікатор ORCID (дивись сайт бібліотеки: <http://library.uipa.edu.ua/naukovtsyam/item/768-reiestratsiia-vchenykh-u-mizhnarodnomu-reiestri-orcid.html>);
- адреса для листування, телефон, e-mail;
- адреса для відправки авторського екземпляру.

У кінці довідки треба зазначити «Поданий матеріал раніше не публікувався і до інших видавництв не надсилався». «Не заперечую проти виставлення повного тексту статті на сайт Національної бібліотеки України ім. В.І. Вернадського, в реферативну базу даних «Україніка наукова» та повнотекстову базу даних «Наукова періодика України», сайт Наукової бібліотеки УПА і на сайт Наукової електронної бібліотеки eLIBRARY.RU.

Рекомендації до написання анотацій (авторських резюме) до наукових статей

До публікації приймаються рукописи з максимально конкретизованими анотаціями. Композиційно анотація може бути збудована за принципами IMRAD (Introduction, Methods (Methodology), Results and Discussion). Загальновизнаною світовою практикою є використання анотацій (англійською мовою – resume чи abstract) не лише як структурного компонента власне наукової статті, але й як окремої наукової форми, що має на меті ознайомити у найзагальніших рисах із суттю та змістом дослідження.

Актуальність – актуальність дослідження. Мета – мета і завдання дослідження. Не слід повторювати назву статті. Якщо з назви статті мета та завдання роботи є зрозумілими, то це речення слід пропустити. Наприклад, можна вказати – Розглянуті напрямки... Не використовувати такі слова як «В цій статті, в статті». Компетентні дослідники чудово розуміють, що мова йде саме про Вашу статтю.

Методи (методологія дослідження) – відомості про те, коли, де, як проводилося дослідження; яка інформація, методи використовувалися; хто був включений в групу піддослідних. **Метод або методологію** проведення роботи доцільно описувати в тому випадку, якщо вони відрізняються новизною або їх розробка становить самостійну частину роботи. У рефератах документів, що описують експериментальні роботи, вказують джерела даних і характер їхньої обробки.

Результати – основні висновки (конкретика), результати дослідження. Наприклад – Встановлено..., З'ясовано..., Показано... та ін. **Результати** роботи описують гранично точно й інформативно. Наводять основні теоретичні та експериментальні результати, фактичні дані, виявлені зв'язки і закономірності. При цьому перевага надається новим результатам і даним довгострокового значення, важливим відкриттям, висновкам, які спростовують наявні теорії, а також даними, що, на думку автора, мають практичне значення.

Висновки можуть містити рекомендації, оцінки, пропозиції, гіпотези, описані у статті. Не рекомендується вказувати, що Ваш підхід або методика є кращими, ніж в інших авторів. Це є зрозумілим із самого статусу статті як наукової.

Перспективи – інформація про те, як отриманий результат співвідноситься з висновками інших учених, які перспективи дослідження, напрями подальшої роботи, складності.

При підготовці анотації слід виходити з того, що Ви пишите для компетентних дослідників і широкого кола потенційних англomовних користувачів. Тому можете вводити до анотації спеціальні терміни. Слід чітко викладати свою позицію. Від стилю її викладення залежить кількість звертань і, що є особливо важливим і актуальним сьогодні, кількість цитувань Вашої публікації. Анотація не повинна містити загальних слів.

Авторське резюме повинно викладати суттєві факти роботи, і не повинно перебільшувати або містити матеріал, який відсутній в основній частині публікації.

Відомості, що містяться в заголовку статті, не повинні повторюватися в тексті авторського резюме. Скорочення та умовні позначення не допускаються.

В авторському резюме не робляться посилання на номер публікації в списку літератури до статті.

Слід уникати зайвих вступних фраз (наприклад, «автор статті розглядає»). Історичні довідки, якщо вони не становлять основний зміст документа, опис раніше опублікованих робіт та загальновідомі положення в рефераті не наводять.

У тексті анотації слід вживати синтаксичні конструкції, властиві мові наукових і технічних документів, уникати складних граматичних конструкцій (не застосовуваних у науковій англійській мові).

Обсяг тексту визначається змістом публікації (обсягом відомостей, їх науковою цінністю та / або практичним значенням), але **не повинний бути менше 1000 знаків**.

Приклад авторського резюме українською мовою:

Значна частина планів по впровадженню змін, що містять в своїй основі нововведення, або не доходить до практичної реалізації, або в дійсності приносить набагато менше користі, ніж планувалося..... У статті пропонується механізм ..., заснований на аналізі ... Дослідження спирається на звід правил і процедур, що містять серію методів, використання яких дозволяє ... До таких методів відносяться:Результатом розробленої автором методики ... є пропозиція, яка в своїй концептуальній основі орієнтується на ...вишукування шляхів та прискорить реалізацію....., що в кінцевому результаті призведе до....

Рекомендації до написання тексту наукової статті

Відповідно до Постанови Президії ВАК України від 15.01.2003 р. №7-05/1 «Про підвищення вимог до фахових видань, внесених до переліків ВАК України», текст статті має бути із зазначенням наступних елементів:

- **постановка проблеми** у загальному вигляді та її зв'язок із важливими науковими чи практичними завданнями;

- **аналіз останніх досліджень** і публікацій, в яких започатковано розв'язання даної проблеми і на які спирається автор, виділення невирішених раніше частин загальної проблеми, котрим присвячується означена стаття;
- **формулювання цілей статті** (постановка завдання);
- виклад **основного матеріалу** дослідження з повним обґрунтуванням отриманих наукових результатів;
- **висновки** з даного дослідження і перспективи подальших розвідок у даному напрямку.

Особливості стилю наукової статті

Часто автори, які декларують звертання до наукової проблематики, використовують при цьому публіцистичний стиль викладу. Змішання стилів не є виправданим, оскільки створення якісного інтелектуального продукту не може асоціюватися із публіцистичністю у будь-якій її формі. Публіцистика і наука – це дві повноцінні, важливі для суспільного розвитку, але зовсім відмінні сфери інтелектуального самовираження. Отже, починаючи зі стадії осмислення прийомів збору інформації та закінчуючи формами викладу тих концепцій та ідей, до яких дійшов автор у результаті дослідження, слід чітко та однозначно орієнтуватися на загальнови-знані наукові стандарти рівня аргументованості та стилю викладу матеріалу.

При цьому треба пам'ятати, щоб у статті не було бездоказових тез та концепцій; усі ідеї знаходилися у закономірному та обґрунтованому взаємозв'язку; автор прагнув до максимальної об'єктивності та пошуку наукової істини, вільної від тиску ідеології та емоцій.

Рекомендації до складання списку використаних джерел

Після статті подається 2 списки:

Список використаних джерел (звичайний список літератури) та **References** (список для міжнародних БД, де дані українською/російською мовою описуються за допомогою транслітерації (<http://www.slovnyk.ua/services/translit.php>), а джерела англійською дублюються зі списку «Список використаних джерел»). Необхідно в опис документу в Списку та References вносити всіх авторів, не скорочуючи перелік до трьох, як це рекомендовано чинним у нас державним стандартом.

Правила оформлення списку літератури *References*, транслітерованого у романському алфавіті (латиниця)

Правильний опис використовуваних джерел у списках літератури є запорукою того, що цитована публікація буде врахована під час **оцінювання наукової діяльності її авторів**, отже, (по ланцюжку) — діяльності організації, регіону, країни.

За цитуванням журналу визначається його науковий рівень, авторитетність, ефективність діяльності його редакційної колегії і т. д. З цього виходить, що найбільш значущими складовими в бібліографічних посиланнях є **прізвища авторів і назви журналів**. Причому для того, щоб всі автори публікації були враховані в системі *Scopus*, **необхідно в опис статті вносити прізвища всіх авторів**, не скорочуючи їх до трьох, чотирьох та інше.

Для оформлення списку літератури *References* необхідно користуватись стандартом Harvard (<https://web.library.uq.edu.au/files/424/filename.pdf>).

Приклад опису статті з журналу:

Fritzowski, P & Kaminski, H 2009, 'Dynamics of a rope modeled as a discrete system with extensible members', *Computational Mechanics*, no. 44(4), pp. 473-480. doi:10.1007/s00466-009-0387-2.

Приклад опису книги:

Loveikin, V, Chovniuk, Yu, Dikteruk, M & Pastushenko, S 2004, *Modeliuvannia dynamiky mekhanizmiv vantazhopidiomnykh mashyn*, RVV MDAU, Mykolaiv.

Збірник наукових праць «Машинобудування», наказом Міністерства освіти і науки України від 11.07.2016 р. № 820 внесено до переліку наукових фахових видань України, в якому можуть публікуватися результати дисертаційних робіт на здобуття наукових ступенів доктора і кандидата технічних наук

НАУКОВЕ ВИДАННЯ

УДК 621 – 622

Машинобудування. Збірник наукових праць. Випуск 23. – Харків, Українська інженерно-педагогічна академія (УІПА), 2019. – 177 с.

У збірнику подано результати наукових досліджень в галузі машинобудування. Розглянуто важливі проблеми міцності, стійкості, роботоздатності, динаміки вантажопідйомних, транспортуючих машин та верстатів, а також питання технології машинобудування.

Для викладачів, науковців, аспірантів, фахівців в галузі машинобудування.

SCIENTIFIC EDITION

UDC 621 – 622

Engineering. Collection of Scientific Papers. Issue 23. – Kharkiv, Ukrainian Engineering Pedagogics Academy (UEPA), 2019. – 177 p.

There were considered the important problems of strength, steadiness, capacity for work, dynamics of loading transporting, technological, machines and imporers, also a question of machine-building technologic.

For instructors, research workers, post graduates, experts in the field of machine-building.

Підписано до друку 28.05.2019, Формат 70×100 ¹/₁₆. Умов. друк. арк. – 11.
Гарнітура *Times New Roman*. Друк офсетний. Наклад 50 прим. Ціна договірна.
Свідоцтво серія ДК №6146 від 17.04.2018

ДНЗ «Харківський регіональний центр професійної освіти
поліграфічних медіатехнологій та машинобудування»