

Міністерство освіти і науки України
Українська інженерно-педагогічна
академія

Піднімально-транспортні
машини
Динаміка та міцність машин
Верстати та інструменти
Технологія машинобудування
Економіка та управління
машинобудівними
підприємствами

Машинобудування

Машиностроение

Engineering

Lifting-and-shifting machines
Dynamics and strength of
machines
Machine-tools and instruments
Engineering technology
Economics and management of
engineering operations

Збірник наукових праць

Видається 2 рази на рік

Видається з грудня 2007 р.

Редакційна колегія:**Головний редактор**

Нестеров А.П., д.тех.н., проф.

Заступник головного редактора:

Фідровська Н.М., д.тех.н., доц.

Члени колегії:

Мовшович О.Я., д.тех.н., проф.

Будіков Л.Я., д.тех.н., проф.

Григоров О.В., д.тех.н., проф.

Тарасюк А.П., д.тех.н., проф.

Кравцов М.К., к.тех.н., проф.

Литвин О.М., д.ф-м.н., проф.

Ловейкін В.С., д.тех.н., проф.

Мельниченко О.А., д.тех.н., проф.

Резніченко М.К., д.тех.н., проф.

Рябчиков М.Л., д.тех.н., проф.

Редакція:**Відповідальні редактори**

Сичов Ю.І., к.тех.н., доц.

Родіонов Л.А., к.тех.н., доц.

Смоляков С.Л., к.тех.н., доц.

Редактор

Ротова Н.В.

Випускові редактори

Ісьєміні І.І.

Осипова Т.М.

Відповідальний секретар

Ісьєміні І.І.

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: rektor@uipa.kharkov.ua

Машинобудування

2013, № 12

Збірник наукових праць

Засновник

Українська інженерно-педагогічна академія
(УІПА)

Видається з грудня 2007 р.

Свідоцтво про державну реєстрацію
друкованого засобу масової інформації

Серія КВ № 12132 – 1016Р від 26.12.2006.

Мови видання:

українська, російська, англійська

Друкується за рішенням Вченої ради УІПА,
протокол № 7 від 17 грудня 2013 р.

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

Address of editorial office:

16 Universitetska vul., Kharkiv

61003, Ukraine

Ukrainian Engineering Pedagogics Academy

Tel. (057)733-78-18

Fax (057)731-32-36

© Українська інженерно-педагогічна академія
(УІПА), Харків, 2013

<u>Піднімально-транспортні машини</u>	6
Зеленская Т.С., Данилина Г.В. Переходные процессы в канатах с переменной верхней границей.....	6
Ісьєміні І.І., Іванов В.М., Смоляков С.Л. Проведення експериментальних досліджень пневмогідравлічних буферних пристроїв на мостовому крані 5т40.....	13
Ловейкін В.С., Ромасевич Ю.О. Синтез оптимального керування рухом кранового візка. Частина II	22
Нестеренко В.В. До розрахунку на міцність барабана, що має підкріплюючі кільця.....	31
Подольак О.С., Семенко К.В., Циплухін Д.С., Осетров І.С. Дослідження ефективності встановлення демпфера в стріловій системі самохідних кранів.....	40
Фідровська Н.М. Вплив геометричних і жорсткісних параметрів каната і барабана на навантаження обичайки.....	44
Фидровская Н.Н., Ломакин А.А. Дополнительные напряжения в элементах стальных канатов при набегании на блоки и барабаны.....	49
<u>Динаміка та міцність машин</u>	55
Малицкий И.Ф., Чернятина Е.В. Экспериментально-теоретический метод определения контактных давлений в сопряжении полый оси со ступицей вагонного колеса.....	55
<u>Верстати та інструменти</u>	60
Маршуба В.П., Чернякова О.В. До питання про підвищення ефективності глибокого свердління гвинтовими свердлами за рахунок керування адезійної складовою сили тертя.....	60

Самчук В.В.

Підвищення якості фасок отворів, виконаних на циліндричних поверхнях виробів із полімерного композитного матеріалу (ПКМ).....66

Технологія машинобудування.....71

Воронов Г.А.

Совершенствование системы автоматизации процесса формообразования для изготовления отливок машиностроительного назначения.....71

Горбенко Н.А., Тріщ Г.М., Денисенко М.В., Катрич О.О.

Особенности системы управления качеством предприятий с учетом требований международных стандартов.....77

Дерябкіна Є.С., Герасименко Д.В.

Оптимізація діаметра електроду при багатодуговому зварюванні під флюсом.....83

Дёмин Д.А.

Управление структурообразованием в отливках из серого чугуна с целью повышения их герметичности.....90

Калін М.А.

Розробка електродів з ванадієм у покритті для холодного зварювання чавуну.....98

Калин Н.А., Изотова Е.А.

Оптимизация размеров частиц чугуна порошка в покрытии сварочных электродов.....102

Калин Н.А., Изотова Е.А.

Разработка присадочных прутков для сварки высокопрочного чугуна.....107

Костик К.О.

Зміцнення прес-форм лиття під тиском по нанотехнології.....113

Кравцов М.К., Оболенская Т.А., Серeda Н.В., Белецкая И.В.

Исследование перепада температур в кольцах радиальных подшипников при нагреве в индукторе.....119

Пашенко Е.А., Бурдейная В.М.

Точность координированных размеров при обработке отверстий без
направления режущего инструмента.....125

Пуляев А.А.

Снижение внутренних дефектов в корпусных отливках как фактор повышения
функциональной надежности деталей машин из стали.....130

Скоркін А.О., Кондратюк О.Л.

Класифікація законів функціонування системи дрібносерійної зборки складних
машинобудівних виробів.....135

Скрип'юк Р.Б.

Вибір методів управління для системи керування автоматичною
електротермічною лінією обробки металевих виробів.....140

Смирнитская М.Б.

Использование нейросетевых технологий в СУОТ машиностроительного
предприятия.....150

Хорошилов О.Н.

Условие реализации технологического процесса непрерывного литья,
повышающего качество заготовок из медных сплавов.....157

Економіка та управління машинобудівними підприємствами.....162**Юхнов Б.Ю., Яшинов О.Л.**

Інноваційне підприємництво в машинобудівній галузі України та проблеми
його державного стимулювання.....162

Відомості про авторів.....167

До уваги авторів.....171

ПЕРЕХОДНЫЕ ПРОЦЕССЫ В КАНАТАХ С ПЕРЕМЕННОЙ ВЕРХНЕЙ ГРАНИЦЕЙ

1. Анализ публикаций по теме исследования

Вопрос об определении усилий в подъемных канатах, о постановке методов решения тесно связан с задачей о продольных колебаниях упругих стержней и стальных канатов. В работах [1, 2] ограничились шахтными канатами постоянной длины и постоянного сечения. В статье [1] рассматриваются различные специальные условия: сообщение начальной скорости только подвешенному к канату грузу, внезапная нагрузка нижнего конца каната, внезапная остановка верхнего конца каната, и, наконец, равнопеременное движение верхнего конца каната. Заметим, что в первых трех случаях вдоль каната будет распространяться сильный разрыв непрерывности. Рассматриваются канаты постоянного сечения, но переменной длины, учитывая массу и вес каната при больших высотах подъема. Металлической канат как гибкий элемент, способный нести высшую растягивающую нагрузку, обширно применяется в современной подъемно-транспортной технике. Работа каната и связанных с ним устройств почти во всем находится в зависимости от корректности его конструктивного использования сообразно с критериями эксплуатации и точности расчета на упругость и крепкость. В силовом расчете каната вырисовываются две органически связанные, но очень разнящиеся по собственной постановке и способам исследовательских работ задачи. Появляется ряд вопросов, связанных с определением общих усилий в канате как едином агрегате под действием наружных воздействий статического либо динамического усилий. Наружная форма железного каната дает подсказку в данном случае идею его расчета как гибкой нити. Потому такие задачки решаются интерпретацией каната некой эквивалентной по наружным свойствам нитью и в общем могут быть рассчитаны с помощью динамики движения продольных колебаний, так как крутильные колебания будут незначительными для шахтных подъемных систем.

2. Постановка проблемы

Данная статья посвящена исследованию динамического поля перемещений и напряжений в стальных канатах переменной длины шахтных подъемных механизмах; канаты являются уравнивающими, и главный канат переносит сосредоточенное напряжение, которое до начала движения системы находилось на нижнем конце главного каната [3]. Но задачи наружной механики каната еще не определяют фактического его напряженного состояния. Для этого нужно иметь сведения о рассредоточении общих усилий между отдельными элементами в канате. Решение этого вопроса просит исследования силового взаимодействия отдельных частей в канате и построения таким образом математической

модели перемещения волновых процессов в каждый момент времени как аналитическую функцию, а не дискретной разницей.

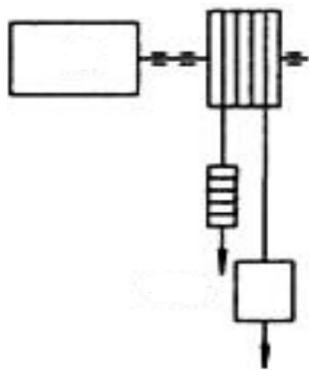


Рис. 1 – Кинематическая схема

В настоящее время на шахтах и рудниках эксплуатируется большое число подъемных установок, кинематические схемы которых могут быть представлены в следующем виде (рис. 1): кинематическая схема подъемной установки со шкивом трения и противовесом, однодвигательная.

Из оценки динамических усилий в идеально упругих нитях переменных длин следует, что только при подъеме нитей без концевых грузов при неинтегрируемых граничных условиях усилия в них не возрастают. Во всех остальных случаях усилия при подъеме возрастают (обратно пропорционально той или иной степени из длины нити) [4]. Однако на практике при умеренных скоростях подъема это явление не наблюдается ввиду того, что наряду с возрастанием амплитуд динамических усилий вследствие уменьшения длины происходит одновременное уменьшение амплитуд их колебаний.

3. Математическая модель динамики шахтной канатной установки

В области $0 < x < l + v(t)$, $t > 0$, найти решение волнового уравнения

$$\frac{\partial^2 u}{\partial x^2} - \frac{1}{a^2} \frac{\partial^2 u}{\partial t^2} = 0, \quad (1)$$

где a – скорость звука в стальном канате;

удовлетворяющее начальным условиям

$$u(x, 0) = 0, \quad u_t(x, 0) = 0, \quad 0 < x < l, \quad (2)$$

и краевым условиям

$$\left(\frac{\partial u}{\partial x} + h(x, t)u \right) \Big|_{x=0} = 0, \quad \left(\frac{\partial u}{\partial x} + h(x, t)u \right) \Big|_{x=l+v(t)} = \theta(t), \quad t > 0. \quad (3)$$

В данной задаче рассматривается интервал, имеющий при $t = 0$ длину l , и при $t > 0$ правый конец этого интервала (точка соприкосновения каната с барабаном) движется по закону $x = l + v(t)$, причем $v(0) = 0$.

Решение задачи ищем в стандартном виде

$$u(x, t) = \chi(x - at) + \chi(x + at).$$

Выполняется условие не вырождения среды

$$l + v(t) > 0, \quad t > 0. \quad (4)$$

Так, как нижний конец каната в относительной системе координат находится в состоянии покоя, то

$$u(x, t) = \chi(x + at) \quad (5)$$

Используем модифицированный метод продолжения для области с подвижной границей, продолжим функцию $\theta(t)$ на всю ось t :

$$\tilde{\theta}(t) = \begin{cases} \theta(t), & t \geq 0, \\ 0, & t < 0 \end{cases} \quad (6)$$

и подставляя форму решения (5) в продолжение (6) на всю ось t второе краевое условие (3), с учетом условия (4), получим

$$\chi'(l + v(t) + at) + h(l + v(t), t) \cdot \chi(l + v(t) + at) = \tilde{\theta}(t). \quad (7)$$

Введем преобразование независимой переменной в уравнение (7)

$$g(t) = l + v(t) + at. \quad (8)$$

Если уравнение (8) неразрешимо относительно t , то рассматриваемая задача не имеет решения. То есть, остается рассмотреть лишь случай разрешимости уравнения (8) относительно t . Функция $v(t)$ непрерывно дифференцируема при $t > 0$.

Должно выполняться условие

$$|v'| < a, \quad t > 0, \quad (9)$$

где a – скорость звука в стальном канате.

Обратная к (8) функция $t_0(g)$ существует тогда и только тогда, когда функция $v(t) + at$ является строго монотонной. И благодаря условию (9), функция $t_0(g)$ является строго-монотонно возрастающей и непрерывно дифференцируемой. Таким образом, продолженная на всю ось g функция $t_0(g)$ обладает следующими свойствами:

$$t_0(g): \begin{cases} > 0, & g > l, \\ = 0, & g = l, \\ < 0, & g < l. \end{cases} \quad (10)$$

Учитывая свойства (10), уравнение (7) можно представить в виде

$$\chi'(g) + H(g)\chi(g) = \tilde{\theta}(t_0(g)), \quad (11)$$

тогда общее решение уравнения (1) может быть представлено в форме

$$\chi(g) = \frac{C + \int_l^g \tilde{\theta}(t_0(y))E(y)dy}{E(g)}, \quad (12)$$

где $H(g) = h(l + v(t_0(g)), t_0(g))$; $E(g) = e^{\int H(g)dg}$, C – произвольная константа.

Решение задачи для начального интервала времени:

$$u(x, t) = \frac{1}{E(x + at)} \int_l^{x+at} \tilde{\theta}(t_0(y))E(y)dy, \quad (13)$$

так как из первого начального условия следует, что $C = 0$.

Учитывая, что $E'(g) = H(g)E(g)$, для функции (13) имеем

$$u_x(x, t) + h(x, t)u(x, t) = -H(x + at) \cdot \frac{1}{E(x + at)} \int_l^{x+at} \tilde{\theta}(t_0(y))E(y)dy + \tilde{\theta}(t_0(x + at)) +$$

$$+ \frac{h(x,t)}{E(x+at)} \cdot \int_l^{x+at} \tilde{\theta}(t_0(y))E(y)dy.$$

Функция (13) удовлетворяет начальным условиям, второму краевому условию (3), а также уравнению (1) при $t > 0$; но первому краевому условию функция (13) удовлетворяет только при $t < \frac{l}{a}$. Поэтому, модифицированным методом продолжения решается дополнительная задача: в области $0 < x < l + v(t)$, $t > \frac{l}{a}$, найти решение уравнения (1), удовлетворяющее начальным условиям

$$\rho(x, \frac{l}{a}) = 0, \quad \rho_t(x, \frac{l}{a}) = 0, \quad 0 < x < l + \rho(\frac{l}{a}) \quad (14)$$

и краевому условию

$$\begin{aligned} \rho_x(0,t) + h(0,t) \cdot \rho(0,t) &= (H(a \cdot t) - h(0,t)) \cdot \frac{1}{E(a \cdot t)} \int_l^{at} \tilde{\theta}(t_0(y))E(y) - \tilde{\theta}(t_0(a \cdot t)) = \\ &= \varphi_0(t), \quad t > \frac{l}{a} \end{aligned} \quad (15)$$

$$\varphi_0(t) = 0 \quad \text{при } t < \frac{l}{a}.$$

Из начальных условий (14) следует, что

$$\rho(x,t) = -E_1(at-x) \cdot \int_l^{at-x} \varphi_0\left(\frac{y}{a}\right) \frac{dy}{E_1(y)}.$$

Тогда решением основной задачи будет функция

$$\psi(x,t) = u(x,t) + \rho(x,t) = \frac{1}{E(x+at)} \int_l^{x+at} \tilde{\theta}(t_0(y))E(y)dy - E_1(at-x) \int_l^{at-x} \varphi_0\left(\frac{y}{a}\right) \frac{dy}{E_1(y)}.$$

Применительно к наматыванию каната на барабан эту задачу можно математически интерпретировать следующим образом. В области:

$0 < x < l + v(t)$, $t > 0$ найти решение уравнения

$$\frac{\partial^2 u(x,t)}{\partial x^2} - \frac{1}{a^2} \cdot \frac{\partial^2 u(x,t)}{\partial t^2} + D \frac{\partial u(x,t)}{\partial t} + B \frac{\partial u(x,t)}{\partial x} + Cu(x,t) = 0, \quad (16)$$

где A, B, C, D – коэффициенты телеграфного уравнения;

удовлетворяющее начальным условиям

$$u(x,0) = 0; \quad u_t(x,0) = 0, \quad x > 0 \quad (17)$$

и краевым условиям

$$u(l+v(t),t) = \mu(t); \quad u(0,t) = 0, \quad t > 0. \quad (18)$$

Функция $v(t)$ описывает изменение длины каната на барабане. Точка свисающей части каната с барабаном имеет координату $x = l + v(t)$. Упругое перемещение в точке $x = 0$ $u(0,t) = 0$.

Введем преобразование переменной t :

$$\tau = t + \frac{v(t) + l}{a}, \quad (19)$$

и учтем, что $\frac{d\tau}{dt} = 1 + \frac{v'(t)}{a} > 0$, тогда $\frac{d\tau}{dt} = 1 + \frac{v'(t)}{a} > 0$.

Продолжим функцию $v(t)$ на всю ось t , потребовав выполнения на всей оси t условия (19) и существования производной этого продолжения на всей оси t . Обозначим это продолжение через $\tilde{v}(t)$. Тогда на всей оси t будет определена функция

$$K(t) = \begin{cases} v(t), & t > 0; \\ \tilde{v}(t), & t < 0. \end{cases}$$

Пусть $T(t)$ – продолженная на всю ось t функция:

$$T(t) = t + \frac{K(t) + l}{a}.$$

Функция $T(t)$ является строго монотонной при всех t и для нее существует обратная функция $Z(T)$:

$$Z(t) = \begin{cases} z(\tau) > 0, & T > \frac{l}{a}; \\ 0, & T = \frac{l}{a}; \\ < 0, & T < \frac{l}{a}. \end{cases}$$

Так как в краевом условии (18) функция $\mu(t)$ определена лишь на полуоси, необходимо построить ее продолжение на всю ось t :

$$M(t) = \begin{cases} \mu(t), & t > 0; \\ 0, & t < 0. \end{cases}$$

Учитывая, что волны в среде возбуждаются на правом конце отрезка и распространяются в среду в направлении отрицательных x , решение задачи отыскивается в виде функции:

$$\begin{aligned} u(x, t) = \sum_{n=0}^{\infty} \left(2M_{2n}\left(t + \frac{x}{a}\right) e^{-\frac{(Da+B)}{2}x} + 2ae^{-\frac{B}{2}x} \int_0^a \left(\frac{B}{2}J_0(\sigma) - c_1 \frac{x}{\sigma} J_1(\sigma) \right) e^{\frac{Da^2}{2}(t-\eta)} M_{2n}(\eta) d\eta \right) \\ + \sum_{n=0}^{\infty} \left[2e^{\frac{(Da-B)}{2}x} \left(-M_{2n+1}\left(t - \frac{x}{a}\right) + M_{2n}\left(t - \frac{x}{a}\right) \right) + \right. \\ \left. + 2ae^{-\frac{B}{2}x} \int_0^a \left(\frac{B}{2}J_0(\sigma) - c_1 \frac{x}{\sigma} J_1(\sigma) \right) e^{\frac{Da^2}{2}(t-\eta)} (M_{2n+1}(\eta) - M_{2n}(\eta)) d\eta \right] \quad (20) \end{aligned}$$

где $J_0(\sigma), J_1(\sigma)$ – функции Бесселя нулевого и первого порядка соответственно;

$$\sigma = \sqrt{c_1(x^2 - a^2(t-\eta)^2)}; \quad c_1 = C + \frac{D^2 a^2}{4} - \frac{B^2}{4}.$$

Принимая во внимание, что первое краевое условие (18) продолжается на всю ось t :
 $u(l+v(t), t) = M(t)$.

4. Практическая реализация результатов моделирования

Специфика работы, условия, в которых осуществляются транспортные операции по перемещению грузов, людей, механизмов, запасного и ремонтного оборудования, наличие большого числа ШПМ, работающих в разных климатических зонах и осуществляющих подъем (опускание) как с глубины нескольких сот метров, так и с глубин около двух километров способствовали выделению электропривода ШПМ в отдельное направление, которое до настоящего времени прошло несколько этапов развития.

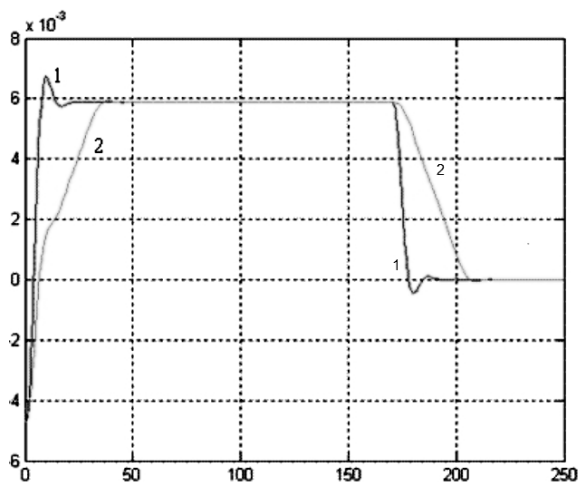


Рис. 2. – Переходной процесс

Учитывая полученное решение для функции (20), найдем для каждого момента времени работы подъемной канатной установки соответствующие показатели переходных процессов без нагрузки, в точке касания каната с барабаном, и зафиксированной точке свисающей части каната (рис. 2).

В итоге, благодаря применению экспериментальных промышленных данных и вычислению полей перемещений и напряжений, мы можем спрогнозировать поведения рывка при пуске нагруженной системы на главном канате (рис. 3).

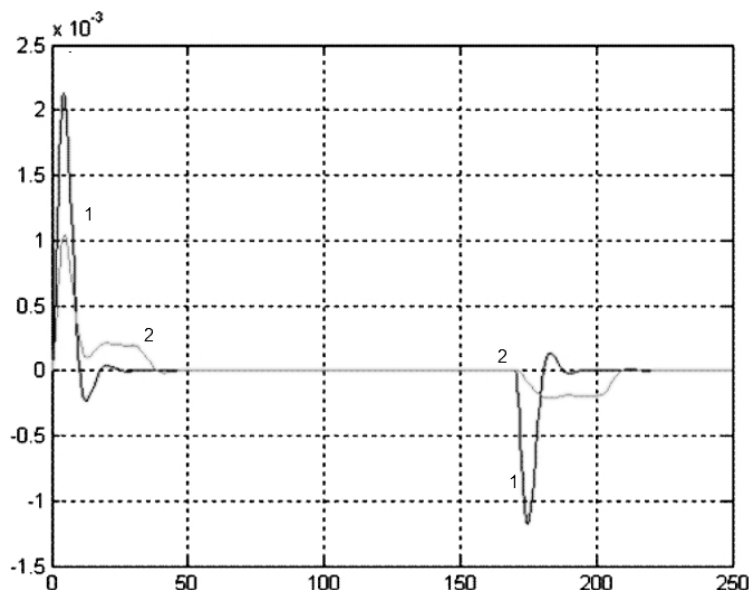


Рис. 3 – Рывок барабана при нагрузке на головной канат

канатов (упругого стержня) во времени. Установлены закономерности влияния характера отраженных волн от подвижного и неподвижного концов упругой нити, необходимые для оптимальной работы подъемной системы.

Выводы

Проведены исследования динамической задачи, связанной с продольными колебаниями стальных канатов шахтных систем. Сформулирована задача о динамике подъемной установки с точки зрения напряжений в сечениях главных стальных

Список использованных источников:

1. Селиванов В. Механика разрушения деформируемого тела / В. Селиванов. – М.: МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2006.
2. Бежок В. Шахтный подъем / В. Бежок, В. Дворников. – Донецк: ООО “Юго-Восток”, 2007.
3. Лексина С. В. Система волновых уравнений с граничным управлением на двух концах / С. В. Бежок, А. А. Андреев // Вестник СамГУ. Естественнонаучная серия. – 2008. – № 8/1(67). – С. 21–34.
4. Смоланов С. Н. Аварийно-спасательная передвижная установка / С. Н. Смоланов, О. А. Колесов // Уголь Украины. – 2008. – № 1. – С. 43–45.
5. Ильин С. Р. Влияние параметров скорости подъема и эксцентриситета груза на динамику системы “сосуд-армирование” шахтных стволов / С. Р. Ильин // Сб. науч. тр. ИГТМ НАН Украины. – 2012. – Вып. 98. – С. 322–348.

Зеленская Т.С., Данилина Г.В. «Переходные процессы в канатах с переменной верхней границей».

Построена математическая модель продольных колебаний, возникающих в главных канатах грузоподъемных механизмов, отображающая поле динамических перемещений и напряжений в произвольном сечении каната, который наматывается на барабан. Рассмотрена постановка краевой задачи для стального каната постоянного сечения.

Ключевые слова: волновое и телеграфное уравнения, область с подвижной границей.

Зеленська Т.С., Даниліна Г.В. «Перехідні процеси в канатах зі змінною верхньою границею».

Побудовано математичну модель поздовжніх коливань, які виникають в головних канатах вантажопідйомних механізмів, що відображають поле динамічних переміщень та напружень в довільному перерізі каната, котрий намотується на барабан. Розглянуто постановку крайової задачі для стального каната постійного перерізу.

Ключові слова: волнове та телеграфне рівняння, область з рухомою границею.

Zelenskaya T.S., Danilina G. V. “Transient processes in the ropes with a variable upper boundary”.

The mathematical model of longitudinal vibrations arising in the main ropes for load-lifting mechanisms, showing the dynamic field of displacements and stresses in the random section of the rope, which is wound on a drum. A formulation of the boundary value problem for steel rope with a constant cross section.

Key words: wave and telegraph equations, area with moving boundary.

Стаття надійшла до редакції 10 жовтня 2013 р.

ПРОВЕДЕННЯ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ ПНЕВМОГІДРАВЛІЧНИХ БУФЕРНИХ ПРИСТРОЇВ НА МОСТОВОМУ КРАНІ 5Т40

1. Постановка проблеми

Для запобігання негативних наслідків наїзду мостового крана на кінцеві упори була розроблена конструкція принципово нового буфера – пневмогідравлічного буферного пристрою [1]. Теоретичні дослідження даного буфера показали, що пневмогідравлічний буфер є ефективним захистом, який зменшує ударне навантаження при наїзді крана на упор [2]. Труднощі проведення подібного промислового експерименту полягають в тому, що при його проведенні є небезпека виходу з ладу обладнання [3, 4, 5]. Тому експериментальні дослідження проводилися згідно з програмою випробувань, погодженою з заводом, та у відповідності до результатів планування експерименту.

2. Аналіз публікацій по темі дослідження

В роботі [4] описується методика проведення експериментальних досліджень буфера візка мостового перевантажувача. Для проведення експерименту була виготовлена модель мостового перевантажувача. Рух візку моделі перевантажувального моста надавався способом, представленим на рис. 1.

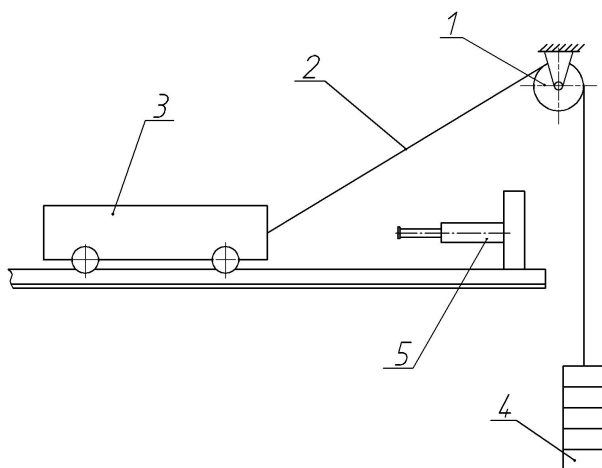


Рис. 1 – Модель візка перевантажувального моста

Через нерухомий блок 1 була перекинута тягова нитка 2, яка одним кінцем прикріплювалась до візка 3. До іншого кінця нитки підвішувався вантаж 4, за допомогою якого візок розганявся та наїжджав на буферний пристрій 5.

Неможливість використання даної моделі для проведення експериментальних досліджень кранових буферів полягає в складності визначення критеріїв подібності. Крім

того, під час руху вантажу 4 вниз візок 3 рухається рівноприскорено, що не відповідає режиму руху крана при наїзді на кінцеві упори.

Жуков В.Г. в роботі [6] проводив експериментальні дослідження кінцевих упорів для баштових кранів на випробувальному крані-стенді, що являє собою баштовий кран без башти та стріли, тобто платформу з баластом на ходових візках.

Натурний експеримент завжди має переваги перед експериментом на моделі, оскільки дає більш достовірні дані та дозволяє уникнути помилок, які можуть виникнути при розрахунку коефіцієнтів подібності.

Дейнега В.І. проводив експериментальні дослідження на мостових кранах вантажопідйомністю 5–30 т [3]. В процесі експериментів він імітував аварійну ситуацію, тобто допускав наїзд крана з «розпущеними» гальмами та без кінцевих вимикачів. Дані експерименти є найінформативнішими та достовірними, але спричинюють великі матеріальні витрати та небезпеку.

3. Мета роботи полягає в підготовці та проведенні експериментальних досліджень пневмогідравлічних буферних пристроїв мостових кранів, які можуть бути трансформовані на інші об'єкти дослідження.

4. Виклад основного матеріалу дослідження

Експериментальні дослідження пневмогідравлічних буферних пристроїв були проведені на натурному мостовому крані 5т40, зав. №2295, установленому на території ДП «Харківський автомобільний завод» (див. рис. 2).



Рис. 2 – Мостовий кран 5т40

Технічна характеристика мостового крана 5т40 наведена в таблиці 1.

Таблиця 1 – Технічна характеристика мостового крана 5т40

Параметр	Значення
Вантажопідйомність, т	5
Прогін, м	22,5
Швидкість пересування крана (номінальна), м/хв.	118,5
Маса крана (повна), кг	18350
Привод механізму пересування – центральний	

Перед початком експериментальних досліджень було виконано обстеження стану захисної системи мостового крана в кінцевій ділянці шляху. Було виявлено, що буфери відсутні, а кінцеві упори виготовлені «кустарним» способом і не відповідають типорозміру крана (див. рис. 3–5).



Рис. 3 – Кінцева балка мостового крана 5т40



Рис. 4 – Кінцевий упор мостового крана 5т40

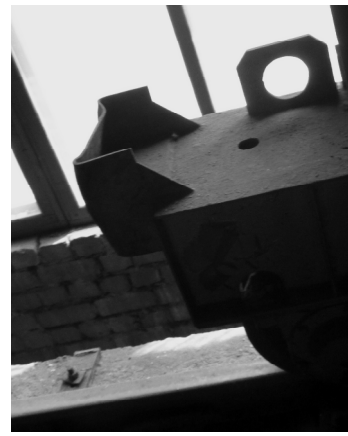


Рис. 5 – Кінцева балка мостового крана 5т40

Для проведення промислового експерименту був розрахований, спроектований і виготовлений кронштейн для кріплення буферного пристрою. Старі кронштейни зрізані з кінцевих балок. На їх місце встановлені нові кронштейни, до яких прикріплені гідроциліндри пневмогідравлічних буферних пристроїв. Також були розраховані, спроектовані та виготовлені нові кінцеві упори, що встановлені замість старих. Після проведення всіх необхідних підготовчих робіт елементи захисної системи мостового крана 5т40 мали такий вигляд (див. рис. 6).



Рис. 6 – Елементи експериментальної захисної системи мостового крана 5т40

Принципова гідравлічна схема пневмогідравлічного буферного пристрою показана на рис. 7. Схема складається з таких елементів: Ц – гідроциліндр; Р – рукав високого тиску; КЗ – клапан зворотний з дроселем; МН – манометр; АК – гідроаккумулятор.

Після монтажу гідроаккумулятора на площадку моста було виконано його з'єднання з гідроциліндром, у тому числі разом зі всіма необхідними гідравлічними складовими (див. рис. 8, 9).

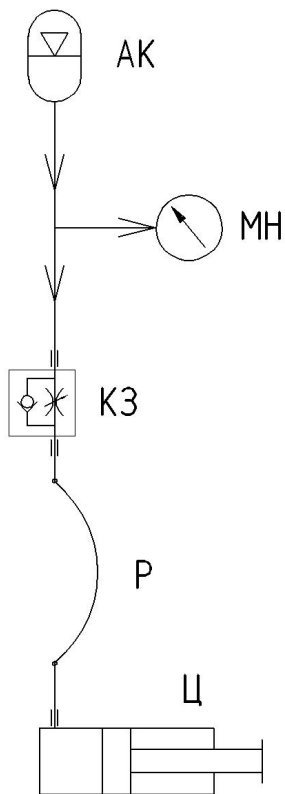


Рис. 7 – Принципова гідралічна схема пневмогідралічного буферного пристрою

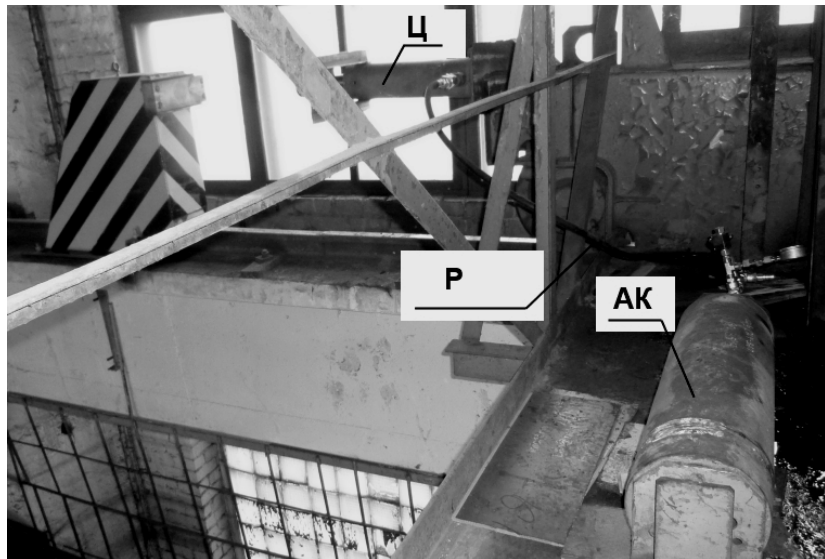


Рис. 8 – Захисна система з пневмогідралічним буферним пристроєм

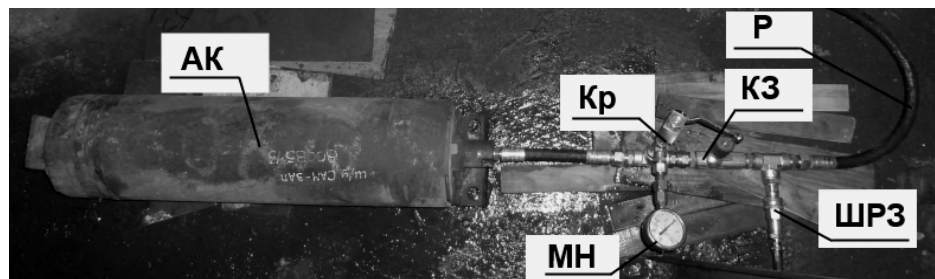


Рис. 9 – Пневмогідроаккумулятор з гідралічною апаратурою

На рис. 9 позначеннями показані такі елементи: АК – гідроаккумулятор; Кр – кран для випускання повітря при нагнітанні робочої рідини в систему; КЗ – клапан зворотний з дроселем; МН – манометр; ШРЗ – швидкокорознімне з'єднання, до якого приєднується насос для нагнітання робочої рідини в систему.

Програмою експериментальних досліджень передбачалось:

- 1) Визначення уповільнень крана за допомогою акселерометра. З цією метою був застосований датчик прискорення фірми Bosch, модель BMA023, установлений в пристрої Samsung IT-I9000, яке працює на операційній системі Android 2.3.6.
- 2) Визначення величини осадки буфера крана в кожний момент часу. Для цього був застосований тріангуляційний лазерний датчик РФ603-125/500-232-INO-AL-(9...36 В), с/н 13503. Технічна характеристика датчика наведена в таблиці 2.

Таблиця 2 – Технічна характеристика тріангуляційного лазерного датчика РФ603-125/500-232-INO-AL-(9...36 В)

Параметр	Значення
Максимальна частота, кГц	9,4
Базова відстань, мм	125
Діапазон, мм	500

3) Зміна швидкості, при якій здійснювався наїзд крана на кінцеві упори.

4) Передбачалось здійснювати наїзд крана на кінцеві упори без вантажу та з вантажем масою до 5 т.

Тріангуляційний лазерний датчик призначений для безконтактного вимірювання та контролю положення й переміщення об'єктів.

Розташування вимірювальних датчиків і вимірювальної апаратури показано на рис. 10. Цифрами на цьому рисунку позначено таке: 1 – пристрій з датчиком прискорення; 2 – тріангуляційний лазерний датчик; 3 – об'єкт стеження для лазера тріангуляційного лазерного датчика; 4 – лазер тріангуляційного датчика; 5 – персональний комп'ютер.

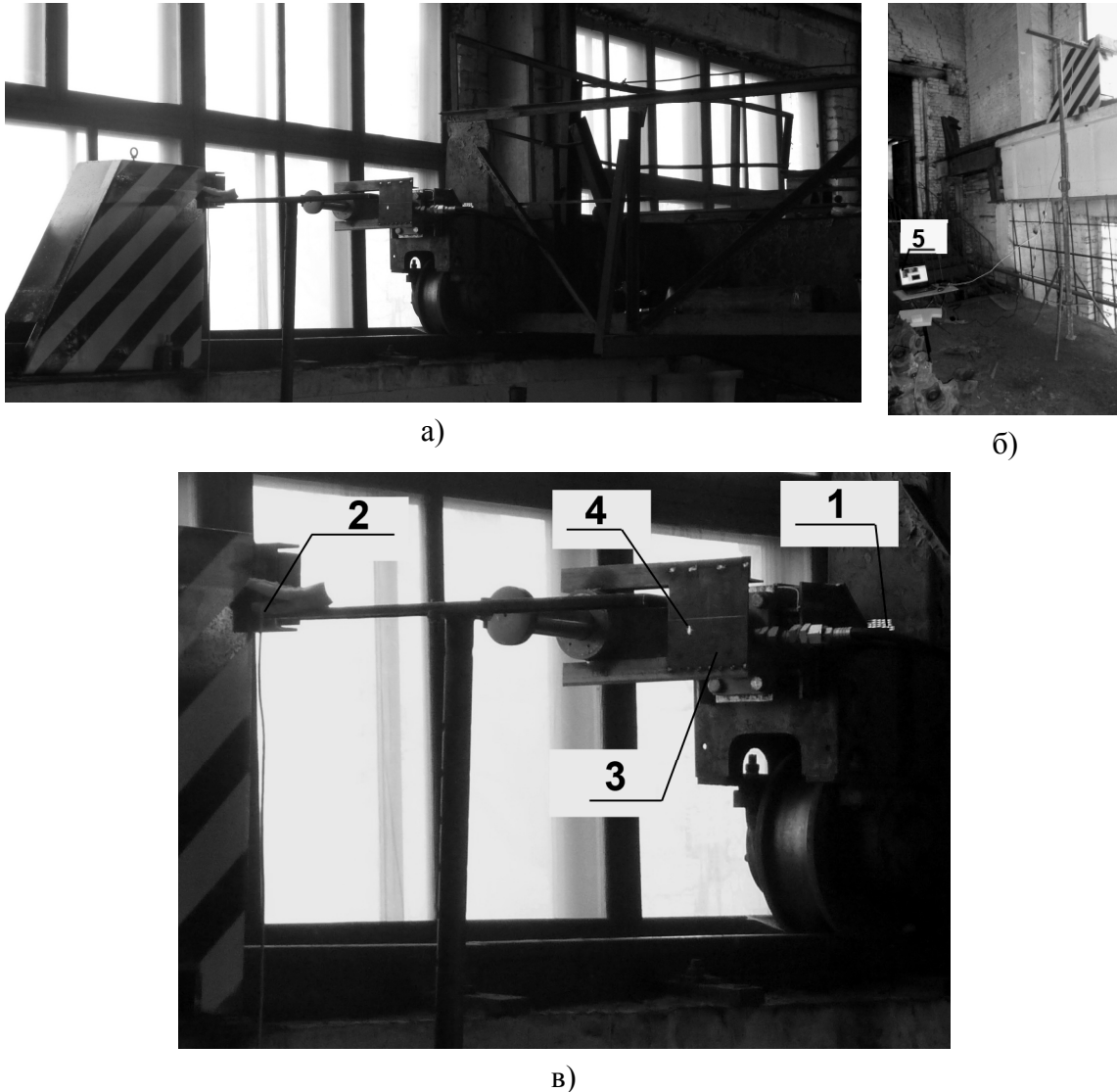


Рис. 10 – Розташування вимірювальних датчиків і вимірювальної апаратури

В процесі експерименту фіксувалась осадка пневмогідравлічного буфера (відстань, на яку шток заходить в гідроциліндр) за часом. Дані, отримані за допомогою лазерного датчика, записувались на персональний комп'ютер. На рис. 11 показана схема установки тріангуляційного лазерного датчика.

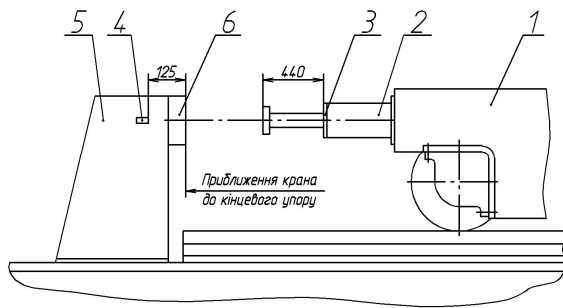


Рис. 11 – Схема установки триангуляційного лазерного датчика

Цифрами на рис. 11 позначені такі елементи: 1 – мостовий кран; 2 – гідроциліндр; 3 – об'єкт стеження; 4 – триангуляційний лазерний датчик; 5 – кінцевий упор; 6 – ударна частина кінцевого упору.

Датчик був установлений з боку кінцевого упору таким чином, щоб лазерний промінь потрапляв на об'єкт стеження, жорстко закріплений на гідроциліндрі пневмогідравлічного

буферного пристрою. Саме так фіксувалось наближення крана до кінцевого упору й осадка буфера. Датчик був зміщений на 125 мм відносно площини ударної частини кінцевого упору, оскільки ця відстань є базовою (на відстані 125 мм і менше положення об'єкта не фіксується). Коли ж від об'єкта стеження до ударної частини кінцевого упору залишається 500 мм, датчик починає фіксувати положення об'єкта. Відстань, яка дорівнює 440 мм, відповідає зіткненню штока гідроциліндра з ударною частиною кінцевого упору, тобто початку роботи пневмогідравлічного буферного пристрою.

Частина вимірювань, зареєстрованих триангуляційним лазерним датчиком, для одного з експериментів при швидкості наїзду крана на кінцевий упор 0,25 м/с, наведена в таблиці 3.

Таблиця 3 – Фрагмент вимірювань

Час, с	Відстань від об'єкта стеження до ударної частини тупикового упору, мм	Час, с	Відстань від об'єкта стеження до ударної частини тупикового упору, мм
1,16	457,3	1,30	429,1
1,17	453,0	1,31	428,5
1,19	448,2	1,33	428,0
1,20	444,4	1,34	427,7
1,22	440,6	1,36	427,5
1,23	437,1	1,37	427,3
1,25	433,9	1,39	427,1
1,26	431,7	1,41	426,9
1,28	430,1	1,42	426,8

Триангуляційний лазерний датчик при вимірюванні відстані до об'єкта стеження дозволяє фіксувати тисячні долі міліметра, але з метою наочності вимірювання були округлені.

Отримані дані дозволяють побудувати графік залежності осадки буфера від часу $S(t)$ (рис. 12, а). Якщо графічно продиференціювати даний графік, то можна отримати графік залежності швидкості пересування крана від часу $V(t)$ (рис. 12, б) і графік залежності уповільнення крана від часу $a(t)$ (рис. 12, в). На графіках, зображених на рис. 12, точка 1

позначає момент наїзду крана на кінцевий упор (тобто початок роботи пневмогідравлічного буфера).

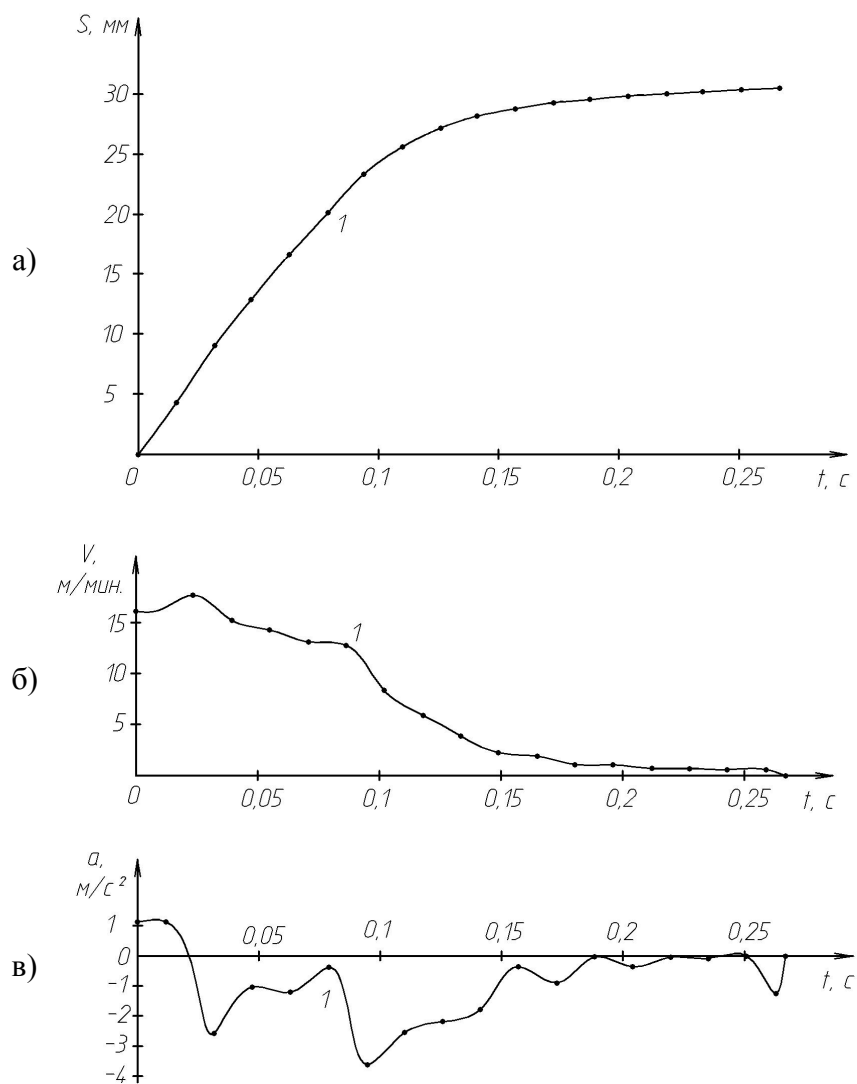


Рис. 12 – Графіки залежності:

а) – осадки буфера від часу $S(t)$

б) – швидкості пересування крана від часу $V(t)$

в) – уповільнення крана від часу $a(t)$

Знаючи ж масу крана, можна побудувати графік залежності ударної сили (з якою кран наїжджає на кінцеві упори) від часу $F(t)$ (рис. 13).

Значення зі знаком «мінус» на графіках, зображених на рис. 13 і 14, позначають, що кран рухається з уповільненням.

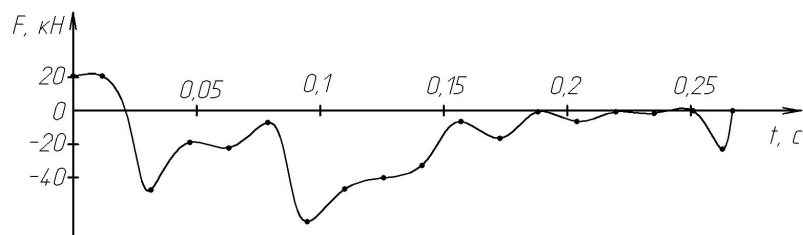


Рис. 13 – Графік залежності $F(t)$

Висновки

1. Розроблена конструкція пневмогідравлічного буферного пристрою є роботоздатною.
2. Пневмогідравлічні буферні пристрої є більш енергоємними в порівнянні з резиновими буферами та тому забезпечують плавну зупинку крана при тих же габаритних розмірах.
3. При експлуатації пневмогідравлічних буферних пристроїв відсутнє відкочування крана, яке є характерним для гравітаційних упорів.
4. Є очевидною можливість використання пневмогідравлічних буферних пристроїв на різних вантажопідіймальних кранах мостового типу при додаткових випробуваннях.

Список використаних джерел:

1. Пат. 69229 UA, МПК⁹ F 16 F 5/00. Захисна система вантажопідіймальних кранів у кінцевих ділянках шляху / С. Л. Смоляков, І. І. Ісьєміні (UA); Укр. інж.-пед. акад. – № у 2011 11415; заявл. 27.09.2011; опубл. 25.04.2012, Бюл. № 8. – 3 с.
2. Ісьєміні І. І. Дослідження динамічних процесів при гальмуванні мостових кранів пневмогідравлічними буферними пристроями / І. І. Ісьєміні, Л. А. Родіонов // Машинобудування : зб. наук. пр. / Укр. інж.-пед. акад. – Х., 2011 – Вип. 7/8. – С. 23–31.
3. Дейнега В. И. Защита мостовых кранов от ударов при наездах на тупиковые упоры : дис. ... канд. техн. наук / В. И. Дейнега. – Новочеркасск, 1988. – 137 с.
4. Джигкаев Т. С. Основы динамики мостовых перегружателей, кранов и их защита от ударов при наезде тележек на упоры : дис. ... д-ра техн. наук / Т. С. Джигкаев. – Новочеркасск, 2001. – 330 с.
5. Ловейкін В. С. Уточнений метод розрахунку динамічних навантажень металоконструкції крану при його наїзді на кінцеві упори / В. С. Ловейкін, Ю. В. Човнюк, Ю. О. Ромасевич // Науковий вісник Луганського національного аграрного університету. Сер.: Технічні науки : зб. наук. пр. – Луганськ, 2009. – № 3. – С. 126–135.
6. Жуков В. Г. Повышение безопасности эксплуатации башенных кранов на рельсовом ходу : дис. ... канд. техн. наук / В. Г. Жуков. – Новочеркасск, 2004. – 174 с.

Ісьєміні І.І., Іванов В.М., Смоляков С.Л. «Проведення експериментальних досліджень пневмогідравлічних буферних пристроїв на мостовому крані 5т40».

В статті описується підготовка та проведення експериментальних досліджень пневмогідравлічних буферних пристроїв на мостовому крані. В результаті виконаних досліджень отримані вимірювання осадки буфера та уповільнення крана за часом.

Ключові слова: мостовий кран, пневмогідравлічний буфер, триангуляційний лазерний датчик, датчик прискорення.

Исьемини И.И., Иванов В.Н., Смоляков С.Л. «Проведение экспериментальных исследований пневмогидравлических буферных устройств на мостовом кране 5т40».

В статье описывается подготовка и проведение экспериментальных исследований пневмогидравлических буферных устройств на мостовом кране. В результате выполненных исследований получены замеры осадки буфера и замедления крана во времени.

Ключевые слова: мостовой кран, пневмогидравлический буфер, триангуляционный лазерный датчик, датчик ускорения.

Isyemini I.I., Ivanov V.N., Smolyakov S.L. “Experimentation of pneumohydraulic buffers at the overhead crane”.

In the article preparation and experimentation of pneumohydraulic buffers at the overhead crane is described. The samples of buffer subsidence and crane deceleration in time in the results of completed experimentation are obtained.

Key words: overhead crane, pneumohydraulic buffer, triangulating laser sensor, acceleration sensor.

Стаття надійшла до редакції 10 грудня 2013 р.

СИНТЕЗ ОПТИМАЛЬНОГО КЕРУВАННЯ РУХОМ КРАНОВОГО ВІЗКА. ЧАСТИНА II

1. Постановка проблеми

У першій частині статті було синтезовано оптимальне керування рухом кранового візка з вантажем при усуненні коливань останнього у момент зупинки візка. Однак процес синтезу керування проходив з припущенням, що обмеження на керування відсутні, що, у загальному випадку, не відображає реальні можливості приводу візка. Отже необхідно певним чином обмежити керуюче зусилля при цьому зберігши його основні властивості – властивість керування по фактичним фазовим координатам системи „візок-вантаж” та властивість усунення коливань вантажу до кінця зупинки візка.

2. Аналіз останніх досліджень та публікацій

Необхідно вказати, що класичне варіаційне числення не дає змоги отримати оптимальне керування при обмеженнях на керування. Виключення можуть становити деякі задачі при розв’язуванні яких використовується метод штрафів [1].

Для отримання оптимального керування при обмеженні його величини придатні методи динамічного програмування та метод принципу максимуму. Принцип максимуму дає змогу отримати необхідні та достатні (для лінійних систем) умови екстремуму функціоналу. Цей метод є більш загальним аніж варіаційне числення: з нього можна отримати умови екстремуму функціоналу – рівняння Ейлера-Пуассона [2]. Принцип максимуму встановлює якісну картину структури оптимального керування, однак він не дає відповіді про кількісні характеристики руху системи. Це означає, що принцип максимуму дозволяє знайти характер функції керування (наприклад, з класу кусочно-постійних функцій і визначити кількість перемикачів керування), але за допомогою інших методів необхідно знаходити координати точок сполучення кусків функції оптимального керування. При розв’язуванні задачі усунення коливань вантажу за найкоротший час такими „допоміжними” методами є метод фазової площини [3] та метод розв’язування трансцендентних рівнянь [4]. Однак, як було вказано у першій частині статті синтезоване за допомогою принципу максимуму оптимальне керування не враховує фактичний стан координат системи.

Інша справа при використанні методу динамічного програмування. Основне функціональне рівняння цього методу, за умови відсутності обмежень, дає змогу синтезувати оптимальне керування у формі зворотного зв’язку. Однак накладання на керування обмежень сильно ускладнюють вихідну задачу. Що стосується дискретної форми динамічного програмування (так званий багатокроковий процес прийняття рішень щодо керування), то Р.Беллман вказує [5], що сама природа обмежень на керування „допомагає” розв’язувати задачу. Дійсно, не потрібно перебирати увесь спектр можливих керувань на кожному кроці, оскільки ширина зони перебору керувань апіорі обмежена. Нажаль, таке твердження не поширюється на неперервний аналог динамічного програмування.

3. Постановка мети та задач дослідження

Метою приведенного дослідження у другій частині статті є розробка алгоритму роботи системи керування рухом кранового візка, при якій би обмеження на керування були враховані. Відповідно до мети ставляться такі задачі: 1) проаналізувати вплив на величину керування коефіцієнту δ_u ; 2) визначити умову закінчення перехідного процесу; 3) запропонувати алгоритм роботи цифрової системи керування при якому б враховувались обмеження на керування; 4) вказати перспективи подальших досліджень у напрямку використання розробленої методики обмеження динамічних на кінематичних характеристик руху динамічних систем.

4. Виклад основного матеріалу

Вираз оптимального керування, отриманого у першій частині дослідження має такий вигляд $u = u(\dot{x}_2, \ddot{x}_2, \ddot{x}_2, \delta_0, \delta_1, \delta_2, \omega)$. Оскільки фазові координати при керуванні системою постійно змінюються, то у деякий момент часу може бути, що $u > u_{\max}$. При цьому вважається, що коефіцієнти при одиничних критеріях у виразі (10) першої частини статті є постійними величинами. Вибір цих коефіцієнтів проводиться різними способами: експертним [6]; шляхом забезпечення додаткових крайових умов руху системи [7] або більш загально – шляхом мінімізації термінального функціоналу; шляхом мінімізації додаткових критеріїв руху системи [8]; шляхом забезпечення допустимих значень кінематичних або динамічних характеристик руху системи [9]. Саме останній спосіб дозволяє забезпечити обмеження накладені на керування. Покажемо це на прикладі: обмеження накладені на керування $|u| \leq 0,6$, що відповідає максимальному значенню динамічної складової приводного зусилля $F_{\text{дин}} = F - W = 600 \text{ Н}$. Побудуємо графіки керування та фазовий портрет системи (рис. 1). Точкою на рис. 1, б позначено початок координат (ця точка відповідає умові коли візок зупиняється і коливання вантажу затухають). Графіки побудовані при $\delta_u = 0,7$.

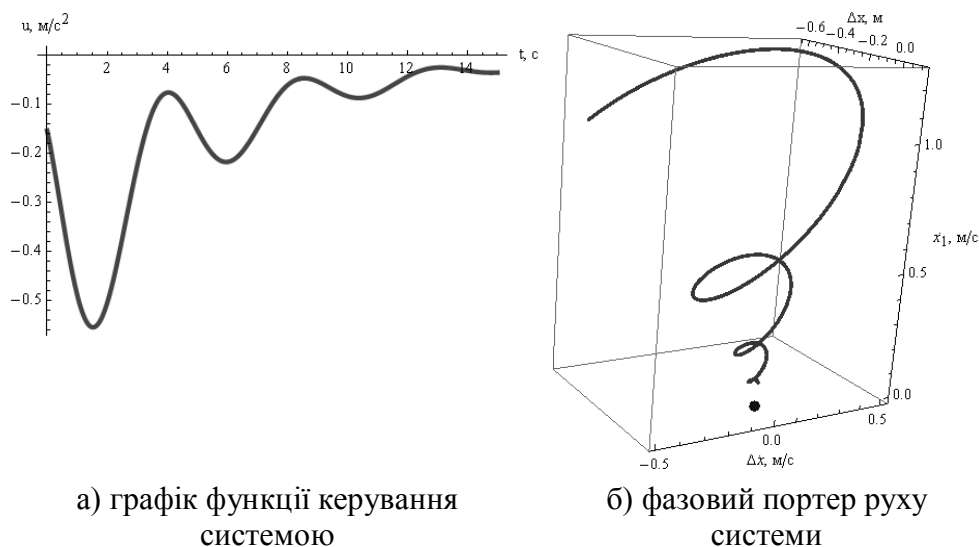


Рис. 1 – Керування системою при обмеженні $|u| \leq 0,6$ та відповідний йому фазовий портрет руху системи

Зазначимо, що графіки на рис. 1 побудовані при тривалості гальмування 15 с, що практично „не вигідно”, оскільки при цьому затягується перехідний процес. Таке затягування перехідного процесу необхідне для досягнення фазовою точкою околу початку координат. Аналізуючи графік приведений на рис. 1, а можна сказати, що керування досягає свого максимального значення лише у один момент часу (приблизно 1,7 с від початку гальмування). На всьому часовому проміжку, за виключенням вказаної точки, виконується строга нерівність $|u| < 0,6$. Саме це і є причиною затягування перехідного процесу: невелике значення керування призводить до невеликих змін фазового стану системи у часі. Система повільно рухається до вказаної точки початку координат. Звідси випливає очевидний висновок: необхідно таким чином обирати керування, щоб якомога інтенсивніше змінювати фазовий стан системи у бік досягнення початку координат. Цього можна досягти варіацією коефіцієнту, тобто $\delta_u = \delta_u(u_{\max}, u)$, на всьому проміжку гальмування візка. Пояснимо більш детально: зменшуючи δ_u ми встановлюємо малу питому вагу керування у критерії (вираз (10) першої частини дослідження). Тому керування може бути дуже велике оскільки воно мало впливає на величину критерію (дійсно ваговий коефіцієнт δ_u є множником при керуванні; навіть дуже велике значення керування не значно вплине на величину критерію). Навпаки: збільшення δ_u призведе до зменшення керування, оскільки зростає його питома вага у критерії. Таким чином, змінюючи δ_u можна змінювати величину керування для задоволення обмежень накладених на нього.

Необхідно зазначити, що більш інтенсивніший рух системи відбувається при максимальному керуванні. Функція керування, у загальному випадку, буде мати відрізки постійних керувань (як додатних так і від’ємних) і відрізки, які сполучають відрізки постійних керувань. Отже функція керування, у загальному випадку, є кусковою. Очевидно, що кусковою буде і функція δ_u , адже вона також обмежена $0 \leq \delta_u \leq 1$. Крайні величини нерівності відповідають частинним оптимізаційним задачам: при $\delta_u = 0$ мінімізується лише сума квадратів фазових координат, при $\delta_u = 1$ мінімізується лише керування. Аналітичне дослідження функції δ_u є складною задачею. Однак ця задача суттєво спрощується, якщо від неперервної задачі перейти до її дискретного варіанту. Отже будемо розглядати лише дискретні значення фазових координат $\dot{x}_2(j\Delta t)$, $\ddot{x}_2(j\Delta t)$, $\ddot{\ddot{x}}_2(j\Delta t)$ та керування $u(j\Delta t)$ у визначені моменти часу $t = 0, \Delta t, 2\Delta t, \dots, n\Delta t = T$ ($j = 0, 1, 2, \dots, n$). Крім того, будемо вважати, що система керування обладнана датчиком, який вимірює фактичні кінематичні функції вантажу (наприклад, цифровий енкодер). Зазначимо, якщо у системі керування відсутній зворотній зв’язок по фазовим координатам динамічної системи „візок-вантаж”, то керування у в цьому випадку може бути реалізоване: у першій частині отримана функція $x_2(t)$. Знаходячи її вищі похідні та підставляючи їх у вираз $u = u(\dot{x}_2, \ddot{x}_2, \ddot{\ddot{x}}_2, \delta_0, \delta_1, \delta_2, \omega)$, можна отримати керування $u = u(\delta_0, \delta_1, \delta_2, \omega)$. Однак таке керування втрачає властивість

оптимальності при зовнішніх стохастичних впливах на систему, оскільки воно отримано з умови абсолютної визначеності, передбачуваності руху системи.

Відмітимо ще один момент при побудові дискретного оптимального керування. З рис. 1 видно, якщо фазова точка знаходиться поблизу початку координат, то керування є невеликим. Назвемо таке керування слабким. Слабке керування, впливаючи на рух динамічної системи, повільно змінює її стан – фазова точка повільно рухається до початку координат, що означає затягування перехідного процесу. Тому тут потрібно приймати певний компроміс – необхідно визначити тривалість перехідного процесу при якому він би був достатньо швидкоплинний і при цьому швидкість руху візка і коливання вантажу були б достатньо малими (практично нульовими). Математично це означає, що необхідно визначити таку тривалість руху системи T , при якій би відстань від фазової точки до початку координат не перевищувала наперед встановленої величини:

$$E_{окіл}(T) \leq E_{\max}, \quad (1)$$

де $E_{\max}$ – максимально-допустима величина радіусу околу початку координат; $E_{окіл}(T)$ – відстань від фазової точки до початку координат у момент часу T , у даному випадку:

$$E_{окіл}(T) = \frac{\sqrt{\dot{x}_2^2(T) + \ddot{x}_2^2(T) + \ddot{x}_2^2(T)}}{\omega^2}. \quad (2)$$

У якості $E_{окіл}(T)$ можна обрати також іншу величину:

$$E_{окіл}(T) = \dot{x}_1^2(T) + \Delta x^2(T)\omega^2 + \Delta \dot{x}^2(T) = \left(\dot{x}_2(T) + \frac{\ddot{x}_2(T)}{\omega^2} \right)^2 + \frac{\ddot{x}_2^2(T)}{\omega^2} + \frac{\ddot{x}_2^2(T)}{\omega^4}. \quad (3)$$

Вираз (3) відповідає сумі питомої енергії коливань вантажу (доданок $\Delta x^2(T)\omega^2 + \Delta \dot{x}^2(T)$) та питомої кінетичної енергії руху візка (доданок $\dot{x}_1^2(T)$). Вираз (3), на наш погляд, краще відображає енергетичні показники процесу гальмування. Дійсно, „ідеальний” процес гальмування закінчується у момент часу коли сума кінетичної енергії руху візка та енергії коливання вантажу стає рівною нулю.

Постає питання, як обрати $E_{\max}$? Відповідь на нього можна знайти проаналізувавши практичну сторону процесу усунення коливань вантажу на гнучкому підвісі. Існує якась межа коливань, при якій дозволяється виконувати подальші технологічні операції (зняти вантаж з гака, опускати його на платформу тощо). Цією межею є максимальне відхилення вантажу від вертикалі:

$$\Delta x_{\max} = \frac{l}{g} \ddot{x}_{2\max} = \frac{\ddot{x}_{2\max}}{\omega_0^2}, \quad (4)$$

де $\ddot{x}_{2\max}$ – максимальне прискорення вантажу, яке відповідає максимально дозволеному, за технологічними вимогами, відхиленню вантажу від вертикалі $\Delta x_{\max}$. Отже можемо записати, чому дорівнює радіус околу початку координат:

$$E_{\max} = \frac{\sqrt{\ddot{x}_{2\max}^2}}{\omega^2} = \Delta x_{\max}. \quad (5)$$

Вираз (2) необхідно порівнювати з виразом (5) для знаходження тривалості гальмування T . Якщо ж використовується вираз (3), то таке порівняння необхідно виконувати з квадратом виразу (5). У цьому випадку порівнюються повна енергія руху візка і вантажу (3) та енергія допустимої величини коливань.

Приведемо алгоритм роботи системи керування, яка б враховувала обмеження накладені на керування (рис. 2). Докладно опишемо процес формування керуючого сигналу на одному кроці (при переході від $t = i\Delta t$ до $t = (i+1)\Delta t$) при цьому будемо вважати, що початкові фазові координати, а також параметри системи задані:

- 1) задають значення δ_u якнайменше;
- 2) розраховують значення керування для фазових координат $\dot{x}_2(i\Delta t)$, $\ddot{x}_2(i\Delta t)$, $\ddot{\ddot{x}}_2(i\Delta t)$ та найменшого значення коефіцієнту δ_u ;
- 3) порівнюють отримане значення керування з максимальним $u_{\max}$. Якщо виконується умова $|u| \leq u_{\max}$, то отриманий сигнал керування видається на виконавчий пристрій. Якщо умова $|u| \leq u_{\max}$ не виконується, то збільшують значення коефіцієнту δ_u та повертаються до другого кроку. Така зміна коефіцієнту δ_u через деяку кількість циклів приведе до виконання умови $|u| \leq u_{\max}$. Після цього відбувається видача керуючого сигналу;
- 4) дискретний час системи збільшується $t := t + \Delta t$. Фактично це означає, що цифрова система керування „спить” протягом часу Δt ;
- 5) відбувається опитування датчика фазових координат системи, для того, щоб визначити у який новий фазовий стан $\dot{x}_2((i+1)\Delta t)$, $\ddot{x}_2((i+1)\Delta t)$, $\ddot{\ddot{x}}_2((i+1)\Delta t)$ перейшла система від дії керування;
- 6) визначається величина околу для нового фазового стану $E_{\text{окіл}}((i+1)\Delta t)$;
- 7) відбувається порівняння визначеного значення $E_{\text{окіл}}((i+1)\Delta t)$ з допустимим за технологічними вимогами $E_{\max}$, тобто перевіряється умова $E_{\text{окіл}}((i+1)\Delta t) \leq E_{\max}$. Якщо умова виконується, то це означає, що необхідно закінчувати процес керування. Якщо умова не виконалась, то необхідно надалі продовжувати керування, для чого необхідно повернутись на перший крок.

У результаті роботи такого алгоритму отримуємо переміщення фазових змінних динамічної системи „візок-вантаж” у достатньо малий окіл початку координат при обмеженні на керування. Фактично це означає зупинку візка з практично відсутніми коливаннями вантажу.

Приведемо графік, отриманого при роботі цього алгоритму, керування та графік функції δ_u (рис. 3). Графіки побудовані при таких параметрах: $m_1 = 1000 \text{ кг}$, $m_2 = 1000 \text{ кг}$, $l = 10 \text{ м}$, $x_{20} = -0,5 \text{ м}$, $\dot{x}_{20} = 1,5 \text{ м/с}$, $\ddot{x}_{20} = -0,5 \text{ м/с}^2$, $\ddot{\ddot{x}}_{20} = -0,5 \text{ м/с}^3$, $\Delta x_{\max} = 0,05 \text{ м}$ (амплітуда залишкових коливань вантажу становить всього 5 см при довжині канату 10 м).

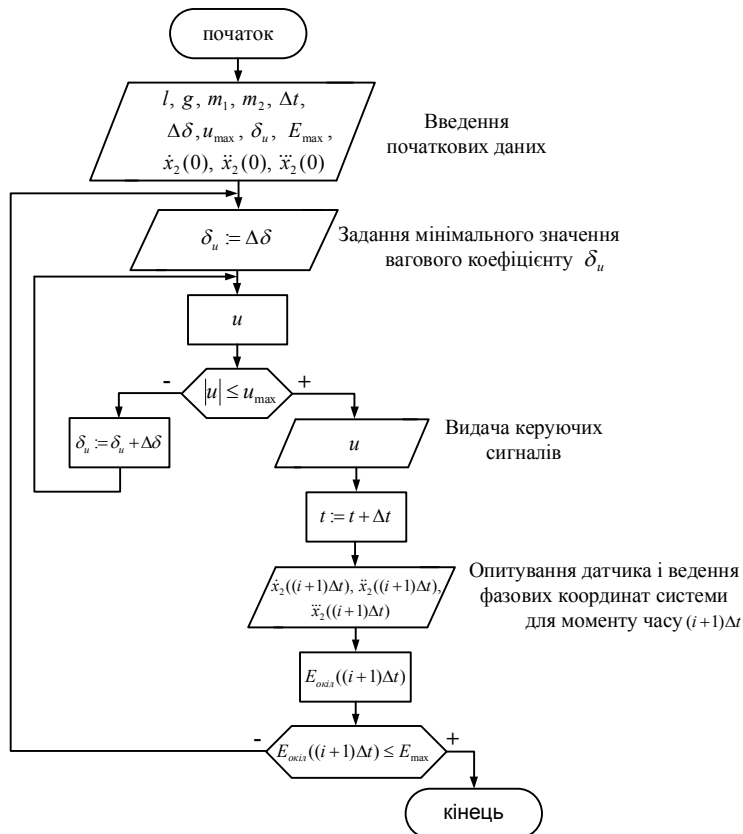
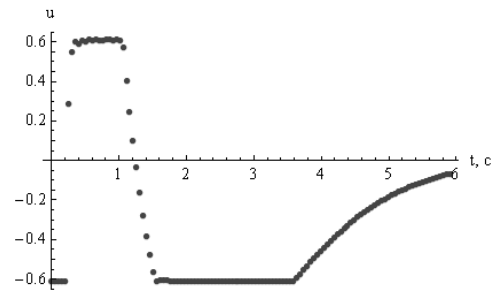
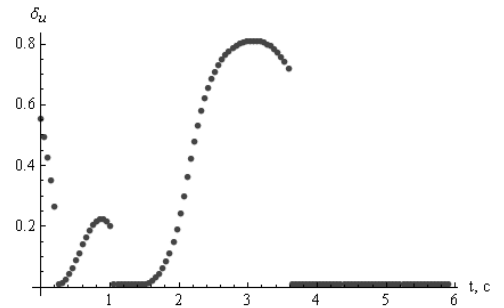


Рис. 2 – Алгоритм роботи цифрової системи керування роботою кранового візка з вантажем при обмеженні на керування



а) графік функції керування системою



б) графік функції зміни коефіцієнту δ_u

Рис. 3 – Керування системою при обмеженні $|u| \leq 0,6$ та коефіцієнт δ_u варіація якого забезпечує це обмеження

З рис. 3, а добре видно, що керування не перевищує встановлених обмежень. Графік функції керування представляє собою ділянки постійності керування та ділянки, які поєднують між собою постійні значення керування. Аналізуючи графік, представлений на рис. 3, б впевнюємось у вірності припущень щодо кусковості функції δ_u .

У деяких випадках окрім обмежень на керуюче зусилля вводяться інші обмеження, наприклад, на швидкість зміни керування (на його першу похідну за часом), тобто:

$$|\dot{u}| \leq \dot{u}_{\max}, \quad (6)$$

де $\dot{u}_{\max}$ – максимально допустима швидкість зміни керуючого зусилля. Таке обмеження може виникнути у зв'язку з обмеженими можливостями зміни моменту двигуна, який керується від частотного перетворювача. Врахування цього обмеження виконується аналогічно, алгоритм (рис. 2) змінюється лише у одній частині – додається блок перевірки обмеження (6). Приведемо лише ту частину алгоритму, яка відноситься до виконання обмежень (рис. 4).

Варіація коефіцієнту δ_u на кожному кроці розрахунку керування дозволяє виконувати різноманітні обмеження, наприклад, кінематичні. У першій частині статі було використано припущення $\text{sign} \dot{x}_1 = 1$ для $t \in [0, T]$, що означає, що швидкість візка не змінюється за знаком.

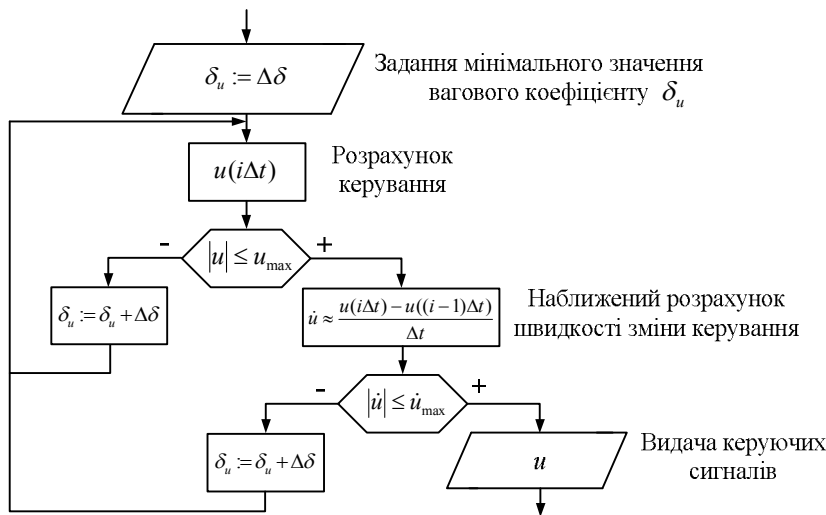


Рис. 4 – Частина алгоритму роботи цифрової системи керування роботою кранового візка з вантажем при обмеженні на керування та швидкість його зміни

Звичайно, можна забезпечити це обмеження додаванням або відніманням від приводного зусилля величини статичного опору переміщенню візка W . Тобто, у випадку коли $\text{sign}\dot{x}_1 = 1$ для $t \in [0, T]$ до приводного зусилля F необхідно додавати величину W . У випадку коли $\text{sign}\dot{x}_1 = -1$ від величини F необхідно

віднімати W . Однак у момент зміни знаку функції $\text{sign}\dot{x}_1$ приводне зусилля буде мати розрив першого роду, що є небажаним. Однак можливість варіації коефіцієнту δ_u дає змогу будувати такий алгоритм синтезу керування при якій би функція $\text{sign}\dot{x}_1$ не змінювала свій знак, отже функція F не буде мати розривів. Це досягається деяким ускладненням алгоритму: необхідно контролювати величину швидкості візка $\dot{x}_1$ і якщо $\dot{x}_1$ є близькою до нуля, а коливання вантажу іще мають досить велику енергію, то необхідно навмисно збільшувати швидкість візка, збільшенням величини керування за допомогою варіації δ_u . На деякому проміжку руху можуть виникнути випадки що це зробити неможливо, тоді необхідно збільшувати швидкість візка відхиляючись від оптимального керування, тобто коригувати керування у „неоптимальну” область. Після короточасної дії „неоптимального” керування необхідно знову починати оптимальне керування, при цьому передісторія руху динамічної системи „візок-вантаж” нас не цікавить, а цікавлять лише поточні значення фазових координат.

Висновки

Підсумовуючи першу та другу частини даного дослідження можна сказати, що синтезовано оптимальне керування рухом кранового візка з вантажем при обмеженні на величину керування. Метод, який використовується для синтезу – аналітичний (динамічне програмування), однак вирахування обмеження на керування проходить дискретно. Методика дискретного обмеження керування може бути поширена також на інші динамічні та кінематичні показники руху динамічної системи.

Отримане керування може бути використане для підвищення продуктивності роботи прольотних кранів, особливо, якщо вони працюють у стохастичних зовнішніх середовищах.

Список використаних джерел:

1. Петров Ю. П. Вариационные методы теории оптимального управления / Ю. П. Петров. – Л.: Энергия, 1977. – 280 с.
2. Перестюк М.О. Варіаційне числення та методи оптимізації: навчальний посібник / М. О. Перестюк, О. М. Станжицький, О. В. Капустян, Ю. В. Ловейкін. – К.: Видавничо-поліграфічний центр „Київський університет”, 2010. – 144 с.
3. Григоров О. В. Вантажопідйомні машини: навчальний посібник / О. В. Григоров, Н. О. Петренко. – Х. : НТУ „ХПІ”, 2006. – 304 с.
4. Герасимьяк Р. П. Анализ и синтез крановых электромеханических систем / Р. П. Герасимьяк, В. А. Лещёв. – Одесса: СМІЛ, 2008. – 192 с.
5. Беллман Р. Процессы регулирования с адаптацией / Р. Беллман ; пер. с англ. Ю. П. Леонова, И. А. Литовченко, Э. Л. Наппельбаума, Т. И. Товстухи ; под. ред. А. М. Летова. – М.: Наука, 1964. – 360 с.
6. Моделювання динаміки механізмів вантажопідйомних машин / [В. С. Ловейкін, Ю. В. Човнюк, М. Г. Діктерук, С. І. Пастушенко]. – К. ; Миколаїв: РВВ МДАУ, 2004. – 286 с.
7. Ромасевич Ю. О. Оптимізація перехідних режимів руху вантажного візка прольотних кранів: автореф. дис. на здобуття наук. ступеня канд. техн. наук: спец. 05.05.05 „Піднімально-транспортні машини” / Ю. О. Ромасевич. – К., 2010. – 22 с.
8. Ловейкин В. С. Расчеты оптимальных режимов движения механизмов строительных машин / В. С. Ловейкин. – К.: УМК ВО, 1990. – 168 с.
9. Ловейкін В. С. Оптимізація перехідних режимів руху механічних систем прямим варіаційним методом В. С. Ловейкн, Ю. О. Ромасевич. – К.; Ніжин: Видавець ПП Лисенко М.М., 2010. - 184 с.

Ловейкін В.С., Ромасевич Ю.О. «Синтез оптимального керування рухом кранового візка. Частина II».

Показано вплив на величину оптимального керування динамічною системою „кран-вантаж” значення вагового коефіцієнту, що входить у структуру оптимізаційного критерію і відображає „ціну” на керування. Встановлено умову закінчення керування динамічною системою. Розроблено алгоритм роботи цифрової системи керування рухом кранового візка з вантажем при обмеженні на керування. Запропоновано поширити алгоритм для виконання обмежень на швидкість зміни керування системою.

Ключові слова: оптимальне керування, вантажопідйомний кран, обмеження на керування, цифрова система, алгоритм.

Ловейкин В.С., Ромасевич Ю.А. «Синтез оптимального управления движением крановой тележки. Часть II».

Показано влияние на величину оптимального управления динамической системой „кран-груз” значения весового коэффициента, который входит в структуру оптимизационного критерия и отражает „цену” на управление. Установлено условие

окончания управления динамической системой. Разработан алгоритм работы цифровой системы управления движением крановой тележки с грузом на гибком подвесе при ограничении на управление. Предложено расширить алгоритм для выполнения ограничений на скорость изменения управления системой.

Ключевые слова: оптимальное управление, грузоподъемный кран, ограничение на управление, цифровая система, алгоритм.

Loveykin V.S., Romasevichy Y.O. “Crane carriage movement optimal control. Part II”.

The influence to value of optimal control by dynamical system „crane-load” value of weighting coefficient, witch belonging to structure of optimization criteria and correspond to „coast” of control has been showed. Condition of ending control dynamical system has been stated. Algorithm of working of digital control system of crane carriage movement with load at flexible suspension accounting control constraint has been developed. Algorithm has been proposed flare for implementation of limit condition by speed of changing of system control.

Key words: optimal control, load-lifting crane, control limit, digital system, algorithm.

Стаття надійшла до редакції 10 вересня 2013 р.

ДО РОЗРАХУНКУ НА МІЦНІСТЬ БАРАБАНА, ЩО МАЄ ПІДКРІПЛЮЮЧІ КІЛЬЦЯ

1. Постановка проблеми

Розрахунки обичайки барабана на стійкість не враховують ряду факторів, таких, як вплив закладення лобовин, довжину барабана, змінність навантаження. Як підсумок, стійкість барабана недооцінюють. Тому в багатьох випадках встановлення ребер та кілець жорсткості є зайвим.

Розрахунки канатних барабанів, що мають ребра та кільця жорсткості, не враховують концентрацію напружень, яка виникає в місцях приварювання, а також роботу підсилюючих елементів, що встановлено під витками каната.

Назріла необхідність уточнити вплив вище зазначених факторів на роботу барабанів, підкріплених кільцями, в умовах одношарової та багатошарової навивок каната.

2. Аналіз останніх досліджень та публікацій

Розрахунок товщини стінки шахтного барабану засновано на формулі, отриманій академіком Федоровим М. М. [7].

$$S = \frac{\rho_e}{1 + \frac{R_d}{P_s}}, \quad (1)$$

де S – товщина стінки циліндра; ρ_e – зовнішній радіус циліндра барабана (металева частина); P_s – питомий розрахунковий тиск елемента витка каната на поверхні барабана; R_d – допустиме напруження стискання.

Розрахунковий питомий тиск P_s елемента витка каната визначають за формулою

$$P_s = \frac{T}{\rho_e(d + \varepsilon)} \frac{b}{B}, \quad (2)$$

де T – середня величина натягіння каната; b – робоча ширина барабана; d – діаметр каната; ε – зазор між витками каната; B – будівельна ширина барабана, тобто відстань між ребордами.

Приймають наступний закон змінення натягіння каната, що підіймається,

$$T_a = [Q_0 + P(H - x)] \left(1 + \frac{\ddot{x}}{g} \right), \quad (3)$$

де x – вертикальна координата положення вантажу; Q_0 – вага вантажу, що підіймається; P – погонна вага каната; H – висота підйому.

З. М. Федорова [8] пропонувала вважати натягіння каната $T = \text{const}$, а товщину стінки визначати по формулі

$$\delta = \frac{T + 0,5 \frac{E_k S_{\text{пр}}}{E_{\text{об}}} [\sigma_{\text{ст}}]}{[\sigma_{\text{ст}}] t}, \quad (4)$$

де $[\sigma_{\text{ст}}]$ – допустиме напруження стискання; E_{κ} – модуль пружності каната; $E_{об}$ – модуль пружності сталеві оболонки; S_{np} – площа перерізу дроту в канаті; t – крок навивки в канаті.

Стик лобовини та обичайки розраховують на згин із умови сумісної деформації. Крайовий момент M_0 виникає під впливом стискання лобовини витками каната, що приходить на 1 см кола оболонки [8].

$$M_0 = \frac{p'_\delta}{2\beta_0^2} \frac{A_0}{1+\psi_0}, \quad (5)$$

де $p'_\delta = \alpha \frac{T}{Rt}$ – питомий тиск каната на оболонку; $\alpha = \frac{1}{1 + 0,5 \frac{E_{\kappa}}{E_{об}} \frac{S_{np}}{\delta t}}$;

$\beta_0 = \frac{1,285}{\sqrt{Rt}}$ – коефіцієнт пружною відсічі оболонки;

$$\psi_0 = 2,6 \sqrt{\frac{R}{\delta}} \left(\frac{\delta}{\delta_{лб}} \right)^3 \frac{1 - \left(\frac{r_{\text{ст}}}{R} \right)^2}{1 + \mu + (1 - \mu) \left(\frac{r_{\text{ст}}}{R} \right)^2};$$

$\delta_{лб}$ – товщина стінки лобовини; $r_{\text{ст}}$ – радіус маточини барабану; A_δ , B_δ – коефіцієнти, що залежать від відстані a поверхні навивки барабана до лобовини, і коефіцієнту відсічі β_0 .

Таким чином, розрахунки барабанів не враховують а ні довжини оболонки, а ні жорсткості з'єднання лобовини обичайкою.

3. Постановка мети та задач дослідження

Наявність підкріплень обичайки канатного барабана у вигляді ряду кілець, що обмежують або взагалі виключають можливість викривлення форми кола, значно змінює характер розподілення напружень. Розв'язок задачі про сумісну роботу циліндричної оболонки і кільця жорсткості при несиметричному навантаженні, тобто навантаженні обичайки витками каната з урахуванням сил тертя, пов'язано зі значними системними труднощами. Наближені рішення поставленої задачі, що є близькими до рішення в точній постановці та з найменшими затратами по аналітичній і обчислювальній роботі, можуть бути отримані двома підходами.

Перший – вивчати задачу несиметричного навантаження обичайки як у осьовому, так і у коловому напрямках, тобто з урахуванням дійсного навантаження стінки обичайки витками каната, і з жорсткими підкріплюючими кільцями. У цьому випадку при рішенні задачі про визначення НДС циліндричної обичайки необхідно відокремлювати декілька розрахункових ділянок та, як наслідок, це приводить до несиметричних граничних умов. Рішення в цьому випадку необхідно знаходити, зазвичай, у вигляді суми загального рішення однорідного рівняння та окремого рішення рівняння, що має праву частину.

Інший (другий) спосіб рішення основної задачі – звести задачу розрахунку обичайки барабана до випадку симетричного навантаження витками каната у коловому напрямку. У

цьому випадку можливо або прийняти коефіцієнт тертя канат-поверхня обичайки рівним нулю, або врахувати вплив коефіцієнта тертя змінням напруження «від витка до витка».

4. Виклад основного матеріалу

4.1. Обичайка канатного барабана, підкріплена кільцем жорсткості, під дією рівномірного радіального навантаження без урахування тертя між витками каната та барабаном

В роботі використано наступні позначення: u, v, w – переміщення в напрямках осей відповідно $x, y(\varphi), z$ (рис. 1); a – радіус оболонки; E – модуль пружності першого роду; h – товщина оболонки; μ – коефіцієнт Пуассона; $N_{x\varphi}, N_{\varphi x}$ – зусилля, що зсувають у відповідних напрямках; $\varepsilon_x, \varepsilon_\varphi, \gamma_{x\varphi}$ – відносні деформації у відповідних напрямках; $N_x, N_\varphi, N_{x\varphi}$ – мембранні зусилля; $M_x, M_\varphi, M_{x\varphi}$ – згинаючі моменти; X, Y, Z – складові зовнішнього навантаження.

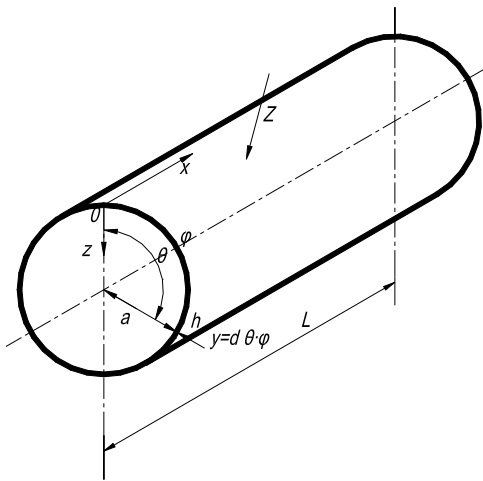


Рис.1 – Розрахункова схема

Безперечний інтерес представляє розв'язок задачі напружено-деформованого стану стінки барабана, що підкріплена кільцем жорсткості і навантажена k витками каната (випадок $f = 0$, де f – коефіцієнт тертя між поверхнею барабана і витками каната). У такій постановці вдалося отримати розв'язок у замкненій формі з урахуванням сумісної роботи оболонки і підкріплюючого кільця. Зрозуміло, що це – випадок максимального навантаження стінки, якщо величина f значна, то рівень компонент напружено-деформованого стану нижчий, ніж при $f = 0$.

Обичайка барабана підкріплена кільцем і навантажена рівномірним навантаженням P_0 , що прикладене по k замкнених кіл (рис. 2).

Так як навантаження P_0 осесиметричне, то в зоні контакту оболонка – кільце виникає реакція тиску P_f , розподіленого по лінії кола (товщина кільця покладається малою порівняно з довжиною оболонки). При $f = 0$ амплітуда розкладання навантаження Z_{jmn} буде мати вигляд:

$$Z_{10n} = \frac{2P_0}{l} \sum_{j=1}^k \sin \left\{ \frac{\lambda_n}{a} [x_0 + (j-1)H] \right\} \quad (m=0; n=1,2,3...) \quad (6)$$

$$Z_{1mn} = 0 \quad (m=1,2,3...; n=1,2,3...)$$

$$Z_{2mn} = 0 \quad (m=1,2,3...; n=1,2,3...)$$

Вирази для прогину та силових факторів:

$$w = \frac{l^4}{D} \sum_{n=1}^{\infty} \varphi_{0n} Z_{10n} \sin \frac{\lambda_n}{a} x,$$

$$N_x = 0; \quad N_\varphi = -\frac{E}{\gamma} w, \quad M_x = \alpha^2 l^2 \sum_n \varphi_{0n} Z_{10n} \lambda_n^2 \sin \frac{\lambda_n}{a} x, \quad M_\varphi = \mu M_x;$$

де $\lambda_n = n\pi a/l$.

Підставимо w у вигляді:

$$w = \frac{l^4}{D} \sum_{n=1}^{\infty} \frac{1}{\pi^4 \left[n^4 + 12(1-\mu^2)\gamma^2 \frac{\alpha^4}{\pi^4} \right]} \frac{2P_0}{l} \sum_{j=1}^k \sin \left[n\pi \frac{x_0 + (j-1)H}{l} \right] \sin n\pi \frac{x}{l} \quad (7).$$

Введемо позначення:

$$\beta^4 = \frac{3(1-\mu^2)}{a^2 h^2} = \frac{3(1-\mu^2)\gamma^2}{a^4}, \quad x_j = x_0 + (j-1)H, \quad \text{тоді } w = \frac{2P_0 l}{D\pi^4} \sum_{j=1}^k \sum_{n=1}^{\infty} \frac{\sin \left(\frac{n\pi x_j}{l} \right) \sin \left(\frac{n\pi x}{l} \right)}{n^4 + \frac{4\beta^4 l^4}{\pi^4}} \quad (8).$$

Зауважимо, що $\frac{1}{n^4 + \frac{4\beta^4 l^4}{\pi^4}} = \frac{1}{2u^2} \left(\frac{1}{n^2 - u^2} - \frac{1}{n^2 + u^2} \right)$,

де $u^2 = 2i \frac{\beta^2 l^2}{\pi^2}$, $i = \sqrt{-1}$, $\sin \frac{n\pi x_j}{l} \sin \frac{n\pi x}{l} = \frac{1}{2} \left[\cos \frac{n\pi}{l} (x - x_j) - \cos \frac{n\pi}{l} (x + x_j) \right]$.

Запишемо:

$$\sum_{n=1}^{\infty} \frac{\sin \frac{n\pi x_j}{l} \sin \frac{n\pi x}{l}}{n^4 + \frac{4\beta^4 l^4}{\pi^4}} = \frac{1}{4u^2} \left[\sum_{n=1}^{\infty} \frac{\cos \frac{n\pi}{l} (x - x_j)}{n^2 - u^2} - \sum_{n=1}^{\infty} \frac{\cos \frac{n\pi}{l} (x + x_j)}{n^2 - u^2} - \sum_{n=1}^{\infty} \frac{\cos \frac{n\pi}{l} (x - x_j)}{n^2 + u^2} + \sum_{n=1}^{\infty} \frac{\cos \frac{n\pi}{l} (x + x_j)}{n^2 + u^2} \right]$$

За формулами ВБ1 та ВВ1 [9]:

$$\sum_{n=1}^{\infty} \frac{1}{n^2 - u^2} \cos nx = \frac{1}{2u^2} - \frac{\pi \cos u(x - \pi)}{2u \sin \pi u}; \quad (0 \leq x \leq 2\pi)$$

$$\sum_{n=1}^{\infty} \frac{1}{n^2 + u^2} \cos nx = -\frac{1}{2u^2} + \frac{\pi \operatorname{ch} u(x - \pi)}{2u \operatorname{sh} \pi u}; \quad (0 \leq x \leq 2\pi). \quad \text{При } (x \geq x_j).$$

$$\sum_{n=1}^{\infty} \frac{\sin \frac{n\pi x_j}{l} \sin \frac{n\pi x}{l}}{n^4 + \frac{4\beta^4 l^4}{\pi^4}} = \frac{\pi^4}{8(\beta l)^3 (1-i)} \left[\frac{\operatorname{sh}(1+i)\beta(l-x) \operatorname{sh}(1+i)\beta x_j}{\operatorname{sh}(1+i)\beta l} - \frac{\sin(1+i)\beta(l-x) \sin(1+i)\beta x_j}{\sin(1+i)\beta l} \right]$$

Для $x \leq x_j$ у цих виразах слід x та x_j змінити місцями.

Вираз має вигляд:

$$\begin{aligned} & \frac{\operatorname{sh}(1+i)\beta(l-x) \operatorname{sh}(1+i)\beta x_j}{\operatorname{sh}(1+i)\beta l} - \frac{\sin(1+i)\beta(l-x) \sin(1+i)\beta x_j}{\sin(1+i)\beta l} = \\ & = (1-i) \{ \operatorname{sh} \beta x_j \cos \beta x_j [\operatorname{ch} \beta x (\cos \beta x + \Phi_{2(\beta l)} \sin \beta x) - \operatorname{sh} \beta x (\sin \beta x + \Phi_{1(\beta l)} \cos \beta x)] + \\ & + \operatorname{ch} \beta x_j \sin \beta x_j [\operatorname{ch} \beta x (\Phi_{1(\beta l)} \sin \beta x - \cos \beta x) - \operatorname{sh} \beta x (\sin \beta x - \Phi_{2(\beta l)} \cos \beta x)] \}, \end{aligned}$$

$$\text{де } \Phi_{1(\beta l)} = \frac{\text{sh}2\beta l + \sin2\beta l}{\text{ch}2\beta l - \cos2\beta l}; \quad \Phi_{2(\beta l)} = \frac{\text{sh}2\beta l - \sin2\beta l}{\text{ch}2\beta l - \cos2\beta l}.$$

Тепер вираз для прогину w має вигляд:

$$w = \frac{P_0}{4D\beta^3} \sum_{j=1}^k \{ \text{sh}\beta x_j \cos\beta x_j [\text{ch}\beta x (\cos\beta x + \Phi_{2(\beta l)} \sin\beta x) - \text{sh}\beta x (\sin\beta x + \Phi_{1(\beta l)} \cos\beta x)] + \text{ch}\beta x_j \sin\beta x_j [\text{ch}\beta x (\Phi_{1(\beta l)} \sin\beta x - \cos\beta x) - \text{sh}\beta x (\sin\beta x - \Phi_{2(\beta l)} \cos\beta x)] \}. \quad (9)$$

Для згинаючого моменту

$$M_x = -D \frac{d^2 w}{dx^2} = \frac{P_0}{2\beta^3} \sum_{j=1}^k \{ \text{sh}\beta x_j \cos\beta x_j [\text{ch}\beta x (\cos\beta x - \Phi_{1(\beta l)} \sin\beta x) - \text{sh}\beta x (\Phi_{2(\beta l)} \cos\beta x - \sin\beta x)] + \text{ch}\beta x_j \sin\beta x_j [\text{ch}\beta x (\Phi_{2(\beta l)} \sin\beta x + \cos\beta x) - \text{sh}\beta x (\Phi_{1(\beta l)} \cos\beta x + \sin\beta x)] \}. \quad (10)$$

Величина βl для реальних оболонок вже при $\alpha = 2$, $\gamma = 20$ дорівнює $\beta l = 11,5$, функції $\Phi_{1(\beta l)}$ та $\Phi_{2(\beta l)}$ вельми близькі до одиниці. З урахуванням цього формули для прогину та згинаючого моменту спрощуються:

$$w = \frac{P_0}{8D\beta^3} \sum_{j=1}^k \{ e^{-\beta(x-x_j)} [\cos\beta(x-x_j) + \sin(x-x_j)] - e^{-\beta(x+x_j)} [\cos\beta(x+x_j) + \sin(x+x_j)] \} \quad (11),$$

$$M_x = \frac{P_0}{4\beta} \sum_{j=1}^k \{ e^{-\beta(x-x_j)} [\cos\beta(x-x_j) - \sin(x-x_j)] - e^{-\beta(x+x_j)} [\cos\beta(x+x_j) - \sin(x+x_j)] \} \quad (12).$$

Формули для w та M_x написані для випадку $x \geq x_j$; при $x \leq x_j$ необхідно x та x_j в цих виразах змінювати місцями. Введемо позначення:

$$\Phi_w(x, x_j) = e^{-\beta|x-x_j|} [\cos\beta(x-x_j) + \sin\beta|x-x_j|] - e^{-\beta(x+x_j)} [\cos(x+x_j) + \sin(x+x_j)],$$

$$\Phi_{M_x}(x, x_j) = e^{-\beta|x-x_j|} [\cos\beta(x-x_j) - \sin\beta|x-x_j|] - e^{-\beta(x+x_j)} [\cos(x+x_j) - \sin(x+x_j)].$$

Тоді

$$w = \frac{P_0}{8D\beta^3} \sum_{j=1}^k \Phi_w(x, x_j) \quad (13);$$

$$M_x = \frac{P_0}{4\beta} \sum_{j=1}^k \Phi_{M_x}(x, x_j) \quad (14).$$

Покладаємо, що підкріплююче кільце розташовано в перерізі $x = l/2$ (на середині довжини оболонки, рис. 2). Кільце має параметри: E_k – модуль пружності першого роду, МПа; F_k – площа поперечного перерізу кільця, мм². Радіус кільця дорівнює внутрішньому радіусу оболонки a . Навантаження P_f , що виникає в зоні стику оболонка-підкріплююче кільце, визначається із умови рівності прогинів оболонки та кільця:

$$w^{P_0}(x = l/2) - w^{P_f}(x = l/2) = w_k$$

$$\text{Або } \frac{P_0}{8D\beta^3} \sum_{j=1}^k \Phi_w(l/2, x_j) - \frac{P_f}{8D\beta^3} \sum_{j=1}^k \Phi_w(l/2, l/2) = \frac{P_f a^2}{E_k F_k}, \text{ звідси}$$

$$P_f = P_0 \frac{0,643 \sum_{j=1}^k \Phi_w(l/2, x_j)}{\frac{1}{\sqrt{\gamma}} \frac{ah}{F_k} + 0,643 \Phi_w(l/2, l/2)} \quad (15).$$

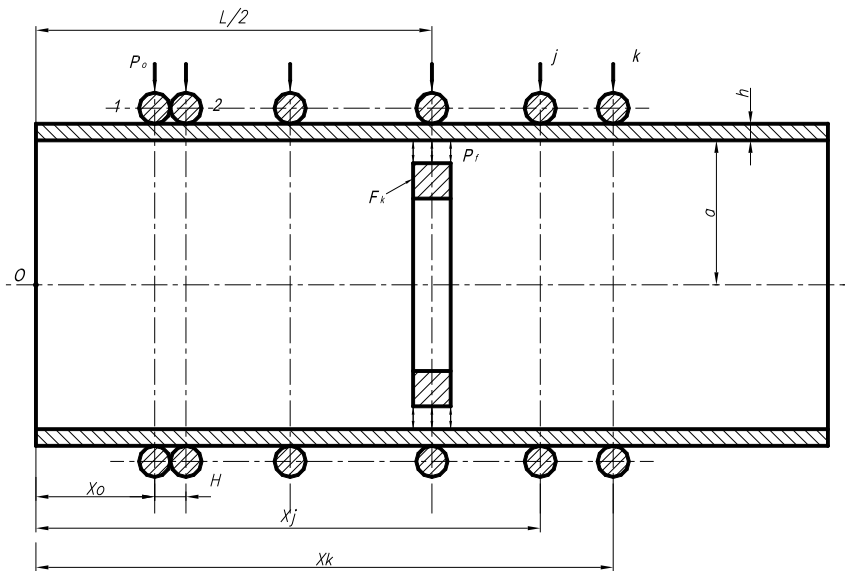


Рис. 2 – Схема навантаження

Визначаємо компоненти напружено-деформованого стану, силові фактори та прогин.

$$\bar{\sigma}_x = \frac{\sigma_x}{P_0/a} = \pm 6\gamma^2 m_x,$$

$$\bar{\sigma}_\varphi = \frac{\sigma_\varphi}{P_0/a} = \pm 6\gamma^2 m_\varphi + \gamma n_\varphi,$$

$$n_\varphi = \frac{N_\varphi}{P_0} \quad n_x = 0, \quad \bar{w} = \frac{w}{P_0/E},$$

$$m_x = \frac{M_x}{P_0 a}; \quad m_\varphi = \mu m_x,$$

$$m_x = \frac{0,1946}{\sqrt{\gamma}} \left[\sum_{j=1}^k \Phi_{M_x}(x, x_j) - 0,643 \frac{\Phi_{M_x}(x, l/2)}{\frac{1}{\sqrt{\gamma}} \frac{ha}{F_k} + 0,643 \Phi_w(l/2, l/2)} \sum_{j=1}^k \Phi_w(l/2, x_j) \right], \quad (16)$$

$$n_\varphi = -0,643 \sqrt{\gamma} \left[\sum_{j=1}^k \Phi_w(x, x_j) - 0,643 \frac{\Phi_w(x, l/2)}{\frac{1}{\sqrt{\gamma}} \frac{ha}{F_k} + 0,643 \Phi_w(l/2, l/2)} \sum_{j=1}^k \Phi_w(l/2, x_j) \right], \quad (17)$$

$$\frac{w_{(x)}}{P_0/E} = -0,643 \gamma^{3/2} \left[\sum_{j=1}^k \Phi_w(x, x_j) - 0,643 \frac{\Phi_w(x, l/2)}{\frac{1}{\sqrt{\gamma}} \frac{ha}{F_k} + 0,643 \Phi_w(l/2, l/2)} \sum_{j=1}^k \Phi_w(l/2, x_j) \right], \quad (18)$$

Зауважимо, що для $\alpha = l/a \geq 3$ та $\gamma \geq 15$ $\Phi(l/2, l/2) = 1$ з точністю 0,01.

4.2. Обичайка канатного барабана, підкріплена кільцем жорсткості, під дією радіального навантаження з урахуванням тертя між витками каната та барабаном

На практиці дія каната на оболонку барабана зумовлює досить нерівномірний тиск, що пояснюється впливом тертя між канатом та барабаном. Цей вплив можна врахувати, прийнявши коефіцієнт тертя в розрахункових формулах. При цьому задача значно ускладнюється.

Величина навантаження P для місця встановлення підкріплюючого кільця (рис. 3) дорівнює $P = P_0 e^{-2\pi f(k-j)}$, де k – загальне число витків каната; j – поточний номер витка.

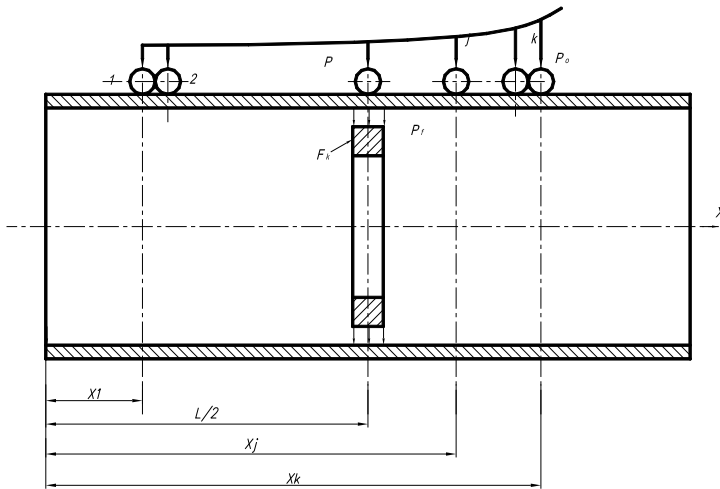


Рис. 3 – Схема навантаження

Із умови рівності прогинів оболонки та кільця обчислюємо величину навантаження P_f , що виникає в зоні стику оболонка – підкріплююче кільце:

$$w^P(x = l/2) - w^{P_f}(x = l/2) = w_k$$

$$\frac{P}{8D\beta^3} \sum_{j=1}^k \Phi_w(l/2, x_j) - \frac{P_f}{8D\beta^3} \sum_{j=1}^k \Phi_w(l/2, l/2) = \frac{P_f a^2}{E_k F_k}, \quad P_f = P_0 \frac{0,643 \sum_{j=1}^k e^{-2\pi f(k-j)} \Phi_w(l/2, x_j)}{\frac{1}{\sqrt{\gamma}} \frac{ah}{F_k} + 0,643 \Phi_w(l/2, l/2)}.$$

Після перетворень отримуємо:

$$m_x = \frac{M_x}{P/E} = \frac{0,1946}{\sqrt{\gamma}} \left[\sum_{j=1}^k \Phi_{M_x}(x, x_j) - 0,643 \frac{\Phi_{M_x}(x, l/2)}{\frac{1}{\sqrt{\gamma}} \frac{ha}{F_k} + 0,643 \Phi_w(l/2, l/2)} \sum_{j=1}^k \Phi_w(l/2, x_j) \right], \quad (19)$$

$$m_\phi = \mu m_x, \quad (20)$$

$$n_\phi = \frac{N_\phi}{P} = -0,643 \sqrt{\gamma} \left[\sum_{j=1}^k \Phi_w(x, x_j) - 0,643 \frac{\Phi_w(x, l/2)}{\frac{1}{\sqrt{\gamma}} \frac{ha}{F_k} + 0,643 \Phi_w(l/2, l/2)} \sum_{j=1}^k \Phi_w(l/2, x_j) \right], \quad (21)$$

$$n_x = 0, \quad (22)$$

$$\bar{w} = \frac{W_{(x)}}{P/E} = -0,643 \gamma^{3/2} \left[\sum_{j=1}^k \Phi_w(x, x_j) - 0,643 \frac{\Phi_w(x, l/2)}{\frac{1}{\sqrt{\gamma}} \frac{ha}{F_k} + 0,643 \Phi_w(l/2, l/2)} \sum_{j=1}^k \Phi_w(l/2, x_j) \right]. \quad (23)$$

Модуль пружності матеріалу кільця та оболонки приймаємо рівними. Змінюючи F_k (площу поперечного перерізу кільця) можна отримати оптимальну конструкцію.

По отриманим залежностям можливо обчислити компоненти напружено-деформованого стану циліндричної оболонки, навантаженої k витками канату і підкріпленої в середині кільцем:

Висновки

1. Описано напружено-деформований стан циліндричної оболонки при несиметричному навантаженні як у осьовому, так і у коловому напрямках і з жорсткими підкріплюючими кільцями.
2. Описано напружено-деформований стан циліндричної оболонки при симетричному навантаженні витками каната у коловому напрямку і з жорсткими підкріплюючими кільцями.
3. Отримано рівняння для визначення переміщень, силових факторів, напружень, що виникають в оболонці при несиметричному навантаженні як у осьовому, так і у коловому напрямках і з одним жорстким підкріплюючим кільцем, встановленим на середині довжини обичайки барабана.
4. Отримано рівняння для визначення переміщень, силових факторів, напружень, що виникають в оболонці при симетричному навантаженні з одним жорстким підкріплюючим кільцем, встановленим на середині довжини обичайки барабана, з m кільцями жорсткості та з двома кільцями жорсткості.
5. Розрахункові формули для зазначених випадків дають змогу виконувати розрахунки при навантаженні обичайки барабана як одним витком, так і k витками.

Список використаних джерел:

1. Ковальский Б. С. Напряжение в стенке канатного барабана / Б. С. Ковальский // Научные записки ХАИ. – Х., 1940. – Т. 4, вып. 10. – С. 63–72.
2. Ковальский Б. С. Барабаны грузоподъемных машин / Б. С. Ковальский, С. В. Кожин. – Харьков: ХВКИУ, 1969. – 164 с.
3. Моссаковский В. И. Контактные взаимодействия / В. И. Моссаковский, В. С. Гудрамович, Е. М. Макеев // Исследования по упругости и пластичности. – Л.: Из-во ЛГУ. – 1963. – № 2.
4. Папкович П. Ф. Труды по строительной механике корабля / П. Ф. Папкович. – Л.: Судостроение, 1963. – Т. 41. – 64 с.
5. Писаренко Г. С. Уравнение и краевые задачи теории пластичности и ползучести / Г. С. Писаренко, И. С. Можаровский. – К.: Наук. думка, 1981. – 496 с.
6. Писаренко Г. С. Деформирование и прочность материалов при сложном напряженном состоянии / Г. С. Писаренко, А. А. Лебедев. – К.: Наук. думка, 1976. – 416 с.
7. Федоров М. М. Избранные труды : В 2 т. / М. М. Федоров. – К.: Изд-во АН УССР, 1957. – Т. 1. – 276 с.; 1960. – Т. 2. – 464 с.
8. Федорова З. М. Подъемники : учеб. пособие для машиностроит. спец. вузов / З. М. Федорова, И. Ф. Лукин, А. П. Нестеров ; под. ред. З. М. Федоровой. – К.: Вища шк., 1976. – 296 с.
9. Ковальский Б. С. Напряжения на площадке местного сжатия при учете силы трения / Б. С. Ковальский // Изв. АН СССР. – 1942. – № 9. – С. 89–97.
10. Гольденвейзер А. Л. Теория упругих оболочек / А. Л. Гольденвейзер. – М.: Наука, 1976. – 512 с.

Нестеренко В.В. «До розрахунку на міцність барабана, що має підкріплюючі кільця».

Робота присвячена опису напружено-деформованого стану циліндричної оболонки барабана як при вісесиметричному так і при несиметричному навантаженні в осьовому та коловому напрямках при наявності m жорстких підкріплюючих кілець. При цьому були отримані рівняння для визначення переміщень, силових факторів, напружень, які виникають в оболонці барабана як при симетричному так і при несиметричному навантаженні в осьовому та в коловому напрямках, при наявності m жорстких підкріплюючих кілець та одного жорсткого підкріплюючого кільця, встановленого посередині.

Ключові слова: напружено-деформований стан, підкріплюючі кільця, концентрація напружень, деформації, оболонка, барабан, стійкість, прогин.

Нестеренко В.В. «К расчету на прочность барабана, имеющего подкрепляющие кольца».

Работа посвящена описанию напряженно-деформированного состояния цилиндрической оболочки барабана как при симметричном так и при несимметричном нагружении в осевом и окружном направлениях при наличии m жестких подкрепляющих колец. При этом были получены уравнения для определения перемещений, силовых факторов, напряжений, которые возникают в оболочке барабана как при симметричном так и при несимметричном нагружении в осевом и окружном направлениях, при наличии m жестких подкрепляющих колец и одного жесткого подкрепляющего кольца, установленного посередине.

Ключевые слова: напряженно-деформированное состояние, подкрепляющие кольца, концентрация напряжений, деформации, оболочка, барабан, стойкость, прогиб.

Nesterenko V.V. “To the calculation on durability of drum, having supporting rings”.

Work is sanctified to description of the tensely-deformed state of cylindrical shell of drum as at symmetric so at an asymmetrical install ladders in axial and circuitous directions at presence of k of hard supporting rings. Were thus got equalization for determination of moving, power factors, tensions, which arise up in the shell of drum as at symmetric so at an asymmetrical install ladders in axial and circuitous directions at presence of one hard supporting ring, set in the middle.

Key words: mode of deformation, reinforcing ring, stress concentration, deformations, methods, means, case, drum, stability, deflection.

Стаття надійшла до редакції 30 вересня 2013 р.

ДОСЛІДЖЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ВСТАНОВЛЕННЯ ДЕМПФЕРА В СТІЛОВІЙ СИСТЕМІ САМОХІДНИХ КРАНІВ

1. Актуальність роботи

Під час роботи стрілових самохідних кранів виникають повздовжні коливання в металоконструкції і канатах стрілової системи, що приводить до зменшення втомлювальної міцності і погіршує умови нормальної експлуатації крана. Найбільших значень коефіцієнт динамічності набуває при підйомі вантажу з жорсткої основи.

2. Огляд опублікованої літератури

Проблемі зменшення коливань металоконструкцій вантажопідйомних машин присвячено багато робіт. В роботі Н.А. Лобова [1] пропонується використовувати демпфер в системі підвіски вантажу, в роботі В.Ф. Семенюка [2] говориться про ефективність встановлення гідравлічного демпфера в металоконструкцію козлового крана. З огляду видно, що проблемі гасіння коливань стрілових самохідних кранів присвячено замало уваги а дослідження іноді носять суперечливий характер.

3. Мета статті

Знайти закономірності які впливають на процес гасіння коливань під час підйому вантажу. Теоретично обґрунтувати місце встановлення демпфера в стріловій системі самохідних кранів.

4. Основна частина

Визначимо ефективність гасіння коливань стрілової системи при установці демпферу в системі підвіски вантажу і в металоконструкції.

На рис. 1 показана динамічна модель механізму підйому стрілового самохідного крана [3] з гідравлічним демпфером в системі підвіски вантажу і в металоконструкції.

Тут m_n – наведена до канатів маса обертових частин приводу підйому вантажу, кг; m_c – наведена маса стріли, кг; m_e – маса вантажу, кг; c_c – коефіцієнт жорсткості стріли крана, Н/м; c_p – коефіцієнт жорсткості стрілового каната, Н/м; c_K – коефіцієнт жорсткості вантажного каната на ділянці від барабана до поліспаста, Н/м; c_n – коефіцієнт жорсткості вантажного поліспаста, Н/м; k_D – коефіцієнт загасання коливань (демпфірування) металоконструкції, Н·с/м; k'_D – коефіцієнт загасання коливань (демпфірування) канатів, Н·с/м; $\mathcal{G}_c, \mathcal{G}_e$ – коефіцієнти гідравлічного тертя демпферів у стріловій системі і системі

підвіски вантажу; P_{dq} – наведена до канатів сила двигуна, Н; y_{II} , y_c , y_{Γ} – шляхи, пройдені відповідно масами m_{II} , m_c , m_{Γ} від початку координат.

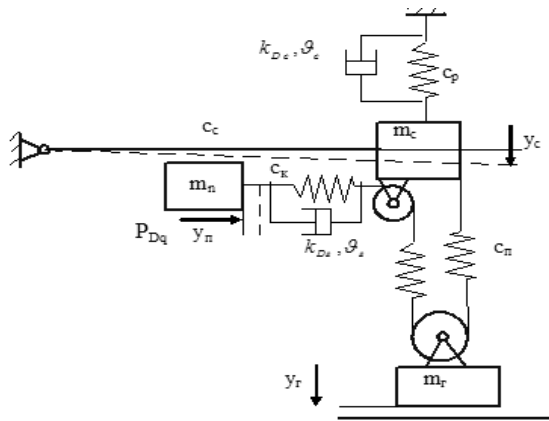


Рис. 1 – Динамічна модель механізму підйому стрілового самохідного крану

Відомо, що максимальні динамічні навантаження в кранах виникають при підйомі вантажу із жорсткої основи (підйом з підхватом), що включає три етапи: перший – етап холостого ходу, коли маса обертових частин приводу m_n під впливом сили приводу P_{dq} вибирає сумарний зазор Δ_k у канатах і приводі; другий етап – розвиток навантаження в канатах до зусилля в них, рівному вазі вантажу Q , причому маса m_c протягом другого етапу перебуває в стані спокою; третій етап – спільний рух всіх пружно зв'язаних мас системи.

Розглянемо рух стрілової системи при установці демпфера в системі підвіски вантажу.

На першому етапі вибирається зазор Δ_k у канатах і приводі, а динамічні навантаження в металоконструкції і у канатах відсутні.

Другий етап руху описується рівняннями

$$\begin{aligned} m_{II} \cdot \frac{d^2 y_{II}}{dt^2} + P_{K2} - P_{dq} &= 0; \\ m_c \cdot \frac{d^2 y_c}{dt^2} - P_{K2} + k_D \cdot \frac{dy_c}{dt} + c_c \cdot y_c &= 0. \end{aligned} \quad (1)$$

Закінчується другий етап руху при натягу вантажних канатів

$$P_{K2} = c_e (y_{II} - y_c) + (k'_D + \vartheta_e) \cdot (\dot{y}_{II} - \dot{y}_c) = Q.$$

Третій етап руху описується рівняннями:

$$\begin{aligned} m_{II} \cdot \frac{d^2 y_{II}}{dt^2} + P_{K3} - P_{dq} &= 0, \\ m_c \cdot \frac{d^2 y_c}{dt^2} - P_{K3} + k_D \cdot \frac{dy_c}{dt} + c_c \cdot y_c &= 0, \\ m_{\Gamma} \cdot \frac{d^2 y_{\Gamma}}{dt^2} - P_{K3} + m_{\Gamma} \cdot g &= 0, \end{aligned} \quad (2)$$

де $P_{K3} = c_e (y_{II} - y_c - y_{\Gamma}) + (k'_D + \vartheta_e) \cdot (\dot{y}_{II} - \dot{y}_c - \dot{y}_{\Gamma})$ – натяг у канатах на третьому етапі руху.

Розрахунок коефіцієнтів диференціальних рівнянь руху виконаємо аналогічно розрахунку представленому в роботі [3].

Процес гасіння коливань стрілової системи гідравлічними демпферами досліджувався для крана ДЕК – 251. Числовий експеримент проводився при зміні вильоту стріли і ваги вантажу.

Вирішивши системи диференціальних рівнянь на ПЕВМ знайдені залежності $F(t)$, при встановленні демпфера в системі підвіски вантажу (рис. 2).

Розглянемо рух стрілової системи при установці демпфера в металоконструкції стрілової системи (рис. 3).

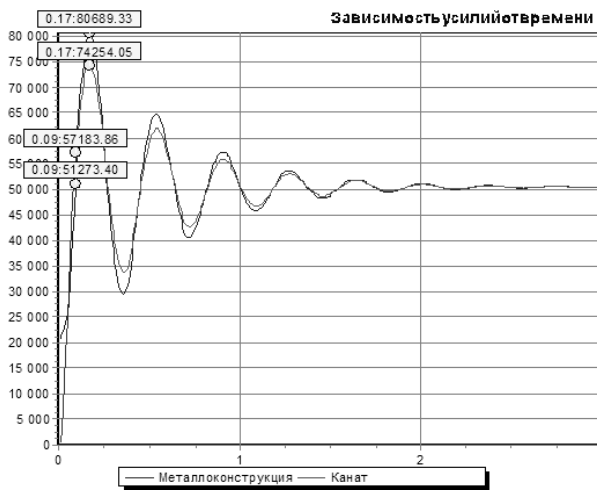


Рис. 2 – Процес формування зусиль при підніманні вантажу з основи вагою 5 т (демпфер встановлений в системі підвіски вантажу)

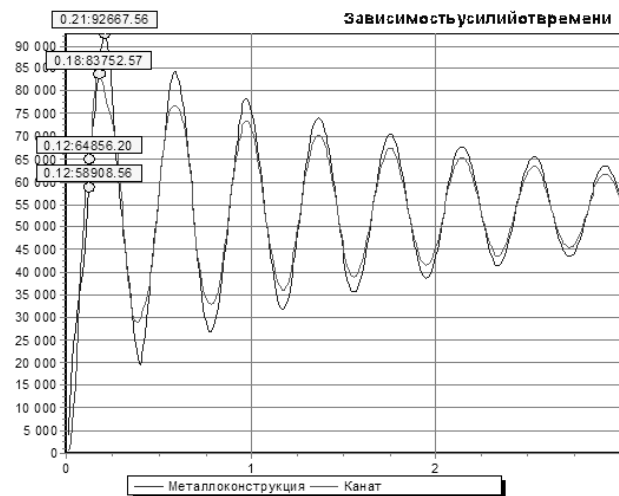


Рис. 3 – Процес формування зусиль при підніманні вантажу з основи вагою 5 тонн (демпфер встановлений в металоконструкції стрілової системи)

Запишемо другий етап руху системи

$$m_{\Pi} \cdot \frac{d^2 y_{\Pi}}{dt^2} + P_{K2} - P_{\partial q} = 0;$$

$$m_c \cdot \frac{d^2 y_c}{dt^2} - P_{K2} + (k_D + \mathcal{G}_c) \cdot \frac{dy_c}{dt} + c_c \cdot y_c = 0.$$
(3)

Закінчується другий етап руху при натягу вантажних канатів

$$P_{K2} = c_e (y_{\Pi} - y_c) + k'_D \cdot (\dot{y}_{\Pi} - \dot{y}_c) = Q.$$

Запишемо третій етап руху:

$$m_{\Pi} \cdot \frac{d^2 y_{\Pi}}{dt^2} + P_{K3} - P_{\partial q} = 0,$$

$$m_c \cdot \frac{d^2 y_c}{dt^2} - P_{K3} + (k_D + \mathcal{G}_c) \cdot \frac{dy_c}{dt} + c_c \cdot y_c = 0,$$

$$m_{\Gamma} \cdot \frac{d^2 y_{\Gamma}}{dt^2} - P_{K3} + m_{\Gamma} \cdot g = 0,$$

де $P_{K3} = c_e (y_{\Pi} - y_c - y_{\Gamma}) + k'_D \cdot (\dot{y}_{\Pi} - \dot{y}_c - \dot{y}_{\Gamma})$ – натяг у канатах на третьому етапі руху.

Висновки

Рішення отриманих диференціальних рівнянь дозволяє визначити динамічні навантаження в механізмі підйому стрілового крана при підйомі вантажу із жорсткої основи

з урахуванням зовнішньої сили приводу і демпферів з пружно – в'язким зв'язком. Як видно з рисунків 2 і 3, найбільш ефективним є встановлення демпфера в систему підвіски вантажу, при цьому коефіцієнт динаміки зменшується до 1,4, а час загасання коливань до 1 секунди.

Список використаних джерел:

1. Семенюк В. Ф. Математическая модель процесса гашения колебаний металлоконструкции козлового крана / В. Ф. Семенюк, А. П. Марцинкевич // Підвищення ефективності технології та техніки для виконання вантажно-розвантажувальних, будівельних і колійних робіт на залізничному транспорті : зб. наук. пр. / Харк. держ. акад. залізн. трансп. – Х., 1999. – № 36. – С. 3–11.
2. Будиков Л. Я. Многопараметрический анализ динамики грузоподъемных кранов мостового типа: монографія / Л. Я. Будиков. – 2-е вид. – Луганськ: вид-во СНУ ім. В. Даля, 2003. – 210 с.
3. Демідас С. В. Мінімізація динамічних навантажень в елементах баштового крана на основі оптимізації режиму рухові механізму підйому: дис. ... канд. техн. наук / С. В. Демідас – К., 2000. – 193 с.
4. Солтус А. П. Теорія експлуатаційних властивостей автомобіля / А. П. Солтус. – К. : Арістей, 2006. – 175 с.

Подольак О.С., Семенко К.В., Циплухін Д.С., Осетров І.С. «Дослідження ефективності встановлення демпфера в стріловій системі самохідних кранів».

В статті знайдені закономірності які впливають на процес гасіння коливань під час підйому вантажу. Теоретично обґрунтовано місце встановлення демпфера в стріловій системі самохідних кранів.

Ключові слова: стріла, демпфер, самохідний кран, коефіцієнт динамічності.

Подольак О.С., Семенко К.В., Циплухін Д.С., Осетров І.С. «Исследования эффективности установки демпфера в стреловой системе самоходных кранов».

В статье найдены закономерности, которые влияют на процесс гашения колебаний при подъеме груза. Теоретически обосновано место установки демпфера в стреловой системе самоходных кранов.

Ключевые слова: стрела, демпфер, самоходный кран, коэффициент динамичности.

Podolyak O.S., Semenko K.V., Cypluhin D.C., Osetrov I.S. “The research of efficiency of damper mounting in the boom system of mobile crane”.

In the article the regularities that influence at the antihunting process by load lifting are founded. The placement location of damper in the boom system of mobile crane is theoretically justified.

Key words: boom, damper, mobile crane, dynamic factor.

Стаття надійшла до редакції 12 листопада 2013 р.

ВПЛИВ ГЕОМЕТРИЧНИХ І ЖОРСТКІСНИХ ПАРАМЕТРІВ КАНАТА І БАРАБАНА НА НАВАНТАЖЕННЯ ОБИЧАЙКИ

1. Постановка проблеми

При контакті каната і обичайки барабана між ними виникають сили тертя, які необхідно враховувати при розрахунку як каната, так і барабана.

Розглядаючи канат, який зігнутий на барабані або шківі, припускають, що сили тертя між дротинами відсутні і вони можуть вільно рухатися в процесі згину каната.

Але наявність сили тертя між дротинами і барабаном або шківом доведена експериментами багатьох авторів. Під дією сил тертя в канаті виникають додаткові осьові розтягнення або стиснення дротинок.

2. Аналіз останніх досліджень і публікацій

Це підтверджують експерименти А.М. Ципріна і Б.С. Ковальського [1], які проводилися для визначення жорсткості каната при згині.

А.М. Ципрін отримав залежність зв'язку тертя між дротинками в канаті у вигляді співвідношення жорсткості згинання каната до сумарної жорсткості окремих дротинок. Х. Ернст [2] досліджував процес згинання каната підвісних доріг. Він приймав, що поперечний переріз каната складається з дротинок, які пов'язані в одне ціле силами тертя і канат розглядається як суцільний стержень до тих пір, доки сили зсуву, які виникають при згинанні каната, не подолають сили тертя між дротинками.

3. Викладення основного матеріалу

Відповідно до закону Ейлера для нерозтягнутої нитки вплив сили тертя на натягнення нитки визначають наступною залежністю

$$T = T_0 \cdot e^{-\mu\alpha}, \quad (1)$$

або

$$P = P_0 \cdot e^{-\mu\alpha}, \quad (2)$$

де μ – коефіцієнт тертя;

α – кут навивання;

T_0 – натягнення кінця каната, який збігає з барабана.

Але канат – це складна пружна система, яка в значній мірі відрізняється від нерозтягнутої нитки. Для врахування пружних і геометричних властивостей каната введемо поправочний коефіцієнт K [3]

$$k = \frac{E_k \cdot d_k}{E_b \cdot \sqrt{R \cdot \delta}}, \quad (3)$$

де d_k – діаметр каната;

E_k, E_b – модулі пружності відповідно каната і барабана.

Формула (1) тоді буде мати вигляд

$$T = T_0 \cdot e^{-k\mu\alpha} \quad (4)$$

Коефіцієнт тертя μ , як показують експерименти, проведені різними дослідниками, залежить від співвідношення діаметрів каната і барабана, типу каната, тиску P , швидкості навивання та інших факторів.

Нами були визначені зусилля в елементах каната при навиванні його на барабан, для цього було використано систему рівнянь Кирхгофа [4].

$$P_b = A \cdot e^{\frac{w_b}{\mu} \cdot S} \cdot \cos \cdot \sqrt{w_t^2 - \frac{w_b^2}{4 \cdot \mu^2} \cdot S} + B \cdot T_0 \cdot e^{-k\mu\alpha}, \quad (5)$$

де A – коефіцієнт, який знаходиться з умови

$$\oint P_b ds = 0, \quad (6)$$

$$A = \frac{k \cdot \mu^2 \cdot B \cdot T_0 \cdot e^{-k\mu\alpha}}{R \cdot w_b \cdot e^{\frac{w_b S}{\mu}}}, \quad (7)$$

де

$$B = \frac{w_t \cdot \left(w_b - \frac{k}{R}\right) \cdot \left(R^2 + \frac{k}{R} \cdot w_b + w_t^2\right)}{k^2 \cdot \mu^2}. \quad (8)$$

Тоді отримаємо

$$P_n = \frac{k\mu}{R \cdot w_t} \cdot \left(\mu \cdot \cos \sqrt{w_t^2 - \frac{w_b^2}{4 \cdot \mu^2} \cdot S} - 1 \right). \quad (9)$$

Нормальні навантаження визначимо за формулою

$$f_n = \frac{k}{R} \cdot T_0 \cdot e^{-k\mu\alpha} \cdot \left(1 - \frac{w_b \cdot \mu \cdot \left(w_b - \frac{k}{R}\right)}{\frac{k^2 \cdot \mu^2}{R^2} + \frac{k}{R} \cdot w_b + w_t^2} \right). \quad (10)$$

М.П. Артеменко [5] проводив експерименти, результати яких наведені на рис. 1 (криві 1 і 2). Б.А. Морозовим [6] також був проведений експеримент, в якому визначались радіальні деформації стінки барабанів діаметром $D = 400 - 800$ мм, товщиною стінки $\delta = 1,7 \dots 5,5$ мм при навиванні каната діаметром $d = 8$ мм під натягом $T = 1000 \div 5000$ Н. Б.А. Морозов запропонував залежність для визначення натягу в n -ому витку

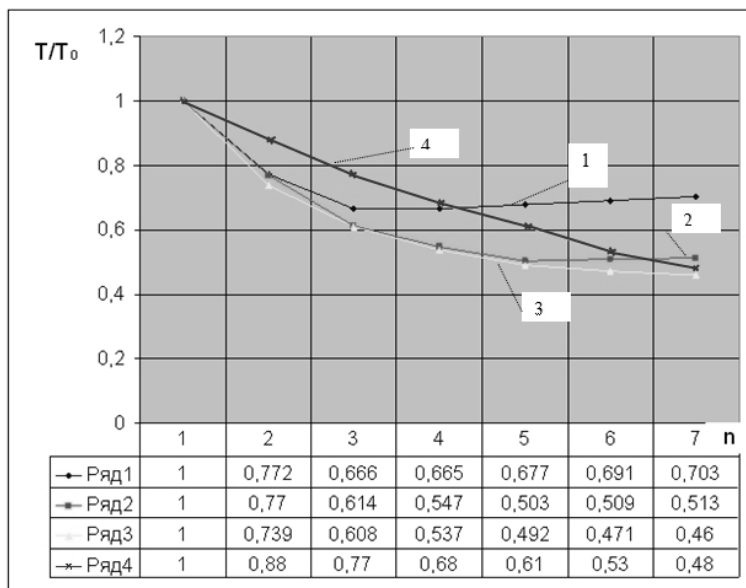
$$T_n = \frac{T_0}{1 + 0.64 \cdot \frac{E_k \cdot F_k}{E_b \cdot \sqrt{R \cdot \delta^3}} \cdot \sum_{i=1}^{i=n} \eta(\beta x)}, \quad (11)$$

де [1]

$$\eta(\beta x) = e^{-\beta x} \cdot (\cos \beta x + \sin \beta x). \quad (12)$$

Ми провели розрахунок за формулою (11) для експериментальних даних М.П. Артеменка (рис. 1, крива 3). Крім цього, ми виконали розрахунок за формулою (10) (крива 4) при умові, що $k = 0,2$, $\mu = 0,1$.

Як бачимо, розрахункова залежність (4) більше співпадає з експериментальними даними, ніж формула (11).



Вплив коефіцієнта тертя на нормальне контактне навантаження показаний на рис. 2, діаметра каната — на рис. 3, кута навивання — на рис. 4, радіуса барабана — на рис. 5, пружності каната — на рис. 6.

Рис 1 – Графік зміни натягу у гвинтах каната:
1, 2 – експериментальні дані М.Л. Артеменко відповідно для каната та дроту; 3 – розрахунок за формулою (11);
4 – розрахунок за формулою (10)

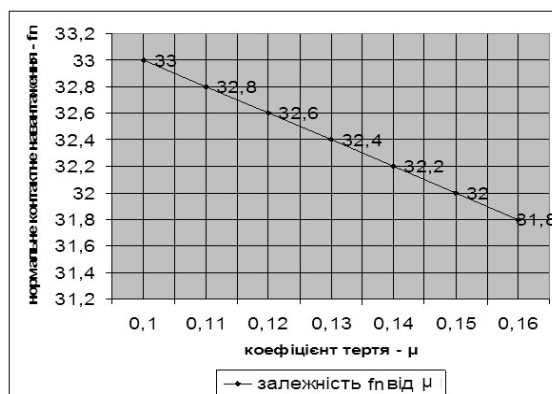


Рис. 2 – Вплив коефіцієнта тертя на нормальне контактне навантаження

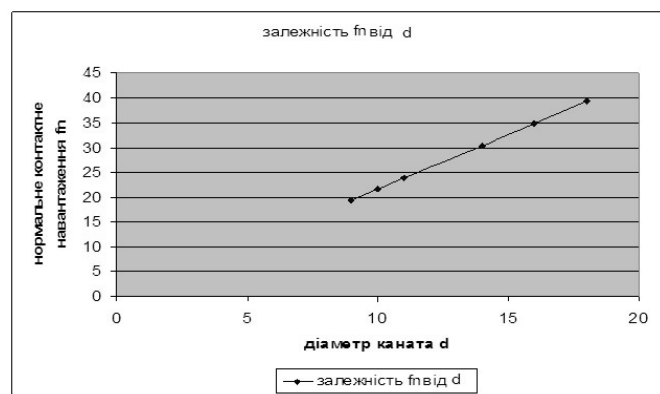


Рис. 3 – Вплив діаметра каната на нормальне контактне навантаження

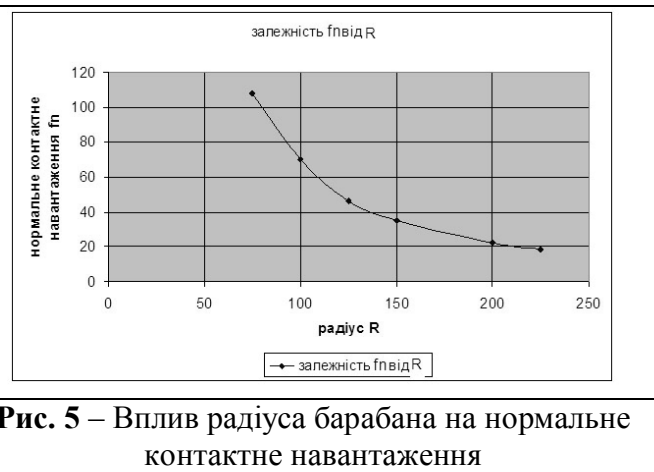
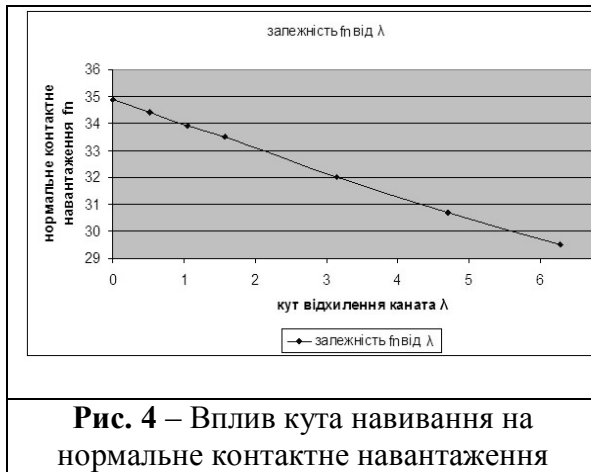


Рис. 4 – Вплив кута навівання на нормальне контактне навантаження

Рис. 5 – Вплив радіуса барабана на нормальне контактне навантаження

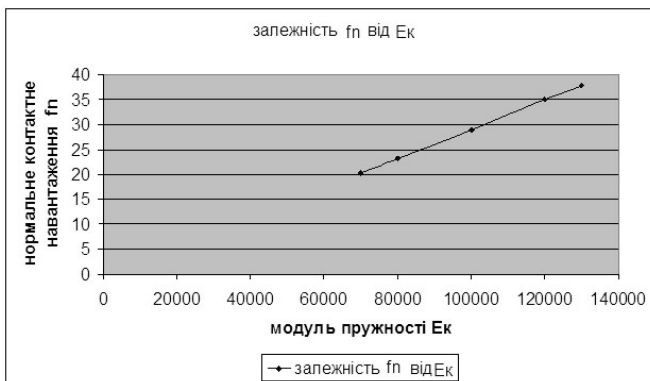


Рис. 6 – Вплив пружності каната на нормальне контактне навантаження

Зробимо порівняльний розрахунок. Візьмемо канат з кутами звивання $\varphi = 18^\circ$, діаметром $d = 8$ мм, модулем пружності $E_k = 12 \cdot 10^4$ МПа і барабан з модулем пружності $E_\delta = 2,1 \cdot 10^5$ МПа, радіусом $R = 150$ мм, товщиною стінки $\delta = 15$ мм, коефіцієнтом тертя $\mu = 0,14$, якщо натягнення каната $T_0 = 30000$ Н.

Тоді отримаємо

$$k = \frac{12 \cdot 10^4 \cdot 6}{2,1 \cdot 10^5 \sqrt{150 \cdot 5}} = 0,1928.$$

Радіальне навантаження на барабан (на одиницю довжини по колу барабана) визначене по формулі (10) складає $f_n = 38$ Н/мм.

В навчальній літературі та в довідниках радіальне навантаження визначають по формулі

$$p = \frac{T}{R} = \frac{30000}{150} = 200 \text{ Н/мм}$$

Висновки

Як бачимо, навантаження барабану завищено більше ніж в 5 разів, що веде до завищення запасів міцності та збільшенню металоємкості барабана.

Список використаних джерел:

1. Ковальский Б.С. Барабаны грузоподъемных машин / Б. С. Ковальский, С. В. Кожин. – Харьков.: ХВКИУ, 1969. – 164с.
2. Ernst U. Die Tragfähigkeit von Seileinbanden und Seilverbindungen mit Doppelbackenkenk lemmen / U. Ernst // Gluckauf-Forschungsh. – 1974. – Bd. 35, № 1. – S. 1–10.

3. Фидровская Н. Н. Распределение усилий в канате при навивке его на барабан // Научный вестник строительства : сб. науч. пр. / Харк. держ. техн. ун-т буд-ва та архіт. – – Х., 2005.- Вип.34. – С. 132–136.

4. Фидровская Н. Н. Напряженное состояние оболочки канатных барабанов // Повышение качества, надежности и долговечности технических систем и технологических процессов : сб. науч. тр. V Междунар. науч.-техн. конф., (5–12 дек. 2009 г., Хургада, Египет) / Хмельницкий нац. ун-т. – Хмельницкий, 2009. – С. 35–36.

5. Артеменко Н. П. Напряжение в стенке кранового барабана: дис. ... канд. техн. наук: 05.05.05 / Николай Петрович Артеменко ; Харьк. авиац. ин-т. – Харьков, 1947. – 92 с.

6. Морозов Б. А. К расчету на прочность тонкостенных барабанов грузоподъемных машин / Б. А. Морозов // Новая подъемно-транспортная техника / ЛОНИТОМАШ. – Л., 1949. – Кн.14. – С. 91–102.

Фідровська Н.М. «Вплив геометричних і жорсткісних параметрів каната і барабана на навантаження обичайки».

В статті розглядаються питання визначення натягнення каната, який навивається на барабан, з урахуванням коефіцієнта тертя, геометричних розмірів барабана і каната, а також їх пружних характеристик. Показано, що дійсні напруження набагато менші, ніж ті, що приймалися раніше.

Ключові слова: барабан, навантаження, обичайка, коефіцієнт тертя.

Фидровская Н.Н. «Влияние геометрических и жесткостных параметров каната и барабана на нагрузку обечайки».

В статье рассматриваются вопросы определения натяжения каната, навитого на барабан, с учетом коэффициента трения, геометрических размеров каната и барабана, а также их упругих характеристик. Показано, что действующие напряжения намного меньше, чем те, что принимались раньше.

Ключевые слова: барабан, нагрузка, обечайка, коэффициент трения.

Fidrovskaya N. “Influence of geometrical and hard parameters of rope and drum on the loading wall”.

In the article one considers questions of definition stretch of rope, which is twist on drum with calculation coefficient of frictions, geometrical dimensions of rope and drum elastic characters. It is shown, that strains is smaller than those which were set earlier.

Key words: drum, load, shell, coefficient of frictions.

Стаття надійшла до редакції 13 листопада 2013 р.

©Фидровская Н.Н., Ломакин А.А.

ДОПОЛНИТЕЛЬНЫЕ НАПРЯЖЕНИЯ В ЭЛЕМЕНТАХ СТАЛЬНЫХ КАНАТОВ ПРИ НАБЕГАНИИ НА БЛОКИ И БАРАБАНЫ

1. Постановка проблемы

Тяжело представить развитие основных отраслей промышленности без применения стальных канатов. В горнодобывающей промышленности стальной канат является основным тяговым звеном, которое обеспечивает доставку полезных ископаемых на поверхность. Работа машиностроительных и металлургических предприятий с их средствами механизации немыслима без использования стальных канатов. Для большинства конструкций грузоподъемных и строительных машин стальной канат является неотъемлемой и важнейшей деталью. Современный уровень развития техники предъявляет все новые и новые требования к повышению прочности, надежности и долговечности стальных канатов. Одним из мест концентрации напряжений в канате являются участки набегания каната на блоки и барабаны. Так как в этих местах возникают местные дополнительные напряжения, существенно влияющие на усталостную и разрывную прочность каната.

Исследованием вопросов возникновения дополнительных напряжений в элементах канатов занимались представители многих отечественных и зарубежных школ, среди них: В.А. Малиновский [1, 5], И.Ф. Никитин [2-4], М.Ф. Глушко [5], С.Т. Сергеев [6-8], Ф.В. Флоринский, Е.С. Почтаренко, К. Шмидт [9], Г. Шиффнер [10], Дж. Бенейт, К. Фейрер, У. Эрнст и другие.

2. Основной материал

В литературе вопросу о дополнительных напряжениях уделяется достаточно внимания. При этом практически все авторы рассматривали винтовой элемент в канате как гибкую нить на шероховатой поверхности (сердечнике), а в качестве предельного критерия принимали силу трения скольжения на этой поверхности. Для определения дополнительных напряжений разные авторы предлагали следующие формулы:

Малиновский В. А. [1] $\max \sigma_{\partial} = \Delta t_0 / f_i$,

где Δt_0 – избыточное натяжение;

f_i – площадь сечения винтового элемента.

Но данная формула применима только для спиральных канатов, а для канатов двойной свивки дает среднее дополнительное напряжение по сечению пряди.

Никитин И.Ф. [2, 3]
$$\sigma_{\partial} = \sigma_p \left(e^{\mu \left[\frac{r \cos^2 \alpha}{R \sin \alpha} + \left(\varphi_0 + \frac{\pi}{2} \right) \sin \alpha \right]} - 1 \right);$$

Глушко М.Ф. [5]	$\sigma_{\delta} = \sigma_p \left(e^{\frac{\mu(x-l)\sin^2 \alpha}{r \cos \alpha}} - 1 \right);$
Сергеев С. Т. [6, 7, 8]	$\sigma_{\delta} = \sigma_p \cdot \left(e^{\frac{1}{\rho}(x-l)} - 1 \right);$
Бенойт [1]	$\sigma_{\delta} = \sigma_p \cdot \left(e^{\frac{\mu \delta}{2} \sin \alpha} - 1 \right); \quad \sigma_{\delta} = \pm \mu \frac{\delta}{2} \sigma_p \cdot \sin \alpha;$
Исааксен [1]	$\sigma_{\delta} = \mu \sigma_p \pi \sin \alpha;$
Эрнст [1]	$\sigma_{\delta} = \sigma_p \left(e^{\mu \sin \alpha \left(\frac{\pi}{2} - \varphi \right)} - 1 \right);$
Леидер [1]	$\sigma_{\delta} = \sigma_p \left(e^{\mu \varphi \sin \alpha} - 1 \right);$
Шмидт [9]	$\sigma_{\delta} = \sigma_p \left(e^{\mu \sin \alpha (\varphi_0 - \varphi)} - 1 \right),$

где e – основание натурального логарифма;

R – радиус блока или барабана;

r – радиус каната;

α – угол свивки проволок каната;

μ – коэффициент трения между проволокой и сердечником;

φ_0 и φ – начальные и текущий полярные углы в сечении каната;

ρ – радиус кривизны оси изгиба каната на блоке или барабане;

l – длина переходного участка, на котором происходит затухание дополнительных напряжений;

x – координата вдоль оси каната, отсчитываемая от точки набегания.

Все приведенные выше формулы применимы только для спиральных канатов.

Рассмотрим существующие экспериментальные методы определения напряжений. Следует отметить, что в чистом виде эти напряжения определял только И.Ф. Никитин [2, 3], который применял специальные П-образные тензорезисторы, позволившие замерять деформации диаметрально противоположных волокон проволоки и, таким образом, исключить влияние изгиба и кручения.

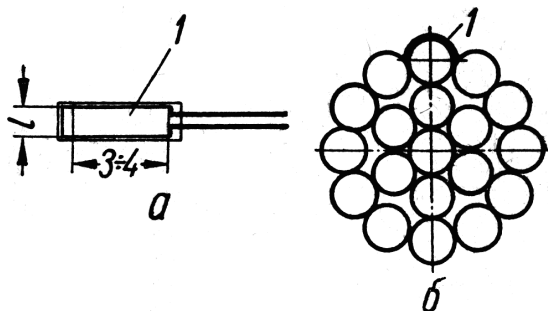


Рис. 1 – Экспериментальный канат в опытах И.Ф. Никитина:

а) П-образный тензорезистор; б) способ установки тензорезистора на канат

Для опытов был выбран спиральный канат точечного касания конструкции 1+6+12 диаметром 6 мм, $\delta_1 = 1,2$ мм, $\delta_2 = 1,2$ мм, $h_1 = 46$ мм, $h_2 = 65$ мм. На испытываемый образец каната наклеивались от четырех до семи датчиков. Навеска каната проводилась так, чтобы датчики в момент набегания каната на шкив находились со стороны выпуклости.

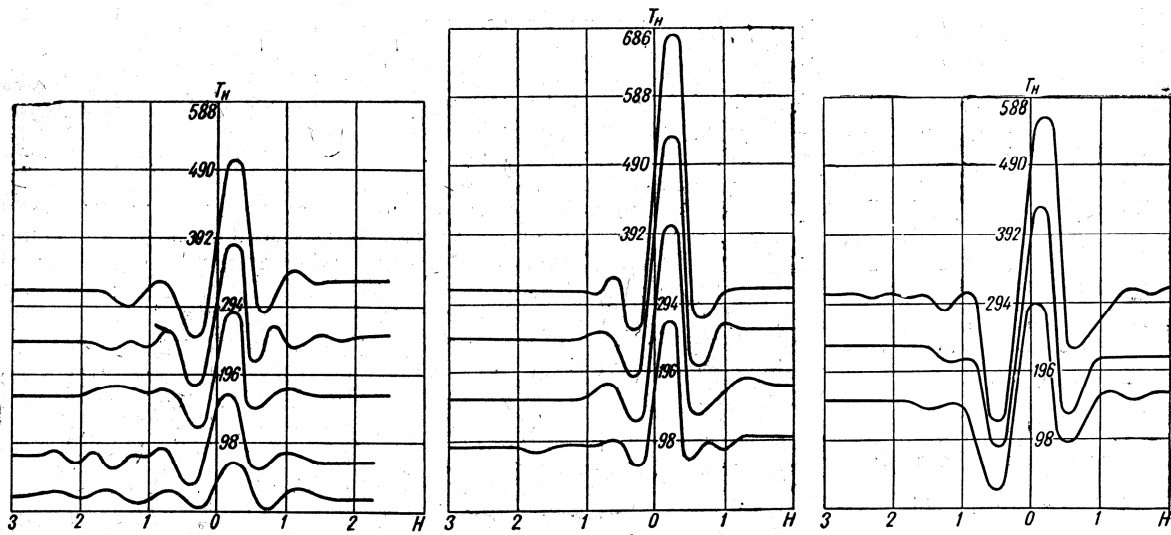


Рис. 2 – Осциллограммы дополнительных напряжений в опытах И.Ф. Никитина

Как видим из графиков, максимальные дополнительные напряжения $\max \sigma_{\partial}$ при $D/d = 25$ составляют $(0,80-0,87) \sigma_p$, а при $D/d = 44$ и тех же нагрузках – $(0,58-0,70) \sigma_p$. Здесь σ_p – напряжение растяжения проволоки в прямой ветви каната.

Другие исследователи наклеивали тензодатчики на наружное волокно проволоки на выпуклой стороне каната и измеряли таким образом суммарные напряжения растяжения и изгиба, получая осциллограммы, типа приведенных на рис. 3.

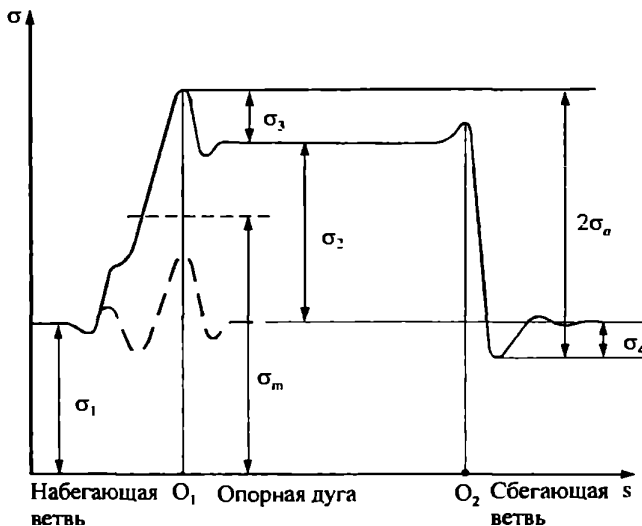


Рис. 3 – Осциллограмма нормальных напряжений в волокне каната при огибании блока

Так поступали Вик [1], и Шиффнер [9]. Типовая осциллограмма для наружной проволоки каната $6 \times 19(1+9+9)+\text{о.с.}$ диаметром 35,7 мм при соотношении $D/d = 28,8$ из работы [10] приведена на рис. 4. В этой же работе исследовалась зависимость величины пика нормальных напряжений в точке набегания $\sigma_3 = \max \sigma_{\partial}$ от числа отработанных циклов. Установлено, что в начале испытаний $\max \sigma_{\partial} = (0,25 \div 0,30) \overline{\sigma_p}$, а по мере работы каната происходит увеличение

этих напряжений. Например, при отработке канатом половины числа циклов до разрушения максимальные дополнительные напряжения составляют 40-60 % от средних напряжений растяжений при $\overline{\sigma_p} = 150 \text{ Н/мм}^2$; 40-50 % при $\overline{\sigma_p} = 300 \text{ Н/мм}^2$ и 35-42 % при $\overline{\sigma_p} = 600 \text{ Н/мм}^2$. Автор объясняет такое увеличение $\max \sigma_{\partial}$ увеличивающимся защемлением прядей в междупрядном контакте по мере работы каната.

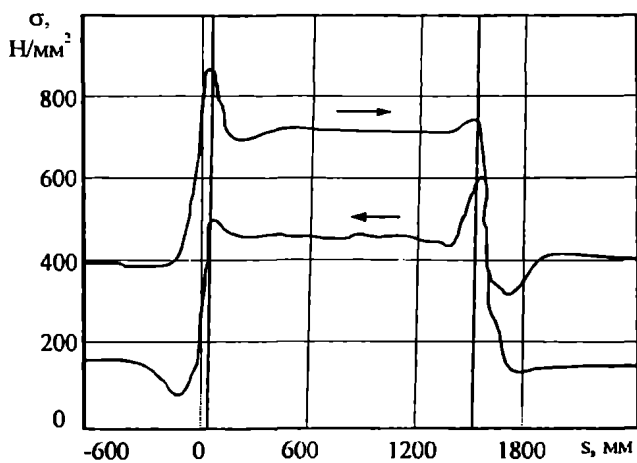


Рис. 4 – Типовая осциллограмма напряжений для каната двойной свивки из опытов Шиффнера

Три серии экспериментов по косвенному определению дополнительных напряжений выполнил Шмидт [9]. В первой серии он определял момент внутреннего конструкционного трения при набегании каната на блок и сбегании с него, для чего в опытах замерялась разность плеч жесткости. Затем по численному значению момента трения расчетным путем определялись дополнительные напряжения.

Во второй серии опытов канат подвергался волнообразному изгибу путем

поперечного приложения нагрузки через систему подвижных и неподвижных роликов, при этом замерялся прогиб каната в процессе нагружения и разгрузки, и по разнице между ними также расчетным путем определялись дополнительные напряжения.

В третьей серии проводились опыты по определению усталостной прочности при знакопеременном изгибе на блоках в области малоциклового усталости, т.е. при нагрузках, близких к разрывным. Для этого на блоках испытывались отдельно проволока, прядь и канаты, которые были изготовлены из такой же проволоки, строились кривые усталостной прочности $N(\overline{\sigma_p})$, затем по сдвигу между кривыми определялись дополнительные напряжения в пряди и в канате по сравнению с отдельной проволокой. Как и другие авторы, Шмидт при постановке и обработке своих опытов исходил из предпосылки, что дополнительные напряжения полностью формируются силами трения скольжения между проволоками при их относительном сдвиге. Ясно, что такая постановка не учитывает целый ряд других факторов.

Оценка результатов производилась по двойной амплитуде колебаний напряжений $2\sigma_a$ в проволоке при попадании ее на выпуклую и вогнутую стороны каната. Обобщая результаты всех опытов, Шмидт делает заключение, что величина $2\sigma_a$ при качественной смазке при изгибе на блоках в области крановых отношений D/d составляет 40-60 % от величины среднего напряжения растяжения для канатов 6x7+о.с, 80-120 % для канатов ТК 6x19+о.с. и 120-160 % для канатов ТК 6x37+о.с. При некачественной смазке или наличии коррозии приведенные значения могут увеличиваться вдвое. Меньшие значения соответствуют канатам односторонней свивки, а большие – крестовой, что противоречит результатам других исследователей [10].

В опытах И.Ф. Никитина [2, 3] со спиральными канатами установлено, что пик смещен от точки набегания на четверть шага свивки каната в сторону изогнутого на блоке участка. В зарубежных опытах [10] с канатами двойной свивки пик напряжений соотносится с точкой набегания, хотя не указывается, как точно определялась его координата. В свете механики формирования переходного участка есть основания полагать, что и в канатах

двойной свивки пик напряжений смещен на четверть шага свивки относительно точки набегания, но в известных опытах на это, возможно, не было обращено внимание.

Сравнение значений дополнительных напряжений, полученных расчетным способом и полученных экспериментальным путем И.Ф. Никитина, приведено на рис. 5.

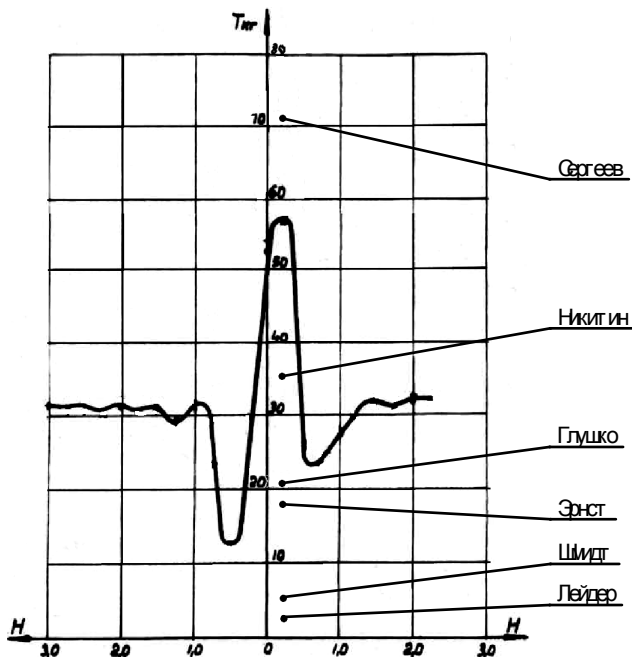


Рис. 5 – Сравнение значений дополнительных напряжений

Выводы

Проведя сравнительный анализ методов определения дополнительных напряжений можно сделать вывод, что существующая практика определения дополнительных напряжений, которые возникают в канате при набегании его на шкив или барабан, очень далеки от результатов, полученных экспериментально. Многие авторы кроме И.Ф. Никитина и С.Т. Сергеева, даже не учитывают в расчете диаметр шкива, что увеличивает его приближенность.

Список использованных источников:

1. Малиновский В. А. Стальные канаты: В 2 ч. – Одесса: Астропринт, 2001. – Ч. 1. – 188 с.; 2002. – Ч. 2. – 180 с.
2. Никитин И. Ф. Дополнительные усилия при переходе каната из прямого в изогнутый / И. Ф. Никитин // Стальные канаты: сб. науч. тр. – К.: Техника, 1967. – Вып. 4. – С. 81–85.
3. Никитин И. Ф. Распределение напряжений в канате при пробегании его по блоку / И. Ф. Никитин // Стальные канаты: сб. науч. тр. – К.: Техника, 1966. – Вып. 3. – С. 130–139.
4. Никитин И.Ф. Процесс формирования изогнутого каната при набегании его на шкив / И. Ф. Никитин, Н. Н. Фидровская // Машинобудування :зб. наук. пр. / Укр. інж. пед. акад. – Х., 2009. – Вип. 4. – С. 46–52.
5. Глушко М. Ф. К расчету вторичных изгибных напряжений в стальных канатах / М. Ф. Глушко, В. А. Малиновский. – Деп. в ЦНИИЧерметинформация // Депонированные научные работы : библиогр. указ. ВИНТИ. – 1981. – № 11.
6. Сергеев С. Т. Надёжность и долговечность подъемных канатов / С. Т. Сергеев. – К.: Техника, 1968. – 240 с.
7. Сергеев С. Т. Стальные канаты / С. Т. Сергеев. – К.: Техника, 1974. – 326 с.
8. Сергеев С. Т. Экспериментальное определение усилий в элементах набегающего на блок каната / С. Т. Сергеев, А. С. Похольченко // Стальные канаты: науч. тр. – К.: Техника, 1966. – Вып. 3. – С. 197–200.

9. Schmidt K. Die sekundäre Zugbeanspruchung der Drahtseile aus der Biegung / K. Schmidt // VDI. – 1965. – Reihe 13. – S. 181.

10. Schiffner G. Spannungen in Laufenden Drahtseilen : Dissertation / G. Schiffner ; Universität Stuttgart. – Stuttgart, 1986. – 173 s.

Фидровская Н.Н., Ломакин А.А. «Дополнительные напряжения в элементах стальных канатов при набегании на блоки и барабаны».

В статье рассмотрены существующие эмпирические и экспериментальные методы определения дополнительных напряжений в элементах стальных канатов при набегании на блоки и барабаны.

Ключевые слова: стальные канаты; проволока; барабан; блок; дополнительные напряжения; набегание; тензодатчики.

Фідровська Н.М., Ломакін А.О. «Додаткові напруження в елементах сталевих канатів при набіганні на блоки і барабани».

У статті розглянуто існуючі емпіричні та експериментальні методи визначення додаткових напружень в елементах сталевих канатів при набіганні на блоки і барабани.

Ключові слова: сталеві канати; дріт; барабан; блок; додаткові напруження; набігання; тензодатчики.

Fidrovskaya N. M., Lomakin A. A. “Additional stress in the elements of wire ropes in incursion of the block and the drums”.

The article considers the existing empirical and experimental methods for determining the additional stresses in elements of steel ropes in incursion of the block, and drums.

Key words: steel ropes; wires; drum; block; additional stress; overrunning, strain gage sensors.

Стаття надійшла до редакції 29 жовтня 2013 р.

©Малицкий И.Ф., Чернятина Е.В.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНО-ТЕОРЕТИЧЕСКИЙ МЕТОД ОПРЕДЕЛЕНИЯ КОНТАКТНЫХ ДАВЛЕНИЙ В СОПРЯЖЕНИИ ПОЛОЙ ОСИ СО СТУПИЦЕЙ ВАГОННОГО КОЛЕСА

1. Постановка проблемы

Развитие транспортного машиностроения в направлении повышения грузоподъемности и скорости движения поездов железнодорожного транспорта предъявляет к подвижному составу ряд новых требований. Снижение веса на неподрессоренную часть тележки вагона, т.е. колесную пару, надежность соединения в процессе эксплуатации, прочность соединения колеса вагона с осью, улучшение ходовых качеств, уменьшение воздействия на верхние строения железнодорожного пути. Одним из направлений выполнения решения этой задачи является создание легких колесных пар с пустотелыми осями и биметаллическими колесами (легкий прочный сплав, бандаж стальной). В Украине ежегодно изготавливается более 100000 колесных пар. Создание облегченных колесных пар позволяет сэкономить десятки миллионов гривен и десятки тысяч тонн металла за счет уменьшения веса оси и сокращения эксплуатационных расходов.

2. Анализ основных исследований и публикаций

Большой вклад в создании прочных и долговечных колесных пар со сплошными и полыми осями внесли советские ученые: Серенсен С.В., Андреев Г.Я., Зобнин Н.П., Гречищев Е.С. и др. Анализ показывает, что зарубежные (США, Германия, Швеция) и первые советские варианты колесных пар с полыми осями не получили широкого распространения по причинам образования усталостных трещин на подступичной части полых осей и ослабление прочности сопряжения оси с колесом. Полые оси изготавливались из стальных цельнокатаных труб, центробежной отливкой и путем высверливания отверстий, что не позволяло получить равномерную толщину стенок полых осей. Применение сравнительно жестких ступиц и зигзагообразное расположение волокон металла подступичной части оси, вызванное продольной высадкой утолщенной части оси, послужили дополнительными причинами снижения усталостной прочности осей в зоне сопряжения. В рассмотренных работах показано, что упрочнение поверхностного слоя металла подступичной части оси роликами повышает усталостную прочность осей в 2–2,5 раза, а также прочность сопряжения в процессе эксплуатации. При сборке с термовоздействием прочность сопряжения, при сниженных натягах на 25 %, увеличивается в 1,5–2 раза по сравнению с запрессовкой. Применение антикоррозионных покрытий снижает концентрацию напряжений и фреттинг коррозию на подступичной части оси.

Прочность сопряжения колеса с осью возрастает с увеличением жесткости сопрягаемых элементов и натяга. Усталостная прочность наоборот снижается с увеличением указанных параметров. Поэтому для оптимального подбора натяга, конфигурации охватывающей детали и жесткости сопрягаемых элементов представляет интерес разработка метода определения контактных давлений в соединениях натурального колеса с полой и цельной осью.

3. Основной материал

На основании анализа основных исследований, только комплексный подход к обеспечению усталостной прочности полый оси прочности ее сопряжения с колесом путем рационального подбора жесткости сопрягаемых элементов величины натягов, применение упрочняющей накатки роликами и других конструктивно – технологическим методов позволит создать надежные и долговечные колесные пары, в том числе и с полыми осями. Для этого, прежде всего, необходимо определить контактные давления в зоне сопряжения колеса с осью, которые возникают при разных вариантах сопряжения и разных конструктивных формах сопрягаемых деталей.

Пусть на подступичную часть полый оси с переменным натягом насажена ступица колеса (рис. 1, а). Тогда радиальные перемещения сопрягаемых поверхностей полый оси l_{oi} и ступицы колеса l_{ci} в плоскости (i) перпендикулярно оси Z будет равны половине натяга δ_i :

$$|l_{oi}| + |l_{ci}| = \frac{\delta_i}{2} \quad (1)$$

Точное удовлетворение уравнения (1) для всех точек контакта связано со значительными трудностями. Ввиду этого используем приблизительный способ точечно-упругого контактирования по методу А.А Попова, согласно которому уравнение (1) удовлетворяется лишь в отдельных выбранных точках:

$$|l_{o2}| + |l_{c2}| = \frac{\delta_{i2}}{2} \quad (2)$$

$$|l_{on}| + |l_{cn}| = \frac{\delta_{in}}{2}$$

Перемещение контактной поверхности полый оси определено Савушкиным И.С. предположении, что непрерывный характер, распределения контактных давлений можно замещать ступенчатым, постоянным на длине участка $\Delta l = Z_i - Z_{i-1}$. Тогда радиальные перемещения радиальные перемещения в каждой из выбранных точек определяется в зависимости от величины контактных давлений:

$$U_{oi} = f_i(P_0 P_1 P_2 \dots P_{n-1}) \quad (3)$$

Экспериментальное определение перемещения сопрягаемой поверхности насаженной на вал с натягом ступицы, на характер перемещений сопрягаемой поверхности вала, проводилось методом измерения стержнями, которые монтировались в подступичную часть оси (рис. 1, а).

При сборке с натягом колеса с осью, стержни с наклеенными на них тензометрическими датчиками сопротивления деформируются в продольном направлении и

получают деформацию W_i , равные радиальному перемещению сопрягаемой поверхности оси в сечении i . Тогда удельные перемещения сопрягаемой поверхности ступицы будут равны:

$$U_{Ci} = \frac{\delta_i}{2} - \frac{W_9}{2} \quad (4).$$

Подставляя формулу (4) в формулу (3) получим систему линейных уравнений относительно неизвестных P_i :

$$\begin{aligned} f_1(P_0 P_1 P_2 \dots P_{n-1}) &= \frac{W_1}{2} \\ f_2(P_0 P_1 P_2 \dots P_{n-1}) &= \frac{W_2}{2} \\ f_n(P_0 P_1 P_2 \dots P_{n-1}) &= \frac{W_n}{2} \end{aligned} \quad (5)$$

Теоретическое исследование функций $(P_0 P_1 P_2 \dots P_{n-1})$ и экспериментальное определение W_i позволяет решить систему уравнений (5) и определить контактные давления в соединении оси со ступицей колеса.

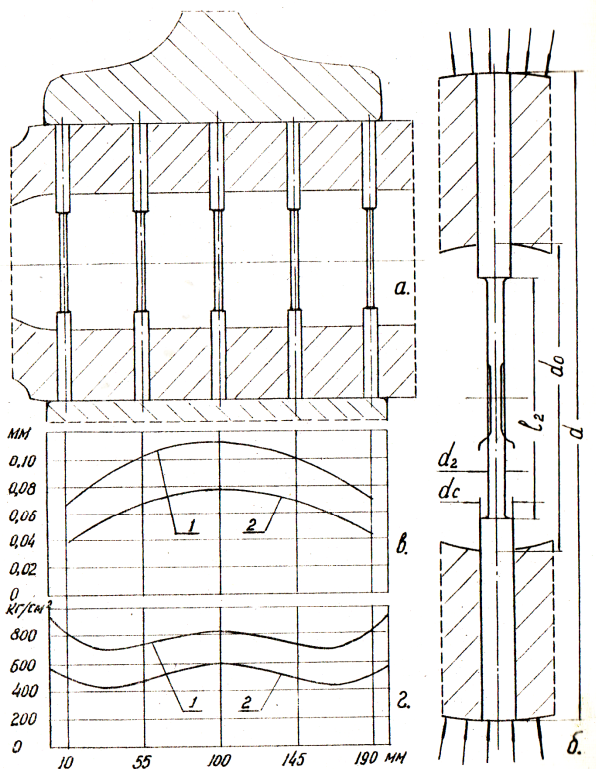


Рис. 1 – Схема расчета (а, б), перемещения (в) и контактные давления (г) в соединении полой оси со ступицей колеса: кривые 1 – при натяге 0,26 мм; кривые 2 – 0,17 мм

датчиками (рис 1, б);

σ_c , $\sigma_{кр}$, $\sigma_{пр}$ – напряжения в стержне, критическое напряжение, предел прочности материала стержня;

$\delta_{ма}$ – наибольшее допустимое значение натяга;

P_k – контактное в соединении;

Для обеспечения заданной точности измерительные стержни (рис. 1, б) должны удовлетворять следующим требованиям:

- Минимальному значению диаметра измерительного стержня
- Устойчивости стержня на продольное сжатие

$$\sigma_c \leq \sigma_{кр} \leq \sigma_{пр}$$

или

$$\frac{E \delta_{MAX}}{2 \left[i_2 + (d - i_2) \frac{d_2^2}{d_c^2} \right]} \leq \frac{\pi^2 E d_2^2}{4 i_2^2} \leq \sigma_{пр} = 3000 \text{ кг/см}^2 \quad (6)$$

- Равной или меньшей жесткости стержня на продольное сжатие с жесткостью полой оси на боковое сжатие:

$$\frac{P_k d}{E} \left[\frac{d^2 + d_0^2}{d^2 - d_0^2} - \mu \right] = \frac{P_k}{E} \left[(d - l_2) + l_2 \frac{d_c^2}{d_2^2} \right];$$

Где: d , d_0 – наружный и внутренний диаметры полой оси;

D_c , d_2 , l_2 – Размеры стержня с

ε , ε_u – относительные деформации диаметра стержня и на диаметре закрепленных тензометрических датчиков.

Из анализа уравнения (7) следует, что условие равной жесткости обеспечивается у стержня постоянного сечения с полый осью, у которой

$d_0 = 0.36d$. Для полый оси $d_0 = 0.5d$ необходимо применять менее жесткие стержни с выточкой. Условиям уравнений 6,7,8 удовлетворяет стержень, изображенный на рис. 1, б, для которого $d=202$ мм, $d_c=10$ мм, $d_2=5$ мм, $l_2=60$ мм. Измерение радиальных перемещений контактных давлений производилось на натурных сопряжениях полый оси с колесом. Перемещения сопрягаемых поверхностей для каждого сопряжения, измерялось при их запрессовке так и при их распрессовке, Результаты записанных на осциллограммах перемещений показаны на рис. 1, в. Кривая 1 в сопряжении с натягом 0,26 мм; кривая 2 – с натягом 0,17 мм. Используя полученные результаты и решение К.С. Савушкина для расчета перемещения сопрягаемой поверхности полый оси от единичных контактных давлений, через функции Бесселя определены контактные давления в исследуемых сопряжениях. Характер распределения и величины контактных давлений приведены на рис. 1, г (кривая 1) в сопряжении с натягом 0,26 мм, в котором видна концентрация контактных давлений по краям сопряжения. Для полый оси сопряженной с колесом, с переменным и заниженным на 20 % натягом, значительной концентрации контактных давлений не наблюдалось.

Отмечается влияние диска и обода колеса на высокий уровень контактных давлений посредине соединения, относительно не высокая концентрация контактных давлений (до 30 %) по краям сопряжения, которая вызвана влиянием выступающих концов оси. Это объясняется эластичностью концов конической ступицы колеса и увеличенным диаметром сопрягаемых поверхностей полый оси и колеса без изменения наружных размеров стандартной ступицы колеса.

Выводы

Рассмотренный метод определения контактных давлений с использованием радиальных вмонтированных стержней, позволяет:

- определить и записать на осциллограмму радиальные перемещения сопрягаемых поверхностей по всей длине сопряжения колеса с осью;
- Определить контактные давления в сопряжениях с постоянным и переменным натягом;
- Определить влияние сложной конфигурации ступицы и диска колеса на
- Распределение контактного давления

Список использованных источников:

1. Серенсен Н. П. Прочность металла расчет деталей машин / Н. П. Серенсен. – М. ; - Л., 1937.
2. Серенсен Н. П. Динамическая прочность в машиностроении / Н. П. Серенсен. – 2е изд. – М., 1945.

3. Серенсен Н. П. Несущая способность и расчеты деталей машин на прочность / Н. П. Серенсен. – М., 1954.

4. Ткачук З. Г. Влияние конечного усилия запрессовки на прочность прессовых сопряжений с полыми осями / З. Г. Ткачук, И. Ф. Малицкий // Технология и организация производственных процессов. – К., 1973. – № 4.

Малицкий И. Ф., Чернятина Е. В. «Экспериментально-теоретический метод определения контактных давлений в сопряжении полый оси со ступицей вагонного колеса».

Определение прочности сопряжения железнодорожного колеса с полый осью и контактных давлений по всей длине сопряжения железнодорожного колеса с полый осью методом запрессованных в ось измерительных штырей.

Ключевые слова: контактные давления, ступица, вагонное колесо.

Малицький І. Ф., Чернятина О. В. «Експериментально-теоретичний метод визначення контактних тисків в сполученні порожнистої осі з маточиною вагонного колеса».

Визначення міцності сполучення залізничного колеса з порожнечою віссю і контактної тиску по усій довжині сполучення залізничного колеса з віссю методом запресованих у вісь вимірювальних штирів.

Ключові слова: контактні тиски, маточина, вагонне колесо.

Malickiy I. F., Chernytina E. V. “Experimental-theoretical method of definition of contact pressures in the coupling hollow axle with wheel carriage hub”.

Determination of strength train traffic wheel axle with emptiness and contact pressure across the length of the train traffic wheel to the axle by axle pressed into the measuring pins.

Key words: contact pressures, hub, wheel carriage.

Стаття надійшла до редакції 5 вересня 2013 р.

©Маршуба В.П., Чернякова О.В.

ДО ПИТАННЯ ПРО ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ГЛИБОКОГО СВЕРДЛІННЯ ГВИНТОВИМИ СВЕРДЛАМИ ЗА РАХУНОК КЕРУВАННЯ АДГЕЗІЙНОЮ СКЛАДОВОЮ СИЛИ ТЕРТЯ

1. Постановка проблеми в загальному вигляді

На агрегатних верстатах (АС) та автоматичних лініях (АЛ) часто застосовується багато прохідна схема обробки отворів малого діаметру (до 15d), що збільшує вартість виробів, через виведення такого виду обробки отворів на окремі позиції і великого, порівняно з без виводним (однопрохідним) способом основним часом, що витрачається на процес різання. Це неможливо виправити під час експлуатації такого обладнання.

Тому виробники часто при заказі нового обладнання вимагають замінювати багато прохідну схему обробки глибоких отворів на однопрохідну, тобто створити умови обробки отвору за один раз. Оскільки агрегатні верстати і автоматичні лінії є верстатами для масового виробництва, то багато прохідна схема обробки отворів в умовах конкурентного виробництва найчастіше є неприйнятною. Крім того для зниження вартості обладнання виробники вимагають поєднання свердел для глибокого свердлування і іншими різноманітними ріжучими інструментами (мітчики, розгортки та інші) на однієї інструментальній силовій головці, що не уможливорює виведення свердла з зони різання та обробки, для охолодження та відведення фрагментів стружки. А так, як обробка глибоких (до 15d) отворів стандартними гвинтовими свердлами для обробки легких сплавів ГОСТ 19548-88 на АВ та АС в алюмінієвих сплавах, зокрема корпусних деталях, є поширеною і відповідальною операцією технологічного процесу, то виникає проблема з їх однопрохідною обробкою з-за підвищеної адгезійної активності матеріалу, що обробляється.

Крім цього основними недоліками процесу глибокої обробки отворів малого діаметру є той фактор, що конструктивно гвинтові свердла мають невелику осьову стійкість, тоді як процес різання, має велику силу тертя (за рахунок збільшення дії адгезійної складової), що постійно зростає по мірі заглиблення інструменту в заготовку. Особливо зростає адгезійна складова сили тертя під дією температури в зоні різання та обробки.

2. Аналіз досліджень і публікацій за темою статті

Тому розглянемо застосування цих свердел для використання на технологічних операціях глибокого свердління різноінструментальними головками АС і АЛ, що має ряд недоліків, як у конструкції ріжучого інструменту, так і в умовах обробки отворів:

- через недосконалість най поширеного способу підведення ЗОТС до гирла отвору методом поливу і неглибокого проникнення рідини в зону обробки, при збільшенні глибини отвору, підвищується температура в зоні різання, що в кінцевому підсумку сприяє збільшенню шкідливого впливу адгезійного і механічної взаємодії інструментального матеріалу та того, що обробляється;

– при досягненні глибини свердління отворів $\sim (4...5)d$ стандартними гвинтовими свердлами, через пакетування стружки в стружкових канавках має місце від 40 до 60 % випадків раптової відмови (далі в тексті поломок) ріжучого інструменту від всіх випадків руйнування інструменту (рис. 1);

– відсутня можливість виведення ріжучого інструменту з каналу отворів для охолодження й видалення стружки, через одночасну роботу різноманітних ріжучих інструментів (мітчиків, розгортки та ін.);

– немає можливості за малого діаметру інструменту і близького розташування шпинделів в інструментальній головці, установки допоміжної оснастки для застосування подачі ЗОТС в зону різання під тиском через канали в стеблі свердла.

Крім вище сказаного, конструкція стандартних спіральних свердел довгої і подовженою серії для обробки легких сплавів при свердлінні глибоких отворів в алюмінієвих сплавах має ряд конструктивних недоліків, тобто вузький діапазон зміни окремих параметрів рекомендованих ГОСТом в цих ріжучих інструментах заважає своєчасному видаленню стружки із зони обробки і створення найбільш сприятливих умов стружко утворення в зоні різання. Рекомендоване ГОСТом полірування поверхні стружкових канавок, що утворює, не дає бажаного результату щодо підвищення стійкості свердел. Так як через нестачу охолоджуючої рідини в зоні різання, на ріжучих краях інструмента йде активний процес утворення, росту і зриву наростів, зростає температура і вплив сил адгезії. Все це в кінцевому підсумку ускладнює відведення стружки і викликає її опресування (пакетування) у стружкових канавках. Перші ознаки порушення стабільної роботи свердел з'являються при досягненні глибини отвору більше $3,5d$, що проявляється в різкому збільшенні моменту, що крутить і підтверджується даними робіт Сінельщикова А.К. та ін. [1, 2]. Тому все вище перераховане призводить до збільшення довжини контакту стружки з передньою поверхнею інструменту, зміни характеру стружки і прискореного зносу інструменту. І тому як наслідок пакетування стружки призводить до частих раптових відмов свердел при досягненні глибини отвору $\sim (4...5)d$ (рис. 1), що підтверджується статичними дослідженнями автора, проведеними на ОАО Харківському тракторному заводі (ОАО ХТЗ).

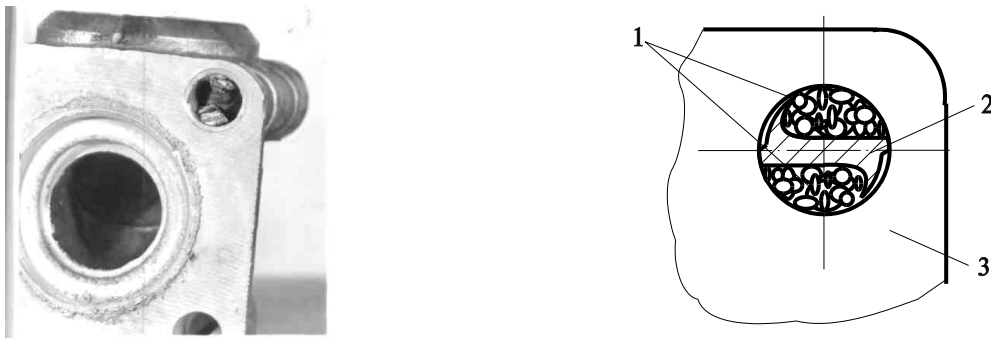


Рис. 1 – Характерна поломка гвинтового свердла $\varnothing 11,2$ мм в корпусних деталі через пакетування стружки в стружкових канавках (матеріал заготовки АК7, інструменту Р6М5ФЗ, $V = 31,38$ мм/хв., $S = 0,26$ мм/об., охолодження Аквол 10-М 5...7 л/хв.

1 – пакети стружки, 2 – поламане свердло, 3 – деталь з алюмінієвого сплаву

3. Мета роботи

Метою роботи є обґрунтування переваг використання методів високошвидкісної обробки за рахунок зниження активності адгезійної складової сили тертя, за допомогою яких отримується ефект не тільки від зменшення машинного часу за рахунок інтенсифікації режимів різання, але й в підвищенні якості обробки.

4. Основний зміст

Механізм поломки гвинтових свердел, за даними роботи [3], заснований на появі в зоні обробки «крихких» і «щільно спакованих» пакетів стружки, що підтверджується дослідницькими і статистичними даними, проведеними на ОАО ХТЗ. Тому закупорка стружкових каналів і утворення пакетів стружки, як наслідок цього поломка стандартних гвинтових свердел відбувається за такою схемою рис. 2 або в три етапи:

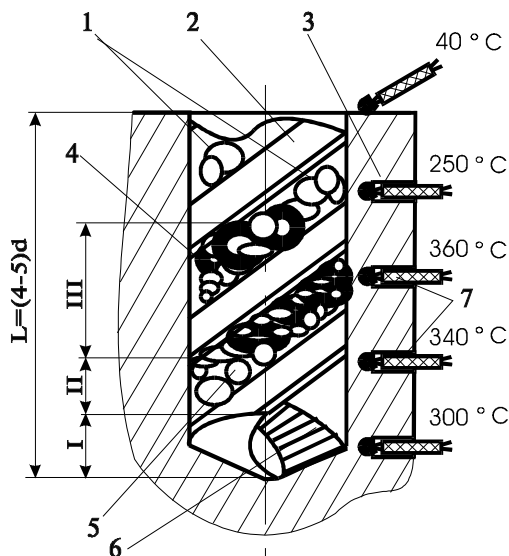


Рис. 2 – Схема утворення пакетів стружки і вимірювання температури в процесі обробки глибокого отвору:

- 1, 5 – крихкі пакети стружки;
- 2 – уламок спірального свердла;
- 3 – термопар;
- 4 – щільно упаковані пакети стружки;
- 6 – зливна стружка

фрагментів стружки в мікро нерівностях поверхні різального інструменту інструментального та оброблюваного матеріалу. В результаті чого в процесі різання на ділянці L питома вага фрагментів стружки досягає $0,5 \text{ гр/см}^3$, а наростів – $0,8 \text{ гр/см}^3$ при щільності в 1,5...2 рази вище щільності основного оброблюваного матеріалу (рис. 3).

У результаті спільного механічної та адгезійної взаємодії інструментального та оброблюваного матеріалу в зоні різання (ділянка L) відбувається, як зазначалося раніше, частий зрив наростів з пір'я ріжучого інструменту. Так як алюмінієві сплави мають підвищену хімічної активності і схильністю до схоплювання частинок металу між собою при підвищеній температурі, відбувається злипання щільних наростів з елементами стружки. Внаслідок цього, на ділянці II стружка ущільнюється в стружкових каналах спіральних свердел з утворенням так званих «крихких» пакетів. У результаті вище описаного

– Через недосконалість широко поширеного способу підведення ЗОТС до гирла отвору методом поливу і неглибокого проникнення рідини, що охолоджує, в зону обробки, при збільшенні глибини отвору більше ніж $3...4d$ різко підвищується температура в зоні різання в середньому до 235°C , а на ріжучих крайках до 300°C на периферії по діаметру отвору. Різке підвищення температури і практична відсутність ЗОТС при високих питомих напругах призводить до збільшення впливу сил адгезії в зоні різання, що в свою чергу збільшує на головних різальних кромках свердла активний процес утворення, росту і зриву наростоутворень (наростів), які утворюються в результаті спільного дії високих питомих контактних напружень, адгезійної (злипання фрагментів під дією міжатомних сил) і механічної взаємодії (тобто заклинювання частинок приконтактного шару

процесу освіти «крихких» пакетів стружки, їх питома вага досягає $0,9...1,2 \text{ гр/см}^3$ при щільності в $1,5...2$ рази нижче щільності основного оброблюваного матеріалу (рис. 4). При обробці отворів стандартними спіральними свердлами питома вага «крихких» пакетів стружки вище в $1...1,5$ рази, ніж при таких же умовах обробки спеціальними гвинтовими свердлами, пов'язано це з тим що в конструкціях цих свердел є велика різниця в обсягах стружкових канавок;

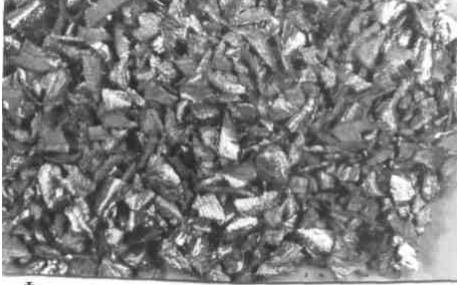


Рис. 3 – Стружка сколювання і фрагменти наростів с питомою вагою фрагментів стружки – $0,5 \text{ гр/см}^3$, а наростів – $0,8 \text{ гр/см}^3$

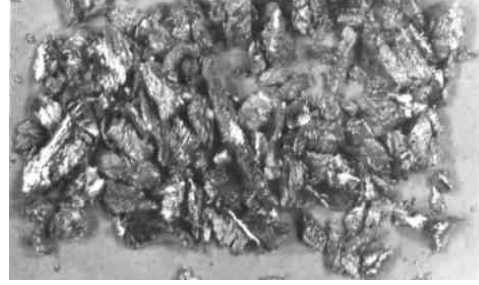


Рис. 4 – Крихкі пакети стружки с питомою вагою, що досягає $0,9...1,2 \text{ гр/см}^3$

– Утворення "крихких" пакетів у стружкових каналах спіральних свердел в зоні обробки (ділянка II), за даними роботи [4], призводить до подальшого збільшення впливу сил адгезії. Потік стружки спільно з "крихкими" пакетами переміщаючись в стружкових канавках спіральних свердел в зоні ділянки III, взаємодіє з утворюючими поверхнями отвору і ріжучого інструментів. Під впливом адгезійних сил загальмовується, при цьому швидкість переміщення «крихких» пакетів і фрагментів стружки в порівнянні з швидкістю сходу стружки в зоні різання зменшується. Загальмування стружки збільшує температуру нагрівання різального інструменту і оброблюваної деталі на ділянці III, за рахунок вторинної конвенції тепла з стружки, сприяють збільшенню схвативаємості фрагментів стружки між собою і «крихкими» пакетами під впливом сил адгезії і високих питомих тисків, визиває при цьому утворення «щільно спакованих» пакетів стружки (рис. 5). Температура в зоні ділянки III підвищується в оброблюваної деталі до $140...160^\circ \text{C}$, в ріжучому інструменті – 360°C . Такий великий інтервал температур пояснюється хорошим розсіюванням тепла в оброблюваної деталі і недостатнім охолодженням різального інструменту або стоком з нього теплоти. Крім цього, в цьому інтервалі температур виникають сприятливі умови підвищення адгезійної взаємодії, так як сили адгезії на пряму залежать від температури. У результаті спільної дії сил адгезії, високих питомих напружень і температури «щільно спаковані» пакети стружки на ділянці III загальмовуються і повністю зупиняються, викликаючи при цьому закупорку стружкових каналів гвинтових свердел і як наслідок раптову поломку різального інструменту (рис. 1).



Рис. 5 – Щільно спаковані пакети стружки

Отже, умови обробки глибоких отворів (рис. 6) породжують процес активного наросто утворення і створення «крихких» і «щільно спакованих» пакетів стружки пов'язані:

- по-перше, з адгезійним і механічним взаємодією;
- по-друге, з недосконалою конструкцією стандартних і спеціальних спіральних свердел;
- в третій, з вадами методу подачі ЗОТС в зону обробки.

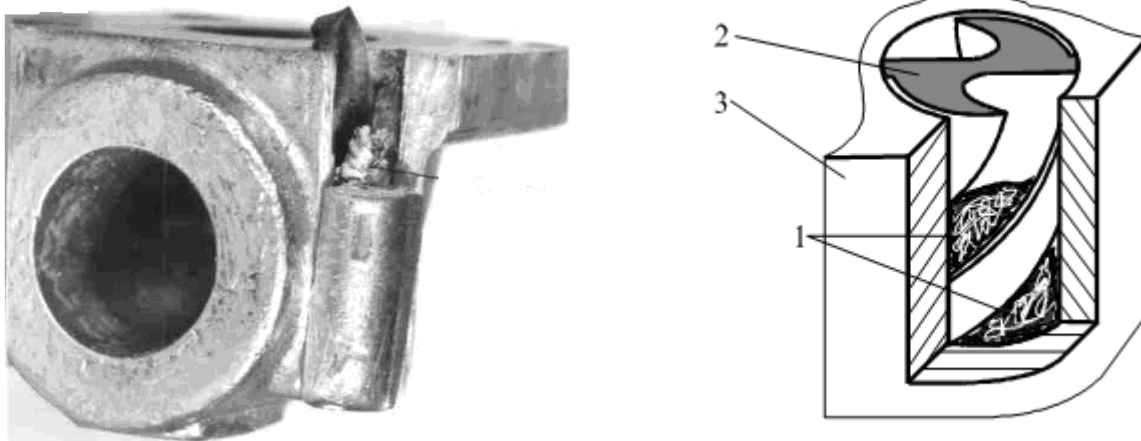


Рис. 6 – Характерні пакети стружки в стружкових канавках спірального свердла $\varnothing 11,2$ мм при глибині отвору 4-5d. 1 – пакети стружки; 2 – зламане свердло; 3 – деталь з алюмінієвого сплаву

Висновки

Для усунення шкідливих впливів фізичних явищ, недосконалості конструкцій свердел і способу подачі ЗОТС при глибокому без вивідне свердлування отворів необхідно:

1. Знизити шкідливий вплив адгезійного взаємодії за рахунок застосування тонких зносостійких твердих покриттів з нітриду і карбіду титану (КОН TiN 10 зн. Та КОН TiC 10 зн.) , Що наносяться на ріжучу частину гвинтового свердла, так як зносостійкі покриття знижують вплив сил адгезії в 1,5 рази.

2. Знизити шкідливий вплив механічної взаємодії за рахунок застосування полірування поверхні стружкових канавок, що утворює.

3. Для зниження процесу наросто утворення та зменшення фрагментів стружки, а також для усунення процесу утворення пакетів в стружкових каналах , за даними роботи [4], необхідно на ріжучої частини інструменту по передній і задній поверхні вводити елементи для дроблення стружки, які дозволяють підвищити глибину обробки отворів до 10...15d і стійкість ріжучого інструменту на 30%.

Застосування вище перерахованих методів і способів дозволяють зменшити потрібність в великій кількості ЗОТС, необхідної для охолодження, а в ряді випадків повністю від нього відмовитися. Крім цього вони спрямовані на зниження шкідливого впливу фізичних явищ , що протікають в зоні обробки і знижують імовірність поломок спіральних свердел.

Список використаних джерел:

1. Синельщиков А. К. Повышение эффективности обработки спиральными сверлами / А. К. Синельщиков, Г. В. Филиппов // Станки и инструмент. – 1974. – № 3. – С. 35–37.

2. Синельщиков А. К. Производительная обработка отверстий длиной 3-7d спиральными сверлами / А. К. Синельщиков, Г. В. Филиппов // Современная обработка металлом и неметаллов резанием. – М., 1973. – С. 35–37.

3. Маршуба В.П. Причины внезапного отказа (поломок) спиральных сверл при обработке глубоких отверстий в алюминиевых сплавах и методы его устранения / В. П.

Маршуба // Резание и инструмент в технологических системах : междунар. науч.-техн. сб. / Харьк. гос. политехн. ун-т. – Харьков, 1998. – Вып. 52. – С. 154–157.

4. Маршуба В. П. Повышение эффективности глубокого сверления отверстий в алюминиях на агрегатных станках и автоматических линиях спиральными сверлами малого диаметра за счет совершенствования условий отвода стружки / В. П. Маршуба, В. И. Дрожжин // Резание и инструмент в технологических системах : междунар. науч.-техн. сб. / Харьк. гос. политехн. ун-т. – Харьков, 1998. – Вып. 52. – С. 81–87.

Маршуба В.П., Чернякова О.В. «До питання про підвищення ефективності глибокого свердління гвинтовими сверлами за рахунок керування адгезійною складовою сили тертя».

У статті розглядається питання присвячені дослідженню підвищення ефективності процесу обробки глибоких отворів спіральними сверлами на базі існуючих розробок в різних напрямках. Тобто в цій статті розглянуто вдосконалення технологічного процесу обробки глибоких отворів гвинтовими сверлами на агрегатних верстатах, автоматичних лініях та гнучких виробничих системах.

Ключові слова: обробка глибоких отворів, інструмент, верстат, процес різання; вібрації.

Маршуба В.П., Чернякова О.В. «К вопросу о повышении эффективности глубокого сверления винтовыми сверлами за счет управления адгезионной составляющей силы трения».

В статье рассматриваются вопросы посвященные исследованию повышения эффективности процесса обработки глубоких отверстий спиральными сверлами на базе существующих разработок в разных направлениях. То есть в настоящей статье рассмотрено совершенствование технологического процесса обработки глубоких отверстий спиральными сверлами на агрегатных станках, автоматических линиях и гибких производственных системах.

Ключевые слова: обработка глубоких отверстий, инструмент, станок, процесс резания, вибрации.

Marshuba V.R., Chernyakova O.V. “On the question of increasing the effectiveness of deep drilling screw drill through the management adhesive component of the force of friction”.

The article examines on sacred to research of increasing of efficiency of processing deep holes by spiral drills on the base of existent developments in various directions. The article concerns the perfection of technological process deep holes making by spiral drills on aggregate machine-tools, automatic transfer lines and flexible productive systems.

Key words: processing deep holes, tool, machine-tool, cutting process, vibrations.

Стаття надійшла до редакції 3 жовтня 2013 р.

ПІДВИЩЕННЯ ЯКОСТІ ФАСОК ОТВОРІВ, ВИКОНАНИХ НА ЦИЛІНДРИЧНИХ ПОВЕРХНЯХ ВИРОБІВ ІЗ ПОЛІМЕРНОГО КОМПОЗИТНОГО МАТЕРІАЛУ (ПКМ)

Вступ

В останнє десятиліття великих обсягів досягло виробництво композитних матеріалів, серед яких особливе місце посідають композити на основі полімерних матеріалів, тому як вироби з ПКМ (склопластик, склоорганопластик, вуглеорганопластик, майже усі органопластики тощо) знаходять все більш широке застосування у закордонних так і у вітчизняних галузях народного господарства у сфері матеріального виробництва а саме в таких галузях промисловості, як хімія, будівництво, транспорт (особливо авіаційний та водний), також усе частіше виготовляються різний спортивний інвентар тощо. Це тому, що ПКМ володіють значною кількістю переваг в плані фізико-механічних властивостей, а саме високою питомою міцністю, твердістю і стійкістю до впливу навколишнього середовища у порівнянні з металами та їх сплавами [1].

Велика кількість найбільш розповсюджених виробів із ПКМ різного призначення, мають отвори до яких ставлять підвищенні вимоги по якості їх елементів, відхилення яких виникає у процесі обробки.

1. Постановка проблеми.

Аналізуючи види дефектів, які виникають у процесі механічної обробки отворів осьовим інструментом у виробах із ПКМ та їх негативний прояв при експлуатації виробу, можна зробити висновок про те, що переважаючим дефектом є розшарування кромки матеріалу навколо поверхні отвору, нерозрізані волокна та викришування матеріалу (рис. 1), головна причина яким є, це перемичка свердла, яка не ріже матеріал, а видавлює (зминає) та з цим дія складових сили різання і крутного моменту, які виникають з самого початку обробки при вході інструмента в ПК та проявляють себе при виході з матеріалу [2, 3].

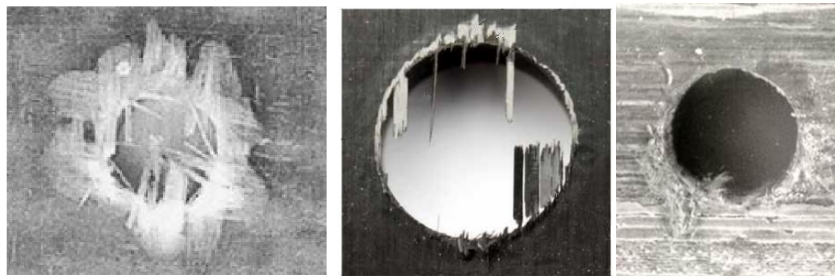


Рис. 1 – Пошкодження кромки отвору після свердління ПКМ спіральним свердлом

Тому саме фаски нарізають на отворах виконаних в виробах із ПКМ не тільки в технологічних, ергономічних цілях, а в декоративних в першу чергу.

Найбільш розповсюджені в загальній масі ріжучих осьових інструментів використовуваний для лезвийної обробки кромки отворів виконаних на плоскій поверхні виробу із ПКМ можна виділити такі як свердло, зенкер, зенківка, цековка, а для збільшення продуктивності праці (за один робочий хід свердління отвору та нарізання фаски), успішно проявив себе комбінований інструмент (свердло-свердло, свердло-зенківка, свердло-зенкер тощо) [4].

Однак при використанні вищезазначених інструментів виникає проблема у нарізанні фаски у отворах виконаних на циліндричних виробках із ПКМ, тому що отвір має не плоский торець, а параболічну форму з криволінійними кромками (рис. 2).

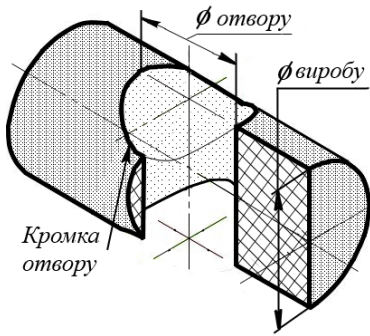


Рис. 2 – Циліндричний виріб із ПКМ на якому виконаний наскрізний отвір

2. Аналіз останніх досліджень і публікацій

Отже, проаналізувавши останні дослідження, публікації та практичне вирішення цієї операції на виробництвах, можна зробити висновок про те, що обробці криволінійних кромки отворів виконаних на циліндричних поверхнях виробів із ПКМ приділяється не велика увага, особливо коли йдеться річ про відносно не великі отвори. Так на виробництві цю операцію виконують класичним способом універсальним осьовим інструментом – свердлом або зенківко [5].

Також на не великих виробництвах використовують ручні універсальні шабери для зняття облою та фасок [6]. Даний вид шаберів являє собою рукоятку зі змінними гачкоподібними лезами. Завдяки обертовому лезу знімати фаску доволі зручно та при цьому великого натискного зусилля не потрібно. Спеціальна заточка лез дозволяє обробляти як криволінійні кромки отвору так і плоскі, однак цей метод має усі недоліки ручної праці.

Звичайно сучасний етап розвитку промислового виробництва характеризується високим рівнем автоматизації. Так на більш сучасних виробництвах схильні до використання верстатів з ЧПК, які спроможні з високою точністю і якістю послідовно спочатку просвердлити отвір, а потім нарізати фаски на будь які криволінійні поверхні, використовуючи в якості інструмента спеціальні фрези.

В свою чергу автоматизоване виробництво викликає більш високі вимоги до працездатності і надійності інструмента, зокрема спіральних свердел, а також до збільшення концентрації операцій, тобто суміщенню попереднього й остаточного оброблення.

Звичайно відома конструкція перового свердла [7], робоча частина якого виконана у формі пластини, розташованої у торця ріжучої частини, яка має дві ріжучі кромки, кут між якими 2ϕ , а хвостова конічна частина встановлюється в шпиндель верстата, якому надається постійна осьова подача. Недоліком цього свердла є те, що відсутня можливість нарізання фаски в отворах, які були одразу ж їм просвердлені на циліндричних або сферичних поверхнях. За принципом використання не передбачено нарізання фаски в попередньо просвердлених отворах, які мають криволінійний контур торця, тому як відсутній зворотно-поступальний рух ріжучої частини вздовж вісі інструмента, який би обгинав нерівності.

Найбільш близькою є конструкція пристрою для обробки кромки отворів [8], який складається з корпусу з вузлом кріплення інструмента, установлений на валу з можливістю переміщення уздовж вісі вала за допомогою пружини, і копіювальний ролик, встановлений у корпусі діаметрально протилежно ріжучому інструменту з можливістю налаштування радіального переміщення. Недоліком цього пристрою є доволі складна конструкція, відсутня можливість нарізання кромки, які розташовані не симетрично та технологічна складність обробки кромки у відносно малих отворах та не призначений для свердлування отворів.

3. Постановка задачі

Так при використуванні класичного універсального осьового інструмента (свердло, зенкер, зенківка тощо) для нарізання фаски на кромках отворів виконаних на циліндричних поверхнях, отримаємо не повний профіль фаски (рис. 3, а) із-за розташування кромки не в одній площині. Відповідно до цього, мета роботи спрямована на підвищення якості нарізання фаски отворів, виконаних на циліндричних поверхнях виробів із ПКМ, а саме повний та рівномірний профіль (рис. 3, б).

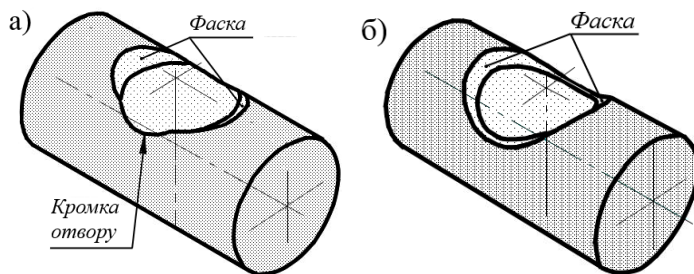


Рис. 3 – Виріб із ПКМ циліндричної форми з отвором: а) стан кромки отвору після обробки універсальним осьовим інструментом; б) рівномірно нарізана фаска

має повздовжній наскрізний паз 4, у який встановлено вздовж головної вісі шток 5, до торця якого, за допомогою шарнірного з'єднання 6, в напрямку робочої частини 7 свердла 2, прикріплена основою ріжуча пластина 8, яка виконана у формі рівнобедреного трикутника, яка підпружинена пружиною стиску 9.

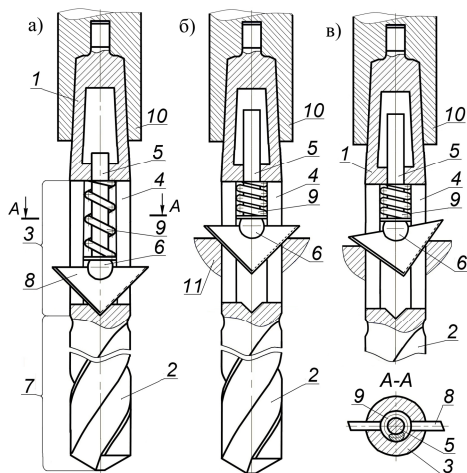


Рис. 4 – Комбінований осьовий інструмент

кромку отвору. Завдяки тому, що ріжуча пластина 8 виконана у формі трикутної пластини і

4. Основний матеріал

Запропоноване комбінований осьовий інструмент (рис.4, а – зображено повздовжній розріз у початковому стані), який складається з конусної інструментальної втулки 1, до торця якої жорстко прикріплюється свердло 2, торцем хвостовика 3, що

Комбінований осьовий інструмент працює наступним чином (рис.4, б, в – зображено повздовжній розріз у робочому стані). Конусна інструментальна втулка 1 встановлюється у конусну виточку шпинделя 10 верстата, з обертанням якого, крутний момент по хвостовику 3 свердла 2 передається на ріжучу частину 7, яка при осьовій подачі шпинделя 10, свердлить отвір у заготовці 11. При необхідності подальшого зняття фаски з отвору, шпиндель 10 подає комбіноване свердло далі по вісі заготовки 11, до ріжучої пластини 8, яка рівнобедреними ріжучими кромками потрапляє на

підружинена пружиною стиску 9, має можливість у зворотно-поступальному русі, завдяки чому обгинає нарізаючи фаски на криволінійних кромках торця отвору, який виконаний на циліндричних, сферичних поверхнях.

Стиском пружини 9 регулюється осьова сила ріжучої пластини 8, що дозволяє обробляти кромки отворів різного матеріалу. Завдяки наявності шарнірного з'єднання 6 ріжучої пластини 8 зі штоком 5, вона має можливість нарізати фаски в отворах з несиметричним торцем.

Висновки

Отже, розглянутий у статті метод підвищення якості фасок в отворах, що виконані на циліндричних поверхнях виробів виготовлених із полімерних композитних матеріалів, який полягає у використанні комбінованого осьового інструмента, використання якого дозволить збільшити продуктивність праці механічної обробки отворів, за рахунок з однієї установки виконання свердління та нарізання в них фаски, як на плоских поверхнях так і на циліндричних.

Список використаних джерел:

1. Крыжановский, В. К. Производство изделий из полимерных материалов : учеб. пособие / В. К. Крыжановский, М. Л. Кербер, В. В. Бурлов, А. Д. Паниматческо. – СПб.: Профессия, 2004. – 464 с.
2. Davim, J. Paulo. Machining: fundamentals and recent advances / J. Paulo Davim // Springer-Verlag London Limited. – 2008. – 368с.
3. Hocheng, H. The path towards delamination-free drilling of composite materials / H. Hocheng, C. C. Tsao // Journal of Materials Processing Technology. – 2005. – Vol. 167. – P. 251–264.
4. Степанов, А. А. Обработка резанием высокопрочных полимерных композитов / А. А. Степанов. – Л.: Машиностроение, 1987. – 176 с.
5. Криштопа Н. А. Обработка отверстий в композитных и неметаллических материалах / Н. А. Криштопа, С. П. Радзевич, А. И. Бобко. – К.: Техніка, 1980. – 126 с.
6. Інструмент для снятия фасок и заусенцев NOGA [Електронний ресурс] / Компанія ООО «ИНСТЕК» – Режим доступа: <http://instek.ru/instrument-dlya-snyatiya-fasok-i-za>, свободный – Загл. с экрана (дата обращения: 03.08.2013).
7. Родин П. Р. Металлорежущие инструменты: учебник для вузов / П. Р. Родин. – 3-е изд., перераб. и доп. – К.: Вища шк., 1986. – 455 с.
8. А. с. 525499 СССР, МПК В 23 В 5/16; В 26 D 3/02. Устройство для обработки кромок отверстий / Ф. И. Небылицкий, В. А. Попов, Я. М. Райгородецкий. – Опубл. 06.04.1977, Бюл. № 31.

Самчук В.В. «Підвищення якості фасок отворів, виконаних на циліндричній поверхні виробів із полімерного композитного матеріалу (ПКМ)».

У статті розглядається метод механічної обробки для підвищення якості нарізання фасок на кромках отворів, що виконані на циліндричних поверхнях виробів виготовлених із ПКМ.

Метод припускає використання комбінованого осьового інструмента, що дозволить досягти не тільки високої якості нарізаної фаски, але і підвищити продуктивність праці в цілому.

Ключові слова: циліндрична поверхня, отвір, криволінійна фаска, полімерний композитний матеріал, комбінований осьовий інструмент.

Самчук В.В. «Повышение качества фасок отверстий, выполненных на цилиндрической поверхности изделий из полимерного композиционного материала (ПКМ)».

В статье рассматривается метод механической обработки для повышения качества нарезания фасок на кромках отверстий, которые выполнены на цилиндрических поверхностях изделий изготовленных из ПКМ. Метод предполагает использование комбинированного осевого инструмента, что позволит достичь не только высокого качества нарезанной фаски, но и повысить производительность труда в целом.

Ключевые слова: цилиндрическая поверхность, отверстие, криволинейная фаска, полимерный композиционный материал, комбинированный осевой инструмент.

Samchuk V.V. “Quality improvement of bevels of holes, performed on cylindrical surface of goods made of polymeric composite material (PCM)”.

In the article there the method of mechanical processing for quality improvement of bevels cutting on holes edges, performed on cylindrical surface of goods made of (PCM). The method suppose to use combined rotary cutting tools that allows achieve not only the high quality of a cutted bevel but also increase productivity as a whole.

Key words: cylindrical surface, a hole, a curvilinear bevel, a polymeric composite material, mechanical processing, a combined rotary cutting tool.

Стаття надійшла до редакції 3 вересня 2013 р.

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ СИСТЕМЫ АВТОМАТИЗАЦИИ ПРОЦЕССА ФОРМООБРАЗОВАНИЯ ДЛЯ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ОТЛИВОК МАШИНОСТРОИТЕЛЬНОГО НАЗНАЧЕНИЯ

1. Введение

Предприятия машиностроительного комплекса в условиях конкуренции активно занимаются внедрением передовых технологий производства, современного оборудования и систем управления. Это позволяет выпускаемой на этих предприятиях продукции соответствовать мировым стандартам. Важнейшая роль в борьбе за качество продукции принадлежит вопросам автоматизации процессов производства. В настоящее время интенсивно разрабатываются высоконадежные устройства и узлы автоматических систем, базирующихся на полупроводниках, магнитных, пневматических и других бесконтактных элементах. Большое внимание уделяется разработке микроэлементов автоматических систем, обладающих малыми габаритами и обеспечивают высокую надежность и быстродействие, а также высокую технологичность производства автоматических устройств. Возможность современной автоматики действительно безгранична, а первостепенная задача сегодня – ускорение ввода автоматики в производство с целью повышения конкурентоспособности машиностроительной продукции и улучшения условий труда персонала.

2. Анализ литературных данных и постановка задачи исследования

Большинство технологических операций в литейном производстве, специализирующемся на изготовлении фасонных отливок для деталей машиностроительного назначения, очень трудоемко, протекает при высокой температуре с выделением газов и кварцесодержащей пыли. Для уменьшения трудоемкости и создания нормальных санитарно-гигиенических условий труда в литейных цехах применяют различные средства автоматизации технологических процессов и транспортных операций. Наиболее трудоемкие операции при производстве отливок – формовка, изготовление стержней и очистка готовых отливок. На этих участках литейных цехов в наибольшей степени механизированы и частично автоматизированы лишь некоторые технологические операции [1–3]. При решении задач комплексной модернизации основных участков литейного цеха и, в частности, участка формовки, необходимо рассматривать возможность реализации оптимального управления технологическими операциями управляемых процессов. Как правило, системы управления комплексом литейного оборудования, выполняющего технологический процесс, являются комбинированными – по пути и времени. Вопросы моделирования работы таких систем и оптимизации управления ими на формовочно-плавильно-заливочных участках цехов рассмотрены, например, в работах [4–7]. Следует отметить, что в таких комбинированных системах управления необходимо предусматривать наличие регуляторов основных технологических параметров управляемых

процессов. Особая роль в них отводится системам регулирования по быстродействию, решающих задачу быстрого перевода системы из фактического текущего состояния в заданное конечное [6, 8]. Применительно к технологическим процессам формообразования такие системы должны работать в «узких» местах, т. е. решать задачи минимизации времени простоев литейного конвейера или автоматической линии. Именно поэтому актуальной представляется проблема разработки таких систем регулирования в общей структуре автоматической системы управления процессами формообразования.

3. Проектирование комбинированной системы управления процессом изготовления разовых песчаных форм

Системы управления современных машин-автоматов должны учитывать ряд требований по надежности. Поэтому при их проектировании необходимо учитывать ряд особенностей с целью минимизации вероятности сбоев в работе привода. К ним относятся [9]:

- во избежание переключения распределителей привода при промежуточных значениях основного входа релейного устройства соответствующие им значения полного состояния должны отличаться от любого другого;
- должна быть обеспечена «нулевая – защита» системы управления;
- автоматический режим может быть включен лишь при исходном положении всех рабочих органов привода;
- когда машина работает в автоматическом режиме, воздействие на органы ручного управления не должно вызывать никаких переключений, а перевод машины в наладочный режим исключает последовательность перемещений рабочих органов, предусмотренную автоматическим режимом.

Типовая схема и циклограмма работы формовочной машины-автомата представлена на рис. 1, на котором приняты следующие обозначения: Ц1 – пневмоцилиндр, подающий опоку на рабочий стол машины, Ц2 – пневмоцилиндр механизма протяжки полуформ, Ц3 – встряхивающий цилиндр, Ц4 – пневмоцилиндр привода заслонки бункера со смесью над машиной, Ц5 – пневмоцилиндр или гидроцилиндр механизма подпрессовки, Ц6 – пневмоцилиндр выталкивания готовой полуформы, Ц7 – пневмоцилиндр цехового бункера.

Выполнением процедуры логического синтеза по методике, изложенной в [9], спроектирована система управления, техническая реализация которой на элементах универсальной системы промышленной пневмоавтоматики (УСЭППА) представлена на рис. 2.

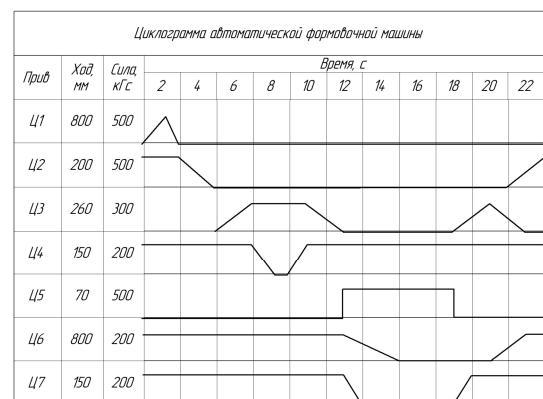
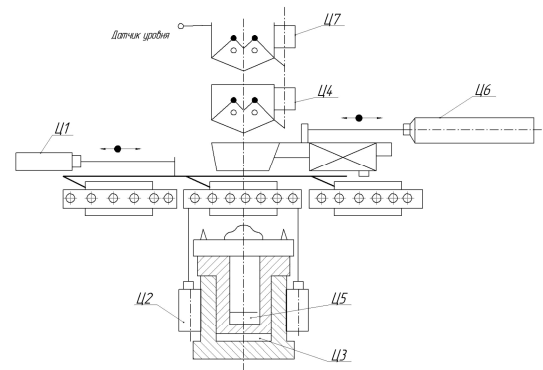


Рис. 1 – Схема и циклограмма работы формовочной машины-автомата

Промышленные наблюдения за работой формовочных автоматов показывают, что иногда возникают простои из-за несогласованной работы автомата со смесераздаточной системой, проявляемой в недостаточном уровне формовочной смеси в бункерах над машинами.

Контроль уровня осуществляется датчиками уровня, установленных непосредственно на бункерах. Система регулирования должна работать таким образом, чтобы при необходимости выдачи смеси в опоку эта задача была выполнена за минимальное время, т.е. речь идет о системе регулирования с быстросдействием. Для моделирования работы этой системы и поиска оптимального управления предлагается методика, аналогичная описанной в работе [8]. При этом в качестве основного метода поиска оптимального управления выбран принцип максимума Понтрягина [10]. Система уравнений, описывающая изменение расхода смеси в бункере, имеет вид:

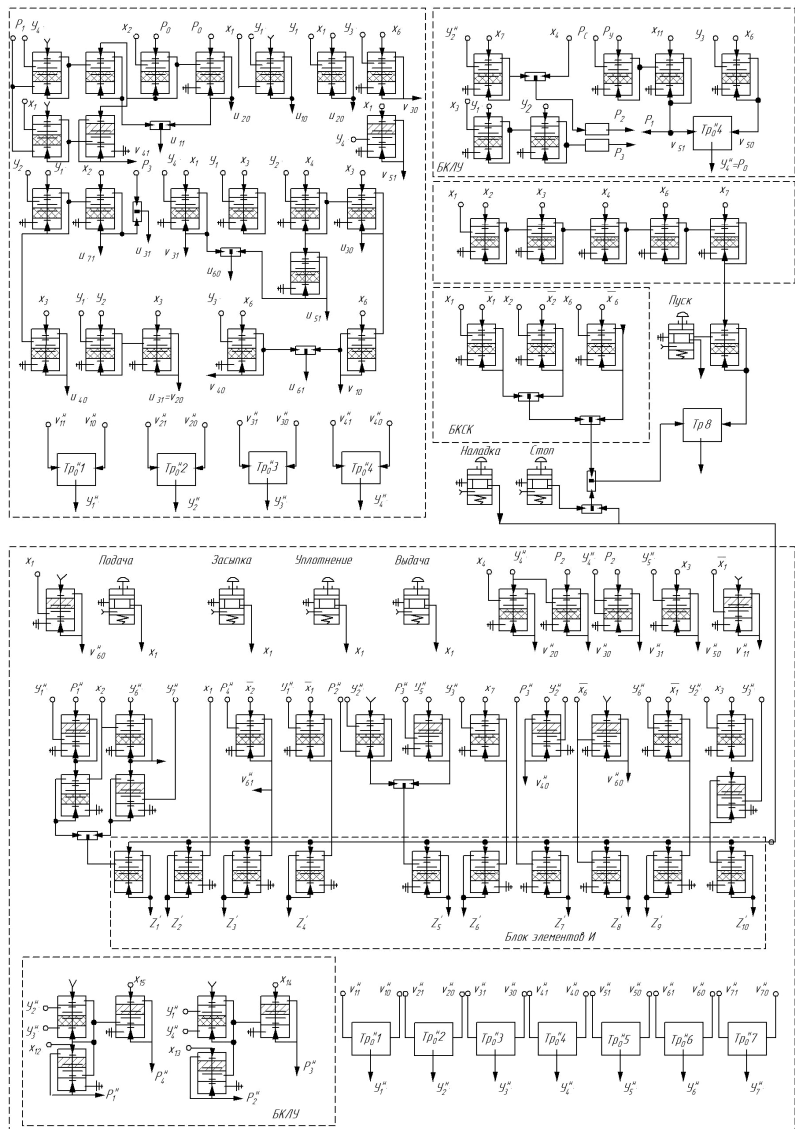


Рис. 2 – Техническая реализация системы управления формовочным автоматом на УСЭППА

$$\begin{cases} \frac{dx_1}{dt} = u, \\ \frac{dx_2}{dt} = x_1 - q, \end{cases} \quad (1)$$

где $x_1 = \Delta Q_1$ – изменение расхода смеси, подаваемой из цехового бункера, $x_2 = S\Delta h$ – изменение объема смеси в бункере над формовочным автоматом (S – площадь сечения бункера, Δh – перепад высоты смеси в бункере), $q = \Delta Q_2$ – изменение расхода смеси при выдачи её из бункера в опоку, $u = kp$ – управление, пропорциональное давлению в пневмоцилиндре механизма открытия заслонки бункера.

Для поиска оптимального по быстродействию управления при таком описании целесообразно применить принцип максимума Понтрягина. Задача поиска оптимального управления может быть сформулирована следующим образом: для процесса, описываемого системой уравнений (1) при наличии ограничений на управление найти закон изменения $u(t)$ при использовании которого процесс из произвольного начального состояния $x_1(0) = x_1^{(0)}$, $x_2(0) = x_2^{(0)}$ перейдет в конечное состояние $x_1(\tau_k) = q$, $x_2(\tau_k) = 0$ за минимальное время τ_k .

Полученные уравнения траектории процесса в координатах « $x_1 - x_2$ » имеет вид

$$x_2 = \frac{1}{2u}(x_1 - q)^2 + x_2^{(0)} - \frac{1}{2u}(x_1^{(0)} - q)^2, \quad (2)$$

где второе и третье слагаемые определяют постоянную C_0 , позволяющую определить траектории, по которым можно попасть в конечное состояние

$$C_0 = x_2^{(0)} - \frac{1}{2u}(x_1^{(0)} - q)^2 \quad (3)$$

Вид траектории при положительном и отрицательном управлении показан на рис. 3.

Левые и правые части парабол (1) и (2) соответственно описывают совокупность точек фазовой плоскости, из которых можно перейти в конечное состояние, не меняя знака управления. Из любых других точек фазовой плоскости перевод системы в конечное состояние возможен только при использовании управляющего воздействия, имеющего точку переключения с одного предельного значения в другое.

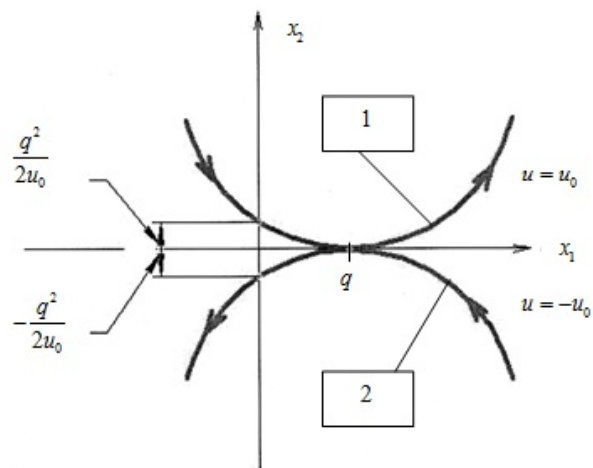


Рис. 3 – Вид траектории при положительном (1) и отрицательном (2) управлении

Выводы

АСУ ТП изготовления литейных разовых песчаных форм должны учитывать в своей структуре системы регулирования тех параметров технологических процессов, которые являются наиболее важными как сточки зрения обеспечения качества форм, так и с точки зрения минимизации возможных простоев конвейера. В этом случае система регулирования должна обеспечивать заданное быстродействие, а процедура синтеза оптимального регулятора в этом случае может быть сведена к применению принципа максимума Понтрягина. Такой подход к синтезу регулятора для системы смесераздачи обеспечивает минимизацию вероятности простоев формовочного автомата и литейного конвейера по причине отсутствия необходимого количества смеси при подаче опоки на рабочую позицию формовочного автомата.

Список использованных источников:

1. Титов, Н. Д. Основы автоматизации литейного производства и вычислительной техники : учеб. пособие для средних спец. учеб заведений / Н. Д. Титов, Л. Н. Сергеев. – М.: Машиностроение, 1983. – 152 с.
2. Кукуй, Д. М. Автоматизация литейного производства [Текст] учеб. Пособие / Д. М. Кукуй, В. Ф. Одинокко. – Минск : Новое знание, 2008. – 240 с.: ил. – (Техническое образование).
3. Новиков, В. П. Автоматизация литейного производства. Ч. 1. Управление литейными процессами : учеб. пособие / В. П. Новиков. – М. : МГИУ, 2006. – 292 с.
4. Дёмин, Д. А. Совершенствование процессов управления электроплавкой / Д. А. Дёмин // Вісник Національного технічного університету «ХПІ» : зб. наук. пр. — Х., 2010. — № 4, темат. вип. «Нові рішення в сучасних технологіях». — С. 33–44.
5. Демин, Д. А. Методология формирования функционала для задачи оптимального управления электроплавкой / Д. А. Демин // Технологический аудит и резервы производства. – 2011. –Т. 1, № 1. – С. 15–24.
6. Демин, Д. А. Синтез систем управления технологическими процессами электродуговой плавки чугуна / Демин Д. А. // Восточно-Европейский журнал передовых технологий. – 2012. – №2/10(56). – С. 4–9.
7. Демин, Д. А. Управление процессом выдачи расплава на плавильно-заливочном участке литейного цеха / Д. А. Демин // Вісник Національного технічного університету «ХПІ» : зб. наук. пр. – Х., 2013. – № 56. – С. 208–216
8. Demin, D. A. Synthesis of optimal temperature regulator of electroarc holding furnace bath / D. A. Demin // Naukovyi Visnyk Natsionalnoho Hirnychoho Universytetu. – 2012. – № 6. – Р. 52–58.
9. Семенов, В. И. Автоматика, средства и системы автоматического управления и контроля / В. И. Семенов. – М. : МВТУ им. Н.Э. Баумана, 1973. – 32 с.
10. Понтрягин, Л. С. Математическая теория оптимальных процессов : монография / Л. С. Понтрягин, В. Г. Болтянский, Р. В. Гамкрелидзе, Е. Ф. Мищенко. – М. : Физматгиз, 1961.

Воронов Г.А. «Совершенствование системы автоматизации процесса формообразования для изготовления отливок машиностроительного назначения».

В статье описан вариант использования системы регулирования уровня смеси в бункере формовочной машины в технологическом процессе изготовления разовых песчаных форм для получения фасонных отливок деталей машиностроительного назначения. Показано, что такая система регулирования, решающая задачу управления по быстродействию, может быть интегрирована в АСУ ТП на формовочном участке литейного цеха.

Ключевые слова: литейное производство, формовочный автомат, управление, система регулирования.

Воронов Г.А. «Удосконалення системи автоматизації процесу формоутворення для виготовлення відливок машинобудівного призначення».

У статті описаний варіант використання системи регулювання рівня суміші в бункері формувальної машини в технологічному процесі виготовлення разових піщаних форм для отримання фасонних відливок деталей машинобудівного призначення. Показано, що така система регулювання вирішує завдання управління за швидкодією та може бути інтегрована в АСУ ТП на формувальній ділянці ливарного цеху.

Ключові слова: ливарне виробництво, формувальний автомат, управління, система регулювання.

Voronov G.A. “Improving the shaping process automation systems for the manufacture of castings engineering purposes”.

This article describes the use case mix level control system in the hopper of the molding machine in the process of manufacturing of single sand molds for shaped castings parts engineering purposes. It is shown that such a regulatory system solves the problem of speed control can be integrated into the APCS forming section of the foundry.

Key words: foundry, molding machine , management, control system.

Стаття надійшла до редакції 2 грудня 2013 р.

ОСОБЛИВОСТІ СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ ЯКІСТЮ ПІДПРИЄМСТВ З УРАХУВАННЯМ ВИМОГ МІЖНАРОДНИХ СТАНДАРТІВ

1. Постановка задачі

Розвиток суспільного виробництва, місце України на світовому ринку торгівлі, зростання добробуту нації та рівня життя тісно пов'язані з забезпеченням високого рівня якості продукції та послуг, а також якості праці, освіти, навколишнього середовища та ін. Оскільки рішення проблеми якості залежить від багатьох факторів, то на підприємствах створюються системи управління якістю (СУЯ), які спрямовували зусилля на якісне виконання процесів, що, у свою чергу, сприяло досягненню якісного результату. Так, за оцінками Дж. Джурана [1], за 85 % проблем якості відповідає СУЯ, а за інші 15 % – виконувачі.

Для ефективності функціонування СУЯ потрібна всебічна оцінки як процесів, так системи в цілому. Так О. О. Богданов у своїй «тектології» [2, 3] доводить, що вивчення будь-якого об'єкта чи явища починається з розгляду його організації, аналізу відносин між елементами і відносин їх сукупності як цілого з зовнішнім середовищем, тобто з іншими системами. Тому метою даної статті являється дослідити загальносистемні принципи та виявити особливості СУЯ, як «системи».

2. Загальносистемні принципи СУЯ

Більш детально і змістовно СУЯ, як об'єкт дослідження, розкривають принципи, які мають характер загальних вказівок, правил, норм та регулюють процес розробки і функціонування СУЯ. Оскільки, було встановлено, що СУЯ відповідає ознакам класифікації систем, то вважаємо за доцільне розглянути загальносистемні принципи, для виявлення особливостей СУЯ. Принципи теорії систем мають загальний характер і стосуються систем усіх видів (біологічних, технічних, соціальних) [4, 5]. Ми розглянемо ті, які охоплюють специфіку функціонування процесів в складі СУЯ, та її взаємодію з навколишнім середовищем:

1. Принцип цілісності передбачає, що процеси в сукупності утворюють СУЯ підприємства, властивості якої відрізняються від властивостей окремих процесів. Згідно з даним принципом визначити властивості СУЯ, для подальшого управління нею, можна визначаючи характеристики кожного окремого процесу та СУЯ в цілому. Приклади реалізації даного принципу зустрічаються в вимогах ДСТУ ISO 9001:2009 [6], де має місце відокремлення оцінки процесів від оцінки СУЯ.

2. Принцип структурності стосується встановлення зв'язків між процесами, визначення вхідних/вихідних даних, побудови мережі процесів. Відповідно до цього принципу стан системи залежить не тільки від її складових, а і від зв'язків між ними. Розглядаючи СУЯ, можемо відзначити суттєвість застосування даного принципу під час її

розробки, адже вчасно передана достовірна інформація між підрозділами підприємства може дозволити уникнути багатьох невідповідностей, а надані дані про наявність бракованої продукції – попередити її поставку замовнику. Вимоги до СУЯ містять положення, які стосуються реалізації даного принципу.

3. Принцип ієрархічності тісно пов'язаний з попередніми і означає, що кожен елемент СУЯ розглядається як система. Як уже згадувалося, елементами в СУЯ виступають процеси, які можуть утворювати групи процесів – об'єднуватися у підсистеми, та у своїй структурі налічувати перелік взаємопов'язаних операцій та дій. Кожна дія, також у свою чергу, є системою нижчого порядку, де складниками є: об'єкт управління (певна функція), орган управління (людина). Отже, СУЯ підприємства представляє собою ієрархічну впорядкованість підсистем, процесів, операцій, дій, і сама виступає підсистемою у складі більш складної структури.

4. Принцип комунікативності полягає у зв'язку СУЯ із зовнішніми системами. Даний принцип, як і попередній, стосується зв'язків між рівнями ієрархії систем, однак не внутрішніх, а зовнішніх. СУЯ не ізольована і серед таких надсистем є: сама структура управління підприємством, у якому функціонує СУЯ; підприємства-постачальники і споживачі, міністерства, відомства, суспільство в цілому.

5. Принцип зворотного зв'язку означає отримання інформації про функціонування процесів та СУЯ для визначення управлінських заходів. Його реалізація передбачає отримання даних не тільки щодо досягнення цілей у сфері якості, а саме стосовно фактичного стану процесу чи системи. Даний загальносистемний принцип знайшов широке відображення у стандартах [6], він є сумісним з принципами управління якістю, а саме «постійного поліпшення» та «прийняття рішень на підставі фактів».

6. Принцип історичності передбачає змінення СУЯ підприємства з часом. На СУЯ, чи її складник, діє низка внутрішніх і зовнішніх чинників, які викликають зміну її стану. Вимоги до СУЯ у вигляді стандартів з певною періодичністю також змінюються. Отже, СУЯ на будь-якому підприємстві не залишається незмінною в часі. Тому ще на стадії проектування як нових видів продукції, технологічних процесів, та СУЯ в цілому повинні бути закладені не тільки питання розвитку, а і постійного вдосконалення.

Отже, принципи загальної теорії систем, розглянуті та охарактеризовані стосовно функціонування СУЯ, являють собою цілісну систему положень та правил спрямованих на: діяльність органу управління – відповідальну особу за процес, представника у сфері якості, керівництво підприємством; поведінку об'єкта управління – процесу, підпроцесу, операції, їх сукупності в цілому; сам процес управління в умовах зв'язків внутрішніх між процесами та із системами з зовні.

3. Особливості системи управління якістю підприємств

Застосування системного підходу до аналізу СУЯ, дозволило уточнити складники її структури, встановити за певними ознаками відповідні класи систем, а обґрунтування принципів – підтверджує наявність специфічних, властивих тільки СУЯ, особливостей. Групи виділених особливостей СУЯ підприємства показано на рис. 1.

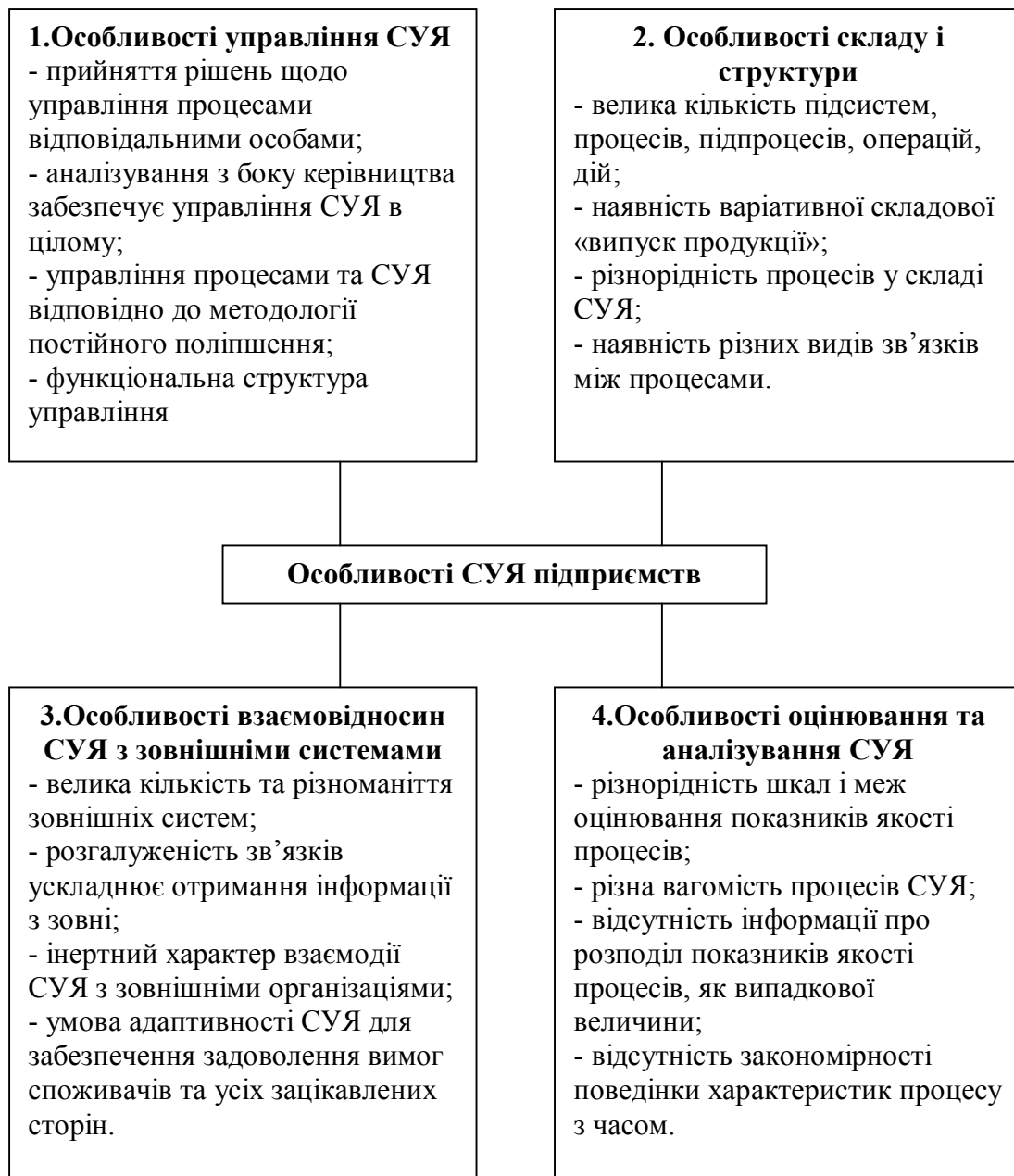


Рис. 1 – Класифікація особливостей СУЯ підприємством

Особливості управління СУЯ:

- прийняття рішень щодо управління процесами здійснюється відповідальними особами, які оцінюють процеси за встановленими критеріями та на підставі цих даних планують подальшу діяльність. Це надає автономності кожному процесу, забезпечує повну відповідальність його керівника за надані обов'язки, однак не витісняє централізацію управління, оскільки кожен процес це тільки елемент СУЯ;

- аналізування з боку керівництва забезпечує управління СУЯ в цілому та контроль за виконанням обов'язків щодо управління окремими процесами. На підставі отриманих результатів внутрішніх перевірок, зворотного зв'язку з замовником, даних про стан функціонування процесів приймаються рішення щодо поліпшення СУЯ;

- управління процесами та СУЯ відповідно до методології PDCA, яка представляє собою алгоритм дій (Плануй-Виконуй-Перевіряй-Дій), потребує здійснювати постійну перевірку будь-якої діяльності, що дасть змогу постійно поліпшувати її показники;

- функціональна структура управління, відповідно до якої відповідальність за планування несуть функціональні підрозділи, а їх виконання виробничі. Це ще одна особливість, яка підкреслює складність управління СУЯ, оскільки підприємства є різного масштабу, і часто одна особа здійснює планування та виконання робіт в межах декількох процесів.

Особливості складу і структури СУЯ:

- як уже згадувалося, СУЯ підприємства складається з великої кількості елементів – процесів. Проектування СУЯ передбачає визначення сукупності таких численних процесів та розробку необхідного комплексу документів для їх впровадження. Окремий процес на підприємстві може стосуватися відповідальності однієї особи, а може охоплювати діяльність декількох підрозділів. У такому випадку, процес поділяють (з збереженням зв'язків) на підпроцеси, останні на операції, дії і т.д. Процедуру декомпозиції СУЯ продовжують до отримання в її структурі таких елементів, які будуть легкими для дослідження та управління в умовах поставлених цілей. Таким чином, СУЯ у загальному вигляді представляє структуровану багаторівневу конструкцію з взаємодіючих елементів, об'єднаних в підсистеми різних видів. Згідно з ДСТУ ISO 9001:2009, процеси СУЯ поділяються на 4 групи (додаток А), кожна група має у своєму складі підпроцеси (додаток Б), взаємозв'язок яких представляє собою СУЯ;

- серед таких груп є підсистема процесів «випуск продукції», яка може змінювати свій склад залежно від продукції яка виготовляється на підприємстві. Саме дана варіативна складова дає можливість застосовувати ДСТУ ISO 9001:2009 на підприємствах різних сфер діяльності. Вимогою є необхідність обґрунтування такого вилучення у відповідній документації;

- кожен процес, як різновид системи, може бути великим чи малим, простим чи складним у своїй структурі, мати автоматизоване чи ручне управління тощо. Різноманітність процесів також встановлюється за рахунок впливу на досягнення цілей у сфері якості, забезпеченості ресурсами, рівнем інновацій, станом управління з боку керівництва та ін.;

- між процесами існують різноманітні зв'язки, які встановлюються за рахунок вхідних та вихідних даних. Це може бути певний матеріальний об'єкт (продукція, сировина, обладнання, вимірювальний прилад) та інформація (вимоги, технологія, протоколи якості), що мають прямий чи зворотний напрям. Також важливою відмінною рисою зв'язків є їх сила для різних процесів.

Особливості взаємовідносин СУЯ з зовнішніми системами:

- СУЯ взаємопов'язана з цілою ієрархією зовнішніх систем, це споживачі продукції, постачальники сировини, законодавчі органи, міністерства, відомства, органи з сертифікації, навколишнє середовище тощо. У будь-якої СУЯ може налічуватись декілька рівнів замовників, це наприклад, гуртові організації, роздрібні покупці (магазини, сервісні організації, підприємства громадського харчування), та уже конкретний споживач;

- розгалуженість зовнішніх зв'язків призводить до утруднень в отриманні і аналізуванні вимог та рівня задоволеності продукцією чи наданою послугою;
- взаємодія та взаємозв'язок СУЯ з зовнішніми організаціями має інертний характер, який встановлюється уже після наданих послуг, під час експлуатації, чи після споживання, продукції. Це призводить до необхідності прогнозувати потреби та очікування споживачів;
- відповідно до ДСТУ ISO 9001:2009, СУЯ повинна бути спрямована на задоволення вимог споживачів та усіх зацікавлених сторін. Прагнення відповідати даній вимозі, спричинює появу такої особливості, як адаптивність.

Особливості оцінювання та аналізування СУЯ:

- різномірність шкал і меж оцінювання показників якості процесів. Для оцінювання якості функціонування процесів використовуються показники, які мають різні одиниці вимірювання;
- різна вагомість процесів у складі СУЯ, такяк роль і значення процесів у складі СУЯ відрізняється, тому при оцінюванні потрібно встановлювати їх вагомість;
- відсутність інформації про розподіл показників, як випадкової величини, так як СУЯ на кожному підприємстві унікальна;
- відсутність закономірності поведінки характеристик процесу з часом, так як процеси, чи СУЯ в цілому, здатні переходити із одного стану в інший під впливом цілої низки факторів, однак цей перехід не може бути здійснений ментально, а потребує проходження певного періоду часу.

Таким чином, виявлені особливості стосуються: складу та структури СУЯ, управління процесами та системою в цілому, зовнішніх зв'язків з надсистемами, та оцінювання і аналізування процесів чи їх сукупності. Приведена характеристика особливостей перших трьох груп підтверджує актуальність обраного дослідження. Для вирішення поставлених задач, будуть враховані саме особливості останньої групи з метою визначення та розробки методів кількісного оцінювання процесів, як складових елементів СУЯ.

Висновки

1. Розглянуто та охарактеризовано загальносистемні принципи стосовно функціонування СУЯ, спрямовані на: діяльність органу управління – відповідальну особу за процес, представника у сфері якості, керівництво підприємством; поведінку об'єкта управління – процесу, підпроцесу, операції, їх сукупності в цілому; сам процес управління в умовах зв'язків внутрішніх між процесами та із системами з зовні. Дані принципи являють собою цілісну систему положень та правил, які дозволили виявити особливості СУЯ підприємств.

2. Виявлено чотири групи особливостей, які мають місце в: складі та структурі СУЯ, управлінні процесами та системою в цілому, зовнішніх зв'язках з надсистемами, та оцінюванні і аналізуванні процесів чи їх сукупності.

Список використаних джерел:

1. Джуран Дж. Качество и прибыль / Дж. Джуран. – М.: Изд-во стандартов, 1970. – 305 с.
2. Бешелев Г. Д. Экспертные оценки / Г. Д. Бешелев, Ф. Г. Гурвич. – М. : Наука, 1973. – 311 с.
3. Богданов А. А. Тектология. Всеобщая организационная наука. Т. 2 / А. А. Богданов. – М.: Экономика, 1989. – 350 с.
4. Адлер Ю. П. Экономика качества как система / Ю. П. Адлер, С. Е. Щепетова // Методы менеджмента качества. – 2002. – № 5. – С. 4–9.
5. Азгальдов Г. Г. О квалиметрии / А. А. Азгальдов, Э. П. Райхман. – М. : Изд-во стандартов, 1973. – 172 с.
6. Системи управління якістю. Вимоги: ДСТУ ISO 9001:2009. – [Чинний від 2009-09-01]. – К. : Держспоживстандарт України, 2009. – 72 с. – (Національний стандарт України).

Горбенко Н.А., Тришч Г.М., Денисенко М.В., Катрич О.О. «Особенности системы управления качеством предприятий с учетом требований международных стандартов».

У статті розглядаються загальносистемні принципи стосовно функціонування систем управління якістю підприємств та організацій, що відповідає вимогам міжнародних стандартів серії ISO 9000:2008 та виділено групи її особливостей, як «системи».

Ключові слова: система управління якістю, принцип, якість, управління якістю.

Горбенко Н.А., Тришч Г.М., Денисенко М.В., Катрич О.О. «Особенности системы управления качеством предприятий с учетом требований международных стандартов».

В статье рассматриваются общесистемные принципы относительно функционирования систем управления качеством предприятий и организаций, что отвечает требованиям международных стандартов серии ISO 9000:2008 и выделены группы ее особенностей, как «системы».

Ключевые слова: система управления качеством, принцип, качество, управление качеством.

Gorbenko N.A., Trishch G.M., Denisenko M.V., Katrich O.O. «Features of control system by quality of enterprises taking into account the requirements of international standards».

In the article general system principles are examined in relation to functioning of control system by quality of enterprises and organizations, that answers the requirements of international standards of series of ISO 9000:2008 and the groups of its features, as «systems», are selected.

Key words: control system by quality, principle, quality, quality management.

Стаття надійшла до редакції 2 грудня 2013 р.

УДК 621.793

©Дерябкіна Є.С., Герасименко Д.В.

ОПТИМІЗАЦІЯ ДІАМЕТРА ЕЛЕКТРОДУ ПРИ БАГАТОДУГОВОМУ ЗВАРЮВАННІ ПІД ФЛЮСОМ

1. Стан питання

При багато дуговому зварюванні під флюсом використовують електродний дріт діаметром 3-5 мм при струмах 500-2000 А. Меншим струмам, як правило, відповідають менші діаметри електродів і навпаки. Найбільше розповсюдження отримав дріт Ø4 мм. Докладні літературні дані, які обґрунтовують вибір оптимального діаметра електродного дроту для багато дугових процесів, вельми обмежені.

Відомо, що діаметр електродного дроту може суттєво впливати на процес зварювання, оскільки він визначає щільність струму, що проходить крізь електрод і зварювальну дугу, тиск стовпа дуги на зварювальну ванну, коефіцієнт плавлення електродного дроту, характер перенесення електродного металу, конфігурацію і рухливість зварювальної дуги. В умовах багато дугового зварювання ступінь і характер цього впливу залежить як від самого процесу, зокрема від електродної взаємодії дуг і форми поверхні зварювальної ванни.

2. Мета досліджень

Метою роботи є визначення впливу діаметра електроду (3-5 мм) при багатодуговому зварюванні на формування і розміри зварних швів, продуктивність процесу зварювання і витрати зварювального дроту.

3. Методика досліджень

За основу для проведення досліджень прийнято останній варіант комбінованого 3-дугового процесу, який використовується у ТЕСЦ-2 ВАТ «ХТЗ» для зварювання зовнішніх швів труб. Відповідно цьому варіанту процесу передня дуга живиться постійним, а останні – змінними струмами, які зсунуті по фазі на 90^0 , причому потенціал дуги 2 є випереджаючим. З урахуванням типорозміру труб, що виготовляються у цеху, досліди виконували з використанням електродного дроту діаметром 3,2-4,0-5,0 мм.

Трьохдугове зварювання труб для досліджень виконували під флюсом АН-60 на режимах, які відповідають технологічній інструкції [1]. У ході роботи оцінювали стабільність процесу зварювання, якість формування і розміри поперечного січення швів, довжину кратерних ділянок, а також витрати зварювального дроту.

Критерієм оцінки якості швів були діючі технічні умови ТУ У 14-8-16-99 [2], відповідно яким ширина посилення швів повинна бути у межах (25 ± 5) мм, а вишина посилення – у межах від 0,5 до 3,0 мм. Як показує виробничий досвід, для труб з товщиною стінки від 12 мм і вище ширина шва повинна бути не менш 22 мм. У протилежному випадку

виконання по висині посилення шва і плавності його переходу до основного металу викликає значні труднощі, враховуючи збільшення небезпеки утворення підрізів. Для труб з товщиною стінки 12-18 мм оптимальною є ширина шва – 24-26 мм.

До виконання вказаних наплавлень були досліджені деякі технологічні особливості використання електродів різного діаметра в умовах однодугового зварювання. Швидкість подачі електродного дроту й продуктивність наплавлення залежно від зварювального струму й діаметра електрода визначали при наступних умовах: джерело живлення - трансформатор ТДФЖ-2002, нахил електрода до вертикалі кутом уперед 16° , виліт електрода по вертикалі 37-40 мм.

4. Результати досліджень

Однодугове зварювання. При однаковій напрузі дуги U_d для електродів різного діаметра показання вольтметра $U_{\text{сум}}$ будуть відрізнятися в основному за рахунок спадання напруги на вильоті U_v . Як показує розрахунок, при зварювальному струмі 1000 А спадання напруги на вильоті 40 мм для електродів діаметром 3,2, 4 і 5 мм становить 3-4, 2-3 і 1-2 В відповідно.

Це означає що при однакових показаннях вольтметра й зварювальному струмі 1000 А фактична напруга на дугах для наведених діаметрів електродів буде відрізнятися на 1-3 В. Тому за інших рівних умов (U_d , $I_{\text{св}}$) зі зміною діаметра електрода напруга $U_{\text{сум}}$ повинна встановлюватися так, щоб для електрода меншого діаметра показання вольтметра було відповідно вище й навпаки. Таку різницю дугових напруг необхідно враховувати при газоелектричному зварюванні, наприклад, складальних швів, а також в умовах зварювання під флюсом при струмах вище 800-900 А.

Дослідження впливу діаметра електродного дроту на швидкість його подачі і продуктивність наплавлення показали (рис. 1), що в розглянутому діапазоні струмів 800-1500 А для електродів діаметром 4,0 й 5,0 мм, а також у діапазоні 800-1100 А для електрода діаметром 3,2 мм зазначені залежності близькі до пропорційного. Відхилення від пропорційної залежності у випадку застосування електрода $\varnothing 3,2$ мм при струмах понад 1100 А свідчить про перевищення припустимого струмового навантаження. Орієнтовно можна прийняти, що при однодуговому зварюванні під флюсом максимальний струм для електрода $\varnothing 3,2$ й $\varnothing 4,0$ мм дорівнює відповідно 1000 й 1500 А. Зі збільшенням вильоту електрода й/або в умовах багатодугового зварювання, коли виліт електрода одержує додаткове тепло від сусідніх дуг, припустиме струмове навантаження на електрод повинне знижуватися. Відповідно до таблиці 1 зазначені обмеження склали 800 й 1100 А, відповідно, що може бути зв'язано, крім іншого, з необхідністю зниження струмового навантаження при зварюванні під керамічним флюсом.

Як і слід було сподіватися, зі зменшенням діаметра електрода продуктивність наплавлення росте (рис. 2). У нашому прикладі для електродів діаметром 5,0-4,0-3,2 мм вона складала 12,0-13,7-17,7 кг на 1000 А в годину. Відзначимо, що для умов трубного виробництва надлишок наплавленого металу, як правило, небажаний через обмеження по висоті посилення шва й вимоги до плавного переходу від посилення шва до основного металу.

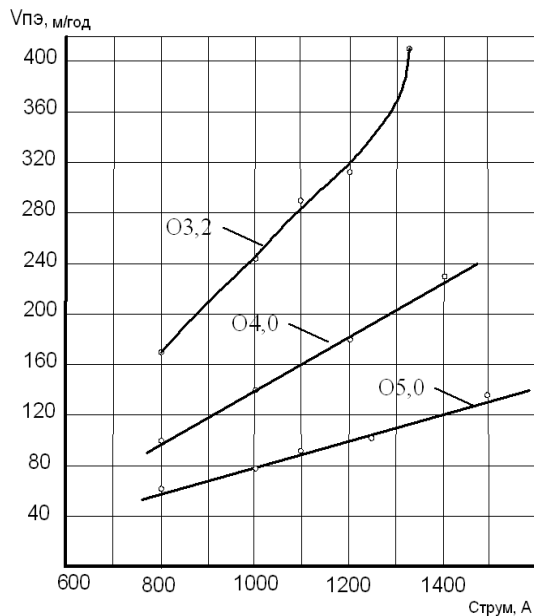


Рис. 1 – Залежність швидкості подачі електродного дроту від зварювального струму

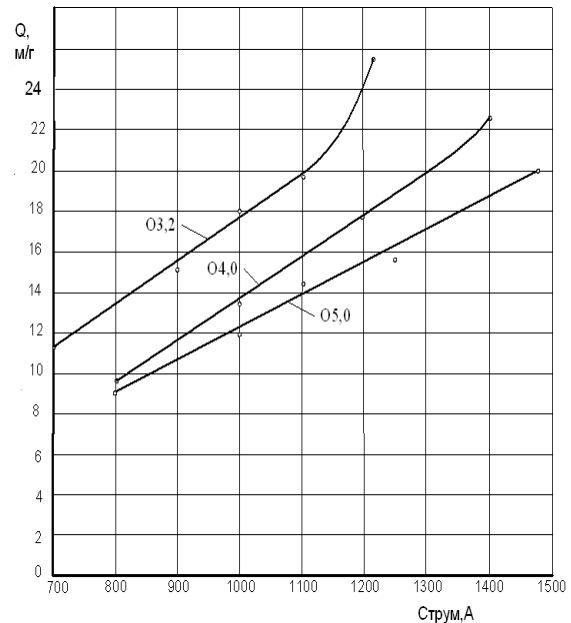


Рис. 2 – Залежність продуктивності наплавлення від зварювального струму

Зі збільшенням діаметра електроду збудження дуги і стабільність процесу зварювання погіршуються. У найбільшій мірі це відноситься до електроду Ø5,0 мм. Відомо, наприклад, як погано взбуджується дуга на електроді Ø5,0 при живленні від трансформатора СТ -2000 з крутопадаючою зовнішньою характеристикою (малий струм $I_{кз}$), особливо, якщо електрод розташовано похилено, а дугова напруга менше 45 В. Все це повинно бути враховано при дослідженні багатодугових процесів.

Трьохдугове зварювання. Змінювали діаметр електрода на першій дузі, а на інших дугах застосовували електроди діаметром 4 мм.

Шов, зварений на режимі по технологічній інструкції [1] з використанням на першій дузі електрода Ø5 мм. мав відмінне формування. При тім же проварі, що й при електроді Ø4,0, він був трохи вужче й вище, а його края більше рівними без підрізів. Застосування на першій дузі електрода Ø3,2 мм забезпечило задовільне формування шва, але уступає швам при електродів Ø4,0 і Ø5,0 мм лише в частині обмеженої ширини шва (20 мм). При цьому, як й очікувалося, помітно (на 2 мм) збільшився провар. Співвідношення витрат зварювального дроту на першій дузі для електродів діаметром 3,2-4,0-5,0 мм склало відповідно 1,37:1,00:0,99. Настільки більша різниця в зазначених витратах, а також "запас" по провару дозволяє зменшити струм на електроді Ø3,2 мм, одночасно знижуючи кількість наплавленого металу (див. нижче шов 32). Як показали виміри, для електрода Ø3,2 мм відношення швидкості подачі дроту до зварювального струму (м/год. на 1 А) зростає від 0,23-0,25 при $I=600-700$ А до 0,30-0,31 при $I=1000-1200$ А ($U_d=37-40$ В).

Слід зазначити, шви, що зварюють фактично на однакових режимах, помітно розрізнялися по довжині кратера (310-415 мм). Більшому діаметру першого електрода відповідала менша довжина кратера. Це пояснюється зниженням тиску передньої дуги зі збільшенням діаметра електрода (за інших рівних умов) і відповідно меншим відтискуванням назад рідкого металу зварювальної ванни. При цьому для електрода Ø5 мм

висота й ширина шва в зоні кратера практично не відрізнялися від іншої його частини, що при зварюванні труб повинне сприяти скороченню величини обрізу.

Подальші серії наплавлень були присвячені оцінці технологічних можливостей застосування електрода Ø3,2 мм на першій дузі при послідовному зниженні струмів від 1200 до 500 А.

Зниження струму від 1190 А до 1020 А виявилось недостатнім. З урахуванням обмеженої ширини й невеликої хвилястості (нерівності країв) шов уступає контрольним швам, що зварені з використанням на першій дузі електродів Ø4 і Ø 5 мм.

При наступних наплавленнях на струмах від 900 А и менш електрод діаметром 3,2 мм показав позитивні результати. Особливо слід зазначити меншу довжину кратера (315 мм проти 415 мм) і висоту посилення швів, яка забезпечується цими процесами.

Таким чином, процеси із застосуванням на першій дузі електрода Ø3,2 мм і щодо невеликих струмів у діапазоні 500-900 А можуть бути використані для труб з товщиною стінки 6-13 мм при малій глибині оброблення або її відсутності, забезпечуючи якісне формування швів з малою висотою посилення і довжини кратера.

Збільшення зварювального струму(на 10-12 %) забезпечує стабільний процес зварювання і гарне формування швів при використанні на першій дузі електрода Ø5 мм. У посиленні шва спостерігається деякий надлишок металу (3,2 мм), оскільки даний режим вимагає оброблення крайок, у той час як у посиленні шва, звареного по обробленню, – навпаки, недолік (1,4 мм). В останньому випадку недолік металу може бути легко усунутий невеликим коректуванням режиму, наприклад зниженням швидкості зварювання.

Шви, зварені з використанням на першій дузі електрода Ø4 мм, забезпечують трохи більший провар, але уступають попереднім по якості формування (нерівні краї, хвилястість, менш гладка поверхня посилення, звуження початкової ділянки шва).

Таким чином, застосування на першій дузі електрода діаметром 5 мм сприяє поліпшенню формування швів при зварюванні на потужних режимах. Крім того, при режимі горіння першої дуги 1380 А/34-36 В заміна електродного дроту діаметра 4,0 мм на дріт діаметром 5,0 мм дає на даній дузі економію електродного металу близько 8 %.

У зв'язку зі збільшенням потужності режимів при зварюванні труб з товщиною стінки від 18 мм і вище найбільш раціональним представлялося використання дроту Ø5 мм на всіх трьох дугах. При цьому спостерігали нестабільне горіння двох передніх дуг, причому після вимикання зварювання кінець другого електрода розташовувався нижче, ніж першого, а краї шва були хвилястими. Такі ознаки вказують на несприятливу взаємодію передніх дуг, що приводить зокрема до підтікання металу, що витісняється дугою 2, під дугу 1. Ослаблення тиску дуги 2 на зварювальну ванну можна досягти підвищенням на ній напруги або зниженням струму. Стабільність процесу трохи покращилася, краї шва стали більше рівними, а глибина провару збільшилася на 0,5 мм.

За результатами наплавлень, що виконувалися при струмі передньої дуги 1400 А й швидкості зварювання 115-120 м/год. стало очевидним, що для істотного поліпшення якості процесу необхідно знизити швидкість зварювання або зменшити струм першої дуги. Виконувався шов по V-образному обробленню розміром 60°x8 мм при зниженні швидкості

зварювання до 93,5 м/год. без зменшення струму I_1 . Процес зварювання був дуже стабільним. При проварі 14,1 мм забезпечувалося відмінне формування шва (гладке низьке посилення, рівні краї). До недоліків формування шва можна віднести завищену ширину шва (30 мм). Однак, як відомо, зниження ширини шва, на відміну від його розширення, звичайно не викликає труднощів. Цього можна досягти, наприклад, зменшивши напругу дуг або струм останньої дуги. Формування шва на зниженому струмі до 1250 А і збільшеній швидкості до 139 м/г було гарним, однак уперше відзначена поява утяжин. Для їхнього усунення варто повернути швидкість на рівень 120-125 м/год.

Передумовою для випробування електродного дроту діаметром 5,0 мм на останній дузі, а на перших двох – діаметрам 4,0 мм було прагнення знизити висоту посилення шва за рахунок зменшення кількості електродного металу й деякого розширення шва. При цьому шов мав задовільне формування, однак уступав шву, який зварено діаметром 4 мм, по трьох показниках: 1) менша на 1-2 мм ширина, 2) звуження шва на початковій ділянці, 3) погане збудження нахиленої вперед останньої дуги, особливо при живленні від трансформатора СТ-2000. Зниження ширини шва пов'язане, очевидно, з різким зменшенням тиску останньої дуги при переході на більший діаметр електрода. На підставі отриманого результату варіант процесу з установкою електрода Ø5 мм на останній дузі був визнаний безперспективним.

Таким чином серед досліджених найбільш перспективними є дві групи процесів: I – із застосуванням на передній дузі електрода Ø3,2 мм, а на інших – Ø4,0 мм для труб товщиною менш 12 мм; II – із застосуванням на першій або першій і другій дугах електрода Ø5,0 мм, а на інших – Ø4,0 мм для труб товщиною більше 16-18 мм. Хоч ці процеси відпрацьовувалися при фазировці, що використовується для трьохдугового зварювання зовнішніх швів, вони можуть бути використовувані і для трьох дугового зварювання внутрішніх швів.

Висновки

Найбільше оптимальним по використанню є електродний дріт діаметром 4 мм, що найкращим образом відповідає при багатодуговому зварюванні газонафтопроводних труб діапазону струмів від 800 до 1100-1200 А. Використання електродного дроту діаметром 3,0-3,2 мм з огляду її високого коефіцієнта розплавлення доцільно при струмах не більше 800-900 А. З урахуванням значної проплавляючої здатності електрода Ø3,2 мм його рекомендується встановлювати на першій дузі при зварюванні труб товщиною 6-12 мм у порівнянні з електродами Ø4 мм на окремих дугах.

Застосування дроту діаметром 5 мм на одній або двох передніх дугах при трьох- і чотирьохдуговому зварюванні на струмах 1100-1200 А найбільш ефективно при зварюванні труб з товщиною стінки 16-18 мм і більше. Процес характеризується стабільним формуванням шва, широким проплавленням, зменшенням довжини кратерної частини, більш економною витратою електродного дроту у порівнянні з електродом діаметром 4 мм.

Список використаних джерел:

1. Технические условия ТУ14-3-1830-92. Трубы стальные электросварочные прямошовные экспандированные диаметром 1220 и 1420 мм.
2. Технологическая инструкция производства электросварных труб диаметром 1220 и 1420 мм в ТЭСЦ-2 : ТИ 247-ТР. ТС-018-93. – Харцызск: Харцызский трубный завод, 1993. – 161 с.
3. Коломенский В. К. Улучшение качества труб большого диаметра / В. К. Коломенский, Г. Ф. Стома. – К. : Техника, 1989. – 135 с.
4. Матвеев Ю. М. Технология производства сварных труб и экономия металла при редуцировании. / Ю. М. Матвеев. – К. : Техника, 1989. – 260 с.

Дерябкіна Є.С., Герасименко Д.В. «Оптимізація діаметра електроду при багатодуговому зварюванні під флюсом».

Досліджено вплив діаметрів електроду на якість формування і розміри зварних швів, продуктивність процесу і витрати зварювального дроту при багатодуговому зварюванні під флюсом подовжніх швів труб. Встановлено що стабільне формування потрібних ширини і посилення шва забезпечується при зварюванні з пониженими тепловкладеннями та більш економними витратами зварювального дроту при заміні електроду діаметра 4 мм на 5 мм (при струмі 1100-1500 А) і 3,2 (при струмі 800-1100 А). Рекомендовані оптимальні діаметри електроду при зварюванні на струмах 800-1200 А труб з товщиною стінки від 6 мм до 18 мм і більше.

Ключові слова: багатодугове зварювання під флюсом, діаметр електроду, зварювальний струм, напруга на дузі, витрата дроту, розміри і формування шва.

Дерябкина Е.С., Герасименко Д.В. «Оптимизация диаметра электрода при многодуговой сварке под флюсом».

Исследовано влияние диаметров электрода на качество формирования и размеры сварных швов, производительность процесса и расход сварочной проволоки при многодуговой сварке под флюсом продольных швов труб. Установлено, что стабильное формирование нужных ширины и усиления шва обеспечивается при сварке с пониженным тепловложением и более экономными затратами сварочной проволоки при замене электрода диаметра 4 мм на 5 мм (при токе 1100-1500 А) и 3,2 (при токе 800-1100 А). Рекомендованы оптимальные диаметры электрода при сварке на токах 800-1200 А труб с толщиной стенки от 6 мм до 18 мм и более.

Ключевые слова: многодуговая сварка под флюсом, диаметр электрода, сварочный ток, напряжение дуги, расход проволоки, размеры и формирование шва.

Deryabkina E.S., Gerasimenko D.V. “Optimizing the diameter elektroda in multiple arc welding, submerged arc”.

The effect of the diameter of the electrode on the quality of the formation and size of welds , the performance of the process and expense of multiple arc welding wire for submerged arc welding of longitudinal seams of pipes. Found that stable formation of the desired weld width and gain is ensured when welding heat input with lower cost and more economical replacement for wire electrode diameter of 4 mm by 5 mm (current 1100-1500 A) and 3.2 (at a current of 800-1100 A). The recommended optimal diameter of the electrode for welding currents at 800-1200 A pipe with a wall thickness of 6 mm to 18 mm or more.

Key words: multihead submerged arc welding, electrode diameter, the welding current, arc voltage, the wire rate, dimensions and forming a seam.

Стаття надійшла до редакції 29 жовтня 2013 р.

УПРАВЛЕНИЕ СТРУКТУРООБРАЗОВАНИЕМ В ОТЛИВКАХ ИЗ СЕРОГО ЧУГУНА С ЦЕЛЬЮ ПОВЫШЕНИЯ ИХ ГЕРМЕТИЧНОСТИ

1. Введение

Параметрическая и функциональная надежность деталей машин зависит от большого количества факторов, в том числе от качества сплава, из которого они изготовлены. Свойства сплава, как хорошо известно, зависят от его химического состава и от параметров микроструктуры, формируемых химическим составом и условиями кристаллизации. Однако, если говорить о чёрных сплавах, следует отметить, что ориентация исключительно на государственные стандарты зачастую не позволяет в полной мере решать вопросы управления качеством сплава, являющемся своего рода фундаментом качества деталей машин. Это связано с тем, что стандарты регламентируют лишь некоторые свойства и (или) химические составы сплава. Примером может служить конструкционный серый чугун для деталей машиностроительного назначения широкого профиля. Регламентом ГОСТ 1412-85 предусмотрены марки, классифицированные лишь по двум показателям: пределу прочности на растяжение и твердости. При этом химический состав включает в себя только основные элементы: содержание углерода, кремния, марганца, серы и фосфора. Очевидно, что большее количество элементов оказывает на свойства куда более сложное влияние, чем «предусматривает» ГОСТ 1412-85. А ведь в реальном чугуне именно такая ситуация и имеет место. Применение же рекомендаций ГОСТ 1412-85 при попытке выплавки чугуна со специальными свойствами вообще не возможно, так как неясно, каким должен быть химический состав, обеспечивающий выполнение требований по специальным свойствам. В этом случае единственным вариантом решения задачи является построение работоспособной математической модели типа «состав – свойство» и оптимизация химического состава по выбранным критериям. Такая модель может быть использована и для поиска оптимального по конечному состоянию управления процессом выплавки сплава. Именно поэтому разработка методологии расчета оптимальных химических составов, удовлетворяющих требованиям различных, в том числе и конкурирующих, свойств, является актуальной задачей прикладных исследований в области процессов управления выплавкой сплавов в машиностроении. Особое место среди отливок, к материалу которых предъявляются специальные свойства, являются отливки, из которых изготавливают корпусные детали, работающие под высоким внутренним давлением. Таким специальным свойством является герметичность, и задача поиска оптимального по конечному состоянию управления предполагает наличие адекватной математической модели, связывающей химический состав чугуна с его герметичностью.

2. Анализ литературных данных и постановка задачи исследования

Свойство герметичности корпусной отливки предполагает отсутствие течи при действии внутреннего давления. Ряд исследователей, занимающихся вопросами отработки литейных технологий, обеспечивающих заданные требования по герметичности отливок из конструкционного чугуна, отмечают, что при отсутствии внешних и внутренних дефектов в виде трещин, несплошностей и т.п. свойство герметичности определяющим образом зависит от размера включений графита. Крупный графит обуславливает наличие тонких перемычек металлической матрицы между пластинами графита, вследствие чего при действии внутреннего давления и возникает течь [1–5].

Однако управление процессами формирования структуры и свойств является достаточно сложной задачей, так как зачастую приходится иметь дело с неопределенностями. Поэтому для поиска оптимального управления металлургическими процессами, к числу которых и относится управление процессами структурообразования, необходимо использовать аппарат нечёткой математики и искать нечёткое управление реальными промышленными технологическими процессами [6–15].

Решение задачи поиска оптимального управления структурообразованием в отливках из конструкционного чугуна, работающих под высоким давлением, с учетом названных выше особенностей, очевидно, должно включать в себя ряд основных процедур, имеющих целью:

- построение адекватной математической модели типа «состав – свойство», в которой входными переменными являются содержания элементов химического состава чугуна, а выходными – размер включений графита и состав металлической матрицы;
- анализ полученной модели и оптимизация на её основе, имеющая целью определение такого химического состава чугуна, который обеспечивают максимальную герметичность изготавливаемых из него корпусных деталей.

3. Построение математических моделей типа «состав – свойство»

Одним из многочисленных примеров отливок машиностроительного назначения с повышенными требованиями к герметичности может служить отливка «Корпус цилиндра выключения сцепления» для грузового автомобиля КрАЗ. Данная отливка изготавливается из серого чугуна с пластинчатым графитом марки СЧ20-СЧ25 ГОСТ1412-85 литьем в разовые песчаные формы (рис. 1).

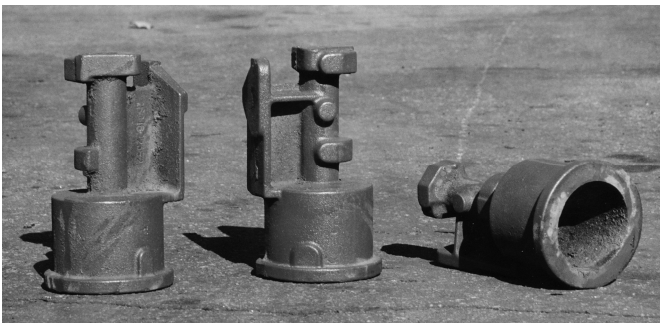


Рис. 1 – Отливка «Корпус цилиндра выключения сцепления» для грузового автомобиля КрАЗ

Химический состав чугуна для данной отливки включает в себя помимо основных пяти элементов легирующие элементы: Cr, Ni, Ti, Cu. Целью математического моделирования являлось построение модели, связывающей содержание элементов химического состава (9 входных переменных) с размером графита в осевой зоне и на

периферии в сечении отливки, а также количеством перлита в осевой зоне и на периферии в сечении отливки.

При этом особое внимание уделялось именно составу металлической матрицы (количество перлита и феррита в микроструктуре), так как при наличии грубого крупного графита герметичность тем выше, чем больше количество перлита в металлической матрицы, обеспечивающего большую прочность перемычек между пластинами графита.

Методология построения таких математических моделей подробно описана в цикле работ [16–20] и кратко заключается в реализации следующих процедур-этапов:

Этап 1. Кластеризация точек и расчет функции принадлежности.

Этап 2. Искусственная ортогонализация результатов опытов и построение локальных уравнений регрессии.

Этап 3. Формирование усечённого ортогонального подплана плана полного факторного эксперимента.

Этап 4. Оценивание параметров полного уравнения регрессии.

Математическая модель имеет вид полинома Колмогорова-Габора

$$y_i = a_0 + a_1 F_1 + \dots + a_m F_m + a_{12} F_1 F_2 + \dots + a_{m-1,m} F_{m-1} F_m + \dots + a_{12\dots m} F_1 F_2 \dots F_m, \quad (1)$$

где F_i – содержание i -го элемента химического состава – суть нечёткие входные переменные для задачи поиска нечёткого оптимального управления процессом выплавки чугуна, y_i – параметры микроструктуры (размер графита и количество перлита) в осевой зоне и на периферии в сечении отливки. Итогом реализации методологии является оценивание параметров математических моделей для дальнейшего анализа поверхности отклика, выполняемого с помощью гребневого анализа. Конечной целью такого анализа является определение диапазона $[F_i^3 - \Delta_i, F_i^3 + \Delta_i]$ по каждому элементу химического состава, который обеспечивает удовлетворение требованиям по микроструктуре сплава. Полученные при этом результаты формируют задание для управления процессом выплавки чугуна.

Матрица оптимальных значений входных переменных имеет вид

$$F_{onm}(\lambda) = (\lambda I - A)^{-1} a, \quad (2)$$

где λ – множитель Лагранжа,

A – матрица коэффициентов математической модели

$$y(F, \lambda) = a_0 + 2a'F + F'AF + \lambda(r^2 - F'F) \quad (3)$$

при ограничении вида

$$r^2 = F'F. \quad (4)$$

Условие существования стационарной точки представляется в виде

$$\frac{1}{2} \frac{\partial y}{\partial F'} = a + AF^* - \lambda F^* = 0 \quad (5)$$

Верхняя и нижняя границы решения определяются на основе зависимостей

$$r_{onm}(\lambda) = \sqrt{F_{onm}' F_{onm}} \quad (6)$$

$$y_{onm}(\lambda) = a_0 + 2a'F_{onm} - F_{onm}'AF_{onm}, \quad (7)$$

где r – радиус-вектор в факторном пространстве,
 a – матрица оценок линейных коэффициентов модели.

Решения уравнений (2), (6) и (7), представляющие собой параметрическое описание линий гребней, являются функциями λ , оптимальные значения входных переменных могут быть найдены из уравнения (2).

4. Результаты оптимизации и их интерпретация

На рис. 2 представлена поверхность отклика, описывающая распределение размера графита в осевой зоне и на периферии в сечении отливки «Корпус цилиндра выключения сцепления» в зависимости от удаленности от центра плана в факторном пространстве, оцениваемой параметром r в уравнении (4).

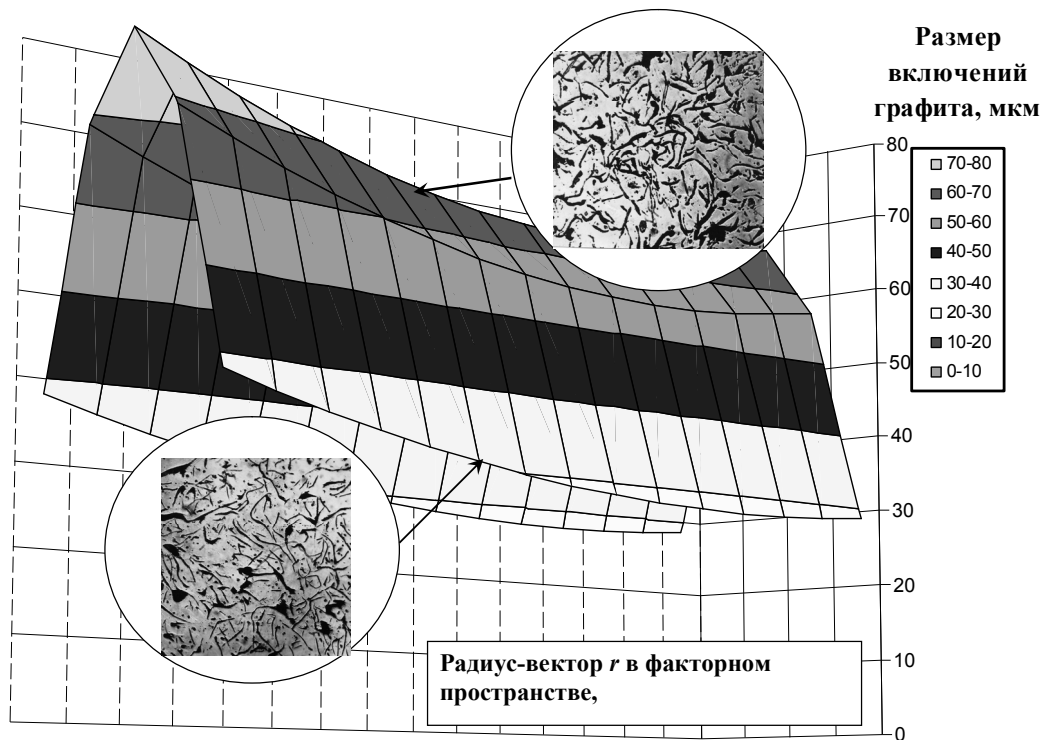


Рис. 2 – Поверхность отклика, описывающая распределение размера графита в осевой зоне и на периферии в сечении отливки «Корпус цилиндра выключения сцепления»

На рис. 3, 4 представлено решение задачи по определению оптимальных интервалов значений нечётких входных переменных $[F_i^3 - \Delta_i, F_i^3 + \Delta_i]$, обеспечивающих выполнение требований по количеству перлита в микроструктуре.

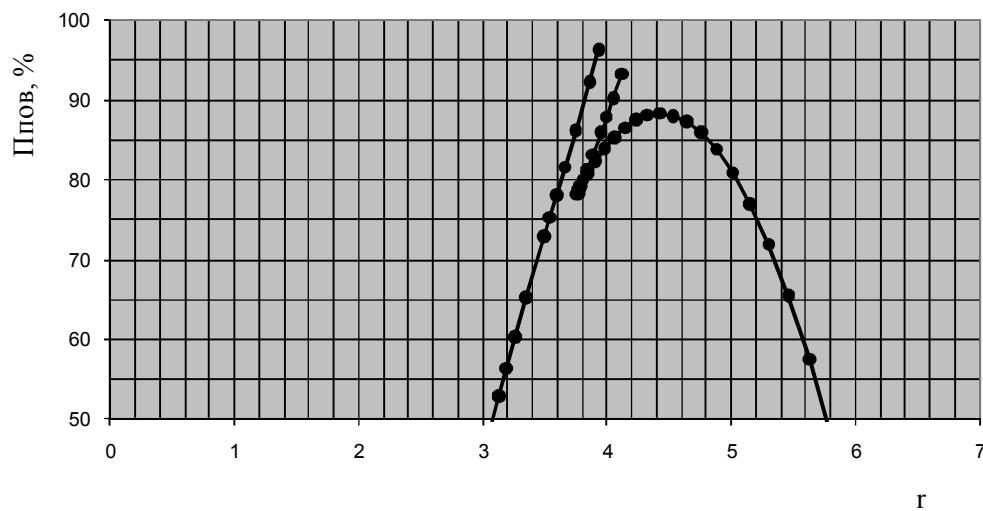


Рис. 3 – График зависимости количества перлита на периферии сечения отливки ($P_{пов}$) от удаленности от центра плана в факторном пространстве

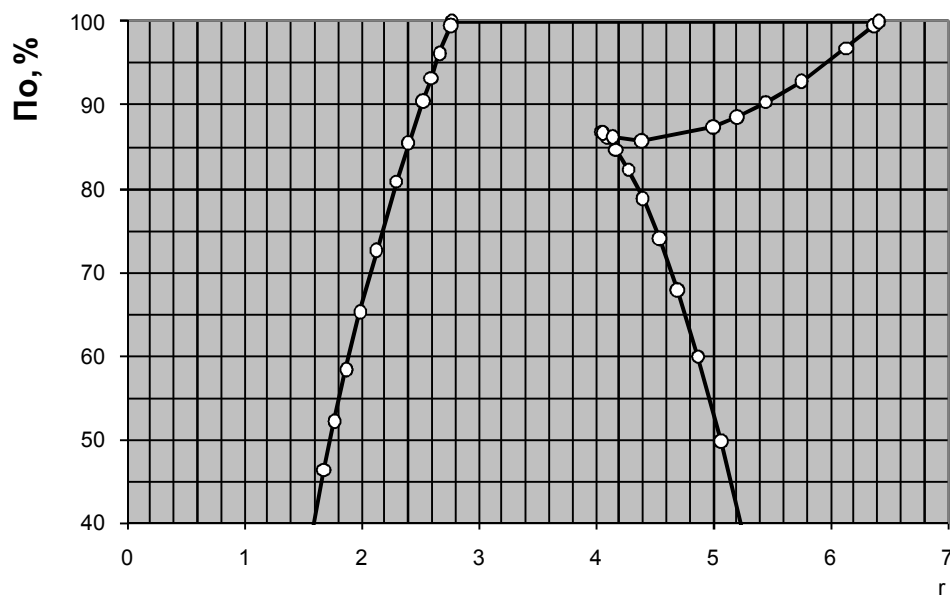


Рис. 4 – График зависимости количества перлита в осевой зоне сечения отливки (P_o) от удаленности от центра плана в факторном пространстве

Конечная цель оптимизации может быть достигнута наложением интервалов $[F_i^3 - \Delta_i, F_i^3 + \Delta_i]$ для выходных переменных, описывающих параметры микроструктуры (размер графита и количество перлита) в осевой зоне и на периферии в сечении отливки. Результатом этого является определение значений интервалов, формирующих задание для управления процессом выплавки чугуна для отливок с повышенными требованиями к герметичности.

Выводы

Решение задачи поиска оптимального управления структурообразованием в отливках из конструкционного чугуна, работающих под высоким давлением, может быть получено

реализацией методологии искусственной ортогонализации и последующим анализом поверхности отклика, описывающей связь входных переменных – содержания элементов химического состава чугуна, и выходных переменных, определяющих герметичность отливок. К последним относятся размеры графита в осевой зоне и на периферии в сечении отливки, а также количество перлита в осевой зоне и на периферии в сечении отливки. Последние две выходных переменных должны быть максимизированы, так как при грубом пластинчатом графите с крупными пластинами, формирующими минимальную толщину перемычек металлической матрицы в микроструктуре, увеличение количества перлита повышает прочность межграфитовых перемычек. Реализация описанной методологии позволяет получать работоспособные математические модели, которые могут быть использованы при решении задач поиска оптимального по конечному состоянию управления процессами выплавки сплавов. Предложенная методология особенно хороша в том случае, когда качество готового сплава оценивается по нескольким выходным переменных (механическим или специальным свойствам), в том числе в условиях наличия нескольких конкурирующих выходных переменных.

Список использованных источников:

1. Повышение герметичности отливок из серого чугуна / Л. А. Иванова, П. В. Доценко, И. В. Прокопович, П. В. Каспревич // Пути повышения качества и экономичности литейных процессов. – Одесса, 1995. – С. 11-13.
2. Иванова, Л. А. Причины потери герметичности отливок из серого чугуна / Л. А. Иванова, И. В. Прокопович, П. В. Каспревич // Моделирование в прикладных научных исследованиях : материалы семинара / Одесский гос. политехн. ун-т. – Одесса, 1996. – Вып. 3. – С. 25–28.
3. Иванова, Л. А. Зависимость герметичности серого чугуна от длины графитовых включений / Л. А. Иванова, И. В. Прокопович // Моделирование в прикладных научных исследованиях : материалы семинара / Одесский гос. политехн. ун-т. – Одесса, 1996. – Вып. 3. – С. 28–32.
4. Иванова, Л. А. Влияние графитовых включений на герметичность серых чугунов / Л. А. Иванова, И. В. Прокопович // Литейное производство. 1997. – № 2. – С. 7–9.
5. Прокопович, И. В. Підвищення герметичності тонкостінних виливків з сірого чавуну : автореф. дис. ... канд. техн. наук / И. В. Прокопович: – Одесса, 1997. – 16 с.
6. Раскин, Л. Г. Нечеткая математика: моногр. / Л. Г. Раскин, О. В. Серая. – Харьков: Парус, 2008. – 352 с.
7. Данилова, Н. В. Применение нечеткой логики для разработки модели количественной оценки содержания меди в штейне / Н. В. Данилова // Проблемы рудной и химической электротермии: сб. тр. Всерос. науч.-техн. конф. с международным участием «Электротермия-2010». – СПб., 2010. – С. 172–177.
8. Данилова, Н. В. Применение метода нечетких с-средних для построения функций принадлежности параметров технологического процесса / Н. В. Данилова // Инновационные

технологии, моделирование и автоматизация в металлургии Сб. научн. тр. Семинара. – СПб., 2010. – С. 11–12.

9. Параметрическая идентификация Varmax моделей процесса кристаллизации крупногабаритных монокристаллов / В. С. Суздаль, Ю. М. Епифанов, А. В. Соболев, И. И. Тавровский // Науковий вісник КУЕІТУ. – 2009. – № 4 (26). – С. 23 – 29.

10. Суздаль, В. С. Редукция модели при синтезе регуляторов для управления кристаллизацией / В. С. Суздаль // Східно-Європейський журнал передових технологій. – 2011. – № 2/3 (50). – С. 31–34.

11. Суздаль, В. С. Оптимизация задачи синтеза управления для процессов кристаллизации / В. С. Суздаль // Східно-Європейський журнал передових технологій. – 2011. – № 6/3 (54). – С.41–44.

12. Бондарчук, А. А. Модели управления твердостью металла в условиях стохастической и нечеткой неопределенности / А. А. Бондарчук, М. Г. Матвеев, Ю. А. Полянский // Системы управления и информационные технологии. – 2007. – №4.1. – С. 124–128.

13. Бондарчук, А. А. Анализ моделей управления твердостью стали в процессе плавки / А. А. Бондарчук, М. Г. Матвеев // Мехатроника, автоматизация, управление. – 2008. – № 3. – С. 37–40.

14. Бондарчук, А. А. Модели выбора состава в системе «состав-свойство» / А. А. Бондарчук, М. Г. Матвеев // Математические методы в технике и технологиях : материалы XX Междунар. науч. конф. – Ярославль: Изд-во Яросл. гос. техн. ун-та, 2007. – Т. 2. – С. 139–140.

15. Бондарчук, А. А. Прогнозирование и управление твердостью выплавляемой стали на основе моделей нечеткого логического вывода : автореф. дис. ... канд. техн. наук / А. А. Бондарчук. – Воронеж, 2006. – 16 с.

16. Серая, О. В. Оценивание параметров уравнения регрессии в условиях малой выборки / О. В. Серая, Д. А. Дёмин // Східно-Європейський журнал передових технологій. – 2009. – № 6/4 (42). – 2009. – С. 14–19.

17. Дёмин, Д. А. Метод обработки малой выборки нечетких результатов ортогонализированного пассивного эксперимента / Д. А. Дёмин, Т. И. Каткова // Вісник Інженерної Академії України. – 2010. – № 2. – С. 234–237.

18. Серая, О. В. Оценка представительности усеченных ортогональных подпланов плана полного факторного эксперимента / О. В. Серая, Д. А. Дёмин // Системні дослідження та інформаційні технології. – 2010. – № 3. – С. 84–88.

19. Раскин Л. Г. Искусственная ортогонализация пассивного эксперимента в условиях малой выборки нечетких данных / Л. Г. Раскин, Д. А. Дёмин // Інформаційно-керуючі системи на залізничному транспорті. – 2010. – № 1 (80). – С. 20–23.

20. Seraya, O. V. Linear regression analysis of a small sample of fuzzy input data / O. V. Seraya, D. A. Demin // Journal of Automation and Information Sciences. – 2012. – № 44 (7). – P. 34–48.

Дёмин Д.А. «Управление структурообразованием в отливках из серого чугуна с целью повышения их герметичности».

В статье изложены результаты исследований в области процессов управления структурообразованием в отливках из серого чугуна, к которым предъявляются повышенные требования по герметичности. Показано, что применение методов искусственной ортогонализации для построения математических моделей типа «состав – свойство» и гребневого анализа поверхностей отклика, описывающих связь входных и выходных переменных процесса, является эффективным инструментом в задаче поиска оптимального управления процессами структурообразования в отливках.

Ключевые слова: процесс управления, математическая модель, герметичность, надежность деталей машин.

Дьомін Д.А. «Управління структуроутворенням у відливках з сірого чавуну з метою підвищення їх герметичності».

У статті викладені результати досліджень в області процесів управління структуроутворенням у відливках з сірого чавуну, до яких пред'являються підвищені вимоги по герметичності. Показано, що застосування методів штучної ортогоналізації для побудови математичних моделей типу «склад - властивості» і гребневого аналізу поверхонь відгуку, що описують зв'язок входних і вихідних змінних процесу, є ефективним інструментом в задачі пошуку оптимального управління процесами структуроутворення в відливках.

Ключові слова: процес управління, математична модель, герметичність, надійність деталей машин.

Demin D.A. "Management structure formation in castings from gray cast iron to improve their tightness".

This article presents the results of research in the field of management processes of structure formation in castings from gray cast iron, which increased demands on tightness. It is shown that the use of artificial methods of orthogonalization to construct mathematical models of the "structure – property " and the ridge surface analysis report describing the relationship of input and output variables of the process, is an effective tool in the task of finding the optimal process management structure in the casting.

Key words: process control, mathematical model, integrity, reliability of machine parts.

Стаття надійшла до редакції 2 грудня 2013 р.

РОЗРОБКА ЕЛЕКТРОДІВ З ВАНАДІЄМ У ПОКРИТТІ ДЛЯ ХОЛОДНОГО ЗВАРЮВАННЯ ЧАВУНУ

1. Постановка проблеми

В області робіт зв'язаних зі зварюванням чавуну проведені численні дослідження, розроблені високоефективні способи ручного й механізованого зварювання, наплавлення чавуну й зварювальних матеріалів поліпшених марок [1, 2].

2. Аналіз останніх досліджень

Сталеві електроди ЦЧ-4 на дроті Св-08 зі спеціальним покриттям випускають діаметром 3; 4; 5; 6 мм. Уведений до складу покриття ванадій взаємодіє з вуглецем розплавленого чавуну й легує металеву основу. Карбіди ванадію присутні в чавуні у вигляді дисперсних включень [1].

При зварюванні електродами ЦЧ-4 сірого чавуну із пластинчастим графітом у перехідній зоні спостерігається переважно крапковий графіт. Мікроструктура перехідної зони при цьому наступна: на границі з наплавленим металом – ледебурит глибиною 0,06-0,24 мм; голчастий мартенсит + залишковий аустеніт + тростит + графіт глибиною 0,6-1 мм; сорбітоподібний перліт глибиною до 1,4 мм. Зварне з'єднання щільне, але відрізняється незадовільною оброблюваністю [1].

3. Постановка завдання досліджень

Метою даної роботи з'явилося створення електродів для холодного зварювання чавуну на стрижнях із дроту Св-08А и покриттям, що містить карбідоутворюючий елемент – ванадій, що відрізняються від електродів марки ЦЧ-4 поліпшеними зварювально-технологічними властивостями й високою якістю наплавленого металу за рахунок зміни шлакової і легуючої системи покриття.

Для досліджень використалися металеві електроди для ручного дугового зварювання, що виготовляють способом обпресування. Стрижні електродів виготовляли зі сталевих зварювального дроту марки Св-08А за ГОСТ 2246-70 діаметром 3 і 4 мм.

Застосовувалося покриття електродів основного виду. У якості раскислювача металу шва використовували феросиліцій марки ФС45 за ГОСТ 1415-93. Як лігатуру РЗМ використали лігатуру магній-ітрій по ТУ 48-05-46-71, у вигляді порошку. У якості карбідоутворюючого компонента застосовували ферованадій за ГОСТ 4760 марки Вд-2

Коефіцієнт ваги покриття електродів становив 0,45...0,47 при товщині покриття на сторону 0,8 мм електродів діаметром 3 мм, і 1 мм – електродів діаметром 4 мм. Виготовляли 5 варіантів електродів з лігатурою РЗМ. Для порівняння виготовляли електроди ЦЧ-4.

Зварювання й наплавлення зразків для випробування твердості й хімічного складу металу шва й наплавленого металу, а також зварювально-технологічних властивостей електродів, проводили відповідно до вимог ГОСТ 9466-75.

Для зварних зразків використали пластини із чавуну марки СЧ 21 за ГОСТ 1412 товщиною 30 мм. Твердість металу шва й наплавленого металу вимірювали на приладі ТК-2 (по шкалі С), мікротвердість заміряли на приладі ПМТ-3.

Проби для хімічного аналізу наплавленого металу відбирали із трьох верхніх шарів восьмишарового наплавлення відповідно до ГОСТ 7122-81.

Загальний характер мікроструктури зварних швів оцінювали за допомогою оптичного мікроскопа МІМ-8М на поперечних мікрошліфах розміром 15x25x30 мм, протравлених в 5 %-вому спиртовому розчині азотної кислоти.

З метою усунення зазначених недоліків до складу покриття електродів ЦЧ-4, що містить мармур, плавиковий шпат, феросиліцій, ферованадій і слюду додатково ввели польовий шпат, лігатуру рідкоземельних металів (РЗМ), калій хромовоокислий і соду [3].

Застосування феросиліція, ферованадія й лігатури РЗМ у складі покриття зменшує ширину мартенситного прошарку по лінії сплавлення й дозволяє стабільно одержувати необхідну твердість наплавленого металу НВ 180-200, що виключає утворення тріщин у перехідній зоні й наплавленому металі. При цьому забезпечується висока якість наплавленого металу й можливість механічної обробки зварного з'єднання.

Малі добавки РЗМ у високовуглецевому сплаві роблять рафінуючий вплив, за рахунок утворення додаткових центрів кристалізації графіту, що у свою чергу, знижує ймовірність утворення гартівних структур у зоні сплавлення, зменшує ширину мартенситного прошарку, виключає утворення тріщин у наплавленому металі й перехідній зоні [4].

Крім того, введення РЗМ, що володіють більшою спорідненістю до кисню і сірки, сприяють очищенню границь зерен феритної матриці за рахунок утворення оксидів і окисульфідів РЗМ і, як наслідок, підвищує стійкість наплавленого металу й перехідної зони проти утворення тріщин і пор.

4. Результати досліджень

При мікро-і макродослідженні шліфів зварних з'єднань дослідних електродів встановлено, що метал у зоні сплавлення основного й наплавленого металу щільний (рис. 1).

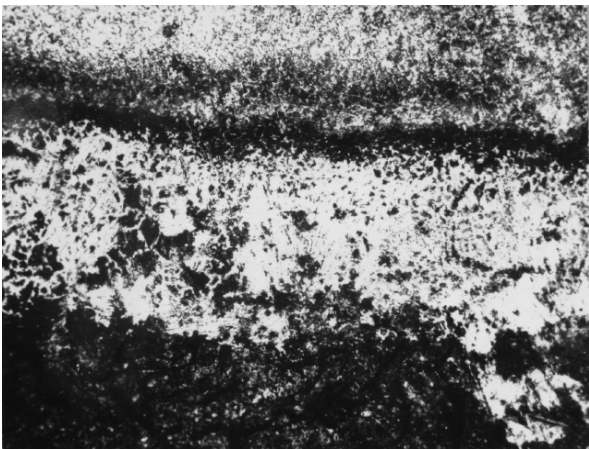


Рис. 1 – Мікроструктура зони сплавлення;
x 100

Мікроструктура наплавленого металу являє собою витягнуті зерна зі стовпчастою орієнтацією (рис. 2). Твердість наплавленого металу змінюється по висоті від 20-21 HRC₃ (у перекладі на НВ 217) у верхніх шарах до 30-31 HRC₃ (у перекладі на НВ 269-277) поблизу зони сплавлення.

Основний метал зразка складається із сорбітоподібного перліту, невеликої кількості ферита й пластинчастого графіту. Твердість основного металу зразка дорівнює 95-97 HR_B (у перекладі на НВ = 201-217).

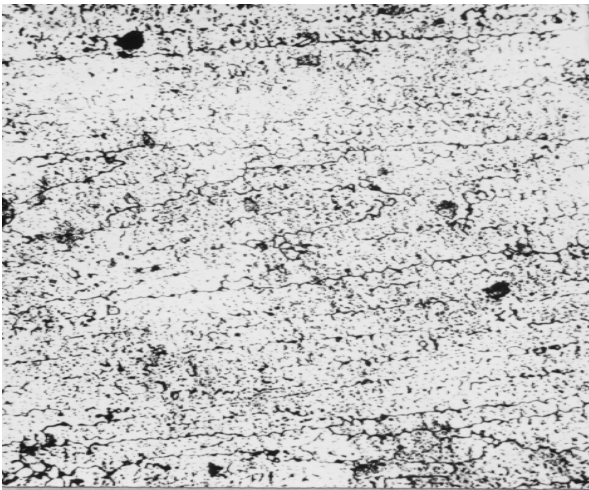


Рис. 2 – Мікроструктура наплавленого металу; $\times 100$

на HB = 491); зона з більшою кількістю цементиту, ледебуриду, твердість окремих включень дорівнює $H_{\mu} = 840-860$ (у перекладі на HB = 672-681). Глибина цементиту-ледебуриду дорівнює 0,5 мм.

Пошаровий хімічний аналіз по глибині із кроком в 1 мм від верху наплавлення до основного металу показав, що зміст вуглецю в них різко знижується, а кількість ванадію збільшується, досягаючи максимального значення 9 %. Починаючи з висоти наплавлення 8 мм (практично це другий прохід електродом діаметром 4 мм) така кількість ванадію вже не потрібна для зв'язування надлишкового вуглецю в міцний карбід V_4C_3 .

Розроблені електроди рекомендується використовувати для облицювання крайок оброблення або поверхні дефекту, а інша кількість металу наплавляти електродами, призначеними для зварювання вуглецевих конструкційних сталей.

Результати випробування показую гарні зварювально-технологічні властивості електродів при холодному зварюванні чавуну.

Висновки

1. Розроблено електроди для холодного зварювання чавуну на дроті Св-08А с карбидообразующим покрытием, що містить нову систему легування V-Si-P3M.
2. Твердість наплавленого металу змінюється по висоті від HB 217 у верхніх шарах до HB 269-277 - поблизу зони сплавки. У зоні термовпливу відзначається підвищення твердості до HB 269-352. Глибина зони цементиту-ледебуриду дорівнює 0,5 мм.

Список використаних джерел:

1. Иванов Б. Г. Сварка и резка чугуна / Б. Г. Иванов, Ю. И. Журавицкий, В. И. Левченков. – М. : Машиностроение, 1977. – 206 с.
2. Левченков В. И. Состояние и перспективы развития сварки чугуна (обзор) / В. И. Левченков // Сварочное производство. – 1988. – № 2. – С. 2–4.

3. Пат. 1799317 СССР, МПК В 23 К 35/365. Состав электродного покрытия для холодной сварки чугуна / Н. Г. Ефименко, Н. А. Калинин, В. П. Удовенко, Л. Н. Балан, М. В. Орлов ; Укр. инж.-пед. акад. – опубл. 28.02.93; Бюл. № 8.

4. Влияние способа высокопрочного чугуна на коэффициент перехода модификаторов в форму графита в наплавленном металле / Н. Г. Ефименко, Н. А. Калинин, С. В. Кафтанов, С. В. Тюрин // Сварочное производство. – 1982. – № 1. – С. 22–23.

Калин М.А. «Розробка електродів з ванадієм в покритті для холодного зварювання чавуну».

Розроблені електроди для холодного зварювання чавуну на дроті Св-08А з карбідоутворюючим покриттям, що містить нову систему легування V-Si-P3M, а як шлакоутворюючі і стабілізуючі елементи введені польовий шпат, калій хромовокислий і слюда.

Ключові слова: Електрод, ванадій, карбіди, чавун, зварювання.

Калин Н.А. «Разработка электродов с ванадием в покрытии для холодной сварки чугуна».

Разработаны электроды для холодной сварки чугуна на проволоке Св-08А с карбидообразующим покрытием, содержащим новую систему легирования V-Si-P3M, а в качестве шлакообразующих и стабилизирующих элементов введены полевой шпат, калий хромовокислый и слюда.

Ключевые слова: Электрод, ванадий, карбид, чугун, сварка.

Kalin N.A. “Development of electrodes with vanadium in coverage for the cold welding of cast-iron”.

Electrodes for the cold welding of cast-iron on the Sv-08A wire with carbide-forming coverage containing a new system of the V-Si-P3M alloying are developed, and as slag-forming and stabilizing elements entered feldspar, potassium of potassium chromate and mica.

Key words: Electrodes, vanadium, carbide, cast-iron, welding.

Стаття надійшла до редакції 20 вересня 2012 р.

©Калин Н.А., Изотова Е.А.

ОПТИМИЗАЦИЯ РАЗМЕРОВ ЧАСТИЧЕК ЧУГУННОГО ПОРОШКА В ПОКРЫТИИ СВАРОЧНЫХ ЭЛЕКТРОДОВ

1. Постановка проблемы

При использовании железного порошка в электродных покрытиях [1] он оказывает существенное влияние на характеристики плавления и химический состав наплавленного металла.

Использование чугунного порошка в электродных покрытиях в качестве металлической добавки, выполняющей функцию раскислителя при сварке [2-5], также требует четкого представления о влиянии размера частичек чугунного порошка на конечное содержание углерода в наплавленном металле, определяющее механические свойства сварного соединения и выделения сварочного аэрозоля в зону дыхания сварщика.

Кроме того, существенное влияние может оказывать содержание углерода в чугунном порошке, коэффициент массы покрытия, зависящий от толщины покрытия электродов.

2. Методика исследований

Для исследований изготавливали методом опрессовки ильменитовые электроды диаметром 4 мм на проволоке Св-08А с постоянным содержанием чугунного порошка и FeMn в покрытии [4].

Содержание углерода в чугунной стружке изменяли в пределах его минимального и максимального содержания в чугуне. Размол стружки и просев чугунного порошка производили отдельно для каждого состава чугуна по трем фракциям: крупной; средней и мелкой.

Гранулометрический состав порошка каждой фракции определяли путем контрольного просева навески через набор сит по ГОСТ 6313-93.

Для исследования влияния массы покрытия на переход углерода из чугунного порошка в наплавленный металл электроды каждого варианта изготавливались с различной толщиной покрытия и коэффициентом массы покрытия.

Содержание углерода в наплавленном металле определяли химическим анализом по стандартной методике в соответствии с ГОСТ 9466-75.

3. Результаты исследований

Результаты первой серии опытов показывают, что изменение толщины покрытия электродов и гранулометрический состав чугунного порошка оказывают влияние на содержание углерода в наплавленном металле. Увеличение толщины покрытия от нижнего до верхнего предела допуска для каждого вида порошка (крупного, среднего и мелкого)

приводит к снижению содержания углерода в наплавке. При этом абсолютные значения $[C]$ с уменьшением размера частичек чугунного порошка уменьшаются.

Это можно объяснить более полным обезуглероживанием мелкой фракции порошка на стадии капли, требующей меньшего времени на расплавление и течение окислительной реакции.

С увеличением толщины покрытия содержание углерода в наплавленном металле, вне зависимости от фракции чугунного порошка, уменьшается.

Для подтверждения предположения о том, что это связано с уменьшением скорости плавления электрода и, как следствие, увеличением времени существования стадии капли, обеспечивающей полноту протекания реакции обезуглероживания, измерялась скорость плавления опытных электродов.

Результаты замеров показывают, что с увеличением толщины покрытия скорость плавления заметно уменьшается, достигая значений примерно на 40 % превышающих первоначальное значение (4,25 мм/с против 2,42 мм/с).

Результаты второй серии опытов при постоянной толщине покрытия показывают, что изменение содержания углерода в чугунном порошке и размер частичек порошка также оказывают существенное влияние на содержание углерода в наплавленном металле.

Увеличение содержания углерода для каждого гранулометрического вида чугунного порошка приводит к увеличению содержания углерода в наплавленном металле с 0,055 до 0,094 % для мелкого порошка; с 0,062 до 0,1 % для среднего порошка и с 0,068 до 0,11 % для крупной фракции порошка.

Это объясняется тем, что при одинаковом составе и толщине покрытия электрода более высокая концентрация углерода в чугунном порошке обеспечивает и более высокое остаточное содержание углерода в металле шва.

Абсолютное значение $[C]$ также как и в первом случае уменьшается с уменьшением размера частичек чугунного порошка.

Задачей третьей серии опытов явилось определение влияния сочетания технологических параметров на содержание углерода в наплавленном металле и на этой основе оптимизации состава и технологии изготовления сварочных электродов.

Оптимизация осуществлялась путем использования методов математического планирования экспериментов [6]. Использовали матрицу полного факторного эксперимента типа 2^3 . В качестве математической модели выбран полином второго порядка оптимизируемого параметра, характеризующего содержание углерода в наплавленном металле:

В качестве параметров оптимизации выбраны: размер частичек чугунного порошка (X_1) мм; толщина покрытия электрода (X_2) мм и содержание углерода в чугунном порошке (X_3) %. Функцией отклика явилось содержание углерода в наплавленном металле (Y) %.

Определение исследуемого диапазона изменяемых параметров, т.е. выбор базового (нулевого) уровня и интервала изменения факторов, проводилось таким образом, чтобы преимущественно охватить область рекомендуемых параметров.

Дисперсию критерия всего эксперимента в каждой точке плана определяли на основе трех параллельных опытов. Проверку однородности дисперсий производили с помощью

критерия Кохрена. Значения коэффициентов регрессии полученной модели (адекватной при 5 %-м уровне значимости), определенные по методу наименьших квадратов, следующие:

$$b_0 = 0,0815; b_1 = 0,0065; b_2 = - 0,0076; b_3 = 0,0194; b_4 = 0,0001;$$

$$b_5 = 0,00175; b_6 = - 0,00217; b_7 = 0,005$$

Проверка значимости оценок коэффициентов регрессии с помощью распределения Стьюдента показала, что коэффициенты регрессии b_4 , b_5 , b_6 и b_7 оказались незначительными для выбранного уровня значимости $q = 0,05$.

Математическая обработка результатов экспериментов позволила получить уравнение регрессии $Y = 0,0815 + 0,0065X_1 - 0,0016X_2 + 0,0194X_3$, которое дает возможность оценить значимость выбранных факторов в процессе науглероживания наплавленного металла.

Положительные значения коэффициентов регрессии получены для размера частинок чугунного порошка и содержания углерода в чугунном порошке, отрицательное – для толщины покрытия электрода.

Поскольку увеличению ответственной функции Y соответствует уменьшение факторов, имеющих отрицательный коэффициент регрессии, и возрастание факторов с положительным коэффициентом, полученные результаты позволяют сделать следующие обобщения.

Чем больше размер частинок чугунного порошка, тем больше углерода в наплавленном металле. Увеличение толщины покрытия электрода снижает содержание углерода. Увеличение концентрации углерода в чугунном порошке повышает содержание углерода в наплавке. Значимость данного фактора при науглероживании наибольшая.

Благодаря меньшему содержанию ферромарганца и кремнезема в покрытии новые электроды марки УИПА-1 характеризуются более благоприятными санитарно-гигиеническими характеристиками по сравнению с ильменитовыми электродами АНО-6 и находятся практически на одном уровне с рутиловыми (табл. 1). Выделение небольшого количества СО обусловлено процессом обезуглероживания чугунного порошка при плавлении покрытия электрода.

Таблица 1 – Содержание вредных веществ в сварочном аэрозоле

Марка электрода	Аэрозоль, г/кг		Газы, г/кг	Количество воздуха для растворения до ПДК, тыс. м ³ /кг
	Общая запыленность	Mn (MnO + MnO ₂)	СО	
УИПА-1	5,9 – 9,4	0,6 – 1,9	0,38	2,5 – 6,2
АНО-4	1 – 9,34	0,54 – 1,87	-	2 – 6,2
МР-3	0,4 – 14,7	0,59 – 1,9	-	2 – 6,2
АНО-6	9,2 – 16,8	1,6 – 2,38	-	5,7 – 8

Выводы

1. Из трех выбранных переменных самое слабое воздействие на содержание углерода в наплавленном металле оказывает толщина покрытия, что соответствует результатам первой серии экспериментов. Поэтому толщина покрытия электродов не является определяющим звеном процесса науглероживания металла шва.

2. Гранулометрический состав чугунного порошка оказывает существенное влияние на содержание углерода в наплавленном металле. С увеличением размера частичек порошка содержание углерода повышается.

3. Концентрация углерода в чугунном порошке наиболее сильно влияет на конечное содержание углерода в металле и является определяющим звеном в процессе науглероживания. С увеличением концентрации углерода в чугунном порошке содержание его в наплавленном металле возрастает.

4. Благодаря меньшему содержанию ферромарганца в покрытии электродов, они характеризуются более благоприятными санитарно-гигиеническими характеристиками, по сравнению с известными марки АНО-6.

Список использованных источников:

1. Петров Г. Л. Сварочные материалы / Г. Л. Петров. – Л. : Машиностроение, 1972. – 280 с.
2. Ефименко Н. Г. Термодинамический анализ окислительно-восстановительных процессов с участием углерода при сварке плавлением / Н. Г. Ефименко, Н. А. Калин // Автоматическая сварка. – 2000. – № 7. – С. 18–21.
3. Ефименко Н. Г. Влияние сплава Fe-C в покрытии ильменитовых электродов на восстановительные процессы при сварке / Н. Г. Ефименко, Н. А. Калин // Автоматическая сварка. – 2001. – № 3. – С. 52–53.
4. Ефименко Н. Г. Расчет оптимального содержания углерода и марганца в электродных покрытиях ильменитового вида / Н. Г. Ефименко, Н. А. Калин // Автоматическая сварка. – 2001. – № 11. – С. 43–46.
5. Калин Н.А., Ефименко Н.Г., Особенности окисления углерода при сварке электродами с покрытиями ильменитового вида / Н. А. Калин Н. Г. Ефименко // Автоматическая сварка. – 2002. – № 4. – С. 19–22.
6. Налимов В. В. Теория эксперимента / В. В. Налимов. – М.: Наука, 1971. – 208 с.

Калин Н.А., Изотова Е.А. «Оптимизация размеров частичек чугунного порошка в покрытии сварочных электродов».

В статье показано, что из трех выбранных переменных самое слабое воздействие на содержание углерода в наплавленном металле оказывает толщина покрытия, гранулометрический состав чугунного порошка оказывает существенное влияние на содержание углерода, а концентрация углерода в чугунном порошке наиболее сильно влияет на конечное содержание углерода в металле и является определяющим звеном в процессе науглероживания.

Ключевые слова: электрод, раскислитель, углерод, чугунный порошок.

Калін М.А., Ізотова К.О. «Оптимізація розмірів часточок чавунного порошку в покритті зварювальних електродів».

У статті показано, що із трьох обраних змінних самий слабкий вплив на вміст вуглецю в наплавленому металі робить товщина покриття, гранулометричний склад чавунного

порошку впливає на вміст вуглецю, а концентрація вуглецю в чавунному порошку найбільш сильно впливає на кінцевий вміст вуглецю в металі і є визначальною ланкою в процесі науглецювання.

Ключові слова: електрод, розкислювач, вуглець, чавунний порошок.

Kalin N.A., E.A. Izotova «Optimize the size of particles of iron powder in the welding rods».

The article shows that of the three selected variables very low impact on the carbon content of deposited metal is the thickness of the coating, granulometric composition of iron powder has a significant impact on the carbon content and the concentration of carbon in cast iron powder most strongly influences the ultimate carbon content in the metal and is a critical element in the process of charring.

Key words: electrode, deoxidizer, carbon, cast iron powder.

Стаття надійшла до редакції 22 серпня 2013 р.

УДК 621.791

©Калин Н.А., Изотова Е.А.

РАЗРАБОТКА ПРИСАДОЧНЫХ ПРУТКОВ ДЛЯ СВАРКИ ВЫСОКОПРОЧНОГО ЧУГУНА

1. Постановка проблемы

В последнее время в мировой практике расширяется применение чугунов со специальными свойствами: высокопрочного, ковкого, аустенитно-никелевого, высокохромистого и др. отсюда необходимость изучения процессов их сварки.

В значительной мере качество сварного шва определяется кинетикой его кристаллизации, зависящей не только от скорости охлаждения, состояния жидкого металла и его химического состава, но и от процесса модифицирования. В качестве модификатора при получении чугуна с шаровидным графитом наиболее часто применяют магний. В последнее время наметилась тенденция использования редкоземельных элементов. Магниевого чугуны при одинаковых условиях обладают несколько лучшей жидкотекучестью, чем серые чугуны. Благодаря этому создаются хорошие предпосылки для получения плотного без пор и шлаковых включений наплавленного металла. Однако значительная склонность магниевых чугунов к образованию усадочных раковин и пустот создает дополнительные трудности при его сварке.

Образующаяся при высокопрочной сварке чугуна зона пониженной пластичности значительно усложняет процесс сварки. При сварке высокопрочного чугуна получить сварные соединения, по прочности и пластичности близкие к основному металлу, значительно труднее, чем при сварке серого чугуна, тем более, что магний, вводимый в чугун, увеличивает его склонность к образованию структур отбела.

Равнопрочное сварное соединение на чугуне с шаровидным графитом можно получить лишь в случае однородности по структуре и свойствам основного металла и металла шва.

2. Методика исследований

Чугунные прутки по ГОСТ 2671-80 для газовой сварки и изготовления электродов представляют собой чугун эвтектического и заэвтектоидного состава с углеродным эквивалентом 4,3 – 4,8 %, получаемом при меньшем содержании углерода (3,0-3,5 %).

Введение редкоземельных металлов в состав сварочного прутка позволяет получить наплавленный металл с шаровидной (глобулярной) формой графита.

Прутки различных диаметров (6-16 мм) отливали в графитовые кокили. Металл для присадочных прутков выплавляли в индукционных печах, обеспечивающих высокую температуру перегрева (1400-1580° С) с регулировкой выдержки металла в жидком состоянии не менее 15 мин.

Для сравнения, в качестве присадочного материала при газовой и электродуговой сварке чугуна, использовались прутки диаметром 8-10 мм из чугуна марки А или Б по ГОСТ 2671-80, изготавливаемые способом отливки в специальные металлические формы.

В качестве флюса при газовой сварке использовалась бура техническая по ГОСТ 8429, прокаленная при температуре 300-350 °С в течение 2-х часов.

В качестве легирующей и модифицирующей добавки РЗМ в чугунных прутках использовали иттрий.

Проверку сварочно-технологических свойств опытных составов прутков проводили при газовой (ацетилено-кислородной) и электродуговой сварке высокопрочного чугуна марки ВЧ45-5.

Чугунные электроды представляют собой литые чугунные прутки, покрытые слоем стабилизирующей обмазки, наносимой методом окунания. Электроды используют для горячей ручной дуговой сварки чугуна ванным способом. Использовали прутки диаметром 12-16 мм. Покрытие наносили в один слой с толщиной покрытия на сторону 1,5-2 мм. Электроды просушивали на воздухе в течение 24 час, после чего проводили прокатку при температуре 200-250 °С.

В состав покрытия вводили большое количество графитизаторов, а кремний введен в виде карбида кремния для компенсации угара кремния.

Твердость металла шва и наплавленного металла измеряли на приборе ТК-2, микротвердость замеряли на приборе ПМТ-3. Пробы для химического анализа наплавленного металла отбирали из верхних слоев наплавки в соответствии с ГОСТ 7122-81.

Общий характер микроструктуры сварных швов оценивали с помощью оптического микроскопа МИМ –8М на поперечных микрошлифах размером 15х25х30 мм.

3. Результаты исследований

Использование одновременно двух эффективных модификаторов – магния и РЗМ позволило получить полностью шаровидных графит при меньших содержаниях этих модификаторов в составе прутков, чем при отдельном их применении. Это объясняется тем, что действие модификаторов, как правило, суммируется.

Кроме того, РЗМ подавляют действие таких демодификаторов как висмут, свинец, сурьма, титан, мышьяк, олово и присутствующих в виде примеси в чугунах, восстанавливая тем самым шаровидную форму графита, а также способствуют очищению металла от серы и газов, измельчают зерно, повышают механические свойства сварного соединения.

Бор вводится в количестве 0,06-0,15 % в состав сварочного прутка с целью придания ему свойств самофлюсования при электрических способах сварки чугуна, т.е. позволяет использовать прутки для сварки без покрытия или флюса.

Свойство самофлюсования сварочному прутку также придают и активные раскислители и дегазаторы как РЗМ и алюминий, но в меньшей степени, чем бор.

Алюминий является близким по активности к РЗМ, поэтому, находясь в сварочной ванне, он интенсивно соединяется с кислородом, серой, фосфором, унося образовавшиеся интерметаллиды в шлак, сохраняя тем самым РЗМ от значительного выгорания. Оставшаяся часть алюминия (до 0,1 вес. %) идет на образование центров графитизации.

Введение в состав металла прутков хрома в количестве 0,07-0,12 % упрочняет матрицу чугуна, повышая тем самым его механические свойства.

Для металлографического исследования качества наплавленного металла и зон термического влияния были использованы образцы, заваренные газовой сваркой. Исследованием установлено:

1. По макроструктуре на обоих образцах четко проявляется наплавленный металл высотой 9 мм и зоны термовлияния шириной до 10 мм, четкой линии сплавления основного и наплавленного металла не имеется.

2. Структура основного металла в обоих случаях состоит из перлита, шаровидного графита средних размеров и единичных весьма мелких включений цементита. Феррит присутствует в небольшом количестве (до 5 %). Твердость основного металла составляет 217 НВ.

3. Структура наплавленного металла у поверхности шва на глубине до 1,5-2 мм перлитная и небольшими участками аустенита дендритной ориентации. Далее по высоте шва вплоть до линии сплавления в структуре преобладает перлит. Твердость в этой зоне в обоих случаях составляет 229 НВ. Включения феррита и цементита единичны. Графит шаровидный средней величины, несколько мельче, чем в основном металле.

4. В зоне термического влияния на обоих образцах отмечается значительное увеличение количества феррита по сравнению с основным металлом. Твердость в зоне термовлияния обоих образцов составляет 167-197 НВ.

Малые добавки РЗМ в прутке оказывают рафинирующее и модифицирующее воздействие за счет образования дополнительных центров кристаллизации графита.

Как показала практика, применение одного и того же исходного металла прутка в зависимости от способа сварки и режима в одном случае обеспечивает наплавленный металл с шаровидным графитом, а в другом нет. Это происходит из-за различного остаточного содержания модификаторов в наплавленном металле при разных способах сварки.

Исследовали металл, наплавленный в разделку глубиной 30 мм на пластинах (250x150x45 мм) из высокопрочного магниевого чугуна. Во избежание утечки жидкого металла торцы разделки закрывали асбестом.

Наплавку производили различными способами: ацетилено-кислородным пламенем (горелкой с наконечником №6); электрической дугой с графитовым электродом (полярность прямая, сила тока 180-200 А) и плавящимся чугунным электродом (полярность обратная, сила тока 350-380 А).

Химический состав прутка, в %:

3-3,5 С; 3-3,6 Si; 0,4-0,7 Mn; 0,3-0,7 Ni; 0,2-0,5 Mo;
0,08-0,12 Cr; 0,005-0,08 S; 0,04-0,08 P.

По условиям эксперимента в состав прутков вводили в %: 0,05-0,39 Y либо 0,03-0,4 Mg, либо 0,03-0,1 Mg и 0,03-0,14 Y одновременно.

Перед сваркой пластины подогревали до 500-600 °С, после сварки помещали в песок, нагретый до 400-500 °С, и выдерживали до полного остывания.

Содержание магния в прутках и наплавленном металле определяли спектральным, а иттрия – химическим анализом. Погрешность составляла 5-8 %.

Коэффициент перехода модификаторов определяли путем сравнения их содержания в исходном материале и в наплавке, а воздействие оценивали по дисперсности графитных включений в матрице и коэффициенту формы графита по ГОСТ 3443-87.

Исследованиями установлено, что при газовой сварке прутками, модифицированными магнием, при увеличении его содержания до 0,16 % коэффициент перехода модификатора из прутка в наплавку практически не меняется. Дальнейшее увеличение содержания магния в прутке ведет к снижению его перехода в наплавку, при этом его предельное количество составляет 0,1-0,12 %.

При сварке прутками, модифицированными иттрием, установлено, что он меньше испаряется и выгорает, чем магний. Коэффициент перехода иттрия из прутка в наплавку постоянен и составляет 0,72-0,75.

Анализ результатов совместного введения модификаторов показал, что комплексное модифицирование обеспечивает более полный переход иттрия и магния из прутка в наплавленный металл по сравнению с отдельным модифицированием. Коэффициенты перехода иттрия и магния в этом случае составляют 0,85-0,9 и 0,48-0,56 соответственно по сравнению с газовой, дуговая сварка графитовым электродом характеризуется сравнительно жестким термическим циклом. Нагрев при этом прутков до температуры 1500-2000 С вызывает повышенное испарение и выгорание модификаторов. Коэффициент перехода магния при сварке прутками, содержащими 0,03-0,23 % магния, составляет 0,3. Повышение содержания магния в прутке с 0,23 до 0,4 % приводит к снижению коэффициента перехода до 0,25.

При модифицировании прутков иттрием, коэффициент перехода постоянен и составляет 0,5.

Комплексное модифицирование характеризуется более высоким переходом иттрия и магния в наплавленный металл по сравнению с отдельным модифицированием. При этом коэффициенты перехода иттрия и магния составляют в среднем 0,7 и 0,4 соответственно.

Высокая температура при дуговой сварке плавящимся электродом приводит к интенсивному испарению и выгоранию элементов, входящих в состав прутка. Поэтому при модифицировании магнием зафиксирован самый низкий коэффициент перехода, равный 0,15.

Коэффициент перехода иттрия при сварке иттрий содержащими прутками так же невелик и составляет 0,26.

Комплексное модифицирование существенно повышает переход модификаторов, особенно иттрия. Коэффициент перехода магния из прутка в наплавку равен в среднем 0,2, иттрия – 0,5.

При наплавке магнийсодержащими прутками (независимо от способа сварки) с увеличением содержания магния в наплавленном металле от 0,01 до 0,04 % точечная форма графита переходит в смешанную, с преобладанием компактной формы. Появляются и сравнительно крупные сфероиды Граз90, а также Граз40. дальнейшее увеличение остаточного содержания магния в наплавленном металле, начиная с 0,05 %, ведет к образованию графита шаровидной формы Гф12.

Содержание иттрия в наплавленном металле, равное 0,04 %, приводит к образованию компактного графита с небольшим количеством точечного графита. С увеличением

содержания иттрия до 0,06 % образуется графит шаровидной и компактной формы, при 0,08 % и выше – шаровидный графит правильной формы Гф12, размер графитного сфероиды меньше, чем при модифицировании чугуна магнием, и соответствует Граз30.

Комплексное модифицирование уже при содержании в наплавленном металле 0,02-0,03 % Mg и 0,05-0,06 Y приводит к образованию шаровидного графита правильной четкой формы Гф13.

Причем размер сфероидов меньше, чем при отдельном модифицировании, и соответствует Граз25. необходимо отметить, что практически весь свободный графит представляет собой сфероиды, равномерно распределенные в матрице основы, что характерно для равновесных структур.

Выводы

1. Разработан состав прутка для газовой и электродуговой сварки высокопрочного чугуна, содержащим новую систему легирования и раскисления – РЗМ бор.
2. Структура наплавленного металла у поверхности шва на глубине до 1,5-2 мм перлитная с небольшими участками аустенита дендритной ориентации. Далее по высоте шва в структуре преобладает перлит. Твердость в этой зоне составляет 229 ед. НВ. Графит шаровидный средней величины, несколько мельче, чем в основном металле.
3. Хорошее смачивание жидким металлом поверхности основного металла и образование легкоплавкого шлака.

Список использованных источников:

1. Асиновская Г. А. Газовая сварка чугуна / Г. А. Асиновская, Ю. И. Журавицкий. – М. : Машиностроение, 1974. – 49 с.
2. Иванов Б. Г. Сварка и резка чугуна / Б. Г. Иванов, Ю. И. Журавицкий, В. И. Левченков. – М. : Машиностроение, 1977. – 208 с.
3. Левченков В.И. Состояние и перспективы развития сварки чугуна (обзор) / В. И. Левченков // Сварочное производство. – 1988. – № 2. – С. 2–4.

Калин Н.А., Изотова Е.А. «Разработка присадочных прутков для сварки высокопрочного чугуна».

Разработан состав чугунолитого литого прутка для газовой и электродуговой сварки высокопрочного чугуна на основе прутков марки А с добавлением легирующих элементов, содержащим редкоземельные металлы и бор. Структура наплавленного металла у поверхности шва на глубине до 1,5-2 мм перлитная и небольшими участками аустенита дендритной ориентации. Далее по высоте шва вплоть до линии сплавления в структуре преобладает перлит. Твердость в этой зоне составляет 229 НВ. Графит шаровидный средней величины, несколько мельче, чем в основном металле.

Ключевые слова: электрод, раскислитель, углерод, чугун.

Калін М.А., Ізотова К.О. «Розробка присадочних прутків для зварювання високоміцного чавуну».

Розроблено склад чавунного литого прутка для газового й електродугового зварювання високоміцного чавуну на основі прутків марки А з додаванням легуючих елементів, що містять рідкоземельні метали й бор. Структура наплавленого металу біля поверхні шва на глибині до 1,5-2 мм перлітна з невеликими ділянками аустеніту дендритної орієнтації. Далі по висоті шва аж до лінії сплавлення в структурі переважає перліт. Твердість у цій зоні становить 229 НВ. Графіт кулястий середньої величини, трохи дрібніше, ніж в основному металі.

Ключові слова: електрод, розкислювач, вуглець, чавун.

Kalin N.A., Izotova E.A. “Development prisadochnyh rod for welding vysokoprochnogo cast iron”.

The Designed composition cast-iron cast rod for gas and arc-metal of the welding strong cast iron on base rod marks A with accompaniment легирующих element, contain rare-earth and boron. The Structure welding metal beside surfaces of the seam at the depth before 1,5-2 mms perlite and small area austenite dendrite to orientation. Hereinafter on height of the seam up to line of the fusing in structure dominates perlite. Hardness in this zone forms 229 HB. The Graphite of the globous average value, several small, than basically metal.

Key words: electrode, deoxidizer, carbon, cast iron.

Стаття надійшла до редакції 17 вересня 2013 р.

ЗМІЩЕННЯ ПРЕС-ФОРМ ЛИТТЯ ПІД ТИСКОМ ПО НАНОТЕХНОЛОГІЇ

1. Вступ

В сучасних умовах ринкової економіки висока конкурентоспроможність продукції може бути забезпечена в першу чергу за рахунок постійного поліпшення її якості, зниження витрат на її виготовлення і вдосконалення способів її отримання. Ливарне виробництво належить до найважливіших галузей машинобудування, будучи одночасно однією з найбільш трудомістких і енергоємних галузей промисловості. Це обумовлено, зокрема, великою складністю процесів, високою вартістю матеріалів, обладнання та ливарної оснастки, що застосовуються для виготовлення виливків. В зв'язку з цим зниження витрат на виготовлення виливків є актуальною задачею.

Лиття під тиском є одним з найбільш перспективних способів одержання литих заготовок. Отримання виливків методом лиття під тиском доцільно в тому випадку, якщо їх виробництво носить крупносерійний характер. Це пов'язано з високою собівартістю даного виду лиття. Саме висока собівартість виготовлення виливків стримує більш широке застосування такого прогресивного способу, яким є лиття під тиском.

Прес-форми застосовують при литті під тиском металів і полімерних матеріалів, лиття по виплавлюваних моделях, пресуванні полімерних матеріалів. Розрізняють безліч видів прес-форм: ручні, напівавтоматичні і автоматичні; знімні та стаціонарні; з горизонтальною і вертикальною площинами роз'єму; з однією або кількома площинами роз'єму.

Прес-форма складається з нерухомої частини (матриці), і рухомої частини (пуансона), формуючі порожнини яких є зворотним (негативним) відбитком зовнішньої поверхні заготовки. В одній прес-формі може одночасно формуватися кілька деталей (багатомісні форми). Підведення матеріалу до формуючої порожнини здійснюється через ливникову систему: центральний, розводящий і впускні литники, а знімання готового виробу - за допомогою системи виштовхування. Залежно від матеріалу і вимог до одержуваної заготовки у формі підтримують певний температурний баланс. Для регулювання температури форми в основному використовують воду, пропускаючи її через канали охолодження. Через відносно складного процесу виготовлення і високу вартість прес-форм, їх використання в основному характерно для серійного і масового виробництва [1].

Прес-форма лиття під тиском працює в умовах жорстких циклічних температурно-силових впливів та інтенсивного динамічного фізико-хімічної взаємодії з алюмінієвим розплавом. У зв'язку з цим, до сталей, з яких виготовляються найбільш відповідальні (формуєтворючі та які контактують з рідким розплавом) деталі прес-форм, пред'являються високі вимоги по теплостійкості, термостійкості та корозійної стійкості.

2. Аналіз літературних даних та постановка проблеми

Всі формотворчі деталі прес-форм при роботі піддаються складному силовому, тепловому і хімічному впливу розплаву, мастильних і охолоджувальних матеріалів. Матеріали формотворчих деталей не повинні вступати у фізико-хімічну взаємодію з розплавом, повинні володіти високим опором термоциклічним навантаженням, високою твердістю, міцністю і міцністю при нагріванні, малим коефіцієнтом термічного розширення, добре оброблятися, мало деформуватися при термічній обробці. Такими властивостями володіють спеціальні сталі, наприклад, 3X2B8Ф, 4X5МФС та ін., леговані вольфрамом, хромом, нікелем, молібденом, ванадієм. Такі сталі використовують для виготовлення формотворчих деталей прес-форм для лиття алюмінієвих, магнієвих, мідних, цинкових сплавів. Ті ж деталі при литті сталі і титану виготовляють з молібдену та його сплавів, а також їх спеціальних неметалевих матеріалів. Для додання необхідних службових властивостей формотворчі деталі прес - форм піддають термічній і хіміко-термічній обробці – низькотемпературному ціануванню на глибину 0,05–0,2 мм. Після гартування і відпуску вони повинні мати твердість на поверхні HRC 58–62.

Конструктивні деталі прес-форм (плити, обойми та ін.) виготовляють з конструкційних сталей 35, 40, 40X, 45. Вони піддаються поліпшувальній термообробці, а твердість їх поверхні повинна становити HRC 30–34. Деталі, що працюють в умовах зносу (виштовхувачі, замки повзунів, напрямні втулки і колонки тощо) виготовляють зі сталей У8А і У10А з твердістю HRC 48–52 [2].

Хіміко-термічна обробка, при якій здійснюється зміцнення поверхні деталей, є найбільш ефективним та розповсюдженим методом підвищення стійкості деталей, які працюють в складних умовах випробування найвищих напружень від зовнішніх сил, що відповідають за зародження і розвиток втомного та корозійного руйнування і зносу.

Останнім часом все більше уваги надається тому, як саме параметри хіміко-термічної обробки та склад насичувального середовища впливають на формування і властивості дифузійного шару сплавів. Це пов'язано з необхідністю розробки нових, більш вигідних з економічної точки зору способів зміни властивостей поверхневих шарів деталей. Таким чином, серед нових процесів дифузійного насичування все більше значення має борування [3–6].

Процес борування здійснюється з порошків, розплавів солей і газового середовища залежно від форми, розмірів і кількості деталей, що піддаються боруванню, а також від наявності необхідного устаткування. Кожен з названих технологічних процесів борування має свої переваги в тих або інших умовах застосування, а тому не можна віддати перевагу якому-небудь одному способу насичення [7–9].

3. Мета дослідження

Метою роботи є розробка простої для використання та енергетично доцільної нанотехнології борування деталей з легованої сталі, яка спрямована на скорочення тривалості хіміко-термічної обробки при одержанні високоякісних боридних шарів, що забезпечують необхідні експлуатаційні властивості прес-форм лиття під тиском.

4. Експериментальні дані та їх обробка

Матеріалом дослідження є легована сталь 4Х5МФС. Для борування в пастах застосовувалася суміш на основі нанодисперсних борвмісних речовин [10]. Нагрівання здійснювали в камерній печі тривалістю від 15 до 120 хвилин.

За експериментальними даними отримано залежність товщини боридів від тривалості борування для сталі 4Х5МФС (рис. 1). З рисунку видно, що товщина боридного шару збільшується з тривалістю процесу.

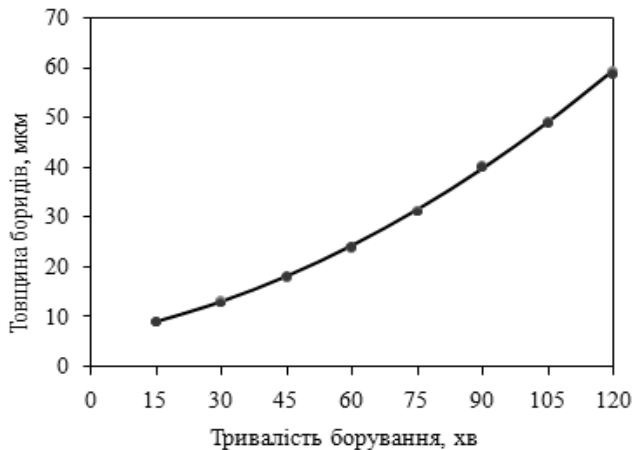


Рис. 1– Залежність товщини боридів від тривалості борування сталі 4Х5МФС

оскільки твердість самих боридів (FeB , Fe_2B), які є основними фазами боридних шарів від вмісту вуглецю і легувальних елементів майже не залежить. Мікротвердість підтверджує наявність двох боридів, а саме FeB з твердістю 22,5 ГПа і Fe_2B – 18 ГПа. Висока міцність бориду пояснюється складним типом зв'язку в цих з'єднаннях. Наявність єдиного 2р-електрона на зовнішній орбіті атома бору не тільки збільшує міцність зв'язку між атомами бору і металу, але і зумовлює наявність ковалентного зв'язку між атомами бору. Атоми бору зв'язані між собою в ланцюжки FeB .

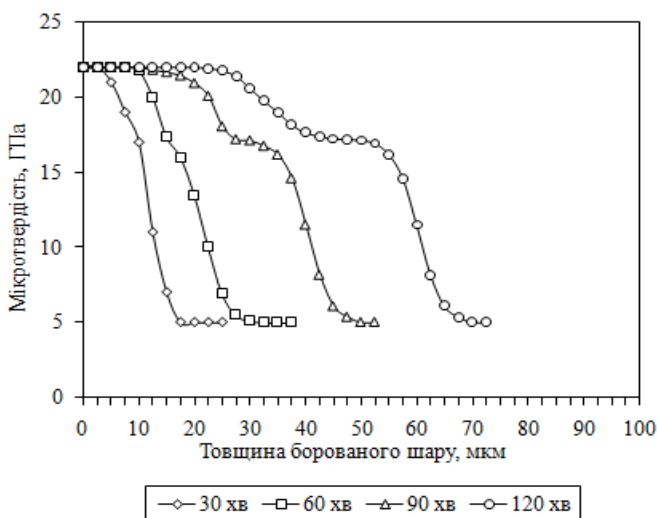


Рис. 2 – Розподіл мікротвердості в дифузійних шарах інструментальної штампової сталі 4Х5МФС після борування протягом різної тривалості обробки

Апроксимацією експериментальних даних методом найменших квадратів отримано рівняння з перевіркою адекватності отриманої моделі за критерієм Фішера, яке дозволяє прогнозувати товщину борваного шару для сталі 4Х5МФС в діапазоні тривалості від 15 до 120 хв.:

$$y = 0,0023\tau^2 + 0,1653\tau + 6,0059,$$

де y – товщина борваного шару, τ – тривалість борування.

Твердість поверхневого шару також залежить від складу сталі, але в значно меншому ступені (рис. 2). Це і зрозуміло,

Характер кривих (рис. 2) при тривалості борування 30 та 60 хв. однаковий, але товщина бориду збільшується. При подальшому підвищенні тривалості обробки, характер кривих змінюється, з'являється додаткова горизонтальна ділянка на рівні 18 ГПа. Це пояснюється формуванням прошарку другого бориду – Fe_2B . Чим більша тривалість борування сталі 4Х5МФС, тим більша товщина борваного шару. Поверхнева твердість при збільшенні тривалості процесу не змінюється.

Таким чином, для спрощення

технологічного процесу пропонується поєднати борування з гартуванням для сталі 4X5МФС. Тривалість борування обирається відповідно з вимогами до деталей.

Рентгеноструктурний фазовий аналіз сталі 4X5МФС підтвердив наявність двох боридів FeB і Fe₂B.

Коефіцієнт дифузії бору в загальному вигляді можна записати [4]:

$$D_B = D_o \exp\left(-\frac{Q}{RT}\right), \quad (1)$$

де R – газова постійна, Дж/моль·К,

D_o – коефіцієнт дифузії при нескінченно великій температурі, см²/с,

Q – енергія, яку необхідно затрачувати в процесі дифузії з одного положення рівноваги в кристалічній ґратці в інше, кал/г·атом.

Температурна залежність коефіцієнта дифузії бору в α - і γ -залізі описується наступними виразами [5]:

$$D_B^\alpha = (7,9 \pm 2,3) \cdot 10^{-5} \exp\left(-\frac{67 \pm 5}{RT}\right), \text{ см}^2/\text{с} \quad (2)$$

$$D_B^\gamma = (5,7 \pm 1,8) \cdot 10^{-3} \exp\left(-\frac{23 \pm 4}{RT}\right), \text{ см}^2/\text{с} \quad (3)$$

Товщина борованого шару визначається по формулі:

$$h = \sqrt{2 \cdot D_B \cdot \tau}, \text{ мкм} \quad (4)$$

З формули 4, знаючи експериментальні дані товщини шару і варіюючи час нагріву при пічному нагріванні, можна знайти коефіцієнт дифузії бору для борування сталі 4X5МФС:

$$D_B = \frac{h^2}{2 \cdot \tau}. \quad (5)$$

Результати розрахунків зміни коефіцієнта дифузії бору представлені на рис. 3. З отриманих даних видно, що зі збільшенням тривалості часу борування від 15 до 120 хв. коефіцієнт дифузії бору збільшується, що приводить до інтенсивного зростання борованого шару на сталі.

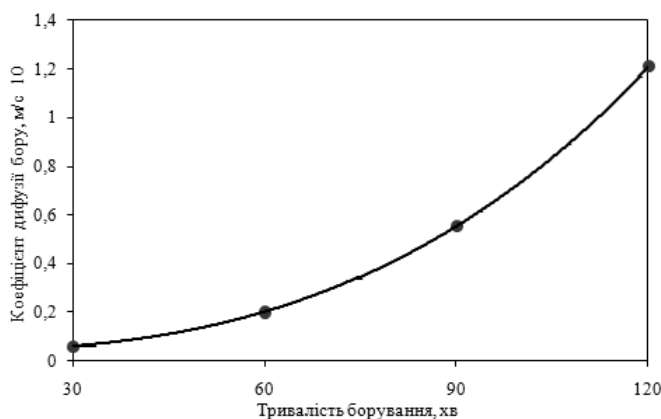


Рис. 3 – Зміна коефіцієнта дифузії бору при пічному нагріванні сталі 4X5МФС

Апроксимацією експериментальних даних поліномом третього ступеня отримано рівняння з достовірністю апроксимації $R^2 = 1$, яке дозволяє прогнозувати коефіцієнт дифузії борованого шару для сталі 4X5МФС в діапазоні тривалості від 30 до 120 хв.:

$$D = 0,0139\tau^3 + 0,0238\tau^2 - 0,0273\tau + 0,0483.$$

Висновки

Розроблена проста для використання та ефективна нанотехнологія борування деталей зі сталей, яка скорочує тривалість хіміко-термічної обробки у 2–3 рази при одержанні високоякісних боридних шарів, які значно підвищують зносостійкість деталей прес-форм лиття під тиском.

Список використаних джерел:

1. Беккер, М. Г. Литье под давлением /М. Г. Беккер, М. Л. Заславский, Ю. Ф. Игнатенко. – М. : Машиностроение, 1998. – 250 с.
2. Баландин, Г. Ф. Специальные виды литья / Г. Ф. Баландин, Ю. А. Степанов. – М. : Машиностроение, 1983. – 374 с.
3. Костик, В. О. Формирование микроструктуры борированного слоя на поверхности углеродистой конструкционной и инструментальной сталях из обмазок при печном нагреве / В. О. Костик, О. В. Сапуцкая, Е. А. Костик // Восточно-Европейский журнал передовых технологий. – 2005. – № 5/1 (17). – С. 63–68.
4. Райцес, В. Б. Химико-термическая обработка деталей / В. Б. Райцес, В. М. Литвин. – К. : Техніка, 1980. – 152 с.
5. Лахтин, Ю. М. Химико-термическая обработка металлов : учебное пособие для вузов / Ю. М. Лахтин, Б. Н. Арзамасов. – М. : Металлургия, 1985. – 256 с.
6. Kulka, M. The influence of carbon content in the borided Fe-alloys on the microstructure of ironborides / M. Kulka, A. Pertek, L. Klimek // Mater. Charact. – 2006. – Vol. 56(3). – P. 232–240.
7. Genel, K. Kinetics of boriding of AISI W1 steel / K. Genel, I. Ozbek, C. Bindal // Material Science and Engineering A. – 2003. – Vol. 347(1–2). – P. 311–314.
8. Stergioudis, G. Formation of boride layer on steel substrates [Текст] / G. Stergioudis // Cryst. Res. and Technol. – 2006. – Vol. 41 (10). – P. 1002–1004.
9. Sen Saduman. An approach to kinetic study of borided steels / Sen Saduman, Sen Ugur, Bindal Cuma // Surface and Coating Technologies. – 2005. – Vol. 191(2–3). – P. 274–285.
10. Пат. 33654 Україна, МПК⁸ С 23 С 8/00. Склад для борування сталевих виробів / О. О. Павлюченко, В. О. Костик, К. О. Костик. – № u200800226 ; заявл. 04.01.2008 ; опубл. 10.07.2008, Бюл. № 13.

Костик К.О. «Зміцнення прес-форм лиття під тиском по нанотехнології».

Запропонована нова проста для використання та енергетично доцільна технологія борування виробів з легованої сталі 4Х5МФС, яка спрямована на скорочення тривалості хіміко-термічної обробки при одержанні високоякісних боридних шарів, які забезпечують необхідні експлуатаційні властивості прес-форм лиття під тиском.

Ключові слова: прес-форма, борування, легована сталь, дифузійні шари, мікротвердість.

Костик Е.А. «Упрочнение пресс-форм литья под давлением по нанотехнологии».

Предложена новая простая в использовании и энергетически целесообразная технология борирования изделий из легированной стали 4X5МФС, направленная на сокращение длительности химико-термической обработки при получении высококачественных борированных слоев, которые обеспечивают необходимые эксплуатационные свойства пресс-форм литья под давлением.

Ключевые слова: пресс-форма, борирование, легированная сталь, диффузионные слои, микротвердость.

Kostyk K.O. “Hardening of pressure diecasting press-formson nanotechnologies”.

A new easy-to-use and energy-appropriate boriding technology of products of alloy steel 4X5МФС, aimed at reducing the duration of chemical-thermal processing upon receipt of high-quality boriding layers that provide the necessary operational properties of pressure die casting press-formson.

Key words: press-form, boriding, alloy steel, diffusion layers, microhardness.

Стаття надійшла до редакції 2 грудня 2013 р.

ИССЛЕДОВАНИЕ ПЕРЕПАДА ТЕМПЕРАТУР В КОЛЬЦАХ РАДИАЛЬНЫХ ПОДШИПНИКОВ ПРИ НАГРЕВЕ В ИНДУКТОРЕ

1. Актуальность проблемы

Сборка конструкций с помощью индукционных нагревателей промышленной частоты обеспечивает высокую производительность нагревателей, высокую оперативную готовность, исключаящую какой-либо ввод в режим, низкие энергетические затраты, компактность конструкции и экологическую чистоту. Такой нагрев, благодаря скоротечности, облегчает монтажные работы и находит все более широкое применение в промышленности.

2. Цель работы

При нагреве в индукторе радиальных подшипников из-за различного электрического сопротивления колец температура внутреннего кольца, как правило, превышает температуру наружного. При этом вследствие температурного расширения колец может возникнуть их контакт с телами качения. Поэтому целью работы является расчет допустимого перепада температур колец радиальных подшипников при индукционном нагреве.

3. Задачи, решаемые в работе

Аналитически решается задача по определению усилия в подшипниках, перепада температур между кольцами исходя из общепринятых положений о напряженном состоянии элементов подшипников.

4. Основной материал

Для рассмотрения выбран безззорный подшипник. Если в таком подшипнике температурное расширение внутреннего кольца и тел качения превысит температурное расширение наружного кольца, то в точках контакта тел качения с кольцами возникают силы P (рис. 1) и создается температурный натяг U равный разности этих величин:

$$U = \alpha \frac{d'_g}{2} \Delta t_g + \alpha d_T \cdot \Delta t_T - \alpha \frac{d'_n}{2} \Delta t_n, \quad (1)$$

где α – коэффициент линейного расширения, $1/^\circ\text{C}$; d'_g, d_T, d'_n – диаметр беговой дорожки внутреннего кольца, тела качения и беговой дорожки наружного кольца соответственно; $\Delta t_g, \Delta t_T$ и Δt_n – приращение температуры внутреннего кольца, тела качения и наружного кольца, $^\circ\text{C}$.

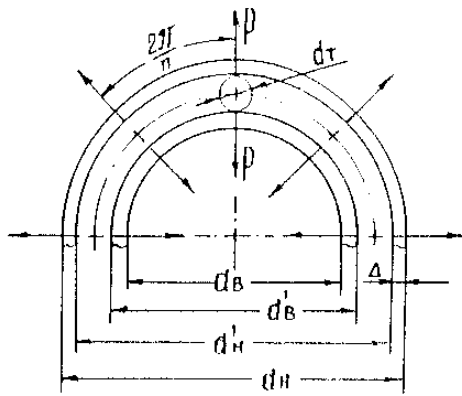


Рис. 1 – Схема сил в безззорном подшипнике при опережающем нагреве внутреннего кольца

Приняв приращение температуры тел качения равным среднему приращению температуры колец, т.е. $\Delta t_T = 0,5(\Delta t_B + \Delta t_H)$, учтя, что исходная температура колец и тел одинакова и $\Delta t_B - \Delta t_H = t_B - t_H$; обозначив толщину кольца Δ , откуда следует, что $d_{B_0} = d + 2\Delta$; $d_{H_0} = d_H - 2\Delta = d_{B_0} + 2d_T$ и, сделав соответствующие подстановки в уравнение (1), после преобразований получим выражение для температурного натяга:

$$U = 0,5(d_B + d_H + 2\Delta) \cdot (t_B - t_H) \quad (2)$$

В результате возникшего температурного натяга в точках касания колец с телами вращения возникают усилия P , сжимающие внутреннее кольцо и растягивающих наружное кольцо. Под действием этих же усилий происходит изгиб колец, а также деформация беговых дорожек и тел качения в местах их контакта.

Деформация кольца от напряжений изгиба и растяжения как радиальное смещение точки приложения силы P при нагружении кольца равномерно распределенными силами согласно работе [1] будет для внутреннего сжимаемого кольца:

$$U_B = \frac{PR_B^3}{EJ} \times \frac{1}{2 \sin^2 \frac{\pi}{n}} \left(\frac{\pi}{2n} + \frac{1}{4} \sin \frac{2\pi}{n} - \frac{n}{\pi} \sin^2 \frac{\pi}{n} \right) \quad (3)$$

где R_B – радиус центра тяжести сечения внутреннего кольца; n – число тел качения; E – модуль упругости; J – момент инерции сечения кольца.

Для наружного (растянутого) кольца смещение

$$U_H = -\frac{PR_H^3}{EJ} \times \frac{1}{2 \sin^2 \frac{\pi}{n}} \left(\frac{\pi}{2n} + \frac{1}{4} \sin \frac{2\pi}{n} - \frac{n}{\pi} \sin^2 \frac{\pi}{n} \right) \quad (4)$$

где R_H – радиус центра тяжести сечения наружного кольца.

Суммарное смещение колец численно равно сумме модулей смещений

$$|U_B| + |U_H| = -\frac{P(R_B^3 + R_H^3)}{EJ} \times \frac{1}{2 \sin^2 \frac{\pi}{n}} \left(\frac{\pi}{2n} + \frac{1}{4} \sin \frac{2\pi}{n} - \frac{n}{\pi} \sin^2 \frac{\pi}{n} \right) \quad (5)$$

Рассматривая сечение кольца как прямоугольник размером Δ и b (толщина и ширина кольца), т.е. без учета площади канавок беговых дорожек, получим значения $R_B = 0,5(d_B + \Delta)$; $R_H = 0,5(d_H - \Delta)$ и момента инерции сечения $J = 1/12 b \Delta^3$ что для радиальных шарикоподшипников уменьшает величину суммарного смещения на 9-10 %. Для роликовых подшипников влияние канавок еще меньше. Поэтому формула (5) может быть использована для подсчета смещений как в шариковых, так и в роликовых подшипниках.

Для определения контактной деформации воспользуемся выводами теории упругости.

При точечном контакте имеющем место в радиальном шарикоподшипнике величина смещения соприкасающихся тел δ в центре эллипса деформации (при $E = 2,12 \cdot 10^{-4} \text{ кгс} / \text{мм}^2$ и $\varepsilon = 0,3$) согласно [2] определяется выражением

$$\delta = 1,28 \cdot 10^{-3} \left(\frac{2K}{\pi\mu} \right) (P^2 \cdot \sum \rho)^{\frac{1}{3}}, \text{ мм} \quad (6)$$

где $\sum \rho$ – сумма кривизн соприкасающихся тел в двух взаимно перпендикулярных плоскостях, мм^{-1} ; $(2K/\pi\mu)$ – безразмерный коэффициент, выбираемый в зависимости от разности кривизн, определяемой величиной $\cos \tau$ [2, гл. 5].

При линейном контакте тел, как в роликоподшипниках суммарное сближение под действием силы P [2] будет

$$\delta = 3 \cdot 10^{-3} \frac{\rho^{0,9}}{l^{0,8}}, \quad (7)$$

где l – длина ролика, мм; контактирующие материалы – сталь с $E = 2,12 \cdot 10^{-4} \text{ кгс} / \text{мм}^2$; $\varepsilon = 0,3$. Выражение (7) с допустимой погрешностью может быть принято для подсчета суммарного сближения ролика как с наружным, так и внутренним кольцом.

Суммарное радиальное смещение от всех видов деформаций в подшипнике равное величине температурного натяга можно представить в виде:

$$U = |U_{\varepsilon}| + |U_H| + |\delta_{\varepsilon}| + |\delta_H| = 0,5(d_{\varepsilon} + d_T + 2\Delta)(t_{\varepsilon} - t_H) \quad (8)$$

Подставив в (8) из выражений (5) и (6) значение $|U_{\varepsilon}|, |U_H|, |\delta_{\varepsilon}|$ и $|\delta_H|$, обозначив в них P_0 как предельно допустимое значение силы P , и, проводя преобразования, получим выражение для предельного перепада температур между кольцами радиального шарикоподшипника:

$$t_{\varepsilon} - t_H = \frac{2}{\alpha(d_{\varepsilon} + d_T + 2\Delta)} \left\{ \frac{P_0(R_{\varepsilon}^3 + R_H^3)}{EJ2 \sin^2 \frac{\pi}{n}} \left(\frac{\pi}{2n} + \frac{1}{4} \sin \frac{2\pi}{n} - \frac{n}{\pi} \sin^2 \frac{\pi}{n} \right) + \right. \\ \left. + 1,28 \cdot 10^{-3} P_0^{\frac{2}{3}} \left[\left(\frac{2K}{\pi\mu} \right)_{\varepsilon} (\sum \rho_{\varepsilon})^{\frac{1}{3}} + \left(\frac{2K}{\pi\mu} \right)_H (\sum \rho_H)^{\frac{1}{3}} \right] \right\}, ^\circ \text{C} \quad (9)$$

Используя выражения (5) и (7) и проводя подстановки и преобразование формулы (8), получим значение предельного перепада температур для радиального роликового подшипника:

$$t_{\varepsilon} - t_H = \frac{2}{\alpha(d_{\varepsilon} + d_T + 2\Delta)} \left[\frac{P_0(R_{\varepsilon}^3 + R_H^3)}{EJ2 \sin^2 \frac{\pi}{n}} \left(\frac{\pi}{2n} + \frac{1}{4} \sin \frac{2\pi}{n} - \frac{n}{\pi} \sin^2 \frac{\pi}{n} \right) + \right. \\ \left. + 6 \cdot 10^{-4} \frac{P_0^{0,9}}{l^{0,8}} \right], ^\circ \text{C} \quad (10)$$

Смещения точек приложения силы P в подшипнике возникают в результате изгиба от

растяжения колец – $|U_е|, |U_H|$, и деформации в точках контакта тел качения с кольцами – $|\delta_е|$ и $|\delta_H|$. Для этих видов нагружения с учетом допускаемых напряжений и найдем предельное значение силы P_0 .

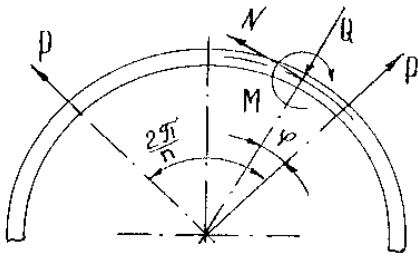


Рис. 2 – Силы, действующие в сечении колец под воздействием внешних сил P

При изгибе кольца внешними силами P (рис. 2) в его сечении действуют перерезывающая сила Q , нормальная сила N и изгибающий момент M . Под действием силы Q возникают касательные напряжения

$\tau = \frac{Q}{F}$, где F – площадь сечения кольца, мм²; нормальная

сила N и изгибающий момент M создают нормальные напряжения $\sigma = \frac{M}{W} + \frac{N}{F}$.

Сохранив ранее принятое допущение – ослабление сечения кольца канавкой беговой дорожки не учитывается – получим выражения для F и W : $F = b\Delta$; $W = \frac{b\Delta^2}{6}$.

При плоском напряженном состоянии условие прочности можно записать в виде (внутреннее кольцо сжато):

$$\sqrt{\sigma^2 + 3\tau^2} \leq [\sigma] \quad (11)$$

где $[\tau]$ – допускаемое напряжение при изгибе.

Для кольца, нагруженного равномерно распределенными сосредоточенными радиальными силами теория упругости [2] дает следующие значения величин Q , N и M :

$$N = \frac{P}{2 \sin \frac{\pi}{n}} \times \cos \left(\frac{\pi}{n} - \varphi \right) \quad (12)$$

$$Q = -\frac{P}{2 \sin \frac{\pi}{n}} \times \sin \left(\frac{\pi}{n} - \varphi \right) \quad (13)$$

$$M = PR \left[\frac{n}{2\pi} - \frac{\cos \left(\frac{\pi}{n} - \varphi \right)}{2 \sin \frac{\pi}{n}} \right] \quad (14)$$

Приняв в формулах (11), (12) и (13) $\varphi = 0$, когда как показывает анализ левая часть выражения (11) приобретает максимальное значение, определив значения τ, σ , после их подстановки в (11) и соответствующих преобразований получим выражение для определения допускаемой силы из условия напряженного состояния колец:

$$P_0 \leq \frac{[\sigma] b \Delta}{\sqrt{\left[0,5 \operatorname{ctg} \frac{\pi}{n} - \frac{3R}{\Delta} \left(\frac{n}{\pi} - \operatorname{ctg} \frac{\pi}{n} \right) \right]^2 + \frac{3}{4}}}, \text{ кгс} \quad (15)$$

Предельную силу P_0 , допускаемую из условий ограничения контактных деформаций можно определить по статической грузоподъемности C_0 , значение которой приводится в каталоге для каждого подшипника. Соотношение грузоподъемности C_0 и наибольшей силы, действующей на одно тело согласно [2] для шарикового подшипника $C_0 = \frac{nP_0}{4,37}$ и роликового подшипника

$C_0 = \frac{nP_0}{4}$, где n – число тел качения, откуда значение P_0 для шарикового подшипника

$$P_0 = \frac{1}{n} 4,37 C_0 \quad (16)$$

и роликового

$$P_0 = \frac{1}{n} 4,37 C_0 \quad (17)$$

Расчеты показывают, что значения силы P_0 , подсчитанные по формулам (16) и (17) значительно меньше величины P_0 , найденной по формуле (15). Например, для подшипника 316 величина P_0 , подсчитанная по формуле (15) при значениях $\sigma_m = 170 \text{ кгс} / \text{мм}^2$ (сталь ШХ15) и $[\sigma] = 45 \text{ кгс} / \text{мм}^2$ равна 20000 кгс. Та же величина P_0 , найденная из выражения (16), т.е. из условия допустимых контактных деформаций равна $P_0 = 8160$ кгс. Поэтому в качестве предельной силы P_0 следует принимать ее значения, подсчитанные для шариковых подшипников по формуле (16), для роликовых - по формуле (17).

По изложенной выше методике были найдены предельно допустимые перепады температур между внутренним и наружным кольцом $\Delta t = t_e - t_H$. Так для шарикового подшипника 316 перепад $\Delta t = 240^\circ\text{C}$; для роликового подшипника 2316 перепад $\Delta t = 106^\circ\text{C}$.

Выводы

1. Разработана и научно обоснована методика выбора критериев и расчета величины предельно допустимого перепада температур между внутренним и наружным кольцом радиальных подшипников при их индукционном нагреве.

2. Отдельные расчеты допустимого перепада температур свидетельствуют, что принятые в настоящее время представления о допустимой величине перепада нуждаются в существенном пересмотре.

Список использованных источников:

1. Прочность, устойчивость, колебания : справочник / под ред. И. Л. Биргера, Я.Г. Пановко. – М. : Машиностроение, 1968.
2. Подшипники качения: справочник-каталог / О. Н. Черменский, Н. Н. Федотов. – М. : Машиностроение, 2003.
3. Анурьев В. И. Справочник конструктора-машиностроителя / В. И. Анурьев. – М. : Машиностроение, 2001.

Кравцов М.К., Оболенская Т.А., Серeda Н.В., Белецкая И.В. «Исследование перепада температур в кольцах радиальных подшипников при нагреве в индукторе».

В статье рассмотрены вопросы расчета величины предельно допустимого перепада температур между кольцами радиальных подшипников при их индукционной нагревании.

Ключевые слова: радиальные подшипники, индукционный нагрев, перепад температур, допустимый предел.

Кравцов М.К., Оболенська Т.О., Серeda Н.В., Білецька І.В. «Дослідження перепаду температур в кільцях радіальних підшипників при нагріві в індукторах».

У статті розглянуті питання розрахунку величини гранично допустимого перепаду температур поміж кільцями радіальних підшипників при їх індукційному нагріванні.

Ключові слова: радіальні підшипники, індукційний нагрів, перепад температур, допустима границя.

M.K. Kravtsov, Obolenskaya T.A., Sereda N.V., Beletskaya I.V. “The investigation of over temperature in ball-bearing rings by heating in inductor”.

The problems of calculation of limit possible value between ball-bearing ring by their induction heating are examined in the article.

Key words: ball-bearings, induction heating, over temperature, possible limit.

Стаття надійшла до редакції 30 вересня 2013 р.

ТОЧНОСТЬ КООРДИНИРОВАННЫХ РАЗМЕРОВ ПРИ ОБРАБОТКЕ ОТВЕРСТИЙ БЕЗ НАПРАВЛЕНИЯ РЕЖУЩЕГО ИНСТРУМЕНТА

1. Постановка задачи

Исследованиями, выполненными ранее (1), было установлено, что точность координированных размеров (межосевых размеров от базы) с учетом позиционных отклонений осей отверстий обеспечивается не всегда. В большей степени это относится к отверстиям, у которых $l/d > 5$ (l и d – соответственно длина и диаметр отверстия). И, несмотря на значительный опыт, накопленный в результате исследований технологических процессов автоматизированного производства, вопросы технологического обеспечения качества их работы изучены еще не достаточно. Отсутствует у конструкторов нормативно-техническая документация, устанавливающая взаимосвязь между точностными характеристиками обрабатываемых деталей и точностными параметрами элементов оснастки станков, обеспечивающих эти характеристики.

2. Актуальность исследования

С повышением требований к точности координат и позиционных отклонений осей отверстий в обрабатываемых деталях возникает необходимость уже на стадии проектирования оборудования обоснованно применять различные конструкции технологического оснащения с определенными экономически целесообразными точностными параметрами. Особую значимость проблема научно обоснованной регламентации точностных параметров элементов технологического оснащения приобретает при создании переналаживаемого (гибкого) оборудования поскольку, в основном, в точностных параметрах технологической оснастки трансформируются погрешности всей технологической системы СПКД.

Высказанные положения подтверждают необходимость и актуальность исследований факторов, определяющих точность обработки заготовок на многооперационных станках с использованием различных технологических схем.

3. Экспериментальное исследование точности координированных размеров

Поскольку вопросы обоснованного назначения элементов технологического оснащения для надежного обеспечения точности обработки координированных отверстий до сих пор не решены, был проведен комплекс экспериментальных и теоретических исследований на основе полного факторного эксперимента (ПФЭ 2³).

Для случая сверления отверстий диаметром (1-3) мм в сплошном материале при задании размера от базы точность обработки оценивалась практическими полями рассеяния

от базы (ω_b) и позиционного отклонения (ω_o). В общем виде была принята следующая функциональная зависимость для определения практических полей рассеяния размера от базы (ω_b) или позиционного отклонения (ω_o):

$$\omega_{B;O} = f(d_H, HB, l_H), \quad (1)$$

где d_H – диаметр обрабатываемого отверстия, мм;

HB – твердость обрабатываемого материала, МПа;

l_H – вылет инструмента за торец шпинделя, мм.

Обрабатывались заготовки из стали 45, серого чугуна СЧ15 и алюминиевого сплава АКЧ сверлами диаметрами $\varnothing 1$ мм, $\varnothing 2$ мм, $\varnothing 3$ мм короткой и средней серии длин. В каждой точке плана эксперимента объем испытаний был принят равным $N=50$ шт. Для достоверности и адекватности полученных математических зависимостей была проведена дополнительная серия опытов ($n_o=3$) в нулевой точке плана эксперимента (заготовка из серого чугуна СЧ15).

Математическая обработка результатов экспериментальных исследований на первом этапе сводилась к определению статистических характеристики распределений:

$\bar{X}$ – среднее арифметическое отклонение исследуемой величины;

σ – среднее квадратических отклонений;

W – размах;

λ – коэффициент относительного рассеяния случайной величины;

α – коэффициент относительной ассиметрии.

Оценка согласия экспериментальных данных с теоретическими по каждому из 11 опытов проводилась путем вычисления критериев Колмогорова и Пирсона. Установлено, что рассеяние размеров от базы подчиняется нормальному закону, а позиционного отклонения – законам эксцентриситета или модуля разности.

Проверка гипотезы однородности дисперсий практических полей рассеяния в каждой точке плана эксперимента проводилась по критерию Кохрена.

4. Система без направления режущего инструмента

В качестве независимых переменных X_i ($i = 1, 2, 3$) приняты логарифмы d_u , HB и l_u . Кодирование факторов, например по диаметру, осуществлено в следующей последовательности:

– нулевой уровень варьирования равен $X_{1;0} = \lg 2,0 = 0,301$, а интервал рассчитывался по формулам

$$\Delta X_{1;0} = \frac{\lg 3,0 - 1,0}{2} = 0,2386, \quad (2)$$

Таким образом, кодированное значение диаметра режущего инструмента вычисляем по формуле:

$$Z_1 = \frac{(\lg d_H - 0,301)}{0,2386}, \quad (3)$$

Аналогично определяем значения Z_2 и Z_3 , которые сведены в таблицу 1.

Таблица 1 – Кодированное значение факторов при сверлении отверстий силовой головкой без направления режущего инструмента

Наименование фактора	Код	Кодированное значение факторов
Диаметр инструмента	Z_1	$(\lg d_{\text{и}} - 0,301)/0,2386$
Твердость обрабатываемого материала	Z_2	$(\lg \text{HB} - 3,0934)/0,2726$
Вылет инструмента	Z_3	$(\lg l_{\text{и}} - 1,3617)/0,1365$

Гипотезу об адекватности представления результатов исследования точности обработки можно считать правильной, так как проверки как по критерию Фишера (F), так и по критерию Стьюдента (t) показали, что расчетные значения этих критериев меньше табличных.

В результате дальнейшей математической обработки получены зависимости для расчета практических полей рассеяния:

$$\omega_{\text{в}} = 19,6 \frac{\text{HB}^{0,36} \cdot \ln^{0,46}}{d_{\text{и}}^{0,45 \cdot \lg \text{HB} - 1,289}} \quad (4)$$

– для позиционных отклонений оси отверстия

$$\omega_{\text{о}} = 0,863 \frac{\ln^{1,058} \cdot \text{HB}^{0,72}}{d_{\text{и}}^{0,91 \cdot \lg \text{HB} - 2,6308}} \quad (5)$$

Полученные зависимости можно использовать при следующих пределах исследуемых факторов: HB = (500-2500) МПа при $d_{\text{и}}$ = (0,8- 3,5) мм и $l_{\text{и}}$ - в пределах от 8 мм до 40 мм.

Увеличение вылета инструмента за торец шпинделя, а также повышение твердости материала заготовки увеличивают поля рассеивания $\omega_{\text{в}}$ и $\omega_{\text{о}}$.

На графиках (рис.1) представлены реализация полученных уравнений.

В табл. 2 представлен удельный вес факторов на $\omega_{\text{в}}$ и $\omega_{\text{о}}$ при обработке заготовок без направления режущего инструмента.

Таблица 2 – Удельный вес факторов

Факторы	Удельный вес факторов, в %	
	$\omega_{\text{в}}$	$\omega_{\text{о}}$
$d_{\text{и}}$	13,5	11,0
HB	34,5	33,0
$l_{\text{и}}$	35,0	39,0
Совместное влияние $d_{\text{и}}$ и HB	17,0	17,0

Из таблицы видно, что наибольшее влияние оказывает вылет режущего инструмента $l_{\text{и}}$ (35-39) %. Удельное влияние диаметра инструмента сказывается в меньшей степени и составляет от 11 % до 13 %. Механические свойства обрабатываемого материала детали оказывают также существенное влияние (33-34,5 %). Совместное влияние диаметра и твердости материала – фактор, определяющий нагрузку на инструмент, влияет менее существенно (17 %).

Выводы

Теоретическими исследованиями установлено, что точность координирования размеров и позиционных отклонений зависит от суммарной геометрической точности элементов технологической системы станка и суммарных упругих деформаций. Исследованиями установлено, что рассеяние координированных размеров подчиняется нормальному закону распределения, а позиционных отклонений – закону эксцентриситета или модуля разности. Результаты расчета влияния удельного веса погрешностей на суммарную геометрическую точность показывает, что для систем без направления режущего инструмента наиболее существенное влияние оказывают погрешности приспособлений – до 55 %, а для систем с направлением инструмента – погрешности подвижной кондукторной плиты и приспособления (суммарно около 79 %).

Список использованных источников:

1. Исследование точности обработки деталей на агрегатных станках с применением различных технологических схем : отчет о НИР / Укр. заоч. политехн. ин-т. ; исполн.: Э. А. Пащенко, В. А. Чепела, Н. В. Латышев. – Инв. № Б979436. – Харьков, 1980. – 132 с.
2. Душинский В. В. Оптимизация технологических процессов в машиностроении / В. В. Душинский, Е. С. Пуховский, С. Г., Радченко ; под ред. Г. Э. Туурита. – К. : Техніка, 1977. – 176 с.
3. Шиндовский Э. Статистические методы управления качеством / Э. Шиндовский, О. Шорц. – М.: МИФ, 1976. – 599 с.
4. Корсаков В.С. Основы конструирования приспособлений в машиностроении. – М. : Машиностроение, 1971. – 288 с.

Пащенко Е.А., Бурдейная В.М. «Точность координированных размеров при обработке отверстий без направления режущего инструмента».

В статье рассматривается проблема научно обоснованной регламентации точностных параметров элементов технологического оснащения оборудования и факторы, определяющие точность обработки заготовок на многооперационных станках с использованием различных технологических схем.

Ключевые слова: отверстие, координированные размеры, точность, режущий инструмент.

Пащенко Е.А., Бурдейная В.М. «Точність координованих розмірів при обробці отворів без направлення ріжучого інструменту».

У статті розглядається проблема науково обґрунтованої регламентації точностних параметрів елементів технологічного оснащення обладнання та фактори, що визначають точність обробки заготовок на багатоопераційних верстатах з використанням різних технологічних схем.

Ключові слова: отвір, координовані розміри, точність, ріжучий інструмент.

Pascenco E.A., Burdeinaya V.M. “Accuracy coordinated dimensions at machining holes without direction of the cutting tool”.

The problem of evidence-based regulation accuracy parameters of elements of technological equipment of the equipment and the factors determining the accuracy of workpieces on multioperational machines using different technological schemes.

Key words: hole coordinated dimensions, precision, cutting tool.

Стаття надійшла до редакції 2 грудня 2013 р.

СНИЖЕНИЕ ВНУТРЕННИХ ДЕФЕКТОВ В КОРПУСНЫХ ОТЛИВКАХ КАК ФАКТОР ПОВЫШЕНИЯ ФУНКЦИОНАЛЬНОЙ НАДЕЖНОСТИ ДЕТАЛЕЙ МАШИН ИЗ СТАЛИ

1. Введение

Повышение конкурентной способности продукции машиностроения сегодня может рассматриваться как главная задача прикладных научных исследований в области технологии машиностроения. Хорошо известен тот факт, что зачастую невысокое качество заготовительного производства «проецируется» и на получение готово изделия – будь-то детали машины или их узлы [1–2]. При этом под заготовительным производством, в первую очередь, понимается литейное производство, ведь объемная доля фасонных отливок для деталей машиностроения составляет не менее 70 %. Одной из наибольших проблем является сложность получения отливок без внутренних дефектов, которые вскрываются уже в процессе механической обработки или, что еще хуже, остаются скрытыми. В последнем случае такие дефекты повышают вероятность функциональных отказов деталей и узлов машин в процессе эксплуатации. Поэтому одной из наиболее актуальных задач является задача конструирования оснастки литейного производства таким образом, чтобы уменьшить вероятность брака отливок по причине внутренних дефектов – усадочной и газовой пористости, или уменьшить объем их в теле отливки.

2. Анализ литературных данных и постановка задачи исследования

Вопросами конструкторско-технологической подготовки литейного производства, как основного фактора управления качеством отливок, сегодня занимаются многие исследователи. Большинство работ в этой области сегодня посвящено применению CAD/CAM/CAE–систем: трехмерному твердотельному моделированию [3–5], компьютерному моделированию процессов заполнения форм, кристаллизации отливок [6–7], формированию внутренних напряжений в отливках и влиянию напряженно-деформированного состояния на эксплуатационную надежность деталей машин [8–9].

Однако в большинстве работ зачастую не поднимаются вопросы определения рационального размещения элементов литниково-питающих систем на основе математического моделирования влияния их параметров на качество получаемых отливок. Целью такого моделирования может быть математическое описание дислокации внутренних дефектов (полостей) усадочной или газотворной природы, выполняемое на основе методов статистической классификации [10–11]. В результате реализации такого подхода открывается возможность оптимизации параметров литниково-питающих систем, в результате чего обеспечивается снижение вероятности формирования внутренних дефектов в

теле отливки или уменьшения их объема. Если речь идет об отливках из стали, в первую очередь управляющим фактором в контексте поставленной задачи может рассматриваться объем и место установки прибылей, главным предназначением которых является «поглощение» усадочных раковин и не допущения их проникновения в тело отливки. Таким образом, целью исследования выбрано определение рационального места установки прибыли и её объема, оцениваемых по возможности предотвращения проникновения усадочных раковин в тело отливки.

3. Компьютерное моделирование процессов формирования внутренних дефектов

Для исследования выбрана отливка «Корпус», изготавливаемая из стали 20, в элементах литниково-питающей системы которой были предусмотрены две закрытые круглые прибыли со скруглением сверху и одна овальная закрытая прибыль. Обоснованием к выбору именно трех прибылей были следующие соображения: прибыли должны питать наиболее массивные, тепловые узлы отливки – большая цилиндрическая прибыль и две небольших прибыли со стороны подвода металлы в полость формы, причем одна из них была установлена над местном входа питателя. Параллельно преследовалась цель определить, влияет ли близость прибыли к питателю на качество питания отливки данной прибылью.

С помощью программы Solid Works была выполнена 3D-модель отливки в сборке со стержнем, литниковой системой и прибылями (рис. 1).

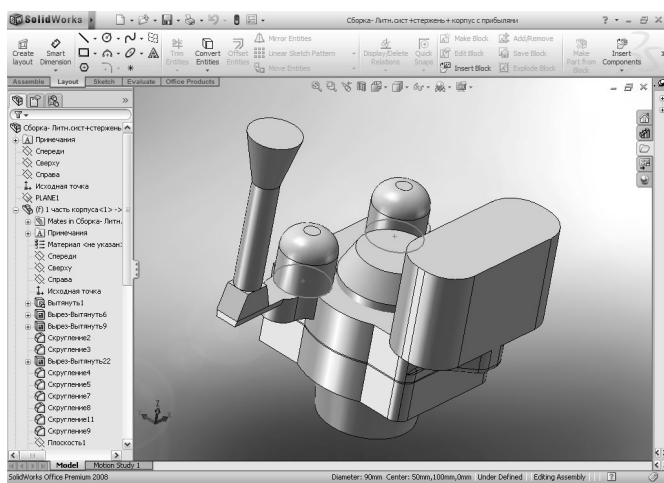


Рис. 1 – 3D-модель отливки в сборке со стержнем, литниковой системой и прибылями

После конвертации файлов в формат STL программы LVMFlow была промоделированы в 5 компьютерных экспериментах разные варианты оформления прибылей и мест их размещения и выявлены места дислокации полостей усадочной природы. Один из результатов моделирования показан на рис. 2.

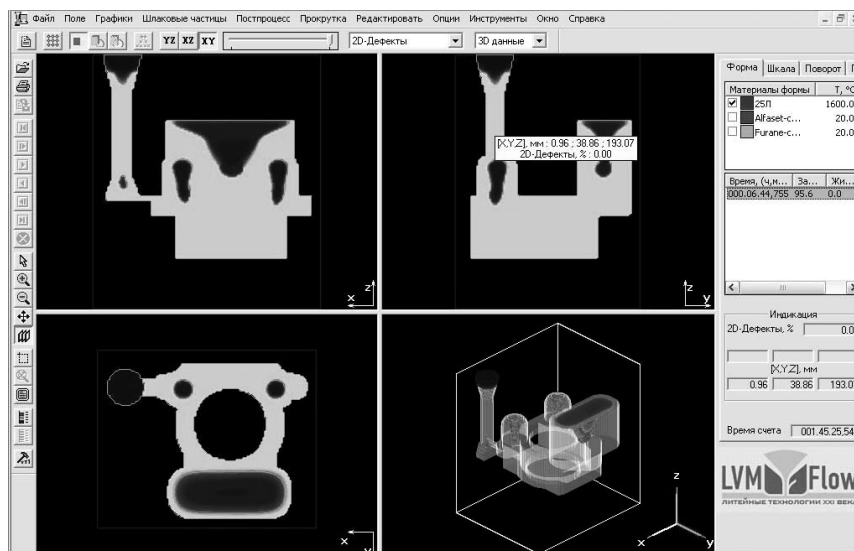


Рис. 2 – Результаты моделирования процессов формирования усадочных дефектов в эксперименте №1

4. Результаты моделирования и их интерпретация

На основании полученных результатов может быть сделано несколько важных выводов. В частности, можно считать, что при использовании овальной закрытой прибыли усадка не проникает в тело отливки, поэтому должны быть проанализированы две оставшиеся прибыли. Отсчет координат необходимо вести от места заливки металла в литниковую воронку по оси Z (в конкретном случае $Z = 290$ мм). Координату места подвода металла к отливке (в конкретном случае равную 144 мм) можно принять за показатель наличия проникновения усадочной раковины в тело отливки.

Получаемое отрицательное значение указывает на наличие дефекта, а положительное – на его отсутствие.

По результатам полученных данных в программе Excel был построен график зависимости глубины проникновения усадочной раковины в тело отливки от объема прибыли (рис. 3).

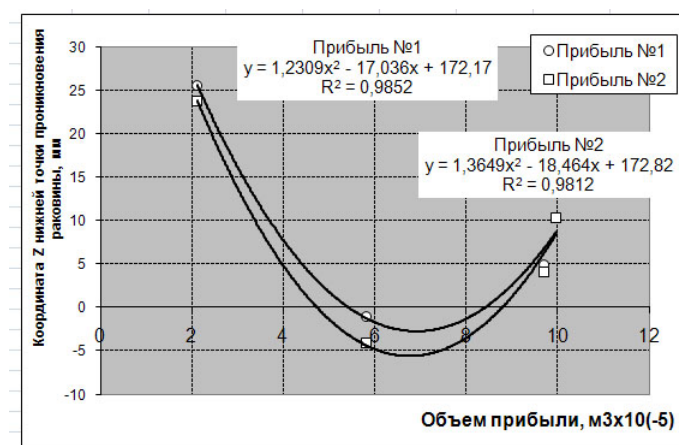


Рис. 3 – График зависимости глубины проникновения усадочной раковины в тело отливки от объема прибыли

в которых проводилось моделирование, можно сделать вывод о том, что этот вариант как раз

Полученные графики позволяют увидеть несколько принципиальных моментов, касающихся выбора объема прибыли. Во-первых, для обеих прибылей характер исследуемых зависимостей принципиально одинаков. Во-вторых, обе зависимости имеют экстремум, причем это минимум. По сути это означает, что в данном диапазоне достигается минимальная величина проникновения раковины. Однако, учитывая привязку системы координат,

является наихудшим (отрицательный знак на оси Z соответствует проникновению раковины). Таким образом, итогом моделирования является выявление как рационального варианта оформления прибыли, так и наихудшего варианта.

Выводы

В результате компьютерного моделирования установлено, что с увеличением прибыли до некоторого предела она работает хорошо. Затем в диапазоне экстремума прибыль работает не эффективно – дальнейшее увеличение прибыли не дает улучшения эффекта, а приводит только к перерасходу металла. Граничные значения области экстремума, в которой прибыль работает плохо, соответствуют пересечению полученных зависимостей с осью $Z=0$.

Список использованных источников:

1. Черпаков, Б. И. Эксплуатация автоматических линий / Б. И. Черпаков // М. : Машиностроение, 1990. – 304 с.
2. Дёмин, Д. А. Принятие решений в процессе управления электроплавкой с учетом факторов нестабильности технологического процесса / Д. А. Дёмин // Вісник національного технічного університету «ХПІ» : зб. наук. пр. – Х., 2010. – № 17. – С. 67–72.
3. Акимов, О. В. Анализ погрешностей формообразования отливок колес турбин турбокомпрессоров для наддува ДВС на этапе изготовления их восковых моделей / О. В. Акимов, В. А. Солошенко // Восточно-Европейский журнал передовых технологий. – 2003. – №3. – С. 11–18.
4. Акимов, О. В. Экспериментальные исследования и компьютерное моделирование материалов для блок-картера ДВС / О. В. Акимов, А. П. Марченко // Восточно-Европейский журнал передовых технологий. – 2008. – №5/1 (35). – С. 52–57.
5. Акимов, О. В. Компьютерно-интегрированное проектирование литых деталей ДВС / О. В. Акимов, А. П. Марченко // Ползуновский вестник / Алтайский государственный технический университет им. Ползунова. – 2007. – Вып.4.
6. Краснокутский, Е. А. Компьютерное моделирование процессов кристаллизации литой детали в кокиле / Е. А. Краснокутский // Технологический аудит и резервы производства. – 2012. – №1 (3). – С. 3–8.
7. Савченко, Ю. Э. Применение компьютерно-интегрированных систем и технологий в производстве поршней / Ю. Э. Савченко // Технологический аудит и резервы производства. – 2012. – № 1. – С. 8–13.
8. Кравцов, М. К. Уточненный расчет деформаций подшипников качения при индукционно-тепловой сборке подшипниковых узлов / М. К. Кравцов, О. В. Акимов, В. Т. Акимов // Восточно-Европейский журнал передовых технологий. – 2005. – № 5/2 (17). – С. 52–57.

9. Акимов, О. В. К оценке экономически оптимального срока службы машин (узлов) / О. В. Акимов, В. Т. Акимов // Восточно-Европейский журнал передовых технологий. – 2008. – № 3/1 (33). – С. 50–52.

10. Идентификация чугуна для определения рациональных режимов легирования / Д. А. Дёмин, А. Б. Божко, А. В. Зрайченко, А. Г. Некрасов // Східно-Європейський журнал передових технологій. – 2006. – № 4/1 (22). – С. 29–32.

11. Дёмин, Д. А. Диагностика технологического процесса. Руководство для технолога / Д. А. Дёмин // Восточно-Европейский журнал передовых технологий. – 2005. – № 5/1 (17). – С. 29–40.

Пуляев А.А. «Снижение внутренних дефектов в корпусных отливках как фактор повышения функциональной надежности деталей машин из стали».

В статье описаны результаты компьютерного моделирования процессов заполнения литейных форм и кристаллизации отливок из стали, предназначенных для изготовления деталей «корпус». Показано, что путем подбора расположения элементов литниково-питающих систем и прибылей возможно уменьшение объема внутренних полостей в теле отливки и устранение усадочных раковин.

Ключевые слова: технология машиностроения, фасонная отливка, детали машин, конструкторско-технологическая подготовка производства.

Пуляев А.А. «Зниження внутрішніх дефектів в корпусних відливках як фактор підвищення функціональної надійності деталей машин зі сталі».

У статті описані результати комп'ютерного моделювання процесів заповнення ливарних форм і кристалізації відливок зі сталі, призначених для виготовлення деталей «корпус». Показано, що шляхом підбору розташування елементів литниково - живлячих систем і надлишків можливе зменшення обсягу внутрішніх порожнин в тілі відливки і усунення усадочних раковин.

Ключові слова: технологія машинобудування, фасонна відливка, деталі машин, конструкторсько-технологічна підготовка виробництва.

Puljaev A.A. “Reduced internal defects in the hull castings as a factor in increasing the functional reliability of machine parts made of steel”.

The article describes the results of computer simulations of the filling of molds and crystallization of steel castings for the manufacture of parts “housing”. It is shown that by adjusting the layout of the gating systems and profits may decrease the volume of the internal cavities of the body and the removal of the casting cavities.

Key words: mechanical engineering technology, shaped casting, machine parts, design and production planning.

Стаття надійшла до редакції 2 грудня 2013 р.

КЛАСИФІКАЦІЯ ЗАКОНІВ ФУНКЦІОНУВАННЯ СИСТЕМИ ДРІБНОСЕРІЙНОЇ ЗБОРКИ СКЛАДНИХ МАШИНОБУДІВНИХ ВИРОБІВ

1. Постановка проблеми

У сучасних умовах ефективним засобом інтенсифікації складального виробництва при підвищенні якісних показників продукції і зниженні її собівартості є механізація і автоматизація технологічних операцій. Особливе це положення актуально в умовах дрібносерійної зборки складних машинобудівних виробів, яка, як правило, завершує виробничий цикл, і від якості якої, значною мірою, залежать довговічність, надійність і функціональні характеристики продукції.

При цьому велику питому вагу в загальному об'ємі складальних операцій мають операції по збірці типових з'єднань, що характеризуються високим рівнем монотонності праці, повторюваності робочих рухів, а також що не вимагають високої кваліфікації працівника. Так, питома вага у виробі машинобудування з'єднань по циліндричних і конічних поверхнях досягає 40 %, різьбових з'єднань 20 ... 25 %, з'єднань по плоских поверхнях 10 ... 20 %.

Виконання таких операцій впродовж тривалого часу призводить до зниження уваги, підвищеної стомлюваності, фізичної втоми збирача, що є головними причинами помилок, що призводять до зниження якості продукції, що випускається.

Як відомо, загальна проблема виготовлення машин складається з технологічних завдань, що включають точність виготовлення деталей і якість складальних процесів. Якщо перше завдання вирішується на етапі оптимізації процесу механічної обробки деталей, то друга знаходить рішення на завершальній стадії виготовлення машин в умовах технології складального виробництва.

Продуктивність праці в дрібносерійному складальному виробництві складних машинобудівних виробів також опиняється залежною від суб'єктивних чинників, а її рівень має тенденцію до періодичної зміни.

Ефективне рішення цих завдань можливе на шляху впровадження автоматизованих систем проектування складальних процесів на основі методів імітаційного моделювання.

2. Основна частина

Ключовою в класифікації законів функціонування системи дрібносерійної зборки складних машинобудівних виробів є організаційна структура системи зборки. Під організаційною структурою (ОС ГВСЗ) гнучкої виробничої системи зборки виробів (G) будемо розуміти структуру виробничої технологічної системи, яка є матеріальною реалізацією технологічного процесу, що задана на декомпозиційній множини її елементів (P) і зв'язків (Q) між ними. Таким чином, можна задати структуру ОС ГВСЗ графом (1):

$$G = G(P, Q). \quad (1)$$

Враховуючи, що процес функціонування ГВСЗ розглядається в завданні оцінки продуктивності і ефективності ГВСЗ, поняття елементів і зв'язків ГВСЗ мають бути визначені з цих же позицій.

Під елементами ГВСЗ розумітимемо автоматичне і автоматизоване технологічне устаткування, яке реалізує основні технологічні операції, необхідні для якісної зборки. Під зв'язками графа організаційної структури ГВСЗ розумітимемо матеріальні потоки продукції з вказівкою напрямів їх переміщення між елементами ГВСЗ.

Аналіз функціональних структур реальних ГВСЗ дозволяє визначити характер руху елементів збираного виробу між ГВМ у виді: послідовних, паралельних, паралельно-послідовних потоків і потоків із зворотним зв'язком. Кожен з відмічених видів потоків характерний для відповідних видів з'єднань між ГВМ: перший – для послідовного з'єднання ГВМ (рис. 3, а); другий – для групи паралельно працюючих ГВМ (рис. 3, б); третій – для ГВМ і допоміжного устаткування, включених послідовно з ним (рис. 3, в); четвертий – для групи ГВМ, що виконують технологічні операції з наступним їх повторенням на наступних ГВМ (рис. 3, г).

Закони функціонування системи СДЗ СМВ. Час обробки виробів в ГВМ визначає технологічний операційний час (норму часу), необхідний для виконання робіт при проведенні технологічної операції. Час обробки залежить від ряду чинників: виду і номенклатури виконуваних технологічних переходів, як основних, так і допоміжних; числа одночасно збираних виробів і проведених операцій і у зв'язку з цим може бути класифіковано по ряду конструкторсько-технологічних ознак. Залежно від виду ГВМ, на якому виконується зборка виробу, час зборки може бути детермінованою або випадковою величиною.

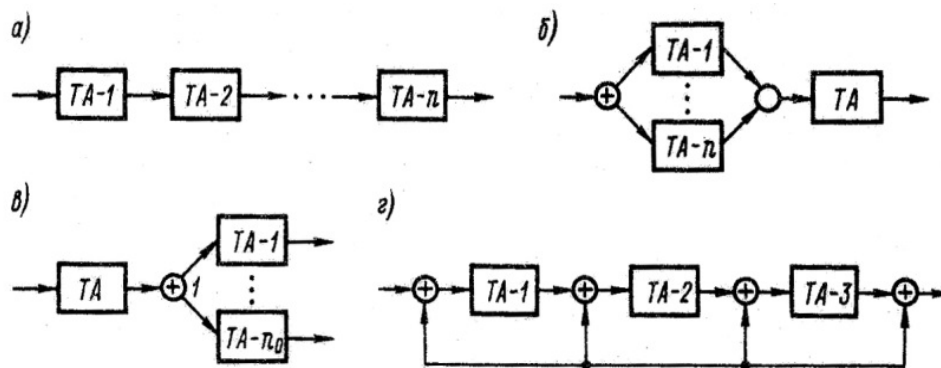


Рис. 1 – Види з'єднань між елементами виробничої системи:
 а – послідовне; б – паралельне; в – послідовно-паралельне;
 г – із зворотнім зв'язком

Математичне моделювання дозволяє розкрити функції проектування $G(P, Q)$ через функції опису станів, які в процесі проектування утворюють послідовність (P), і функції переходу від одного стану до іншого (Q). При цьому процес зборки характеризується зміною складу виробу, який підкоряється закономірностям взаємного положення деталей і їх поверхонь в тривимірному просторі. Порядок зборки визначається властивостями виробу: усі деталі обмежені в переміщеннях по усіх напрямках; одні деталі закривають доступ до інших; кожна деталь орієнтована відносно іншої.

Перша властивість визначає можливість зібрати конструкцію. Друга властивість визначає послідовність і підмножину деталей на кожному етапі. Третя властивість характеризує положення кожної деталі відносно іншої в конструкції певного службового призначення.

Таким чином, динамічна модель дозволяє визначити простір зміни стану і основні множини, ним що характеризуються, характер зміни, т. е. основний закон перетворення одного стану в інше. У загальному випадку, динамічна модель оцінює завдання проектування в головному, а саме: динамічна модель дозволяє визначити основну властивість, що характеризує процес проектування; крім того, через цю властивість виражається поняття зміни, через яку може бути виражена зміна будь-якого об'єкту проектування технології машинобудування.

Наявність загальної основної властивості дає можливість різнохарактерні елементи, що беруть участь в завданнях проектування, представити як єдине змінюване ціле.

Логічна модель процесу проектування зборки дає, зрештою, опис затверджень технології в математичній формі за допомогою логічних функцій, що виражають технологічні взаємодії через класи стосунків. Розглянемо властивості конструкції виробу, необхідні для вирішення завдань автоматизації конструювання і проектування процесів зборки. Усі деталі розташовані в певному порядку і обмежені в переміщеннях по усіх напрямках (2)

$$N = \{\pm x, \pm y, \pm z, \pm \varphi_x, \pm \varphi_y, \pm \varphi_z\}, \quad (2)$$

де N — множина напрямів; $\pm x, \pm y, \pm z$ — напрямки переміщення; $\pm \varphi_x, \pm \varphi_y, \pm \varphi_z$ — напрямки обертання.

Кожна деталь орієнтована відносно іншої в певному напрямі — $M(x)$. Кожна деталь обмежує доступ до інших, і кожна деталь є перешкодою для іншої — $Qt4(x)$

Конструкцію будь-якого виробу (вузла) утворюють деталі, які розташовані в певному порядку по відношенню один до одного. Виготовляється ця конструкція при виконанні послідовності, яка забезпечує отримання порядку деталей в ній. Це означає, що між деталями існує відношення дотримання (3)

$$X_1 \Leftarrow x_2 \text{ або } Qt_1(x_1, x_2), \quad (3)$$

в цьому випадку x_1 ; x_2 — будь-які деталі конструкції.

Обмеження в переміщеннях по усіх напрямках одних деталей іншими означає, що між предметами існує відношення обмеження переміщення (4)

$$X_1 \Leftrightarrow x_2 \text{ або } Qt_4(x_1, x_2), \quad (4)$$

де $\Leftrightarrow$ — знак відношення обмежень переміщення.

Положення кожної деталі в конструкції визначене базовими деталями. Це означає, що між деталями x і базовими деталями u існує відношення спільності виду (5)

$$x \overset{B}{\leftrightarrow} u \text{ або } Qt_5(x, u), \quad (5)$$

де x — будь-яка деталь; u — яка-небудь базова деталь; знак $\overset{B}{\leftrightarrow}$ означає, що деталь u є базовою для деталі x .

У конструкції орієнтація визначається і безпосереднім контактом деталей, і розмірними зв'язками. Ці стосунки є окремими випадками відношення спільності $Q_{t_2}(x,y)$ або $Q_{t_2}(x_1,x_2)$ і записуються відповідно (6, 7)

$$x_1 \leftrightarrow x_2 \text{ або } Q_{t_{2k}}(x_1, x_2), \quad (6)$$

$$x_1 \leftrightarrow x_2 \text{ або } Q_{t_{2R}}(x_1, x_2). \quad (7)$$

При цьому відношення спільності, виражене через зв'язки розміром, може розглядати як предмети («деталь») в конструкції (k), такі «поверхні» в деталях (R). При зборці велику роль грає поняття обмеження доступу, яке припускає наявність відношення обмежень доступу і записується як (8)

$$x_1 \Leftarrow x_2 \text{ або } Q_{t_6}(x_1, x_2), \quad (8)$$

де $\Leftarrow$ знак відношення обмеження по доступу.

Вираження читається: деталь x_2 обмежує доступ деталі x_1 до місця установки. Розглянемо правила утворення конструкції. У складальному процесі встановлені деталі не повинні закривати доступ деталі до місця установки. Загальний вигляд формули, що виражає цю залежність, має вигляд (9)

$$\forall_N \exists_S x_1 \exists_S x_2 \exists_S x_3 \left\{ \begin{aligned} & [N(x_1) \wedge N(x_2) \wedge N(x_3)] \wedge [Q_{t_{CK}}(x_1, x_2) \vee Q_{t_{CR}}(x_1, x_2) \vee Q_{t_{CB}}(x_3, x_2)] \Rightarrow \dots \\ & \dots \Rightarrow \exists u [Q_{t_5}(x_1, u) \wedge (u = x_2)] \end{aligned} \right\}, \quad (9)$$

де S – множина деталей.

У складальному процесі базову деталь встановлюють раніше тієї, для якої вона є базовою. Цей вираз запишеться у виді (10)

$$\forall_N \exists_S x_1 \exists_S x_2 \left\{ [N(x_1) \wedge (x_2)] \wedge Q_{t_5}(x_2, u) \wedge [x_1 = u] \Rightarrow (x_1 \Leftarrow x_2) \right\}. \quad (10)$$

Ці вирази є прикладами опису основних закономірностей складального процесу.

Побудовані твердження описують в математичній формі закономірності технології, які при класифікації відносин можна розділити на три групи: послідовності, причинності, спільності (визначення). Ці твердження є функціями опису стану проекту; частина тверджень описує початковий стан проекту, а інші — кінцеві, т. е. цільові установки проектування. Математичний же опис є загальною логічною основою найрізноманітніших завдань, що визначають процес формування проектних рішень і проекти в цілому. Для визначення закономірностей проектування необхідно визначити функції перетворення (переходу) одного стану в інше.

Висновки

У даній статті виконано теоретичне узагальнення і нове розв'язання науково-технічної задачі підвищення ефективності не потокового складального виробництва складних машинобудівних виробів шляхом прогнозування структур та параметрів систем організаційно-технологічної і технічної підготовки виробництва.

Список використаних джерел:

1. Аверченков В. И. Основы построения САПР : учеб. пособие / В. И. Аверченков, В. А. Камаев. – Волгоград : Изд-во ВПИ, 1984. – 120 с.
2. Бойцов В. В. Механизация и автоматизация в мелкосерийном и серийном производствах / В. В. Бойцов. – М. : Машиностроение, 1971. – 416 с.
3. Автоматизированное проектирование технологии механической обработки на ЭВМ / А. Г. Боровик, В. Г. Старостин [и др.]. – Владивосток: ДВГУ, 1978. – 21 с.
4. Корсаков В. С. Автоматизация проектирования технологических процессов в машиностроении / В. С. Корсаков, Н. М. Капустин, К. Х. Темпельгоф. – М. : Машиностроение, 1985. – 304 с.

Скоркін А.О., Кондратюк О.Л. «Класифікація законів функціонування системи дрібносерійної зборки складних машинобудівних виробів».

В статті розглянуті питання класифікація законів функціонування системи дрібносерійної зборки складних машинобудівних виробів. Наведені логічна та динамічна моделі процесу проектування зборки.

Ключові слова: зборка, динамічна модель, логічна модель, деталь.

Скоркин А.О., Кондратюк О.Л. «Классификация законов функционирования системы мелкосерийной сборки сложных машиностроительных изделий».

В статье рассмотрены вопросы классификация законов функционирования системы мелкосерийной сборки сложных машиностроительных изделий. Приведенные логическая и динамическая модели процесса проектирования сборки.

Ключевые слова: сборка, динамическая модель, логическая модель, деталь.

Skorkin A. O., Kondratyuk O. L. “Classification of the laws of functioning of small-scale assembly of complex engineering products”.

The paper deals with the classification of the laws of functioning of small-scale assembly of complex engineering products. These logical and dynamic model of the process of designing an assembly.

Key words: assembly, the dynamic model, the logical model, detail.

Стаття надійшла до редакції 9 вересня 2013 р.

ВИБІР МЕТОДІВ УПРАВЛІННЯ ДЛЯ СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ АВТОМАТИЧНОЮ ЕЛЕКТРОТЕРМІЧНОЮ ЛІНІЄЮ ОБРОБКИ МЕТАЛЕВИХ ВИРОБІВ

1. Вступ

Процес термічної обробки залежить від цілої групи різних по своєму фізичному сенсу, але взаємозв'язаних параметрів тих, що впливають на якість продукції, що виготовляється. Як об'єкт управління електротермічна лінія розпадається на множину менших об'єктів, кожен з яких пов'язаний з останніми. Електротермічну лінію складно однозначно віднести до дискретних або безперервних систем, оскільки в електротермічній лінії протікають як дискретні процеси, так і безперервні. Відзначимо, що безперервними процесами в системі є процеси, пов'язані із зміною температур і швидкостей, тобто робота двигунів конвеєрів і нагрівачів в печах. Решта всіх процесів (відкриття/закриття клапанів, заслінок гартівної печі, вкл/викл будь-яких пристроїв електротермічної лінії) є дискретними.

Більшість процесів що протікають в пристроях електротермічної лінії, є дискретними. Очевидно, що для управління пристроями лінії слід застосувати дискретно-логічне управління, оскільки для будь-якого пристрою електротермічної лінії є група дискретних станів, в яких воно може знаходитися, а переходи між станами відбуваються за умовами, які можна представити тільки як дискретні сигнали.

2. Огляд літературних джерел та постановка задачі дослідження

Залежно від задачі, що вирішується, для синтезу логічного апарату можна застосувати наступні методи логічного синтезу: метод синтезу дискретно-логічних систем управління на основі циклограм роботи механізмів і метод орієнтованих графів [1, 2]. Застосовуватимемо як основний – метод орієнтованих графів і теорію кінцевих автоматів [3], оскільки при синтезі логічного апарату на основі циклограм неможливо врахувати аварійні стани об'єкту і отже отримати повні алгоритми роботи пристроїв для будь-яких ситуацій можливих в роботі.

Систему логічного управління можна представити за допомогою двох взаємодіючих моделей: моделі керованої системи (у нашому випадку пристроїв електротермічної лінії) моделі системи управління (АСУ ЕЛТА). Алгоритм логічного управління синтезується по моделі поведінки об'єкту управління. Можна використовувати наступну послідовність синтезу алгоритму управління:

- моделювання поведінки об'єкту управління;
- опис зв'язку змінних моделі поведінки об'єкту і пристрою управління;
- синтез алгоритму логічного управління як моделі поведінки пристрою управління.

3. Вибір методів управління пристроями електротермічної лінії

Виберемо як апарат моделювання поведінки ОУ теорію кінцевих автоматів, в якій

кінцевий автомат представляється кортежем множин:

$$\langle X, S, Y, f_{\text{перех}}, f_{\text{вих}} \rangle;$$

де X – множина вхідних змінних; S – множина внутрішніх змінних стану; Y – множина вихідних змінних; $F_{\text{перех}}$ – функція переходів; $F_{\text{вих}}$ – функція виходів.

Таким чином, моделювання поведінки об'єкту управління зведеться до перерахування множин X , Y , S і визначенню функцій переходів і виходів.

Стани елементів електротермічної лінії залежать від внутрішніх станів пристроїв і вхідних змінних, для опису таких об'єктів застосовується кінцевий автомат четвертого роду – автомат Міллі.

Структура автомата Міллі представлена на рис. 1.

Використовуємо поняття «стан», «підстан» і «спостереження» при складанні алгоритмів, для того, щоб наочно представляти поведінку автоматів, що управляють, і композицій з них. У роботі розглядатимемо два види станів:

- бажані, тобто стани пов'язані з нормальною роботою системи;
- аварійні, пов'язані з порушенням алгоритмів нормальної роботи електротермічної лінії.

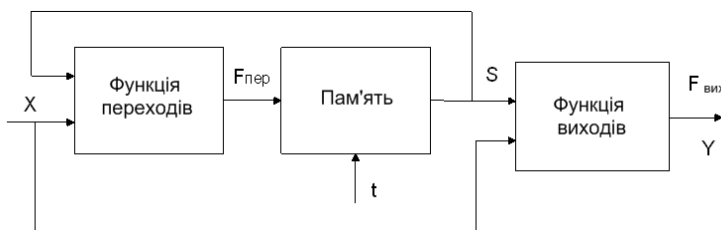


Рис. 1 – Автомат Міллі

Найбільш важливим завданням при проектуванні системи автоматизації електротермічною лінією є управління температурою, оскільки якість оброблюваної продукції, безпосередньо пов'язаний з точністю підтримки температури в

гартівній і відпускній печах. Для того, щоб визначити характер процесів нагріву, що протікають в печах і оцінити їх якість, необхідно побудувати математичну модель нагріву.

Для побудови моделі розглянемо гартівну піч як об'єкт управління. Гартівна піч складається з трьох зон нагріву, в кожній з яких повинна підтримувати постійна температура. У кожній із зон нагріву розташовується нагрівач, чийі спіралі розташовуються на стінах печі. Через всі зони печі рухається конвеєр. Кожна із зон нагріву гартівної печі можна представити як теплову систему, що складається з нагрівача, атмосфери зони, стінок печі. Оскільки зони нагріву гартівної печі майже ідентичні, досить побудувати модель однієї зони гартівної печі.

$$\Phi_u dt = C_T \cdot dT, \quad (1)$$

де C_T – питома теплоємність речовини в якому розповсюджується тепловий потік $\frac{Дж}{кг \cdot ^\circ C}$; Φ_i – тепловий потік витрачається на нагрів речовини, $Дж/с$.

Компонентне рівняння дисипативного елементу для теплової системи в загальному випадку виглядає таким чином:

$$\Phi_\theta = \mu_T \cdot T_\theta, \quad (2)$$

де T_θ – різниця між температурою тіла, що нагрівається, і температурою середовища у яку

розсівається теплова енергія $^{\circ}\text{C}$; mT – коефіцієнт конвективного теплообміну $\frac{\text{Дж}}{\text{с} \cdot ^{\circ}\text{C}}$; Φ_0 – тепловий потік, що розсіюється нагрітим тілом, Дж/с .

На поверхнях контакту твердого тіла з рідинним або газовим середовищем здійснюється конвективний теплообмін. Для конвективного теплообміну коефіцієнт теплового опору визначається по формулі:

$$\mu_T = \alpha A, \quad (3)$$

де α – коефіцієнт конвективного теплообміну $\frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot ^{\circ}\text{C}}$; A – площа контакту твердого тіла з газом або рідиною, м^2 .

Для отримання повної математичної моделі технічної системи необхідно об'єднати всі компонентні рівняння елементів в загальну систему рівнянь. Об'єднання здійснюється на основі фізичних законів тих, що виражають, умови рівноваги і безперервності фізичних змінних. Рівняння цих законів називають топологічними рівняннями. Вони описують характер взаємодії між простими елементами, встановлюючи співвідношення між однотипними змінними.

Умови рівноваги записуються для фазової змінної типу потенціалу (у даній системі температура):

$$\sum_k T_k = 0, \quad (4)$$

Умови безперервності – для змінних типу потоку (для даної системи тепловий потік):

$$\sum_i \Phi_i = 0, \quad (5)$$

Для побудови моделі скористаємося методом електроаналогій [4, 5]. Метод електроаналогії – це один з методів імітаційного моделювання що спирається на одноманітність фізичних законів. Оскільки саме електричні схеми володіють найбільшою наочністю і вивченою, то завдяки єдності форми рівнянь математичного представлення об'єктів різної фізичної природи, дослідження явищ в неелектричній системі може бути замінене дослідженням процесів в електричному ланцюзі. Порівнюючи компонентні і топологічні рівняння можна відзначити очевидність динамічних аналогій між тепловою і електричною системами. Для топологічних рівнянь теплової системи аналогами є закони Кірхгофа. Для компонентних рівнянь теплової системи - закон Ома і рівняння конденсатора:

$$U_y = \frac{1}{C} \cdot \int i_y dt, \quad (6)$$

де U_y – напруга, В; I – струм, А; C – ємність, мкФ.

В результаті моделювання були отримані графіки перехідного процесу регулювання температури, що протікає в замкнутому контурі, в зоні нагріву гартівної печі, при нагріві від температури цеху до мінімальної робочої (810°C). Графік перехідного процесу в системі при нагріві представлений на рис. 2.

З графіка можна визначити, що час нагріву печі від початкової температури

(температура в цеху) до мінімальної робочої температури складає близько двох з половиною годин. Перерегулювання відсутнє.

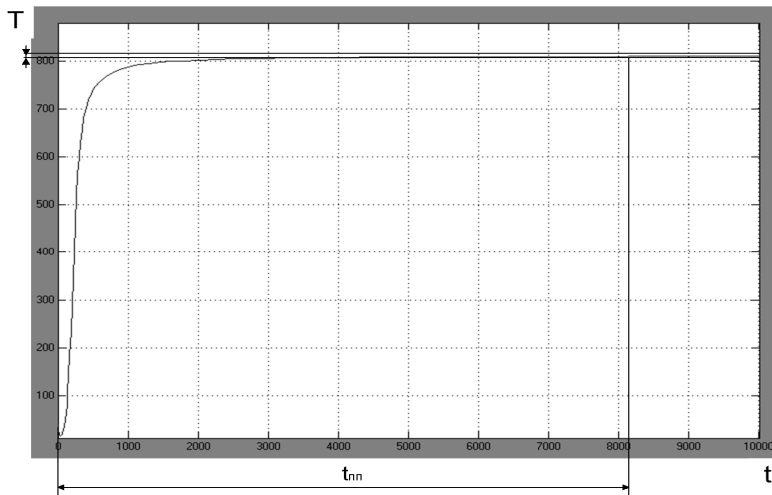


Рис. 2 – Графіки переходного процесу в зоні нагріву гартівної печі

відбувається багато разів, то слід упевнитися в тому що температура в печі не вийде за допустимі межі ($\pm 5^\circ \text{C}$ від сталого значення). Процеси, що протікають в системі при подачі таких збурень, представлені на рис. 3.

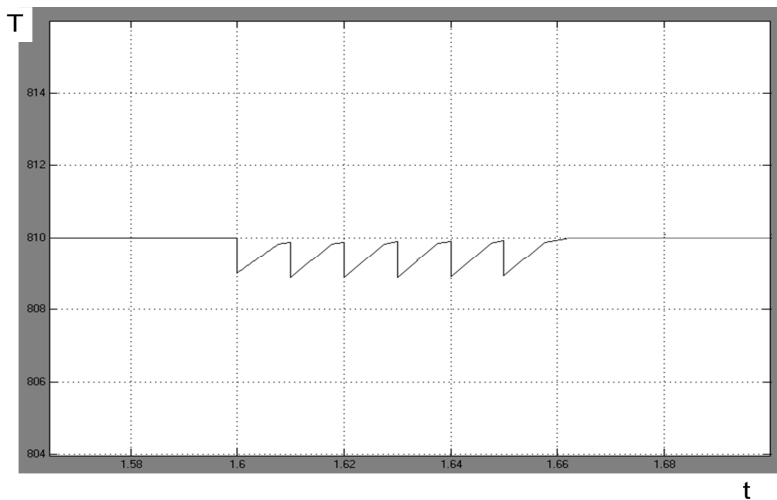


Рис. 3 – Перехідний процес, що протікає в системі при появі збурюючих дій

Розглянемо також перехідні процеси, що протікають в системі при появі збурюючих дій. Як збурюючі дії виступають зниження температури в печі, пов'язані з втратою тепла при відкритті заслінок шлюзування, з метою завантаження деталей в піч. Втрати тепла при одноразовому відкритті заслінок шлюзування малі, але оскільки відкриття заслінок шлюзування

Відзначимо, що при появі серії стрибкоподібних збурень температура в печі не вийшла за межі допустимих значень ($\pm 5^\circ \text{C}$ від сталого значення).

Спираючись на отримані характеристики можна зробити висновок, що система не потребує застосування додаткового регулятора, оскільки показники якості процесу цілком задовольняють вимогам, вказаним в технічному завданні. Для

управління температурою доцільно буде застосувати широтно-імпульсне регулювання, оскільки широтно-імпульсне регулювання дозволяє забезпечити високу плавність регулювання [1].

Імпульсні методи регулювання засновані на зміні кількості енергії, що підводиться до об'єкту управління (у нашому випадку до нагрівача). В цьому випадку до нагрівача підводиться послідовність імпульсів незмінної напруги (U) і робота нагрівача складається з періодів T (нагрівачу – охолодження). Необхідний нагрів повинен відповідати середньому значенню за період T і визначатиметься відносною тривалістю включення (шпаруватістю) імпульсів градом:

$$\gamma = \frac{t_{\text{и}}}{t_{\text{и}} + t_{\text{п}}} = \frac{t_{\text{и}}}{T}, \quad (7)$$

де $t_{\text{и}}$ – тривалість імпульсу; $t_{\text{п}}$ – тривалість паузи.

При імпульсному управлінні миттєве значення теплового потоку безперервно коливатиметься в певних межах. При цьому розмах коливань буде тим менше, чим більше теплоємності до періоду проходження імпульсів. Отже, із зростанням частоти імпульсів, що управляють, розмах коливань теплового потоку зменшується. Відзначимо, що середнє значення теплового при цьому залишається незмінним, що найбільш важливе з погляду підтримки температури в печі. Воно може бути змінене тільки шляхом зміни шпаруватості імпульсів γ за рахунок зміни їх тривалості (7). Із зростанням шпаруватості імпульсів, що подаються на нагрівач, середнє значення температури в печі також росте.

У електротермічній лінії застосовуються асинхронні двигуни, це обумовлено рядом переваг асинхронних двигунів, таких як висока надійність, низька вартість, простота виготовлення і експлуатації [1].

З теорії електроприводу відомо, що швидкість обертання валу асинхронного двигуна залежить від конструктивних параметрів електродвигуна, моменту навантаження і частоти напруги живлячої мережі, це витікає з рівнянь механічної характеристики асинхронного двигуна (8) і формули (9):

$$M = \frac{3 \cdot U_{\phi}^2 \cdot R_2'}{\omega_0 \cdot [(R_1 + R_2'/s)^2 + (X_1 + X_2')^2] \cdot s}, \quad (8)$$

де ω_0 – синхронна кутова швидкість (швидкість холостого ходу), рад/с; U_{ϕ} – первинна фазна напруга, В; X_1 – первинний приведений реактивний опір, Ом; X_2' – вторинний приведений реактивний опір, Ом; R_1 – первинний приведений активний опір, Ом; R_2' – вторинний приведений активний опір, Ом;

$$\omega_0 = \frac{2 \cdot \pi \cdot f}{p}, \quad (9)$$

де s – ковзання; p – число пар полюсів асинхронного двигуна; f – частота живлячої мережі, Гц.

Очевидно, для отримання якісного регулювання необхідно змінювати останній параметр, тобто частоту живлення. Для цієї мети застосовуються перетворювачі частоти. Перетворювач частоти – це пристрій, що перетворює електричну енергію з параметрами U_1 , f_1 (у нашому випадку 380 В, 50 Гц) в електричну енергію з параметрами U_2 , f_2 . Частотні перетворювачі можна розділити на перетворювачі частоти з скалярним і векторним управлінням. Таке ділення обумовлене необхідністю, управляти не тільки частотою на виході перетворювача, але і напругою. Алгоритм обчислення значення напруги і визначає спосіб управління. У перетворювачах частоти з скалярним управлінням значення напруги визначається із залежності $U(f)$, яка, як правило, розраховується методом лінійної інтерполяції по декількох базових точках. Є можливість змінювати значення цих точок.

У перетворювачах частоти з векторним управлінням значення напруги розраховується методом моделювання процесів, що проходять в асинхронному двигуні. В цьому випадку

користувачеві необхідно задати параметри двигуна. Очевидно, що другий спосіб управління дозволяє здійснювати якісніший управління електродвигуном. Проте налаштування такого перетворювача частоти вимагає досить глибоких пізнань в області електроприводу і електричних машин. Скалярний же спосіб управління забезпечує достатньо хороша якість регулювання, навіть з використанням заводських налаштувань частотного перетворювача. Використання векторного управління електроприводами конвеєрів навряд чи дасть істотний вигащ порівняно з скалярним. Отже, застосування векторного управління в нашому випадку є недоцільним. Для управління швидкостями конвеєрів використовуватимемо скалярне управління.

Основу перетворювача частоти складає трифазний інвертор напруги (АІН) з широтно-імпульсною модуляцією (ШІМ). Система управління перетворювача виконана на базі програмованого мікропроцесорного контролера (МК). У АІН перетворення постійної напруги в трифазне змінне здійснюється в мостовому транзисторному інверторі, зібраному на трьох транзисторно-діодних модулях. Кожен модуль містить два IGBT-транзистора з шунтуючими зворотними діодами. IGBT-транзистори перемикаються багато разів протягом періоду вихідної частоти відповідно до ШІМ-алгоритмом МК.

Алгоритм ШІМ-управління підтримує необхідне регулювання частоти і значення основної гармоніки вихідної напруги, що діє, забезпечуючи при цьому синусоїдальність форми струму навантаження.

Сучасні перетворювачі частоти є інтелектуальними пристроями, що використовують мікроконтролери достатньо високої продуктивності, в сучасних перетворювачах є ряд додаткових опцій і розширень, що дозволяють створювати нескладні системи автоматичного управління без використання контролерів.

Розглянемо докладніше ряд таких розширень, які є практично у всіх сучасних перетворювачах частоти.

Аналогові виходи – дозволяють наочно представити значення якого-небудь параметра. Проте використання їх в системах автоматизації недоцільно, оскільки вони, як правило, мають малу потужність і незадовільну якість.

Аналогові входи – дозволяють подавати сигнали від датчиків безпосередньо в перетворювач частоти, без використання яких-небудь додаткових пристроїв. Як правило, використовуються уніфіковані типи сигналів (0 – 5 В, 0 – 10 В, 4 – 20 мА), так що пристрої, що погоджують, не потрібні. Крім того, є використання внутрішнього живлення перетворювача для підключення потенціометра, наприклад, для завдання частоти обертання.

Дискретні входи – дозволяють управляти перетворювачем частоти з кнопок, встановлених на лицьовій панелі шафи, або з поста управління.

Дискретні виходи – використовуються для сигналізації режимів роботи перетворювача.

У сучасних перетворювачах передбачена можливість підключення його в промислову мережу. Зазвичай використовується протокол RS-485. З'єднання перетворювачів в мережу дозволяє побудувати складнішу систему автоматичного управління технологічними процесами з використанням контролерів і промислових комп'ютерів.

До достоїнств сучасних частотних перетворювачів можна віднести нижче

перераховані чинники. Плавне регулювання швидкості обертання електродвигуна дозволяє в більшості випадків відмовитися від використання редукторів, варіаторів, дроселів і іншої регулюючої апаратури, що значно спрощує керовану механічну (технологічну) систему, підвищує її надійність і знижує експлуатаційні витрати.

Частотний пуск керованого двигуна забезпечує його плавний без підвищених пускових струмів і механічних ударів розгін, що знижує навантаження на двигун і пов'язані з ним передавальні механізми, збільшує термін їх експлуатації. При цьому з'являється можливість за умовами пуску зниження потужності приводних двигунів навантажених механізмів. Вбудований мікропроцесорний ПІД-регулятор дозволяє реалізувати системи регулювання швидкості керованих двигунів і пов'язаних з ним технологічних процесів.

Застосування зворотного зв'язку системи з частотним перетворювачем забезпечує якісну підтримку швидкості двигуна або регульованого технологічного параметра при змінних навантаженнях і інших збурюючих діях.

Частотний перетворювач в комплекті з асинхронним електродвигуном може застосовуватися для заміни приводів постійного струму. Частотний перетворювач в комплекті з програмованим мікропроцесорним контролером може застосовуватися для створення багатофункціональних систем управління електроприводами, зокрема з резервуванням механічних агрегатів. Таким чином можливо добитися точної витримки швидкості двигуна використовуючи тільки можливості мікропроцесорного частотного перетворювача. Пристрої електротермічної лінії працюють відповідно до представлених нижче алгоритмів. Алгоритм блоку управління клапаном.

Блок призначений для: управління клапаном; формування слова стану клапана. На рис. 4 представлена модель блоку управління клапаном типу «чорний ящик».

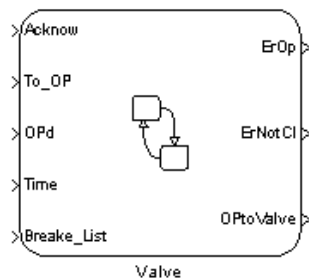


Рис. 4 – Модель блоку управління клапаном типу «чорний ящик»

Формування слова стану і управління клапаном проводиться відповідно до графа його станів представленому на рис. 5. Граф формує можливі стани клапана.

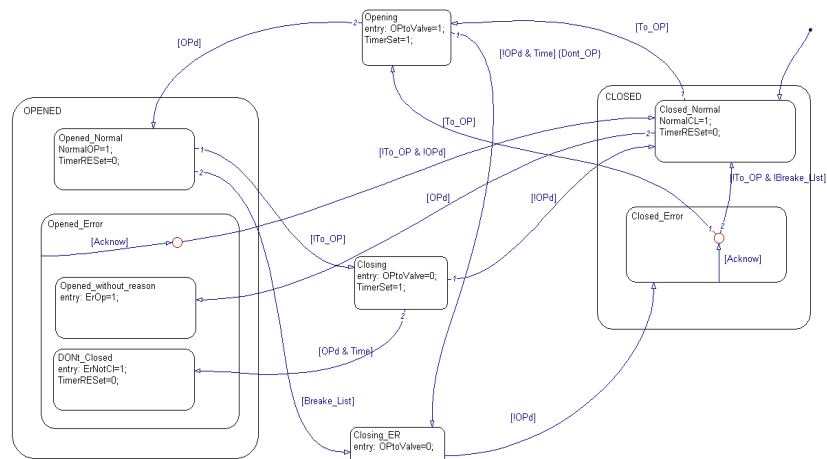


Рис. 5 – Граф - алгоритм роботи блоку управління клапаном

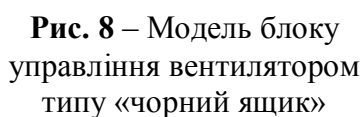
Алгоритм блоку управління конвеєром.

Блок призначений для: управління конвеєром; формування слова стану конвеєра. На

Формування слова стану і управління конвеєром проводиться відповідно до графа його станів представленому на рис. 7.



Рис. 6 – Модель блоку управління конвеєром типу «чорний ящик»



The diagram illustrates the state machine logic for ventilator control. It includes states for normal operation, error handling, and transitions between them based on specific events and timer resets.

```

stateDiagram-v2
    [*] --> Start
    Start: Start entry: Tum_ON=1; TimerGet=1;
    Start --> Ventilator_ON: [ON]
    Ventilator_ON: Ventilator_ON_Normal entry: ON_Normal=1; TimerReset=1;
    Ventilator_ON --> Ventilator_ON_Error: [To_Run]
    Ventilator_ON_Error: Ventilator_ON_Error entry: Tum_ON_ER=1;
    Ventilator_ON_Error --> Ventilator_ON: [Acknow]
    Ventilator_ON_Error --> Ventilator_OFF: [BreaKe_List_ven]
    Ventilator_ON_Error --> Stop: [ON & Time]
    Ventilator_ON_Error --> Stop: [ON]
    Ventilator_OFF: Ventilator_OFF_Normal entry: OFF_Normal=1; TimerReset=1;
    Ventilator_OFF --> Ventilator_ON: [To_Run]
    Ventilator_OFF --> Ventilator_OFF_Error: [BreaKe_List_ven]
    Ventilator_OFF_Error: Ventilator_OFF_Error entry: Tum_OFF_ER=1;
    Ventilator_OFF_Error --> Ventilator_OFF: [Acknow]
    Ventilator_OFF_Error --> Stop: [ON]
    Stop: Stop entry: TimeGet=1; Tum_ON=0;
    Stop --> Start: [To_Run]
    Stop --> Ventilator_ON: [ON & Time]
    Stop --> Ventilator_OFF: [ON]
    Stop --> Ventilator_OFF_Error: [ON]
    Stop --> Stop_Er: [ON]
    Stop_Er: Stop_Er entry: Tum_ON=0;
    Stop_Er --> Stop: [ON]
    Stop_Er --> Ventilator_ON: [ON]
    Stop_Er --> Ventilator_OFF: [ON]
    Stop_Er --> Ventilator_OFF_Error: [ON]
    Stop_Er --> Stop: [ON]
  
```

Машинобудування. 2013. №12

Алгоритм блоку широтно-імпульсної модуляції.

Блок ШІМ призначений для генерування послідовності імпульсів заданої тривалості відповідно до завдання. На рис. 10 представлена модель блоку управління ШІМ типу «Чорний ящик».

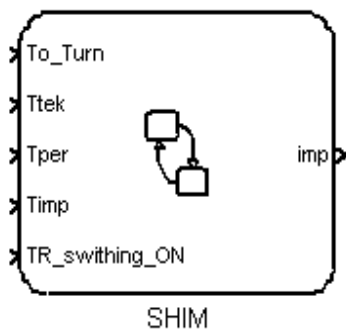


Рис. 10 – модель блоку ШІМ типу «чорний ящик»

Блок ШІМ функціонує відповідно до графа його станів.

Висновки

Проведено аналіз проблемної ситуації, аналіз технологічного процесу як об'єкту управління. Були проаналізовані теплові процеси, що протікають в печах електротермічної лінії. Здійснено вибір принципів управління пристроями електротермічної лінії, управління температурою в печах і управління швидкостями конвеєрів електротермічної лінії.

Список використаних джерел:

1. Крючков В. Г. Построение информационных портретов объектов программного управления / В. Г. Крючков // Автоматизированные технологические и мехатронные системы в машиностроении : сб. науч. тр. / УГАТУ. – Уфа: Изд-во УГАТУ, 1997. – 78 с.
2. Курс лекций по дисциплине «Моделирование систем управления» : учеб. пособие / под. ред. Н. Г. Чикуров. – Уфа: Изд-во УГАТУ, 2001. – 146 с. - Harel D. Statechart: A VISUAL FORMALISM FOR COMPLEX SYSTEMS.
3. Теория автоматического управления / под ред. А. В. Нетушила. – 2-е изд. – М. : Высшая школа, 1976. – 486 с.
4. Чикуров Н. Г. Логический синтез дискретных систем управления : учеб. пособие / Н. Г. Чикуров ; Уфимск. гос. авиац. техн. ун-т. – Уфа : Изд-во УГАТУ, 2003. – 132 с.
5. Советов, Б. Я. Моделирование систем : учеб. для вузов / Б. Я. Советов, С. А. Яковлев. – М. : Высшая школа, 1985. – 372 с.

Скрип'юк Р.Б. «Вибір методів управління для системи керування автоматичною електротермічною лінією обробки металевих виробів».

Проводиться аналіз проблемної ситуації та аналіз технологічного процесу як об'єкту управління. Аналізуються теплові процеси, що протікають в печах електротермічної лінії. Здійснюється вибір принципів управління пристроями електротермічної лінії, управління температурою в печах і управління швидкостями конвеєрів електротермічної лінії.

Ключові слова: термічна обробка, електротермічна лінія, система управління.

Скрип'юк Р.Б. «Выбор методов управления для системы управления автоматической электротермической линией обработки металлических изделий».

Проводится анализ проблемной ситуации и анализ технологического процесса как

объекта управления. Анализируются тепловые процессы, протекающие в печах электротермической линии. Осуществляется выбор принципов управления устройствами электротермической линии, управление температурой в печах и управления скоростями конвейеров электротермической линии.

Ключевые слова: термическая обработка, электротермическая линия, система управления.

Skip'juk R.B. "The choice of methods for the control system of the automatic line electrothermal treatment of metal products".

The analysis of the problem situation and analysis of operation process as an object of management are made. Thermal processes occurring in the furnace electro-thermal line are analyzed. The choice of principles of electro-line devices, temperature control in ovens and conveyor speed control electro line is made.

Key words: thermal treatment, electrothermal line control system.

Стаття надійшла до редакції 2 грудня 2013 р.

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ НЕЙРОСЕТЕВЫХ ТЕХНОЛОГИЙ В СУОТ МАШИНОСТРОИТЕЛЬНОГО ПРЕДПРИЯТИЯ

1. Постановка проблемы

Предприятия машиностроения на сегодняшний день характеризуются, в зависимости от уровня собственной экономической успешности, разным состоянием материальной базы: от современного парка станков до производственных фондов 70-х годов прошлого века, отработавших проектные сроки эксплуатации и требующих реконструкции и замены.

Очевидно, что эксплуатация такого «разношерстного» оборудования требует, в свою очередь, различных подходов к вопросам обучения безопасным приемам работы на нем. Но, как правило, процесс обучения вопросам охраны труда на предприятиях формализован и осуществляется строго в соответствии с [1]. Мероприятия, направленные на профилактику нарушений инструкций по охране труда и случаев производственного травматизма, тоже достаточно идентичны и не учитывают специфики производства. Речь идет о ежемесячном Дне охраны труда, трехступенчатом административно-общественном контроле, комплексных проверках состояния охраны труда на рабочих местах и внеочередных проверках состояния охраны труда, а также системе инструктажей и порядке обучения вопросам охраны труда (два последних регламентированы [1]).

Для оценки и анализа состояния охраны труда используются показатели уровня травматизма и профессиональных заболеваний. Статистические данные по числу нарушений и по количеству профилактических мероприятий по охране труда на предприятии используются для составления отчетов. Однако, применение технологий прогноза показателей состояния охраны труда с использованием в них накопленной статистической информации о соотношении числа нарушений к количеству проведенных профилактических мероприятий с последующим анализом эффективности функционирования системы управления охраной труда (СУОТ) на предприятии не наблюдается. Как следствие, при планировании профилактических мероприятий по охране труда решающая роль в принятии решений остается за личным опытом, интуицией специалистов службы охраны труда, а также за теми методами работы, которые сложились годами и считаются традиционными. В этой связи актуальным является исследование наличия взаимосвязи между числом выявляемых нарушений инструкций по охране труда и видами и количеством проводимых профилактических мероприятий с последующим использованием результатов исследования на этапе планирования мероприятий по охране труда.

2. Анализ последних достижений и публикаций

Вопросы повышения качества функционирования СУОТ машиностроительного предприятия рассмотрены в работах [2-4]. Однако использование нейросетевых технологий для принятий управленческих решений по охране труда в них не рассматривались.

В настоящей работе предлагается исследовать возможность использования искусственных

нейронных сетей [5] как инструмента анализа статистических данных о числе выявленных нарушений инструкций по охране труда и видов и числа проведенных профилактических мероприятий с целью последующего планирования мероприятий по профилактике нарушений действующих инструкций по охране труда работниками машиностроительного предприятия.

3. Описание исследования

Действительно, эффективность работы СУОТ на машиностроительном предприятии зависит от качества планирования мероприятий по охране труда, организации их исполнения, постоянного контроля, анализа учета, оценки и координации проводимой работы. Реализация указанных составляющих требует соответствующих методического и аппаратного обеспечения, разработки технологий сбора, хранения, обработки информации по условиям труда, мероприятиям профилактики нарушений, формам воздействия на объекты управления рассматриваемой системы.

При надлежащей организации на этапе планирования системы профилактических мероприятий следует ожидать достижения устойчивых тенденций повышения уровня охраны труда, снижения числа нарушений действующих инструкций по охране труда.

Для создания, обучения, тестирования и опроса нейронной сети, соответствующей поставленной задаче, воспользуемся фактическими данными о нарушениях инструкций по охране труда работниками цеха механической обработки металлов одного из приборостроительных заводов г. Харькова, выявленных службой охраны труда предприятия за период 01.01.2009-01.01.2010 г.г.

Управляющие воздействия (входные сигналы – X_i) и контролируемые параметры (выходные сигналы – Y_i), выбранные для нейронной сети, представлены в табл. 1.

Таблица 1 – Входные и выходные параметры нейронной сети

Входные сигналы		Выходные сигналы	
обозначение	описание	обозначение	описание
X1	Приостановлено выполнение работы	Y1	количество нарушений
X2	Выписано предписание	Y2	количество нарушений на 1000 ед. продукции
X3	Оторван премиальный талон		
X4	Снижена премия		
X5	Объявлен выговор		
X6	Поощрено за работу по охране труда		
X7	Разработаны и пересмотрены инструкции по охране труда		
X8	Проведено производственное совещание по охране труда		
X9	Проведена внеочередная проверка знаний по охране труда		
X10	Проведено Дней охраны труда		
X11	Смотр-конкурсы по ОТ		
X12	Проведено дней культуры производства		
X13	Комплексная проверка по охране труда		
X14	Проведено обходов рабочих мест		

Исходные данные для модели представлены в таблице 2.

Таблица 2 – Исходные данные для модели планирования мероприятий по профилактике нарушений охраны труда с использованием нейронной сети

Пе- риод	X ₁	X ₂	X ₃	X ₄	X ₅	X ₆	X ₇	X ₈	X ₉	X ₁₀	X ₁₁	X ₁₂	X ₁₃	X ₁₄	Y ₁	Y ₂
01.09	11	51	8	5	4	1	1	4	21	1	1	1	0	4	10	0,97
02.09	21	64	10	18	2	1	2	4	34	1	1	0	0	3	13	0,94
03.09	16	63	9	9	8	0	5	4	23	1	1	0	1	5	18	1,12
04.09	47	86	8	19	3	1	1	4	46	1	2	1	0	4	12	0,85
05.09	52	79	17	9	16	1	1	4	19	1	1	0	0	4	24	0,83
06.09	33	72	15	9	7	0	1	4	22	1	1	0	1	5	24	0,96
07.09	14	86	19	11	4	1	2	4	46	1	1	1	0	4	27	0,97
08.09	15	58	8	6	1	0	5	4	38	0	2	0	0	4	25	1,16
09.09	8	56	9	15	6	1	1	4	26	1	1	0	1	5	16	0,90
10.09	26	73	9	17	3	0	1	5	23	1	1	1	1	5	19	1,20
11.09	59	81	14	16	2	1	1	4	51	1	1	0	0	4	16	1,11
12.09	13	58	7	6	2	0	2	5	18	1	2	0	1	5	13	1,04
01.10	25	94	13	18	2	1	1	4	9	0	1	1	0	5	17	0,97
02.10	44	75	10	8	6	1	5	5	15	1	1	0	0	3	19	1,02
03.10	19	53	7	7	3	0	1	4	33	1	1	0	1	5	10	0,97
04.10	14	75	10	14	4	1	1	5	25	1	2	1	0	5	10	0,88
05.10	25	84	8	10	9	1	1	4	18	1	1	0	1	4	14	1,09
06.10	27	78	16	9	8	1	1	4	17	1	1	0	1	4	12	1,03
07.10	31	93	8	12	1	1	1	5	29	0	1	1	0	4	17	0,90
08.10	41	86	11	9	3	0	2	4	36	1	2	0	0	4	13	0,90
09.10	23	76	7	9	6	1	5	4	27	1	1	0	1	5	13	1,12
10.10	9	85	8	12	3	1	2	4	35	1	2	1	1	4	9	1,12
11.10	15	73	10	8	6	0	5	4	23	1	1	0	1	5	9	1,00
12.10	8	74	6	16	5	1	3	4	17	1	1	0	0	4	6	1,03

Обучение сети осуществлялось с использованием метода сопряженных градиентов. Длительность обучения составила 17480 циклов. Оценка способности созданной сети максимально приблизить прогнозируемые значения показателей к заданным осуществлялась с помощью выборочной константы Липшица [5] ($\lambda_t = 1,244759$). Результат расчета константы Липшица λ_n , сравнение полученного значения с выборочной оценкой Липшица ($\lambda_t > \lambda_n$), позволили сделать вывод об удовлетворительном качестве созданной нейронной сети моделирования параметров СУОТ. В табл. 3 представлены статистические показатели производительности созданной сети, которые подтверждают вывод о возможности ее практического использования.

Таблица 3 – Результаты тестирования нейронной сети

Y1	Прогноз сети	Ошибка	Y2	Прогноз сети	Ошибка
10	129,0848	0,915176	0,97	0,0353	-0,00023
13	143,9601	-0,960144	0,94	0,0407	0,00025
18	137,1042	0,895828	1,12	0,0355	-0,00014
12	121,316	0,684036	0,85	0,037	-0,00014
24	214,9133	-0,91333	0,83	0,0776	0,00023
24	223,0759	0,924118	0,96	0,0854	-0,00022
27	267,9069	-0,906891	0,97	0,1045	0,00018
25	215,8056	-0,805603	1,16	0,0727	-0,00012
16	196,8923	-0,892273	0,90	0,073	0,00016
19	189,285	-0,284958	1,20	0,0589	0,00019
16	195,0786	0,921387	1,11	0,0555	-0,00023
13	152,1301	0,869858	1,04	0,0414	-0,00013
17	156,2246	0,77536	0,97	0,0437	-0,00014
19	189,3828	-0,382782	1,02	0,0513	0,00023
10	149,1401	0,859863	0,97	0,0423	-0,00016
10	150,8801	-0,880066	0,88	0,0476	0,00021
14	134,4176	-0,417557	1,09	0,0392	0,00009
12	141,0694	0,930649	1,03	0,0404	-0,00024
17	116,6576	0,34243	0,90	0,0369	-0,00023
13	153,7841	-0,784058	0,90	0,0529	0,00023
13	113,9106	-0,910599	1,12	0,0348	0,00023
9	90,8173	-0,817345	1,12	0,0246	0,0002
9	98,4405	0,559464	1,00	0,0275	-0,00022
6	67,4581	-0,458122	1,03	0,0178	0,00014
Правильно:	24 (100%)		Правильно:	24 (100%)	
Неправильно:	0 (0%)		Неправильно:	0 (0%)	
Всего:	24		Всего:	24	
Ср.ошибка:	0,753829		Ср.ошибка:	0,0001897	
Макс.ошибка:	0,960144		Макс.ошибка:	0,0002481	

Результаты моделирования параметров, приведенных в табл. 1 с использованием программы Brain maker Pro 3.71 [6] показали, что приемлемые результаты обучения и тестирования соответствующей нейронной сети могут быть достигнуты при использовании в качестве сети многослойного персептрона.

Графическая интерпретация результатов приведена на рис. 1 и 2.

Созданная и обученная нейронная сеть моделирования принятых контролируемых параметров СУОТ позволяет определить их прогнозные значения, соответствующие тем или иным новым состояниям системы (условиям труда), связанным, например, с изменениями объема выпускаемой продукции. На вход сети при этом должны быть поданы значения входных переменных ($X_1 \dots X_{14}$), соответствующие предполагаемым изменениям объема производства. По результатам — показателям изменения числа нарушений охраны труда, можно судить о необходимости корректировки количества планируемых мероприятий (контролируемых параметров). В качестве примера табл. 4 приведены результаты опроса

созданной нейронной сети моделирования показателей профилактики нарушений инструкций по охране труда.

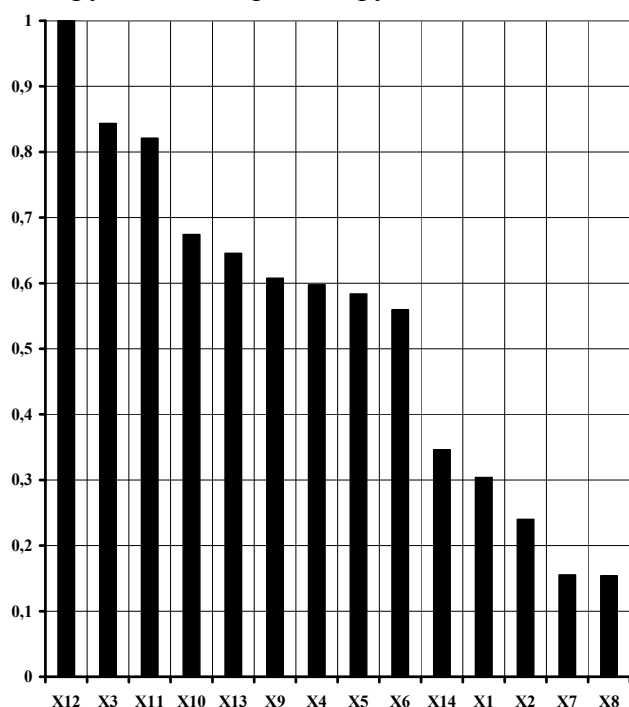


Рис. 1 – Значимость входов для выходного параметра Y_1

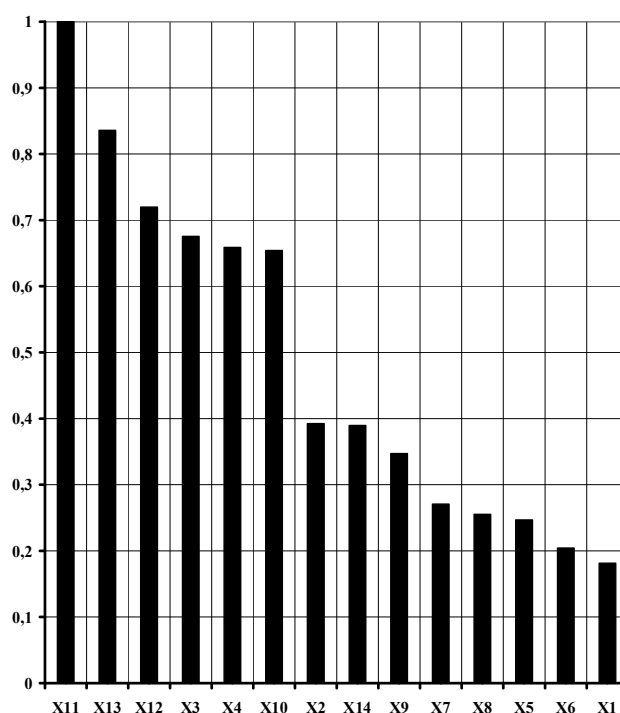


Рис. 2 – Значимость входов для выходного параметра Y_2

Таблица 4 – Результаты опроса нейронной сети моделирования показателей профилактики нарушений охраны труда

X1*	X2*	X3*	X4*	X5*	X6*	X7*	X8*	X9*	X10*	X11*	X12*	X13*	X14*	Y1*	Y2*
1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	0,98	1,02
0,35	0,56	0,60	0,58	0,45	0,18	0,68	0,35	0,67	0,56	0,30	0,60	0,35	0,65	1,54	0,94
1,31	0,56	0,49	1,16	1,67	1,65	0,24	1,16	0,65	0,61	0,72	1,61	0,58	1,58	0,56	1,36
1,98	1,90	1,34	1,15	2,20	5,84	0,66	0,84	0,82	0,60	1,00	1,84	1,00	1,71	0,21	0,53

Примечание: X_i^* , Y_i^* — факторы изменения i -го параметра, представляющие собой отношения текущего параметра к базовому (данные за 10.10)

Из анализа представленных данных следует, что сложившийся уровень действия факторов: «Проведено Дней охраны труда», «Разработаны и пересмотрены инструкции по охране труда», «Проведена внеочередная проверка знаний по охране труда», «Проведено производственное совещание по охране труда» нельзя признать эффективными. Возможно, следует пересмотреть наполнение этих мероприятий с позиций проводимых действий, форм контроля и оценок эффективности. Факторы «Комплексная проверка по охране труда», «Смотр-конкурсы по ОТ» и «Снижена премия» не требуют существенных изменений для получения желаемых показателей. В тоже время уровень количества «Объявлен выговор», «Поощрено за работу по охране труда», «Приостановлено выполнение работы», «Выписано предписание» явно

недостаточен и количество указанных мероприятий необходимо увеличить.

Выводы из данного исследования

Трудоемкость процесса подбора факторов – профилактических мероприятий по охране труда для получения желаемых показателей количества нарушений является недостатком предлагаемой модели. Но полученные оценки контролируемых параметров можно использовать как основу для корректировки текущих (годовых) планов проведения мероприятий по охране труда на предприятии. На основании их анализа можно также сделать выводы о качестве функционирования СУОТ на предприятии и его эффективности.

Список использованных источников:

1. НПАОП 0.00-4.12-05. Типове положення про порядок проведення навчання і перевірки знань з питань охорони праці : затверджено наказом № 15 від 26.01.2005 / Державний комітет України з нагляду за охороною праці.
2. Ступницька Н. В. Математична модель стану виробничого травматизму в механоскладальному цеху / Н. В. Ступницька // Вісник Державного Університету «Львівська Політехніка». Сер. Оптимізація виробничих процесів і технічний контроль в машинобудуванні і приладобудуванні : зб. наук. пр. – Львів, 1998. – № 321. – С. 103–105.
3. Гунченко О. М. Вдосконалення системи управління охороною праці на машинобудівних підприємствах : автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.26.01 – Охорона праці / О. М. Гунченко ; СХУ ім. В. Даля. – Луганськ, 2007. – 20 с.
4. Касьянов М. А. Проблеми стану і необхідності вдосконалення системи управління охороною праці в галузі машинобудування / М. А. Касьянов, В. О. Медяник, О. М. Гунченко, Д. А. Вишневський // Вісник СХУ ім. В. Даля. – Луганськ, 2008. – №6 (124), ч. 2. – С. 3–9.
5. Уоссерман Ф. Нейрокомпьютерная техника: Теория и практика / Ф. Уоссерман ; пер. с англ. – М. : Мир, 1992. – 240 с.
6. <http://www.forekc.ru/12/index.htm>

Смирнитская М.Б. «Использование нейросетевых технологий в СУОТ машиностроительного предприятия».

В статье предлагается на этапе планирования для определения количества и видов мероприятий по профилактике производственного травматизма и нарушений действующих инструкций по охране труда использовать нейронную сеть. На примере одного из предприятий машиностроения рассмотрена возможность использования нейросетевой технологии при оценке качества функционирования СУОТ.

Ключевые слова: система управления охраной труда, нарушение инструкций по охране труда, профилактика производственного травматизма, нейронная сеть, машиностроительное предприятие.

Смирнитська М.Б. «Використання нейромережових технологій в СУОП машинобудівного підприємства».

У статті пропонується на етапі планування для визначення кількості та видів заходів з профілактики виробничого травматизму і порушень чинних інструкцій з охорони праці використовувати нейронну мережу. На прикладі одного з підприємств машинобудування розглянута можливість використання нейромережової технології під час оцінки якості функціонування СУОП.

Ключові слова: система управління охороною праці, порушення інструкцій з охорони праці, профілактика виробничого травматизму, нейронна мережа, машинобудівне підприємство.

Smyrnytska M.B. “The use of neural network technology in the system of labor protection machine-building enterprise”.

The paper proposed to use a neural network in the planning phase to determine how many and what types of activities for the prevention of accidents and violations of labor protection instructions. For an example, in one of the machine-building enterprise the use of neural network technology for the assessment of quality functioning of system of labor protection considered.

Key words: system of labor protection, the violation of labor protection instructions, prevention of industrial injury, neural networks, machine-building enterprise.

Стаття надійшла до редакції 1 жовтня 2013 р.

УСЛОВИЕ РЕАЛИЗАЦИИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА НЕПРЕРЫВНОГО ЛИТЬЯ, ПОВЫШАЮЩЕГО КАЧЕСТВО ЗАГОТОВОК ИЗ МЕДНЫХ СПЛАВОВ

1. Постановка проблемы

Современная МНЛЗ представляет собой сложный многомашинный агрегат с большим числом автоматизированных электроприводов, систем автоматического регулирования и контроля, которые обеспечивают не только геометрические размеры заготовок, но и существенно влияют на качества металла по всему объему заготовки [1].

Высокая надежность систем автоматического регулирования и точность отработки электроприводами заданных законов движения особенно важны при производстве на МНЛЗ заготовок из цветных металлов и сплавов [2].

В общем случае качество литых заготовок принято оценивать некоторой совокупностью физико-механических характеристик. Однако при оценке качества непрерывно-литой заготовки следует дополнительно учитывать параметр повреждаемости ее вязкого участка, формируемого в кристаллизаторе МНЛЗ.

Для определения параметра повреждаемости непрерывно-литой заготовки был разработан программный комплекс SCC, позволяющий определять этот параметр при различных режимах движения заготовки [3, 4].

Для МНЛЗ можно определить два основных режима движения заготовки: поступательное и реверсивное движение заготовки, которые происходят во время преодоления силы трения покоя.

2. Цель статьи

Целью исследования является определение параметров технологического процесса непрерывного литья с помощью математической модели, основанной на теории континуальной повреждаемости.

3. Основной материал

При анализе первого режима движения заготовки до настоящего времени не учитывалось дополнительное усилие $P_{СТП}$, необходимое для преодоления силы трения покоя (СТП) между заготовкой и графитовой втулкой кристаллизатора (см. рис. 1, а).

В реальных условиях это усилие может достигать 1,25-1,45 от усилия $P_{СТС}$, необходимого на преодоление силы трения скольжения (СТС) между заготовкой и графитовой втулкой кристаллизатора (см. рис. 1, а). Следует отметить, что усилие, необходимое на преодоление СТП, вызывает растяжение вязкого участка непрерывно-литой заготовки, что приводит к повышению параметра ее повреждаемости, а стало быть – к снижению качества.

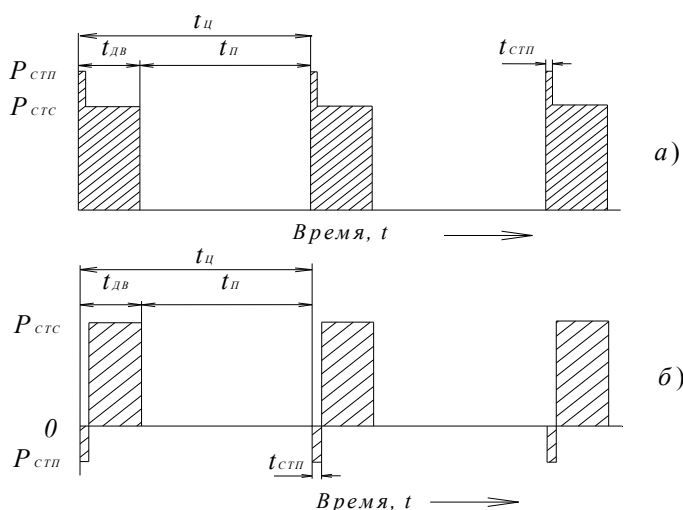


Рис. 1 – Циклограммы усилия в непрерывно-литой заготовке при различных режимах ее движения

Проведенные исследования [5] показали, что для снижения параметра повреждаемости во время преодоления СТП наиболее целесообразно использовать второй режим с реверсивным движением заготовки во время преодоления силы трения покоя движением заготовки. Усилие, необходимое для преодоления СТП при обратном движении заготовки так же достигает 1,25-1,45 от усилия $P_{СТС}$ (см. рис. 1, б). Однако это усилие приводит к сжатию вязкого участка заготовки, что способствует его

уплотнению и повышению качества.

Исходные данные для анализа параметра повреждаемости непрерывно-литой заготовки с помощью программного комплекса SCC сведены в таблицы 1,2.

Таблица 1 – Исходные данные для расчета параметра повреждаемости при поступательном движении заготовки во время преодоления силы трения покоя

Длительность интервала преодоления СТП, $\tau_{СПП}$, с	Усилие в заготовке при прямом движении на интервале преодоления СТП $P_{СПП}$, МПа	Длительность цикла $\tau_{ц}$, с	Длительность движения, $\tau_{дв}$, с	Длительность паузы, $\tau_{п}$, с	Усилие в заготовке при прямом движении, $P_{СТС}$, МПа
0,5	0,5	8	2	6	0,4
		16	4	12	
		24	6	18	

Таблица 2 – Исходные данные для расчета параметра повреждаемости при реверсивном движении заготовки во время преодоления силы трения покоя

Длительность интервала преодоления СТП, при обратном движении $\tau_{СПП}$, с	Усилие в заготовке при обратном движении на интервале преодоления СТП $P_{СПП}$, МПа	Длительность цикла $\tau_{ц}$, с	Длительность движения, $\tau_{дв}$, с	Длительность паузы, $\tau_{п}$, с	Усилие в заготовке при прямом движении, $P_{СТС}$, МПа
0,5	- 0,5	8	2	6	0,4
		16	4	12	
		24	6	18	

На основе расчетов [6], выполненных по исходным данным (табл. 1-2), были получены зависимости параметра повреждаемости заготовки от длительности цикла работы МНЛЗ для рассмотренных случаев (рис. 2), где кривая 1 – параметр повреждаемости заготовки при поступательном ее движении и учете усилий на преодоление СТП (рис. 1, а); кривая 2 – повреждаемость заготовки при возвратно-поступательном ее движении и учете усилий на преодоление СТП (рис. 1, б); прямая 3 – предельное значение повреждаемости заготовки.

Кривая 1 на рис. 2 показывает, что учет усилий на преодоление СТП при поступательном движении заготовки позволяет зафиксировать повышение параметра повреждаемости при уменьшении длительности цикла работы МНЛЗ (параметр повреждаемости возрастает в 1,2 раза при уменьшении длительности цикла с 24 до 8 с).

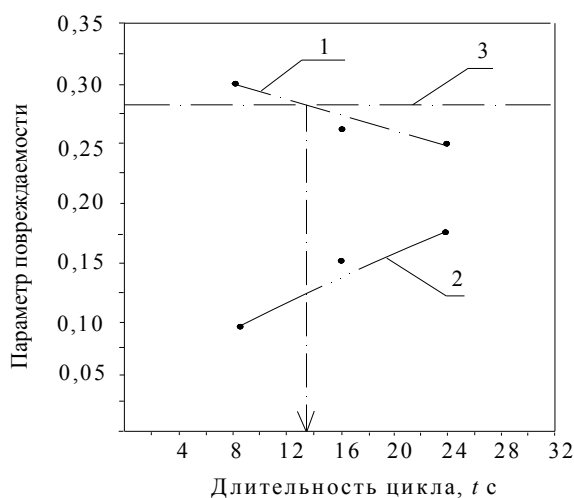


Рис. 2 – Влияние длительности цикла работы МНЛЗ на параметр повреждаемости заготовки

При возвратно-поступательном движении заготовки учет усилий на преодоление СТП при расчетах показал, что параметр повреждаемости снижается (рис. 2, кривая 2) при уменьшении длительности цикла работы машины (параметр повреждаемости снижается в 1,75 раза при уменьшении длительности цикла с 24 до 8 с).

Для обеспечения реверсивного движения заготовки во время преодоления силы трения покоя был разработан автоматизированный безредукторный электропривод на базе двигателя с катящимся ротором (ДКР) (см. рис. 3, а) [7]. Система управления электроприводом реализована с

использованием вычислительной техники. В персональном компьютере программа формирует замкнутое циклическое управление ДКР с несколькими интервалами на каждом цикле движения заготовки (рис. 3, б). На каждом интервале задаются параметры технологического процесса: конечное значение скорости и направление движения заготовки (в относительных единицах), длительность интервала, в течение которого двигатель должен выйти на заданную скорость. Еще одним параметром задания является количество циклов переходного интервала, т.е. то количество циклов, за которое параметры технологического процесса выводятся на заданные значения. На рис. 3, б пунктирной линией показана циклограмма движения заготовки при заданных значениях параметров технологического процесса, а сплошной линией – на одном из циклов переходного интервала. Сформированные в программе режимы движения можно сохранять в файл для последующего использования.

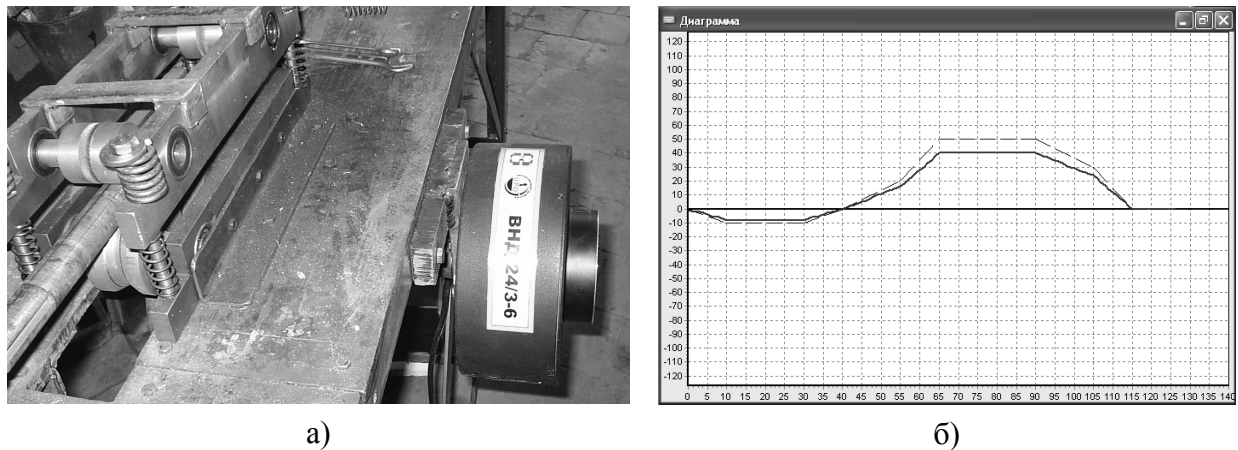


Рис. 3 – Тянущая клеть МНЛЗ с безредукторным электроприводом на базе ДКР (а) и экран монитора системы управления электроприводом (б)

Выводы

Таким образом, в ходе проведения исследований установлено следующее.

1. Снижение параметра повреждаемости заготовки осуществляется за счет одновременного выполнения двух условий: выполнения реверсивного движения заготовки во время преодоления силы трения покоя и уменьшения длительности цикла работы машины непрерывного литья.
2. Определено, что для непрерывного литья медных сплавов длительность цикла работы МНЛЗ не целесообразно уменьшать менее 8,0 с, что соответствует частоте движения заготовки, равной $7,5 \text{ мин}^{-1}$.
3. Для поддержания заданных технологических параметров процесса непрерывного литья была разработана система автоматизированного регулирования движением заготовки.

Список использованных источников:

1. Горизонтальное непрерывное литье цветных металлов и сплавов / О. А. Шатагин, В. Т. Сладкошteeв, М. А. Вартазаров [и др.]. – М.: Металлургия, 1974. – 175 с.
2. Исследования влияния технологических параметров на качество заготовок / В.Н. Бредихин, Ф.П. Изюмский, Е.А. Суходольская [и др.] // Цветные металлы, – 1976. – № 12. – С. 51–53.
3. Бреславский Д. Программные средства для конечноэлементного моделирования двумерных задач теории ползучести / Д. Бреславский, Ю. Корытко, П. Лысак // Вестник НТУ «ХПИ». – 2007. – № 38. – С. 24–29.
4. Breslavsky D. Software and numerical simulation of cyclic 2D creep-damage problems / D. Breslavsky, A. Chuprynin, Yu. Korytko, O. Tatarinova // Труды 2й Международной конференции по нелинейной динамике / Нац. техн. ун-т «ХПИ». – Харьков, 2007. – С. 45–48.
5. Анализ повреждаемости бронзовых заготовок, получаемых в процессе непрерывного литья / Д. В. Бреславский, Ю. Н. Корытко, О. А. Татарина, О. Н. Хорошилов // Механiка та машинобудування. – 2008. – № 1. – С. 234–243.

6. Бреславский Д.В. Управление качеством непрерывно-литых заготовок [Электронный ресурс] / Д. В. Бреславский, О. Н. Хорошилов, О. И. Пономаренко // Вісник ДДМА. – Краматорськ, 2010. – № 3 (20). – С. 41–46. – Режим доступа к журн: <http://www.dgma.donetsk.ua/publish/vesnik/>.

7. Горизонтальная машина непрерывного литья с автоматизированным безредукторным электроприводом на базе двигателя с катящимся ротором / О. Н. Хорошилов, А. В. Кипенский, В. В. Лысенко [и др.] // Вестник Национального технического университета «ХПИ». Сер. Электротехника, электроника и электропривод : сб. науч. тр. – Харьков: НТУ «ХПИ», 2008. – № 30. – С. 175–178.

Хорошилов О.Н. «Условие реализации технологического процесса непрерывного литья, повышающего качество заготовок из медных сплавов».

В этой статье предлагается метод повышения качества непрерывного литья. Этот метод заключается в изменении направления движения заготовки во время преодоления силы трения покоя с поступательного на реверсивное и уменьшение длительности цикла работы машины непрерывного литья.

Ключевые слова: непрерывное литье, заготовка, повреждаемость, качество, медные сплавы.

Хорошилов О.М. «Умова реалізації технологічного процесу неперервного лиття, що дозволяє підвищити якість заготовок з мідних сплавів».

В цій статті запропоновано метод, що дозволяє поліпшити якість неперервного лиття. Метод, що розроблено в статті, полягає в зміні напрямлення руху заготовки під час подолання сили тертя спокою з поступального на реверсивний та в зменшенні тривалості циклу роботи машини неперервного лиття.

Ключеві слова: неперервне лиття, заготовка, пошкоджуваність, якість, мідні сплави.

Khoroshilov O.N. “The conditions of realization of continuous casting technological process, increasing of quality billet from copper alloys”.

In this article the method of increasing of quality continuous casting is offered. This method is contained in alteration of motion direction of billet in time of getting over static friction force from translational to reversal and decreasing of cycle work protraction for continuous casting machines.

Key words: continuous casting, billet, damage, quality, copper alloys.

Стаття надійшла до редакції 30 вересня 2013 р.

ІННОВАЦІЙНЕ ПІДПРИЄМНИЦТВО В МАШИНОБУДІВНІЙ ГАЛУЗІ УКРАЇНИ ТА ПРОБЛЕМИ ЙОГО ДЕРЖАВНОГО СТИМУЛЮВАННЯ

1. Постановка проблеми

В умовах інтеграції у світову спільноту розвиток ефективного інноваційного підприємництва стає важливою складовою економічного зростання. Але особливості господарського механізму нашої держави та глобальні фінансово-економічні кризові явища змушують констатувати той факт, що належних умов та середовища для інноваційного підприємництва в Україні так і не створено. Особливої актуальності проблема розвитку інноваційного підприємництва набуває у вітчизняному машинобудуванні, яке ще має вагомий господарський потенціал, розвинену структуру, але переживає тривалу економічну рецесію, що зумовлена, зокрема, трансформацією виробничих відносин. Для подолання цієї рецесії необхідне об'єднання зусиль як приватних компаній, так і органів державної влади. Розвиток машинобудування на інноваційній основі вимагає створення стимулів, необхідного інституційного забезпечення і відповідної державної підтримки суб'єктів інноваційної діяльності.

2. Аналіз останніх досліджень

Дослідженню проблеми розвитку інноваційного підприємництва в різних галузях економіки присвячені праці багатьох вітчизняних вчених, зокрема, Л. Антонюка, М. Бойка, Л. Федулової, І. Павленка, Р. Кушніра, М. Шарко, О. Кузьміна, І. Литвина та інших. Проте розгляд даного питання в розрізі імперативів інноваційного розвитку машинобудівної галузі та динамізуючої ролі держави вимагає подальшої деталізації.

3. Формулювання цілей статті

Основними цілями статті є: визначення головних типів інновацій, відмінностей інноваційного підприємництва та тенденцій формування його макроекономічних координат в українському машинобудуванні.

4. Виклад основного матеріалу дослідження

Інноваційність як феномен соціально-економічного життя має багато різноманітних проявів і пов'язана з різними факторами, регулятивними нюансами, стимулами економічного та неекономічного порядку. Інновації як явище не є чимось гомогенним за економічною природою і рівнозначним з точки зору корисності впровадження. Вони розрізняються між собою за кількісними і якісними параметрами, і передусім – за відповідністю власному інформаційному змісту, який взагалі можна розглядати як субстанцію інновацій, незалежно від їхньої зовнішньої форми.

Інноваціями можуть виступати як фундаментальні досягнення, так і створення примітивного приладу, який на певному технологічному етапі підвищує ефективність виробництва.

Тут слід враховувати і міжнародний контекст. Для сучасного механізму міжнародного розподілу праці характерне таке явище, як винесення з країн-метрополій до країн регіональної або світової периферії виробництв, які раніше вважалися базовими, структуроутворюючими. Сьогодні до списку таких «вигнанців» попадають не тільки екологічно брудні та трудомісткі системи, а навіть потужності з виробництва легкових автомобілів, які завжди вважалися інноваційномісткою сферою діяльності з високим рівнем доданої вартості. І якщо, наприклад, для такої країни, як Румунія, налагодження виробництва автомобілів «Рено» може розглядатися як конкурентний прорив, то слід пам'ятати, що мова йде про успіх, типовий для периферійної країни ЄС. Тоді як передові форми організації науково-виробничого процесу (наприклад, технополіси) є ознакою конкурентного успіху країни-метрополії.

Ми вважаємо, що інновації можуть мати принципово різні економічні та конкурентні наслідки, і що не кожна інновація є перспективною для певної країни і галузі в контексті глобальної конкурентної боротьби. Таким чином, можна говорити про різні рівні, різні поверхи інновацій, які більш виразно будуть проявлятися у подальшому становленні інформаційного суспільства. Але вже сьогодні можна запропонувати найбільш загальний поділ інновацій на два типи:

- 1) базові інновації, які пов'язані з фундаментальними проривами в науково-технічній сфері і змінюють параметри конкурентної боротьби, суттєво поліпшуючи якість виробничого процесу;
- 2) адаптивні, або ситуативно-похідні інновації, які підвищують ефективність господарювання, але вирішують локальні завдання ринкових агентів.

Саме інновації другого типу абсолютно переважають у сучасному українському машинобудуванні. Так, у 2011 році інноваційну активність виявляли 24,5 % вітчизняних машинобудівних підприємств [7, с.243]. Однак при цьому частка шостого технологічного укладу за випуском продукції машинобудування становила 0,1 %, за фінансуванням НТР – 0,3 %, за інноваційними витратами – 0,4%, за інвестиціями в технічне переозброєння й модернізацію – 0,9 % [2, с.5].

Головними чинниками, які гальмують розвиток інноваційної складової вітчизняного машинобудування, є, по-перше, фактична спрямованість державної політики на закріплення моделі економіки, що ґрунтується переважно на низькотехнологічних укладах; по-друге, нерозвиненість ринкових інституцій. Склалася ситуація, за якої об'єктивна незрілість ринкового середовища недостатньо посилюється відповідним державним економічним регулюванням. Інші чинники, до яких можна віднести недосконалість стратегічного інноваційного менеджменту, недостатність інституційного забезпечення інноваційної діяльності, відсутність попиту на інновації, є фактично похідними від названих.

Необхідними умовами ефективної інноваційної політики є комплексність і глибина підходу, який не обмежується фінансуванням тільки того сегменту ринку, що забезпечує пропозицію інновацій. Він включає також ініціювання початкового попиту на наукомістку продукцію, створення інфраструктури інноваційного процесу в широкому сенсі цього слова. Це означає формування не тільки багатоаспектного механізму сприяння розвитку науки і технологій, але й самого соціуму

інформаційної епохи, який був би готовий сприймати інновації і розвиватися на їхній основі з урахуванням циклічності інноваційного процесу, його ризиковості та невизначеності результатів.

В розвинених країнах світу для підтримки інноваційного підприємництва, зокрема, в машинобудуванні, вживаються такі заходи економічної та бюджетної політики:

- застосування системи адресних податкових пільг, які спрямовані на постійне нарощування обсягу наукових витрат у великих корпораціях, залучення малого і середнього бізнесу до інноваційної діяльності у сфері нових технологій;

- пільгове кредитування наукових розробок і часткове фінансування масштабних проектів;

- списання значної частки наукового обладнання за прискореними нормами амортизації;

- безкоштовна передача та надання на пільгових умовах державного майна або землі для організації інноваційних підприємств;

- включення витрат на НДДКР приватного сектору до собівартості продукції.

Одним з найбільш дієвих механізмів державного впливу на забезпечення інноваційної перебудови структури економіки є законодавче стимулювання інноваційної діяльності на всіх її етапах і створення нормативно-правового середовища, сприятливого для високотехнологічних галузей виробництва, до яких належить і машинобудування. В Україні формування нормативно-правової бази для інноваційної діяльності не завершено. Часто воно непослідовне і позбавлене системного підходу.

Вітчизняне законодавство, яке стосується інноваційної діяльності, налічує 13 законодавчих актів, понад 50 нормативно-правових актів уряду, близько 100 різноманітних відомчих документів. Ухвалені також Концепція науково-технологічного та інноваційного розвитку України і Загальнодержавна комплексна програма розвитку високих наукоємних технологій. Проте існуюча нормативно-правова база залишається фрагментарною і суперечливою. Зокрема, до цього часу немає ефективного захисту прав інтелектуальної власності. Процедури формування окремих суб'єктів інноваційної діяльності безпідставно ускладнені. Відсутні також законодавчо встановлені критерії інноваційності проектів і розмежування інвестиційних та інноваційних проектів.

Недостатність нормативно-правового забезпечення супроводжується також слабким розвитком інноваційної інфраструктури, яка представлена в Україні лише окремими типами інститутів. При цьому переважна більшість з них, які є важливими для розвитку інноваційної діяльності в машинобудівній галузі (зокрема, технопарки та венчурні фонди), не впливають відчутно на запровадження інновацій у вітчизняну економіку. Так, з восьми зареєстрованих технопарків поки що працюють чотири, а дають реальну віддачу лише два. З семи венчурних фондів і об'єднань чотири спрямовують ресурси на фінансове забезпечення традиційних інвестиційних проектів; три – вкладають кошти в розвиток технологій V технологічного укладу; жоден не інвестує в розвиток перспективного VI укладу [2, с.4].

Слабким місцем в проведенні всіх трансформаційних процесів залишається інституційне середовище. Економіка України склалася як змішана, з вагомим прошарком приватної власності, проте управління інноваційним розвитком відбувається без належного узгодження інтересів держави та бізнесу.

Недостатня увага до процесів інноваційної модернізації пов'язана, на нашу думку, з наступними причинами:

- суб'єкти підприємницької діяльності, які працюють в енерго-сировинному секторі, маючи свою нішу на світовому ринку та привілейовані (завдяки протекціоністським заходам) умови господарювання вдома, не відчують достатньої мотивації до впровадження інновацій;
- в інноваційному секторі (зокрема, в машинобудуванні) не сформувалися потужні господарюючі суб'єкти, здатні ініціювати проведення масштабних структурних перетворень.

Тому функції суб'єкта цілеспрямованої інноваційної політики та її інституційного забезпечення мусить взяти на себе держава.

Для досягнення цієї мети необхідно:

1. Провести інвентаризацію інноваційно активних підприємств з визначенням їхніх можливостей до виробництва наукомістких та високотехнологічних видів машинобудівної продукції, які б мали попит на внутрішньому та зовнішньому ринках.

2. Стимулювати реорганізацію підприємств машинобудівної галузі з утворенням великих об'єднань, котрі за своїм фінансовим, організаційним і науково-технологічним потенціалом були б здатні ініціювати та проводити інноваційні зміни. Для цього необхідно внести певні корективи в антимонопольне законодавство, переглянувши як помилковий принцип розукрупнення великих підприємств.

3. Активізувати утворення інститутів розвитку (галузових банків реконструкції та розвитку зі змішаним капіталом, венчурних інноваційних фондів, бізнес-інкубаторів, центрів з трансферу технологій), діяльність яких має сприяти зниженню інноваційних ризиків та трансакційних витрат, забезпечивши підтримку інноваційних проектів на неприбуткових стадіях реалізації.

4. Оптимізувати систему бюджетних наукових закладів галузевого профілю за критерієм результативності науково-технічної діяльності. Для цього необхідно на довгостроковій основі, з введенням державно-приватного партнерства, стимулювати створення науково-виробничих ланцюжків з реалізації інноваційних проектів.

5. Посилити в системі управління промисловим розвитком функцію стратегічного передбачення та планування, здійснюючи на перманентній основі прогнозування інноваційного та науково-технологічного розвитку окремих галузей і підприємств, а також моніторинг кон'юнктури внутрішнього та зовнішнього ринків промислової і, насамперед, машинобудівної продукції.

Висновки

Україна є свідком того, як колись відсталі країни перетворюються в глобальних технологічних лідерів, змінюючи моделі імітаційного розвитку на інноваційні стратегії. Інноваційна політика, змістом якої виступає сприяння ефективному обміну інформацією між суб'єктами господарювання, підтримка технологічної підсистеми, визначення пріоритетів науково-технічного прогресу, фінансування аналітичних центрів та дослідницьких інститутів, комбінування наявних ресурсів, здатна зіграти динамізуючу роль в розвитку українського машинобудування.

Список використаних джерел:

1. Антонюк Л. Л. Інновації: теорія, механізм розробки та комерціалізації / Л. Л. Антонюк, А. М. Поручник, В. С. Савчук. – К. : КНЕУ, 2003. – 394 с.
2. Бойко М. І. Інноваційний розвиток промислового виробництва України в процесі посткризового відновлення / М. І. Бойко // Проблеми науки. – 2012. – № 9. – С. 2–8.
3. Інноваційний розвиток економіки: модель, система управління, державна політика / за ред. Л. І. Федулової. – К. : Основа, 2005. – 552 с.
4. Кузьмін О. Є. Венчурні організації в машинобудуванні: види та тенденції розвитку / О. Є. Кузьмін, І. В. Литвин // Актуальні проблеми економіки. – 2009. – № 1. – С. 126–135.
5. Кушнір Р. О. Формування принципу моноукладності в інноваційній системі України на прикладі машинобудівної галузі / Р. О. Кушнір // Економічний простір. – 2008. – № 17. – С. 40–46.
6. Павленко І. А. Інноваційне підприємництво у трансформаційній економіці / І. А. Павленко. – К. : КНЕУ, 2007. – 248 с.
7. Статистичний щорічник України за 2011р. / Держ. служба стат. України. – К.: ТОВ «Август Трейд», 2012. – 558 с.
8. Шарко М. В. Модель формирования национальной инновационной системы Украины / М. В. Шарко // Экономика Украины. – 2005. – № 8. – С. 25–30.

Юхнов Б.Ю., Яшинов О.Л. «Інноваційне підприємництво в машинобудівній галузі України та проблеми його державного стимулювання».

У статті досліджені особливості інноваційного підприємництва та проблеми його розвитку в українському машинобудуванні. Сформовано рекомендації щодо створення макроекономічних координат інноваційного підприємництва на основі розробки нової концепції інноваційно-орієнтованого розвитку економіки.

Ключові слова: інноваційне підприємництво, типи інновацій, державне регулювання, інституційне забезпечення, машинобудівні підприємства.

Юхнов Б.Ю., Яшинов А.Л. «Инновационное предпринимательство в машиностроительной отрасли Украины и проблемы его государственного стимулирования».

В статье исследованы особенности инновационного предпринимательства и проблемы его развития в украинском машиностроении. Сформированы рекомендации по созданию макроекономических координат инновационного предпринимательства на основе разработки новой концепции инновационно-ориентированного развития экономики.

Ключевые слова: инновационное предпринимательство, типы инноваций, государственное регулирование, институциональное обеспечение, машиностроительные предприятия.

Yukhnov B.Y., Yashinov A.L. “Innovative entrepreneurship in Ukrainian machine-building branch and the problems of its state stimulation”.

The paper studies the peculiarities of innovative entrepreneurship and the problems of its development in Ukrainian machine-building. Recommendations on creation of macroeconomic coordinates for innovative entrepreneurship on the basis of elaboration a new concept for economy's development oriented on innovations are carried out.

Key words: innovative entrepreneurship, types of innovations, state regulation, institutional ensuring, engineering enterprises.

Стаття надійшла до редакції 3 вересня 2013 р.

ВІДОМОСТІ ПРО АВТОРІВ

Білецька Ірина Василівна – асистент кафедри опору матеріалів і теоретичної механіки Української інженерно-педагогічної академії (м. Харків).

Бурдейна Вікторія Михайлівна – асистент кафедри охорони праці, стандартизації та сертифікації Української інженерно-педагогічної академії (м. Харків).

Воронов Георгій Олександрович – магістр Національного технічного університету «Харківський політехнічний інститут» (м. Харків).

Герасименко Дмитро Валентинович – студент Української інженерно-педагогічної академії (м. Харків).

Горбенко Наталія Андріївна – здобувач кафедри охорони праці, стандартизації та сертифікації Української інженерно-педагогічної академії (м. Харків).

Даниліна Галина Володимирівна – канд. техн. наук, заступник начальника з навчально-методичної роботи, доцент циклової комісії Фундаментальних дисциплін Криворізького коледжу Національного авіаційного університету (м. Кривий Ріг).

Дьомін Дмитро Олександрович – д-р техн. наук, професор кафедри ливарного виробництва Національного технічного університету «Харківський політехнічний інститут» (м. Харків).

Денисенко Марина Володимирівна – здобувач кафедри охорони праці, стандартизації та сертифікації Української інженерно-педагогічної академії (м. Харків).

Дерябкіна Євгенія Станіславівна – канд. техн. наук, доцент кафедри інтегрованих технологій в машинобудуванні та зварювального виробництва Української інженерно-педагогічної академії (м. Харків).

Зеленська Тетяна Сергіївна – аспірант кафедри диференціальних рівнянь Дніпропетровського національного університету ім. О. Гончара (м. Дніпропетровськ).

Іванов Веніамін Миколайович – канд. техн. наук, директор ПНВФ «Надійність» (м. Харків).

Ізотова Катерина Олександрівна – канд. техн. наук, доцент кафедри інтегрованих технологій в машинобудуванні та зварювального виробництва Української інженерно-педагогічної академії (м. Харків).

Ісьєміні Ілля Ігорович – асистент кафедри металоріжучого обладнання і транспортних систем Української інженерно-педагогічної академії (м. Харків).

Калін Микола Андрійович – канд. техн. наук, доцент кафедри інтегрованих технологій в машинобудуванні та зварювального виробництва Української інженерно-педагогічної академії (м. Харків).

Катрич Олег Олександрович – здобувач кафедри охорони праці, стандартизації та сертифікації Української інженерно-педагогічної академії (м. Харків).

Кондратюк Олег Леонідович – канд. техн. наук, доцент кафедри металоріжучого обладнання і транспортних систем Української інженерно-педагогічної академії (м. Харків).

Костик Катерина Олександрівна – канд. техн. наук, доцент кафедри ливарного виробництва Національного технічного університету «Харківський політехнічний інститут» (м. Харків).

Кравцов Марк Костянтинович – канд. техн. наук, професор кафедри опору матеріалів і теоретичної механіки Української інженерно-педагогічної академії (м. Харків).

Ловейкін В'ячеслав Сергійович – д-р техн. наук, професор кафедри конструювання машин Національного університету біоресурсів і природокористування України (м. Київ).

Ломакін Андрій Олександрович – аспірант кафедри металоріжучого обладнання і транспортних систем Української інженерно-педагогічної академії (м. Харків).

Маліцький Ігор Федорович – канд. техн. наук, доцент кафедри інтегрованих технологій в машинобудуванні та зварювального виробництва Української інженерно-педагогічної академії (м. Харків).

Маршуба В'ячеслав Павлович – канд. техн. наук, доцент кафедри поліграфічного виробництва і комп'ютерної графіки Української інженерно-педагогічної академії (м. Харків).

Нестеренко Вікторія Валентинівна – канд. техн. наук, доцент кафедри фундаментальних та загально-технічних дисциплін Первомайського політехнічного інституту Національного університету кораблебудування ім. адмірала Макарова (м. Первомайськ).

Оболенська Тетяна Олександрівна – канд. техн. наук, приват-професор кафедри опору матеріалів і теоретичної механіки Української інженерно-педагогічної академії (м. Харків).

- Осетров Ігор Сергійович** – магістр Української інженерно-педагогічної академії (м. Харків).
- Пащенко Едуард Андрійович** – канд. техн. наук, доцент кафедри охорони праці, стандартизації та сертифікації Української інженерно-педагогічної академії (м. Харків).
- Подоляк Олег Степанович** – канд. техн. наук, доцент кафедри металоріжучого обладнання і транспортних систем Української інженерно-педагогічної академії (м. Харків).
- Пуляєв Андрій Анатолійович** – магістр Національного технічного університету «Харківський політехнічний інститут» (м. Харків).
- Ромасевич Юрій Олександрович** – канд. техн. наук, доцент кафедри конструювання машин Національного університету біоресурсів і природокористування України (м. Київ).
- Самчук Володимир Володимирович** – аспірант кафедри металоріжучого обладнання і транспортних систем Української інженерно-педагогічної академії (м. Харків).
- Семенко Костянтин Вікторович** – викладач-методист циклової комісії «Механіка» Полтавського будівельного технікуму транспортного будівництва (м. Полтава).
- Середа Наталя Василівна** – канд. техн. наук, доцент кафедри теоретичної та будівельної механіки Харківської національної академії міського господарства (м. Харків).
- Скоркін Антон Олегович** – асистент кафедри металоріжучого обладнання і транспортних систем Української інженерно-педагогічної академії (м. Харків).
- Скрип'юк Ростислав Богданович** – канд. техн. наук, доцент кафедри комп'ютерних технологій в системах управління та автоматики Івано-Франківського національного технічного університету нафти і газу (м. Івано-Франківськ).
- Смирнитська Майя Борисівна** – канд. техн. наук, доцент кафедри охорони праці, стандартизації та сертифікації Української інженерно-педагогічної академії (м. Харків).
- Смоляков Сергій Леонідович** – канд. техн. наук, доцент кафедри металоріжучого обладнання і транспортних систем Української інженерно-педагогічної академії (м. Харків).
- Триш Галина Михайлівна** – ст. викладач кафедри кафедри охорони праці, стандартизації та сертифікації Української інженерно-педагогічної академії (м. Харків).

Фідровська Наталія Миколаївна – д-р техн. наук, доцент кафедри металоріжучого обладнання і транспортних систем Української інженерно-педагогічної академії (м. Харків).

Хорошилов Олег Миколайович – д-р техн. наук, професор, завідувач кафедри опору матеріалів і теоретичної механіки Української інженерно-педагогічної академії (м. Харків).

Циплухін Дмитро Сергійович – голова циклової комісії «Механіка» Полтавського будівельного технікуму транспортного будівництва (м. Полтава).

Чернякова Ольга В'ячеславівна – здобувач кафедри поліграфічного виробництва і комп'ютерної графіки Української інженерно-педагогічної академії (м. Харків).

Чернятіна Олена Вікторівна – аспірантка кафедри інтегрованих технологій в машинобудуванні та зварювального виробництва Української інженерно-педагогічної академії (м. Харків).

Юхнов Борис Юрійович – канд. екон. наук, доцент кафедри менеджменту Української інженерно-педагогічної академії (м. Харків).

Яшинов Олексій Леонідович – канд. екон. наук, доцент, завідувач кафедри суспільних наук Харківського національного університету мистецтв (м. Харків).

ДО УВАГИ АВТОРІВ

Загальні відомості

1. У збірнику праць “Машинобудування” друкуються закінчені оригінальні теоретичного і прикладного характеру наукові результати досліджень в галузі інженерної освіти.
2. До редакції подаються статті, які раніше не друкувалися.
3. Статті, що подаються аспірантами, здобувачами повинні мати направлення наукового керівника, якщо він не є співавтором статті.
4. Рішення про можливість публікації статті приймається лише після її рецензування.
5. Рішення щодо публікації (позитивне або негативне) повідомляється автору. Стаття може бути повернута для доопрацювання.
6. Рукописи авторам не повертаються.
7. Збірник з опублікованою статтею надсилається автору поштою або видається у редакції.

Вимоги до оформлення статей

1. Обсяг статті не більше 15 сторінок (10 тис. знаків) формату А4 (210 x 297) щільність 80-90 г/м², надрукованих у двох примірниках на комп’ютері з використанням шрифтів текстового редактору Microsoft Word (Times New Roman, Arial) розміру 14 з полуторним (1,5) міжрядковим інтервалом по всій статті.
2. Ширина полів сторінки: всі поля – 2 см.
3. До комплекту файлів має бути доданий опис, де зазначаються: назва текстового редактора, імена файлів, назви збірника і статті, прізвище, ім’я та по батькові авторів.
4. Матеріали статті приймаються до публікації в електронній версії у вигляді файлів (текст форматами DOC, RTF, графіки, малюнки – TIFF) на CD диску. 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.
5. **Формули** (нумерація, якщо вона необхідна, ставиться справа у скобках, вирівнюється по правому краю), **рисунки й таблиці** вставляються по тексту зразу після посилання на них.
6. Ілюстрації повинні бути чіткими, формули – написані прийнятою символікою. Розмір шрифту в ілюстрованому матеріалі не менше 12 пт.
7. Звертаємо увагу на те, що рядки тексту в межах абзацу не повинні розділятися клавішею Enter. Текст не повинен мати переносів та інших елементів форматування.
8. У статтях повинна використовуватись система одиниць СІ.
9. Матеріали, подані до збірника, повинні 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”, та повинні мати такі необхідні елементи:
 - ✓ **УДК;**
 - ✓ **прізвище та ініціали авторів** (шрифт жирний, по лівому краю);
 - ✓ **назва статті** (літери великі, шрифт жирний, посередині);
 - ✓ **текст статті;**

- ✓ **список використаних джерел;**
- ✓ **анотація** (подається трьома мовами – українською, російською, англійською) і повинна містити: прізвища та ініціали авторів (курсив жирний), назву статті (у лапках), текст анотації (не більше 300 знаків). Пишеться зразу після списку використаних джерел. Слово «Анотація» не пишеться.
- ✓ **ключові слова** (7 – 10 слів) на трьох мовах – українською, російською, англійською.

10. Автори повинні дотримуватися такого загального плану побудови статті:

10.1. Загальна частина:

- 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;
- виклад основного матеріалу дослідження з повним обґрунтуванням наукових результатів;
- висновки з даного дослідження.

Кожний з цих пунктів нумерується за порядком, крім висновків.

10.2. Перелік використаних джерел.

11. До редакції передаються два екземпляри всіх матеріалів статті, роздрукованих на лазерному принтері з однієї сторони аркуша. Другий екземпляр матеріалів статті підписується всіма авторами.

12. Редакція залишає за собою право редакційної правки статті.

13. Статті, відіслані авторам на виправлення, повинні бути повернені до редакції не пізніше, ніж через 10 днів після її одержання. В авторській коректурі допускаються виправлення лише помилок набору.

14. Стаття повинна супроводжуватися авторською довідкою (для кожного автора).

Авторська довідка

1. Назва статті.
2. Прізвище, ім'я, по батькові, дата народження.
3. Вчений ступінь, вчене звання.
4. Місце роботи.
5. Посада.
6. Адреса для листування. Для контакту – телефон, E-mail.
7. Адреса для відправки авторського екземпляру.

У кінці довідки треба зазначити:

«Поданий матеріал раніше не публікувався і до інших видавництв не надсилався».

«Не заперечую виставити повний текст статті на Сайт Національної бібліотеки України ім. В.І. Вернадського в реферативну базу даних «Україніка наукова» та на сайт Наукової бібліотеки Української інженерно-педагогічної академії».

Підписи кожного з авторів.

Збірник наукових праць «Машинобудування» (Українська інженерно-педагогічна академія МОНМС України) затверджено постановою Президії ВАК України від 23.02.2011р. № 1-05/2 як наукове фахове видання України, в якому можуть публікуватися результати дисертаційних робіт на здобуття ступенів доктора і кандидата технічних наук

НАУКОВЕ ВИДАННЯ

УДК 621 – 622

Машинобудування. Збірник наукових праць. Випуск 12. – Харків, Українська інженерно-педагогічна академія (УІПА), 2013. – с. 173.

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. Volume 12. – Kharkiv, Ukrainian Engineering Pedagogics Academy (UEPA), 2013. – p. 173.

There were considered the important problems of strength, steadiness, capacity for work, dynamics of loading transporting, technological, machines and importers, also a question of machine-building technologic.

For instructors, research workers, post graduates, experts in the field of machine-building.

Підписано до друку 17.12.2013

Формат 60x84/8.

Папір офсетний. Друк ризографічний.

Умов. друк. арк. – 17,2.

Тираж 300 прим. Ціна договірна.

Надруковано з готових оригінал-макетів у друкарні ФОП Петров В.В.
Єдиний державний реєстр юридичних осіб та фізичних осіб-підприємців.

Запис № 24800000000106167 від 08.01.2009 р.

61144, м. Харків, вул. Гв. Широнінців, 79в, к. 137, тел. (057) 778-60-34.

e-mail: bookfabrik@rambler.ru