



ДВНЗ ПРИАЗОВСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

НАУКА ТА ВИРОБНИЦТВО

SCIENCE AND PRODUCTION

Інновації



Innovation

№17 2017

МАРІУПОЛЬ

Композити та матеріали – якість, що перевірена часом! Розроблені та удосконалені науковцями ДВНЗ “ПДТУ”



Область застосування композитних матеріалів:
відновлення транспортерних стрічок,
ремонт гідроциліндрів,
напрямних верстатів.

Відновлення поверхневого шару з таких
матеріалів як бронза, пластик, алюміній,
сталь, чавун



Кафедра механічного обладнання заводів чорної металургії
Завідувач Іщенко Анатолій Олексійович,
доктор технічних наук, професор
ischenko49@mail.ru
Контактний телефон: +380679434572

Міністерство освіти і науки України

ДВНЗ «Приазовський державний технічний університет»
(ПДТУ)

НАУКА ТА ВИРОБНИЦТВО

Міжвузівський тематичний збірник наукових праць

Маріуполь – Краматорськ – Харків – Запоріжжя –
Київ – Дніпро

Випуск №17

Маріуполь

2017

УДК 001:65

Наука та виробництво: міжвуз. тем. зб. наук. пр. Вип.17/ Маріуполь, ДВНЗ «ПДТУ».- 2017.- 92 с.

У цьому випуску збірника вміщено статті, присвячені теоретичним і експериментальним дослідженням проблем міцності металургійних та будівельних машин, виконаним науковими працівниками й аспірантами провідних технічних вузів і НДІ СНД. Збірник буде корисним для студентів і аспірантів металургійних і машинобудівних вишів, співробітників науково-дослідних інститутів і металургійних заводів. Статті друкуються мовою оригіналу.

Редакційна колегія

Іноземні члени редколегії

Fathy Osman Toughan

– professor of steelmaking, Tabbin Institute for Metallurgical Studies, Cairo, Egypt

Patkó Gyula

– professor, PhD, habilitált doktor, Hungary

Члени редколегії з інших міст

Шайко-Шайковський

Олександр Геннадійович

– професор, доктор технічних наук, кафедра професійної та технологічної освіти і загальної фізики, Інститут фізико-технічних та комп'ютерних наук, м. Чернівці

Засельський Володимир

Йосипович

– професор, доктор технічних наук, завідувач кафедри металургійного обладнання, КМІ НМетАУ, м. Кривий Ріг

Білодіденко Сергій

Валентинович

– професор, доктор технічних наук, завідувач кафедрою машин і агрегатів металургійного виробництва, НМетАУ, м. Дніпро

Члени редколегії з ДВНЗ «ПДТУ»

Анділахай Олександр Олександрович

– професор, доктор технічних наук

Волошин В'ячеслав Степанович

– професор, доктор технічних наук

Єфременко Василь Георгійович

– професор, доктор технічних наук

Жежеленко Ігор Володимирович

– професор, доктор технічних наук

Іщенко Анатолій Олексійович

– професор, доктор технічних наук

Кухар Володимир Валентинович

– професор, доктор технічних наук

Роянов В'ячеслав Олександрович

– професор, доктор технічних наук

Чигарьов Валерій Васильович

– професор, доктор технічних наук

Суглобов Володимир Васильович

– професор, доктор технічних наук

Чейлях Олександр Петрович

– професор, доктор технічних наук

Губенко Володимир Костянтинівич

– професор, доктор технічних наук

Головний редактор: **Волошин В.С.**

Заступник головного редактора: **Анділахай О.О.**

Відповідальний секретар редакції: **Рассохін Д.О.**

Коректор: **Сорочан О.М.**

Адреса редакції збірника: 87500, Україна, м. Маріуполь, вул. Університетська, 7, ДВНЗ «ПДТУ», каф. «Будівництва, технічної експлуатації і реконструкції». Тел. (0629) 44-66-23, 44-66-73. E-mail: Radullik@yandex.ua.

Перереєстрований Державною реєстраційною службою України 26.12.2016. Свідоцтво про державну реєстрацію – серія КВ № 22493-12393ПР. Друкується згідно рішення Ученої Ради ДВНЗ «ПДТУ» (протокол № 9 від 14.02.2017 р.).

© Приазовський державний технічний університет (ПДТУ), 2017

ЗМІСТ

Яценко І. В. <i>Визначення критичних значень параметрів зовнішніх термодій на прямокутні оптичні елементи точного приладобудування</i>	5
Кириченко О.В. <i>Математичне моделювання процесу нагріву бічних поверхонь металевих корпусів піротехнічних виробів в умовах пострілу та польоту</i>	13
Хара М.В. <i>Технологии обеспечения логистических процессов в транспортных системах предприятий</i>	18
Ищенко А.А., Какарека Д.Л. <i>Анализ существующих способов защиты от коррозионных повреждений металлоконструкции машины непрерывного литья заготовок</i>	24
Самотугин С.С., Гагарин В.А., Мазур В.А. <i>Исследование износостойкости упрочненных слоев градиентного строения на стальных изделиях</i>	30
Лоза А.В., Чигарев В.В., Шишкин В.В., Рассохин Д.А. <i>Упрочнение литого корпуса чаши шлаковоза рёбрами жесткости, закрепленными сваркой</i>	37
Андилахай В.А. <i>Условия повышения производительности шлифования крупногабаритных деталей из труднообрабатываемых материалов</i>	41
Иванов В.П., Сергиенко Ю.В, Сорочан Е.Н. <i>Повышение работоспособности наплавленных крановых колес</i>	49
Бочарова Е.А. <i>Повышение надежности резьбовых соединений вибрационного оборудования для производства бетонных изделий</i>	53
Суглобов В.В., Гринько П.А. <i>Исследование видов и причин повреждений ленты в процессе эксплуатации ленточных конвейеров</i>	59
Самотугин С.С., Христенко О.А. <i>Технологические основы плазменного поверхностного модифицирования резьбонарезного инструмента</i>	65
Засельский В.И., Бейгул О.А. <i>Исследование повреждений транспортирующего и перекачивающего оборудования горно-металлургического комплекса</i>	70
Суглобов В.В., Гринько П.А. <i>Экспериментальные исследования центрирующей способности ленточных конвейеров</i>	74
Суглобов В.В., Гринько П.А. <i>Экспериментальные исследования ленточных конвейеров в производственных условиях</i>	78
Воропай В.С. <i>Анализ транспортно-технологического цикла перевозки агломерата</i>	82
Новини України та світу	89
Вимоги до публікацій	91

CONTENTS

Yatsenko I.V. <i>Determination of critical values parameters of thermo optical elements on a rectangular precision instruments</i>	5
Kiritchenko O. V. <i>Mathematical modelling of process of heating the side surfaces of the metal housings of pyrotechnic products in the conditions of the shot and flight</i>	13
Khara M.V. <i>Technologies of providing of logistic process are in transport systems of enterprises</i>	18
Ishenko A.A. , Kakareka D.L. <i>Analysis of existing way to protect against corrosion damage steel continuous casting machine</i>	24
Samotugin S.S., Haharin V.A., Mazur V.A. <i>Study wear resistance of hardened layers of gradient structure on steel products</i>	30
Loza A.V., Chigarev V.V., Shishkin V.V., Rassokhin D.A. <i>Strengthening of a cast body of a slag-carrier's cap with ribs, fixed by welding</i>	37
Andilahay V. A. <i>Terms improve performance grinding of large parts of the hard materials</i>	41
Ivanov V.P., Sergienko Yu.V., Sorochan E.N., Taranina E.V. <i>Improve efficiency of welded crane wheels</i>	49
Bocharova. E.A. <i>Improving the reliability of threaded connections of vibration equipment for production of concrete products</i>	53
Suglobov V.V., Grinyko P.A. <i>Research of kinds and reasons of damages of ribbon in the process of exploitation of band conveyers</i>	59
Samotugin S. S., Khrystenko O. A. <i>Technological basis of plazma surface modification of thread-cutting tools</i>	65
Zaselsky V.I., Beygul O.A. <i>Investigation of damage the transporting and pumping equipment of mining and metallurgical complex</i>	70
Suglobov V.V., Grinyko P.A. <i>Experimental researches of centring ability of band conveyers</i>	74
Suglobov V.V., Grinyko P.A. <i>Experimental researches of band conveyersare in production terms</i>	78
Voropay V.S. <i>Analysis of carriage sinter transportation and technological cycle</i>	82
<i>News Ukraine and the world</i>	89
<i>Requirements for publications</i>	91

УДК 621.338.27:537.221

Яценко І. В.

ВИЗНАЧЕННЯ КРИТИЧНИХ ЗНАЧЕНЬ ПАРАМЕТРІВ ЗОВНІШНІХ ТЕРМОДІЙ НА ПРЯМОКУТНІ ОПТИЧНІ ЕЛЕМЕНТИ ТОЧНОГО ПРИЛАДОБУДУВАННЯ

Розроблено нелінійні математичні моделі зовнішніх термодій на оптичні прямокутні елементи, що дозволяють знаходити розподіли температури та термopружних напружень по їх товщині. Визначено критичні значення параметрів зовнішніх термодій (теплових потоків, часів їх дії), перевищення яких призводить до руйнування елементів (поява тріщин, сколів та ін. дефектів) та виходу з ладу приладів на їх основі.

Ключові слова: оптичний елемент, зовнішні термічні впливи, електронний промінь.

Вступ

Сучасні прилади з оптичними елементами для вимірювання та теплового контролю об'єктів різної фізичної природи (прямокутні елементи як підкладки світлофільтрів ІЧ-приладів, лінзові аерофотографічні об'єктиви та пластини подвійної кривизни для дзеркал космічного та аерокосмічного призначення, вхідні захисні вікна та лінзи у прицілах для спостереження у видимій та ІЧ-областях спектра, напівсферичні обтічники ІЧ-приладів самонаведення та спостереження, циліндричні світловоди з оптичних моноволокон у медичних приладах для діагностики та лікування) піддаються інтенсивним зовнішнім термодіям (підвищені температури нагріву та зовнішні тиски, ударні термодії в умовах пострілу та польоту тощо) [1 – 5]. У вказаних умовах відбувається суттєва зміна властивостей поверхневих шарів оптичних елементів аж до їх руйнування (поява тріщин та сколів, глибоке поверхнєве оплавлення елементів з утворенням напливів, хвилеподібних поверхонь та зміною геометричної форми та ін. дефектів), що призводить до суттєвого погіршення техніко-експлуатаційних характеристик приладів та їх виходу з ладу.

Тому суттєвого значення набуває попередження вимушених руйнувань оптичних елементів у разі впливу зовнішніх термічних дій. Воно повинно базуватись на науково-обґрунтованих методах визначення критичних значень параметрів термічних впливів на оптичні елементи. Перевищення таких впливів призводить до передчасного руйнування даних елементів. Розробка таких методів вимагає теоретичних та експериментальних досліджень процесів нагріву оптичних елементів для різних значень зовнішніх теплових потоків та часу їх дії.

На даний час впливи зовнішньої термічної дії на оптичні елементи вивчені недостатньо: відсутні методи знаходження критичних значень параметрів зовнішніх термодій, що базуються на гранично припустимих значеннях термopружних напружень у оптичних елементах різної геометричної форми (прямокутні елементи різної товщини, циліндричні та сферичні елементи, пластини подвійної кривизни тощо) [1, 6].

Тому **метою даної роботи** є розробка нелінійних математичних моделей зовнішніх термодій на оптичні прямокутні елементи різної товщини, що враховують температурні залежності теплофізичних властивостей матеріалу (об'ємної теплоємності $C_V(T)$ та коефіцієнта теплопровідності $\lambda(T)$) та дозволяють точніше знаходити критичні значення їх параметрів.

Результати досліджень та їх аналіз

Для дослідження впливу параметрів зовнішніх термодій (теплого потоку та часу його дії) на робочі поверхні елементів з оптичного скла (К8, К108, К208, БК10, ТФ110) та керамік (КО1, КО2, КО3, КО5, КО12) досліджувались прямокутні пластини розміром $2 \dots 6 \cdot 10^{-3} \text{ м} \times 3 \dots 5 \cdot 10^{-2} \text{ м} \times 4 \cdot 10^{-2} \text{ м} \dots 8 \cdot 10^{-2} \text{ м}$, основні фізико-технічні характеристики яких можна знайти у роботах [2, 7, 8].

Для знаходження розподілів температури та термопружних напружень у розглядуваних оптичних елементах було розроблено наступні математичні моделі.

Математична модель процесу нагріву прямокутного елемента малої товщини.

Розглядаються прямокутні елементи малої товщини: $\delta \approx H$ ($\delta = 2 \cdot \sqrt{a^2 \cdot \tau}$ – глибина проникнення теплової хвилі в елемент; a^2 – коефіцієнт температуропровідності; τ – час зовнішньої теплової дії [6]), тобто проникнення теплової хвилі в елемент порівняє з його товщиною, і необхідно враховувати умови теплообміну на нижньому боці ($z = H$) його поверхні, які збігаються з умовами адіабатичності (рис. 1).

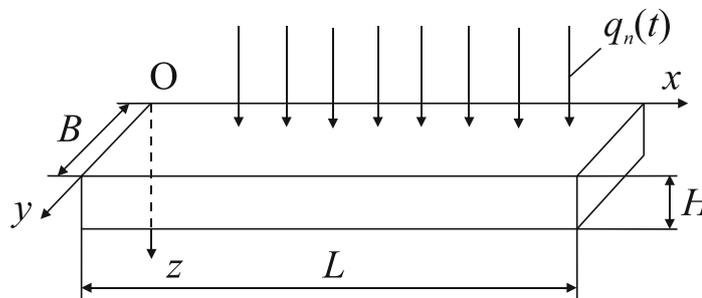


Рис. 1 – Схема нагріву оптичного прямокутного елемента різної товщини зовнішньою тепловою дією: B, H, L – ширина, товщина та довжина елемента, м; $q_n(t)$ – зовнішній тепловий потік, Вт/м²

Нехтуючи у першому наближенні зовнішніми масовими силами та радіаційними тепловтратами внаслідок їх малості (наприклад, радіаційні втрати з поверхні елемента складають не більше 3...5 % від значень зовнішніх теплових потоків, реалізованих на практиці, що поступають ззовні на його поверхню [1, 2, 6]), для знаходження розподілів температури у розглядуваних елементах маємо наступну систему нелінійних рівнянь [9, 10]:

$$C_V(T) \cdot \frac{\partial T}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial x} \left[\lambda(T) \cdot \frac{\partial T}{\partial x} \right] + \frac{\partial}{\partial y} \left[\lambda(T) \cdot \frac{\partial T}{\partial y} \right] + \frac{\partial}{\partial z} \left[\lambda(T) \cdot \frac{\partial T}{\partial z} \right], \quad -\infty < x, y < +\infty, \quad 0 < z < H, \quad (1)$$

$$T|_{t=0} = T_0, \quad (2)$$

$$-\lambda(T) \cdot \frac{\partial T}{\partial z} \Big|_{z=0} = q_n(t), \quad (3)$$

$$\lambda(T) \cdot \frac{\partial T}{\partial z} \Big|_{z=H} = 0, \quad (4)$$

$$T \rightarrow T_0, \quad \frac{\partial T}{\partial x}, \frac{\partial T}{\partial y} \rightarrow 0 \quad \text{при} \quad x \rightarrow \pm\infty, \quad y \rightarrow \pm\infty, \quad \bar{q}_n(t) = \frac{\nu+1}{\lambda_0} \cdot q_n(t). \quad (5)$$

Враховуючи експериментально встановлені емпіричні залежності [2, 8]

$$C_V(T) = C_{V0} \cdot T^\nu, \quad \lambda(T) = \lambda_0 \cdot T^\nu \quad (6)$$

(C_{V0}, λ_0, ν – емпіричні константи, що залежать від природи оптичного матеріалу, $a_0^2 = \frac{\lambda_0}{C_{V0}}$) та здійснюючи заміну змінних

$$\theta = T^{\nu+1} - T_0^{\nu+1}, \quad (7)$$

отримуємо наступну лінеаризовану систему рівнянь

$$\frac{\partial \theta}{\partial t} = a_0^2 \cdot \left(\frac{\partial^2 \theta}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \theta}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 \theta}{\partial z^2} \right), \quad (8)$$

$$\theta|_{t=0} = 0, \quad (9)$$

$$-\frac{\partial \theta}{\partial z} \Big|_{z=0} = \bar{q}_n(t), \quad (10)$$

$$\frac{\partial \theta}{\partial z} \Big|_{z=H} = 0, \quad (11)$$

$$\theta \rightarrow 0, \frac{\partial \theta}{\partial x}, \frac{\partial \theta}{\partial y} \rightarrow 0 \text{ при } x \rightarrow \pm\infty, y \rightarrow \pm\infty. \quad (12)$$

Розв'язуючи задачу (8) – (12) за допомогою інтегральних перетворень Фур'є (за координатами x та y) і методу розподілу змінних (за координатою z) [9, 10], а також з урахуванням

$$q_n(t) = q_{n0} = const, \quad \text{маємо:}$$

$$T(x, y, z, t) = \left\{ T_0^{\nu+1} + \frac{(\nu+1) \cdot q_{n0}}{8 \cdot \pi^2 \cdot a_0 \cdot \lambda_0} \cdot \int_0^t \frac{\left[\frac{1}{2} + \sum_{n=0}^{\infty} \cos\left(\frac{\pi \cdot n \cdot z}{H}\right) \cdot e^{-\left(\frac{\pi \cdot n \cdot a_0}{H}\right)^2 \cdot (t-\tau)} \right]}{(t-\tau)^{\frac{3}{2}}} \cdot \int_{-\infty-\infty}^{+\infty+\infty} e^{-\frac{(x-\xi)^2+(y-\eta)^2}{4a_0^2 \cdot (t-\tau)}} d\xi d\eta \right\}^{\frac{1}{\nu+1}}. \quad (13)$$

Математична модель процесу нагріву прямокутного елемента значної товщини.
Розглядаються прямокутні елементи великих розмірів: $\delta < H$, тобто маємо тривимірне температурне поле $T(x, y, z, t)$. У цьому випадку глибина проникнення теплової хвилі в елемент набагато менша за його товщину, тобто елемент можна розглядати як напівобмежене середовище в напрямку осі Oz (див. рис. 1).

Рівняння математичної моделі процесу нагріву розглядуваного елемента мають вигляд [9, 10]:

$$C_V(T) \cdot \frac{\partial T}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial x} \left[\lambda(T) \cdot \frac{\partial T}{\partial x} \right] + \frac{\partial}{\partial y} \left[\lambda(T) \cdot \frac{\partial T}{\partial y} \right] + \frac{\partial}{\partial z} \left[\lambda(T) \cdot \frac{\partial T}{\partial z} \right], \quad -\infty < x, y < +\infty, z > 0, \quad (14)$$

$$T|_{t=0} = T_0, \quad (15)$$

$$-\lambda(T) \cdot \frac{\partial T}{\partial z} \Big|_{z=0} = q_n(t), \quad (16)$$

$$T \rightarrow T_0, \frac{\partial T}{\partial x}, \frac{\partial T}{\partial y}, \frac{\partial T}{\partial z} \rightarrow 0 \text{ при } x \rightarrow \pm\infty, y \rightarrow \pm\infty, z \rightarrow +\infty. \quad (17)$$

З урахуванням залежностей (6), (7) маємо

$$\frac{\partial \theta}{\partial t} = a_0^2 \cdot \left(\frac{\partial^2 \theta}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \theta}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 \theta}{\partial z^2} \right), \quad (18)$$

$$\theta|_{t=0} = 0, \quad (19)$$

$$-\frac{\partial \theta}{\partial z} \Big|_{z=0} = \bar{q}_n(x), \quad (20)$$

$$\theta \rightarrow 0, \quad \frac{\partial \theta}{\partial x}, \frac{\partial \theta}{\partial y}, \frac{\partial \theta}{\partial z} \rightarrow 0 \text{ при } x \rightarrow \pm\infty, y \rightarrow \pm\infty, z \rightarrow +\infty, \quad (21)$$

де

$$\bar{q}_n(t) = \frac{\nu+1}{\lambda_0} \cdot q_n(t). \quad (22)$$

Для розв'язання задачі (18) – (21) використовуємо методи інтегральних перетворень Фур'є (за координатами x , y і z) [6, 9, 10], а також з врахуванням $q_n(t) = q_{n0} = const$, маємо:

$$T(x, y, z, t) = \left\{ T_0^{\nu+1} + \frac{(\nu+1) \cdot q_{n0}}{8 \cdot \pi^2 \cdot a_0 \cdot \lambda_0} \cdot \int_0^t \frac{d\tau}{(t-\tau)^{\frac{3}{2}}} \cdot \int_{-\infty}^{+\infty} \int_{-\infty}^{+\infty} e^{-\frac{(x-\xi)^2 + (y-\eta)^2 + z^2}{4a_0^2 \cdot (t-\tau)}} d\xi d\eta \right\}^{\frac{1}{\nu+1}} \quad (23)$$

Визначення термопружних напружень у зонах максимальних зовнішніх термодій на прямокутні елементи. У точному приладобудуванні широко використовуються достатньо протяжні оптичні прямокутні елементи [2 – 5], розміри яких значно перевищують (більш, ніж на порядок) інші оптичні елементи (наприклад, лінзи, растри, волоконно-оптичні кабелі тощо). При цьому, вказані оптичні елементи в умовах зберігання або транспортування часто піддаються нерівномірним зовнішнім термодіям з утворенням так званих “небезпечних” зон, в яких тепловий потік q_n і температура T досягають своїх найбільших значень: $(q_n)_{max}$; $T_{max}(z, t) = T(x_{max}, y_{max}, z, t)$, де x_{max} , y_{max} – координати вказаних зон. Це дозволяє відразу для всієї поверхні елемента оцінювати критичні значення параметрів зовнішніх термодій (величин $(q_n)_{max}^*$ та t_{max}^*), перевищення яких призводить до виникнення у вказаних зонах на поверхні елемента граничних термопружних напружень $\sigma^*(T)$, що зумовлюють локальні руйнування його поверхневих шарів.

У випадку, що розглядається, виникнення термопружних напружень пов'язано з градієнтом температури по товщині елемента (уздовж Oz), а їх величина $\sigma_m(z, t)$ має вигляд [11, 12]:

$$\sigma_m(z, t) = \frac{\alpha_\nu \cdot E}{1-\nu} \cdot \left(-T_{max}(z, t) + \frac{2}{H^2} \cdot (2H-3z) \cdot \int_0^H T_{max}(z, t) dz - \frac{6}{H^3} \cdot (H-2z) \cdot \int_0^H z \cdot T_{max}(z, t) dz \right) \quad (24)$$

де α_ν - коефіцієнт термічного розширення, K^{-1} ; $\bar{\nu}$ - коефіцієнт Пуасона; E - модуль пружності Юнга, H/m^2 .

Температурні профілі $T_{max}(z,t)$ знаходяться з виразів (13) та (23) при $x = x_{max}$, $y = y_{max}$ (для спрощення виразів для $T_{max}(z,t)$ береться $x_{max} = 0$, $y_{max} = 0$) та $q_{n0} = (q_{n0})_{max}$.

З результатів проведених розрахунків (рис. 2 – 5) випливає, що поблизу верхнього боку прямокутних елементів різної товщини мають місце стискаючі напруги ($\sigma_m < 0$, $|\sigma_m|_{max} = 3,8 \cdot 10^7 \dots 4,2 \cdot 10^7$ Н/м² – для оптичного скла К108 та $|\sigma_m|_{max} = 1,2 \cdot 10^8 \dots 1,7 \cdot 10^8$ Н/м² – для оптичної кераміки КОЗ), а на нижньому боці – розтяжні напруги ($\sigma_m > 0$, $|\sigma_m|_{max} = 0,91 \cdot 10^7 \dots 1,4 \cdot 10^7$ Н/м² – для оптичного скла К108 та $|\sigma_m|_{max} = 0,6 \cdot 10^8 \dots 1,2 \cdot 10^8$ Н/м² – для оптичної кераміки КОЗ). При цьому ступінь впливу параметрів зовнішніх термодій наступний: збільшення часу теплової дії від $t = 3$ с до $t = 15$ с призводить до зростання $|\sigma_m|_{max}$ на 1,9...4,3 разів – для оптичного скла К108 та у 1,6...3,8 рази – для оптичної кераміки КОЗ.

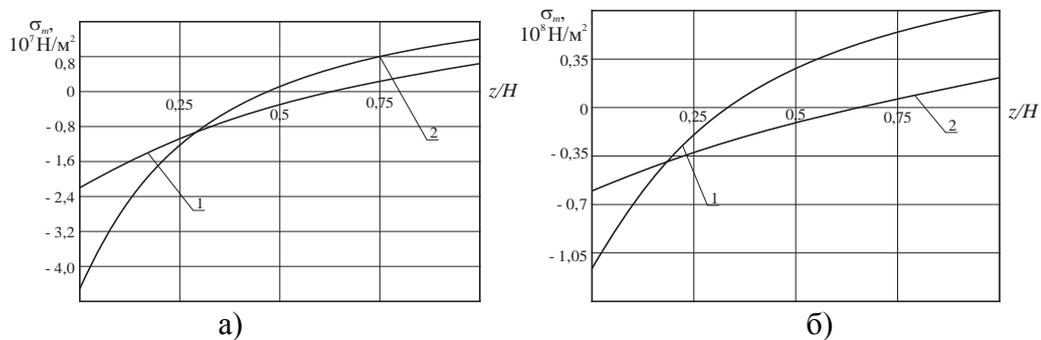


Рис. 2 – Розподіл термічних напружень по товщині прямокутного елемента з оптичного скла К108 та кераміки КОЗ залежно від зовнішнього теплового потоку q_{n0} ($T_0 = 300$ К; $t = 0,5$ с): 1 – $q_{n0} = 1,5 \cdot 10^5$ Вт/м²; 2 – $q_{n0} = 2,3 \cdot 10^5$ Вт/м²; а) – елемент малої товщини з оптичного скла К108; б) – елемент значної товщини з оптичної кераміки КОЗ

Встановлено, що при зміні параметрів зовнішніх термодій величина $|\sigma_m|_{max}$ може досягати критичних значень $\sigma_m^*(q_n^*, t^*)$, перевищення яких призводить до руйнування верхнього боку прямокутного елемента. При цьому збільшення t^* від 0,35 с до 1, 5 с призводить до зменшення значень q_n^* від $2,45 \cdot 10^6$ Вт/м² до $1,54 \cdot 10^6$ Вт/м² для оптичного скла К108, а збільшення t^* від 6 с до 14 с – до зменшення значень q_n^* від $2,6 \cdot 10^6$ Вт/м² до $2,15 \cdot 10^6$ Вт/м² для оптичної кераміки КОЗ.

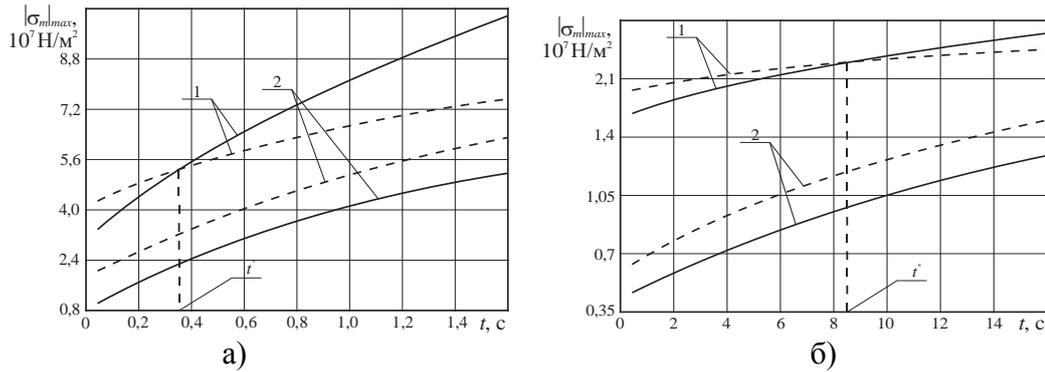


Рис. 3 – Вплив часу зовнішньої теплової дії на величину модуля максимальних термопружних напружень $|\sigma_m|_{max}$ у прямокутному елементі з оптичного скла К108 та оптичної кераміки КОЗ для різних значень зовнішнього теплового потоку ($T_0 = 300$ К): 1 – $q_{n0} = 2,3 \cdot 10^6$ Вт/м²; 2 – $q_{n0} = 1,5 \cdot 10^5$ Вт/м²; t^* – критичний час дії, с; ——— – результати розрахунків; - - - - - межа міцності оптичного матеріалу σ^* [2, 7, 8]; а) – елемент малої товщини з оптичного скла К108; б) – елемент значної товщини з оптичної кераміки КОЗ

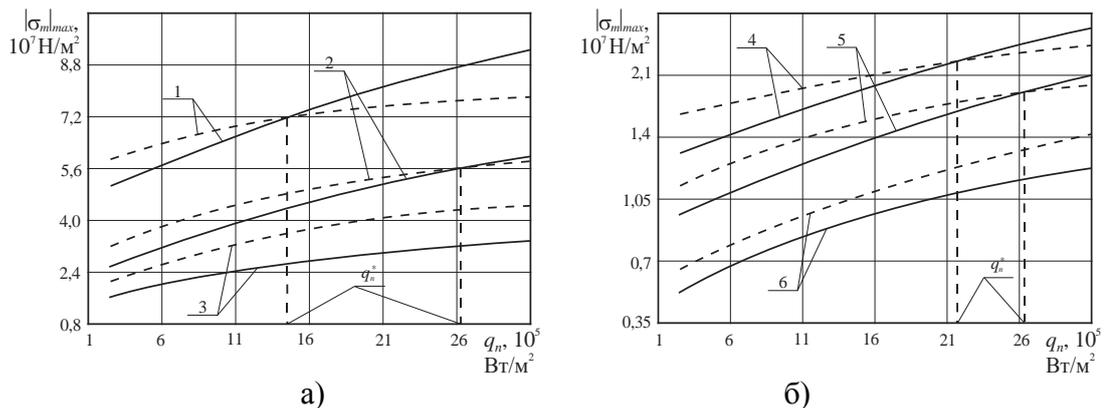


Рис. 4 – Залежність модуля максимальних термічних напружень $|\sigma_m|_{max}$ у прямокутному елементі з оптичного скла К108 та оптичної кераміки КОЗ від зовнішнього теплового потоку для різних часів його дії ($T_0 = 300$ К): 1 – $t = 1,4$ с; 2 – $t = 0,35$ с; 3 – $t = 0,1$ с; 4 – $t = 0,1$ с; 5 – $t = 8,3$ с; 6 – $t = 0,5$ с; q_n^* – критичні значення зовнішнього теплового потоку, Вт/м²; ——— – результати розрахунків; - - - - - межа міцності оптичного матеріалу σ^* [2, 7, 8]; а) – елемент малої товщини з оптичного скла К108; б) – елемент значної товщини з оптичної кераміки КОЗ

Зіставлення результатів розрахунків (див. рис. 5) з експериментальними даними^{*}) показало, що розходження між ними не перевищують 7...9 %.

Розроблені методи визначення критичних значень параметрів зовнішніх термодій на оптичні елементи були використані при розробці методичних рекомендацій “Прогнозування критичних значень небезпечних чинників для попередження руйнувань оптичних елементів точного приладобудування на об’єктах їх виробництва, зберігання, транспортування та застосування” (затверджено державним підприємством ДПНВК “Фотоприлад” (м. Черкаси, 2015)), які доповнюють нормативні документи на проектування, виготовлення та умови обігу серійних приладів (лазерних

тепловізійних прицільних комплексів з оптичними вхідними захисними вікнами, лазерних терапевтичних та хірургічних приладів тощо).

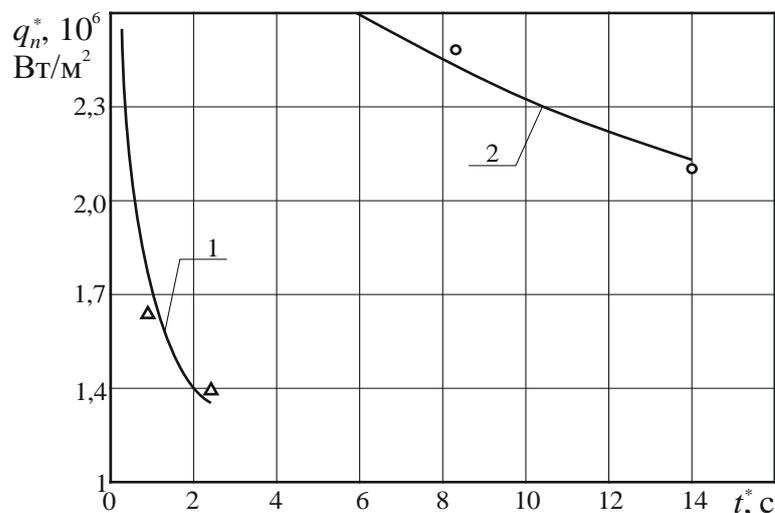


Рис. 5 – Взаємозв'язок критичних значень зовнішнього теплового потоку q_n^* та часу його дії t^* на прямокутний елемент з оптичного скла К108 та оптичної кераміки КОЗ ($T_0 = 300$ К): \circ , Δ – експериментальні дані; 1 – елемент малої товщини з оптичного скла К108; 2 – елемент значної товщини з оптичної кераміки КОЗ

Це дозволяє попереджати можливі відмови при їх експлуатації з урахуванням впливу зовнішніх термодій шляхом визначення критичних значень їх параметрів, а також покращувати основні техніко-експлуатаційні характеристики приладів (надійність, термін служби тощо).

^{*}Для проведення експериментальних досліджень використовувався керований ПЧ-нагрів кварцовими лампами типу КГМ-220-1000-1 з використанням термодатчиків РИФ-101 для контролю температур поверхонь елементів в діапазоні 300...1900 К та теплових потоків, що поступають на них [2, 6].

ВИСНОВКИ

1. Розроблено нелінійні математичні моделі зовнішніх термодій на прямокутні оптичні елементи різної товщини, які враховують температурні залежності теплофізичних властивостей матеріалів (об'ємної теплоємності, коефіцієнта теплопровідності) та дозволяють визначати розподіли температури та термопружних напружень у елементах з оптичного скла та керамік з відносно похибкою знижено на 7...9 %.

2. Вперше встановлено наступний вплив параметрів зовнішніх термодій (теплового потоку q_n та часу його дії t) на величину максимальних термопружних напружень у розглядуваних елементах: збільшення q_n від $1,5 \cdot 10^5$ Вт/м 2 до $2,3 \cdot 10^6$ Вт/м 2 та t від 0,2 с до 1,5 с призводить до зростання максимальних термопружних напружень на 1,8...3,8 разів для оптичного скла та у 1,5...3,5 разу – для оптичних керамік.

3. Вперше встановлено критичні діапазони зміни параметрів зовнішніх термодій (q_n^* , t^*), які залежать від природи оптичних матеріалів, перевищення яких призводить до руйнування оптичних елементів та виходу з ладу приладів на їх основі.

Перелік використаних джерел

1. Тепловые процессы при электронной обработке оптических материалов и эксплуатации изделий на их основе : монография / В.А. Ващенко [и др.]. – К.: Наукова думка, 2006. – 368с.
2. Основи електронної обробки виробів з оптичних матеріалів. Монографія / В.А. Ващенко [и др.]. – К.: Наукова думка, 2011. – 562с.
3. Танковые ночные системы и приборы наблюдения / А.Р. Глущенко [и др.]. – Черкассы: Фотоприбор, 2007. – 441с.
4. Лазерные системы танковых прицелов / А.Р. Глущенко [и др.]. – Черкассы: Маклаут, 2009. – 600с.
5. Современные аспекты лазерной терапии / М.Н. Бонусь [и др.]. – Черкассы: Вертикаль, 2011. – 608с.
6. Основи теплоперенесення в елементах оптичного приладобудування. Навчальний посібник. / В.А. Ващенко [и др.]. – К.: НТУУ “КПІ”, 2012. – 412с.
7. Справочник конструктора оптико-механических приборов / В.А. Панов [и др.]. – Л.: Машиностроение, 1980. – 742с.
8. Окатов М.А. Справочник оптика-технолога / М.А. Окатов, Э.А. Антонов, А.Б. Байгожин. – СПб.: Политехника, 2004. – 679с.
9. Лыков А.В. Теория теплопроводности / А.В. Лыков. – М.: Высшая школа, 1967. – 600с.
10. Карташов Э.М. Аналитические методы в теплопроводности твердых тел / Э.М. Карташов. – М.: Высшая школа, 1985. – 324с.
11. Коваленко А.Д. Основы термоупругости / А.Д. Коваленко. – К.: Наукова думка, 1970. – 307с.
12. Вигак В.М. Управление температурными напряжениями и перемещениями / В.М. Вигак. – К.: Наукова думка, 1988. – 312с.

Яценко И. В.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ КРИТИЧЕСКИХ ЗНАЧЕНИЙ ПАРАМЕТРОВ ВНЕШНЕГО ТЕРМОВОЗДЕЙСТВИЯ НА ПРЯМОУГОЛЬНЫЕ ОПТИЧЕСКИЕ ЭЛЕМЕНТЫ ТОЧНОГО ПРИБОРОСТРОЕНИЯ

Разработаны нелинейные математические модели внешних термовоздействий на оптические прямоугольные элементы, позволяющие находить распределения температуры и термоупругих напряжений по их толщине. Определены критические значения параметров внешних термовоздействий (тепловых потоков, времен их действия), превышение которых приводит к разрушению элементов (появление трещин, сколов и др. дефектов) и выходу из строя приборов на их основе.

Ключевые слова: оптический элемент, внешние термические воздействия, электронный луч.

Yatsenko I.V.

DETERMINATION OF CRITICAL VALUES PARAMETERS OF THERMO OPTICAL ELEMENTS ON A RECTANGULAR PRECISION INSTRUMENTS

Modern devices with optical elements for measurement and thermal control of objects of different physical nature are subject to intensive external thermo-influences (high

temperature and external pressure, shock thermo-influences in the conditions of the shot and flight etc.). In these conditions there is a significant change of properties of surface layers of optical elements up to their fracture, which leads to a significant deterioration of technical-operational characteristics of the devices and their failure. Therefore, significant importance is the prevention of forced destruction of the optical elements in the case of the effects of external thermal influences. It should be based on scientifically-based methods of determining critical parameters of thermal effects on optical elements, the exceeding of which leads to premature failure of the elements. The aim of this work is to develop nonlinear mathematical models of external thermo-influences on optical rectangular elements of varying thickness, taking into account temperature dependence of thermo-physical material properties (volumetric heat capacity and thermal conductivity) and more accurately find the critical values of their parameters. Developed a nonlinear mathematical model of external thermo-influences on rectangular optical elements, allows to find the distribution of temperature and thermo-elastic stresses in their thickness. Defined critical parameters external thermo-influences (heat flux, the time of their actions), the exceeding of which leads to the destruction of the elements (appearance of cracks, chips and other defects) and failure of devices based on them.

Keywords: optical element, external thermal influences, electron beam.

Рецензент: д.т.н., проф. Суглобов В.В.

Стаття надійшла 20.08.2016 р.

УДК 614.841.536.46

Кириченко О.В.

МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ПРОЦЕСУ НАГРІВУ БІЧНИХ ПОВЕРХОНЬ МЕТАЛЕВИХ КОРПУСІВ ПІРОТЕХНІЧНИХ ВИРОБІВ В УМОВАХ ПОСТРІЛУ ТА ПОЛЬОТУ

Проведено моделювання та розрахунок ударних теплових впливів надзвукового газового потоку на бічну поверхню металевих корпусів піротехнічних нітратовмісних виробів. Визначено припустимі діапазони зміни параметрів теплових впливів (швидкості газового потоку, режиму обтікання (ламінарний, турбулентний), часу впливу), перевищення яких призводить до руйнування піротехнічних виробів та викиду в навколишнє середовище високотемпературних пожежонебезпечних продуктів горіння.

Ключові слова: піротехнічні вироби, надзвуковий газовий потік, тепловий вплив.

Постановка проблеми. Піротехнічні нітратовмісні вироби (ущільнені суміші з порошків металевих паливних (алюмінію, титану, цирконію, алюмінієво-магнієвих сплавів, магнію тощо), нітратовмісних окиснювачів (нітратів натрію, калію, стронцію, барію тощо) та добавок органічних речовин (парафіну, стеарину, нафталіну, антрацену, смоли 214, ідитолу, тіоколу тощо)) широко використовуються у різних областях народного господарства та військової техніки (освітлювальні, сигнальні та трасуючі засоби, піротехнічні ІЧ-випромінювачі, піропатрони ракетно-космічної техніки тощо) [1, 2]. В умовах пострілу та польоту металеві корпуси виробів піддаються ударним тепловим впливам у результаті надзвукового обдування потоком повітря (швидкість потоку до $2 \cdot 10^3$ м/с) (рис. 1).

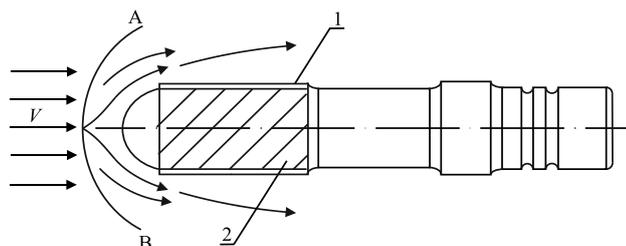
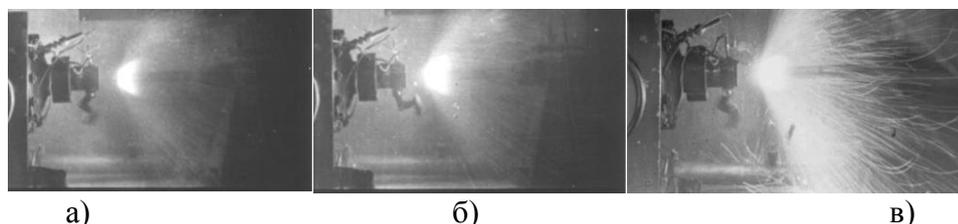


Рис. 1 – Схематичне зображення теплового впливу надзвукового повітряного потоку на піротехнічні вироби в момент пострілу з пускової установки: V – швидкість надзвукового обдування потоком повітря; AB – фронт ударної хвилі;

1 – тонка металева оболонка; 2 – заряд піротехнічної суміші

Перевищення температур нижнього боку металевої оболонки, що контактує з поверхнею заряду піротехнічної суміші, критичної температури T_i^* (індекс “ i ” відповідає певній суміші), при якій починається саморозігрів заряду суміші в результаті екзотермічного окислювання частинок металу в активних газоподібних продуктах термічного розпаду окиснювача та домішок органічних речовин, сприяє швидкому осередковому спалахуванню суміші (в межах $10^{-3} \dots 10^{-2}$ с) з подальшим розвитком її горіння та переходом у вибуховий режим [1]. У кінцевому результаті, це призводить до руйнування виробу та викиду у навколишнє середовище високотемпературних пожежонебезпечних продуктів горіння (рис. 2). Тому, для підвищення пожежної безпеки та надійності піротехнічних виробів необхідно вміти прогнозувати критичні умови їх запуску, що призводять до виникнення “небезпечних” ділянок на поверхні обтічників, де відбуваються максимальні перегріву виробів, як у наземних умовах, так і з літальних апаратів,



а)

б)

в)

Рис. 2 – Кінокадри зйомки загальної картини спрацьовування зарядів сумішей при руйнуванні піротехнічних виробів, отриманих на випробувальних стендах, що моделюють їх поведінку в умовах надзвукового обдування потоком повітря: наприклад, для сумішей $Mg + NaNO_3 + \text{парафін}$ (V^* , t^* – критичні значення швидкостей обдування потоком повітря та часів його дії): $V^* = 10^3$ м/с та $t^* = 15$ с (а); $V^* = 1,2 \cdot 10^3$ м/с та $t^* = 12$ с (б); $V^* = 1,5 \cdot 10^3$ м/с та $t^* = 8$ с (в)

Метою роботи є моделювання ударних теплових впливів на поверхню металевих корпусів виробів в умовах їх надзвукового обдування потоком повітря, а також визначення припустимих діапазонів зміни його параметрів (швидкості газового потоку, режиму обтікання (ламінальний, турбулентний) та часу впливу).

Результати досліджень та їх аналіз. Як об’єкти нагріву розглядалися системи двох циліндричних тіл: металева оболонка та заряд піротехнічної суміші (рис. 3). Як рівняння моделі нагріву металевої оболонки були використані рівняння нестационарної нелінійної теплопровідності, в яких враховувалися температурні залежності теплофізичних параметрів оболонки та піротехнічної суміші (об’ємної теплоємності C_V , коефіцієнта теплопровідності

λ), а також конвективний теплообмін на поверхні виробу (вирази для коефіцієнта конвективного теплообміну α бралися з даних продувок тіл різної геометричної форми у аеродинамічних трубах [3]).

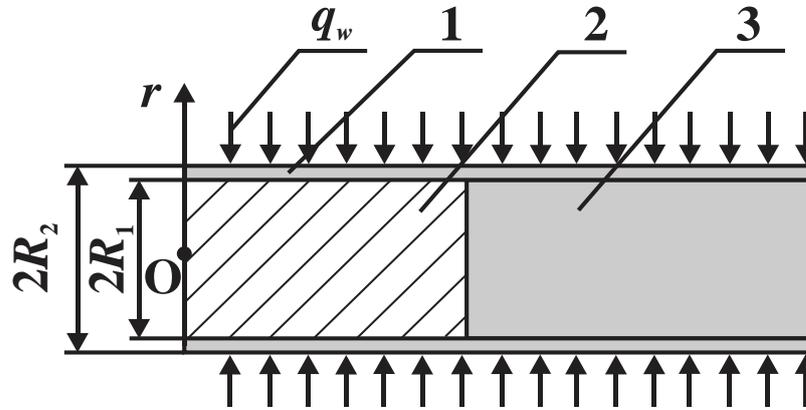


Рис. 3. Схема нагріву заряду піротехнічної суміші: 1 – металева оболонка; 2 – заряд піротехнічної суміші; 3 – піротехнічний виріб; r_1, r_2 – внутрішній і зовнішній радіуси циліндричної оболонки; q_w – конвективний тепловий потік, який надходить на поверхню корпусу виробу

$$C_{V1}(T_1) \cdot \frac{\partial T_1}{\partial t} = \frac{1}{r^2} \cdot \frac{\partial}{\partial r} \left[r^2 \cdot \lambda_1(T_1) \cdot \frac{\partial T_1}{\partial r} \right], \quad t > 0, \quad R_1 \leq r \leq R_2, \quad (1)$$

$$C_{V2}(T_2) \cdot \frac{\partial T_2}{\partial t} = \frac{1}{r^2} \cdot \frac{\partial}{\partial r} \left[r^2 \cdot \lambda_2(T_2) \cdot \frac{\partial T_2}{\partial r} \right], \quad t > 0, \quad 0 \leq r \leq R_1, \quad (2)$$

$$T_1|_{t=0} = T_2|_{t=0} = T_0, \quad (3)$$

$$T_1|_{r=R_1} = T_2|_{r=R_2}, \quad \lambda_1(T_1) \cdot \frac{\partial T_1}{\partial r} \Big|_{r=R_1} = \lambda_2(T_2) \cdot \frac{\partial T_2}{\partial r} \Big|_{r=R_1}, \quad (4)$$

$$\lambda_2(T_2) \cdot \frac{\partial T_2}{\partial r} \Big|_{r=R_2} = q_w, \quad (5)$$

де $q_w = \alpha(T_r - T_1)|_{r=R_2}$.

Тут T_1, T_2 – температури оболонки та піротехнічної суміші відповідно; T_0 – початкова температура виробу перед запуском; T_r – температура відновлення у граничному шарі, яка представляє температуру повітря у безпосередній близькості до поверхні оболонки [3].

У результаті проведених розрахунків (розрахунки проводились на комп'ютері з використанням MathCAD 2001, як піротехнічні суміші використовувались трикомпонентні ущільнені суміші метал + окиснювач + органічних домішок, а як матеріал оболонки – сталь 12X18H10T) були отримані критичні значення швидкості обдування v_i^* , часу теплового впливу t_i^* та критерія Рейнольдса Re^* (індекс “i” відповідає зазначеній вище суміші, наприклад, “1” – Al + NaNO₃ + парафін; “2” – Mg + NaNO₃ + стеарин тощо; при $Re = \frac{2 \cdot V \cdot R_2}{\nu} > Re^*$ (ν – коефіцієнт кінематичної в’язкості газового потоку) режим обтікання турбулентний, а при $Re < Re^*$ – ламінарний) (табл. 1).

Машинобудування і зварювальне виробництво

Режим доступу: <http://eir.pstu.edu/handle/123456789/2>

Таблиця 1

Діапазони зміни гранично припустимих значень швидкості обдування потоком повітря v_i^* та часу теплового впливу t_i^* для різних режимів обтікання Re^*

Параметр Суміш	м/с	t_i^*, c	
		$Re^* > 10^5$ (турбулентний режим)	$Re^* < 10^5$ (ламінальний режим)
Mg + NaNO ₃ + органічна домішка	$\cdot 10^3$	$t_i^* < 6$	$t_i^* < 8,3$
	$\cdot 10^2$	$t_i^* < 11$	$t_i^* < 13$
Al + NaNO ₃ + органічна домішка	$\cdot 10^3$	$t_i^* < 7,5$	$t_i^* < 8,7$
	$\cdot 10^2$	$t_i^* < 12,3$	$t_i^* < 13,2$

Встановлено, що при перевищенні критичних значень параметрів обдування максимальна температура нижнього боку металевої оболонки $T_2|_{r=R_1} > T_i^*$ – температури, за якої починається саморозігрів заряду суміші, що призводить до її швидкого осередкового займання з подальшим прискоренням процесу горіння у замкненому об’ємі, що у результаті призводить до руйнування оболонки виробу та викиду у навколишнє середовище високотемпературних пожежонебезпечних продуктів горіння. Розрахована сукупність критичних параметрів обдування $\{v_i^*, t_i^*, Re^*\}$ складає базу даних розглядуваного класу піротехнічних сумішей, відповідно до їх пожежонебезпечних властивостей, при їх запусках, ця база даних має важливе практичне значення для проектування та стендових випробувань різних виробів в умовах, близьких до умов їх застосування. Результати роботи використані на багатьох підприємствах (ДНВК “Фотоприлад” (м. Черкаси, Україна), ДУП МосНВО “Радон” (м. Москва, Росія)).

ВИСНОВКИ

У результаті моделювання ударних теплових впливів на поверхню металевих оболонок виробів надзвукового потоку повітря було визначено критичні діапазони зміни його параметрів $\{v_i^*, t_i^*, Re^*\}$.

Розраховані діапазони зміни критичних параметрів (швидкості газового потоку, часу впливу, режиму обтікання (ламінальний, турбулентний)) складають базу даних відповідно до пожежонебезпечних властивостей розглядуваних виробів в умовах їх застосування. Ці діапазони були використані при проектуванні та стендових випробуваннях серійних виробів (освітлювальних, трасувальних тощо) на підприємствах України і за кордоном.

Перелік використаних джерел

1. Процессы горения металлизированных конденсированных систем / В.А. Ващенко [и др.]. – К.: Наукова думка, 2008 – 745с.

2. Основи пожежної безпеки піротехнічних нітартовмісних виробів в умовах зовнішніх термовпливів / О.В. Кириченко [и др.]. – К.: Наукова думка, 2014 – 290 с.
3. Абрамович Г.Н. Прикладная газовая динамика / Г.Н. Абрамович. – М.: Наука, 1969. – 824 с.

Кириченко О. В.

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА НАГРЕВА БОКОВЫХ ПОВЕРХНОСТЕЙ МЕТАЛЛИЧЕСКИХ КОРПУСОВ ПИРОТЕХНИЧЕСКИХ ИЗДЕЛИЙ В УСЛОВИЯХ ВЫСТРЕЛА И ПОЛЕТА

Проведено моделювання і розрахунок ударних теплових впливів надзвукового газового потоку на бокову поверхню металічних корпусів піротехнічних нітратосодержащих изделий. Определены допустимые диапазоны изменения параметров тепловых воздействий (скорости газового потока, режима обтекания (ламинарный, турбулентный), времени воздействия), превышение которых приводит к разрушению пиroteхнических изделий и выбросу в окружающую среду высокотемпературных пожароопасных продуктов горения.

Ключевые слова: *пиroteхнические изделия, надзвуковой газовый поток, тепловое воздействие.*

Kiritchenko O. V.

MATHEMATICAL MODELLING OF PROCESS OF HEATING THE SIDE SURFACES OF THE METAL HOUSINGS OF PYROTECHNIC PRODUCTS IN THE CONDITIONS OF THE SHOT AND FLIGHT

The modeling and calculation of the shock-thermal effects of supersonic gas flow on the side surface of the metal case nitrate-containing pyrotechnic products conduct. Defines the acceptable ranges of thermal effects parameters (gas flow rate, the flow regime (laminar, turbulent), exposure time), the exceeding of which leads to the destruction of pyrotechnic products and the release into the environment of high temperature products of combustion fire hazard.

Keywords: *pyrotechnic products, supersonic gas flow, thermal influence.*

Рецензент: д.т.н., проф. Суглобов В.В.

Стаття надійшла 20.08.2016 р.

УДК 658.788: 656.073.52

Хара М.В.

**ТЕХНОЛОГИИ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ЛОГИСТИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ
В ТРАНСПОРТНЫХ СИСТЕМАХ ПРЕДПРИЯТИЙ**

В статье рассмотрены технологии обеспечения логистических процессов в транспортных системах промпредприятий в условиях макроэкономической динамики, определяющих закономерности реализации логистической стратегии предприятия.

Ключевые слова: логистический подход, транспортные системы предприятий, фазы экономического цикла, материальные потоки, эксплуатационная готовность подвижного состава, коэффициент готовности парка вагонов.

Постановка проблемы. В сложившейся экономической ситуации промышленные предприятия вынуждены пересмотреть основные цели управленческой деятельности, использовать современный инструментарий, который обеспечит им эффективное функционирование. В этих условиях популярность приобретает логистический подход в формировании стратегии предприятия.

В долговременном периоде развития логистических металлопотоков отчетливо проявляется тенденция постоянного их роста синхронно росту экономики. Однако, в кратковременном периоде объем грузопереработки характеризуется волнами подъемов и спадов. Закономерности волнообразного характера макроэкономической динамики рассматриваются для решения проблемы настоящего исследования как условия делового цикла. Эти условия макроэкономической динамики определяют закономерности, по которым реализуются технологии обеспечения логистических процессов в транспортных системах промпредприятий.

Проблема заключается в управлении состоянием логистических процессов в транспортных системах промпредприятий, необходимости принятия решений в условиях цикловой динамики экономических процессов; в необходимости разработки адаптационных методов и механизмов управления логистическими процессами промпредприятий.

Анализ последних исследований и публикаций. Современные теоретические концепции экономического цикла рассматриваются в работах Н.Г. Мэнкью, Г.С. Вечканова, Г.Р. Вечкановой. Большой научный и практический вклад в разработку вопросов развития логистических процессов транспортных систем в изменяющихся условиях деятельности промышленных предприятий и их адаптации к рыночной среде внесли такие ученые, как В. Н. Жданов, С. Е. Гавришев, А. М. Макаров, С. Е. Трофимов. В области цикловой и системной адаптации известны работы В.К. Губенко, А.Н. Рахмангулова, С.Н. Корнилова, С.Е. Трофимова.

Результаты анализа позволяют говорить о том факте, что в данных научных работах вопросы достижения определенного уровня показателей работы транспортных систем промпредприятий рассматриваются, как правило, без учета экстремальных колебаний в работе промышленных предприятий и соответствующих требований к организации логистических процессов в фазах экономического цикла. На наш взгляд, это является тем ключевым моментом, который нуждается в новом теоретическом осмыслении.

Цель статьи – предложить предприятиям новую организацию логистических процессов при управлении материалопотоками промышленных предприятий путем

генерирования адаптационных решений к условиям полного экономического цикла.

Изложение основного материала. Применительно к логистическим процессам теории колебания уровня экономической активности – это учет периодов подъема, сменяющихся периодами спада производства. Результат динамики рыночной экономики от одной фазы до следующей такой же, т.е. от кризиса до кризиса. Это ключевой принцип в теории логистики, который дает новые и эффективные подходы для организации транспортной системы материальных потоков от поставщика к потребителю.

Анализ развития Мариупольского промышленного узла за период 1900–2012 гг. показывает, что динамика от кризиса к кризису происходила на протяжении исторического периода развития Мариупольского промышленного комплекса.

Тренд логистической кривой металлопотока $Q = \frac{1}{a + bc^t}$; его экономические циклы, с

одной стороны, отражают неравномерность в развитии экономики, а с другой – являются причиной и следствием экономического развития, что позволяет рассматривать кризис как постоянную динамическую характеристику, определяющую развитие логистических процессов в зависимости от времени (t) и факторов неравномерности (a, b, c) металлопотока (Q).

Анализ переменных логистической кривой во времени, механизм колебания спроса в экономическом цикле близки к закономерностям типичной кейнсианской динамической модели Самуэльсона–Хикса.

Механизм колебания спроса на транспортные услуги в фазах экономического цикла представлен на рис. 1.

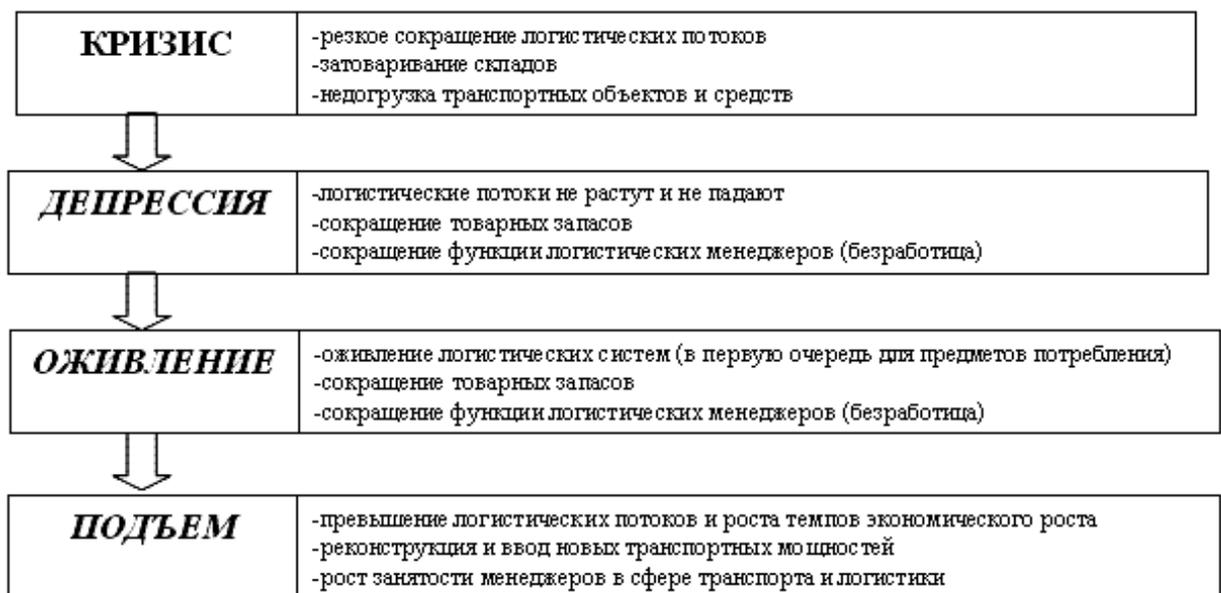


Рис. 1 – Механизм колебания спроса на транспортные услуги в фазах экономического цикла

В экономическом цикле важно выявить проциклические показатели – общий объем производства металла, загрузку и производственные мощности транспорта, обслуживающего металлопотоки. Эти показатели возрастают в фазе подъема и сокращаются в фазе спада.

Контрциклические показатели в логистической цепи металлопотока – это уровень безработицы – снижение занятых работников транспортной профессии, размеры производственных запасов ремонтных служб и избыток транспортных средств. Эти показатели во время подъема сокращаются, а во время спада, наоборот, увеличиваются.

Резкий переход от пика производственной работы к кризисным проявлениям дает основание для углубленного использования парадигмы интегральной логистики с тем, чтобы основой новой организации эффективной работы промышленных предприятий могло стать генерирование системы адаптации к экономической среде кризиса, депрессии, оживления и подъема.

Металлургические предприятия наиболее подвержены негативному влиянию условий и факторов внешней среды в силу того, что они являются основным звеном в длинной технологической цепи производства продуктов потребления. В сложившейся ситуации предприятия вынуждены пересмотреть основные цели управленческой деятельности, использовать современный инструментарий, который обеспечит им эффективное функционирование. В этих условиях популярность приобретает логистический подход в формировании стратегии предприятия.

Среди большого числа логистических стратегий, применяемых компаниями, можно выделить несколько базовых, наиболее широко используемых в бизнесе при построении логистической системы. Эти стратегии включают стремление быть высокоэффективным производителем с низкими производственными затратами и качеством продукции мирового уровня; развитие проектов выпуска новой продукции; применение современных производственных и информационных технологий; применение современных методов планирования и управления [1].

Серьезные кризисные явления в экономике последних лет принципиально меняют методы и формы промышленной логистики. Для выработки наиболее перспективных направлений развития, а также сохранения достигнутых результатов логистическая стратегия предприятия должна учитывать циклические закономерности экономического развития [2].

Учет этих закономерностей дает возможность предприятию с высокой вероятностью прогнозировать выработку наиболее перспективных направлений развития, выявлять критические точки развития, и, реагируя надлежащим образом, подготовиться к будущим переменам.

Основой новой организации обеспечения эффективной работы промышленных предприятий становится генерация адаптивных решений, удовлетворяющих промышленной логистике [3]. Наличие таких разработанных решений позволяет предприятиям быть заранее готовыми к волнам экономического кризиса, к проявлению объективных закономерностей макроэкономических процессов.

Стабильность обслуживания основного производства зависит от уровня эксплуатационной готовности подвижного состава, поскольку железнодорожным транспортом на металлургических предприятиях выполняется более 80% объема технологических перевозок грузов.

В процессе анализа эксплуатационной готовности подвижного состава на примере вагонов металлургического предприятия в изменяющихся условиях внешней среды выявлена тесная взаимосвязь с циклическими закономерностями экономического развития, а также закономерности, по которым реализуются технологии обеспечения готовности на метпредприятии [4].

Адаптивность всей системы, обеспечивающей надежную работу вагонов в транспортном потоке, в условиях экономических и деловых циклов в классическом смысле

Машинобудування і зварювальне виробництво

Режим доступу: <http://eir.pstu.edu/handle/123456789/2>

содержит четыре фазы: кризис, депрессия, оживление и подъем. Следует также учитывать разнообразие вариантов функций динамики материального потока на уровне микроэкономики предприятий, от которой зависит объем металлопотока в начале цикла (Q_H) и в конце цикла (Q_K): возможны ситуации, когда $Q_H = Q_K$, $Q_H > Q_K$ или $Q_H < Q_K$.

Требования уровня готовности парка вагонов к обслуживанию программы основных производств всегда высокие и не зависят от колебаний программы в фазах экономического цикла: «кризис–депрессия–оживление–подъем». Это условие обеспечения производственной программы выпуска продукции записывается следующим образом:

$$(K_2^{kp} = K_2^o = K_2^o = K_2^n) \geq K_2^{mp}, \quad (1)$$

где $K_2^{kp}; K_2^o; K_2^o; K_2^n$ – коэффициенты готовности фаз экономического цикла кризиса, депрессии, оживления, подъема;

K_2^{mp} – экономически обоснованный (требуемый) коэффициент готовности парка.

Количество вагонов в парке N зависит от производственной программы предприятия согласно грузопотоку каждой фазы экономического цикла, в котором находится предприятие

$$N = F(Q_{kp} \text{ или } Q_o \text{ или } Q_o \text{ или } Q_n), \quad (2)$$

В свою очередь, требуемый коэффициент готовности K_2^{mp} зависит от технического состояния и, соответственно, организации содержания вагонов в исправном состоянии

$$K_2^{mp} \geq \left(K_2^{(\tau)} = \frac{\bar{t}_o}{\bar{t}_o + t_g} \right), \quad (3)$$

где $K_2^{(\tau)}$ – текущее состояние коэффициента готовности парка;

\bar{t}_o – среднее время между отказом;

t_g – среднее время восстановления.

На основе сформулированных действующих внешних условий экономического цикла и реализации системного подхода, представлена формализованная запись задачи обеспечения готовности вагонов в виде совокупности принципиально необходимых компонент адаптационной системы с учетом готовности в фазах экономического цикла:

$$k_2^w = F[z; U_3; U_\Sigma] \geq k_2^w SAT_{mp}, \quad (4)$$

где $z = \{z\}$ – структура и совокупность целей;

$U_3 = \{K; D; O; P\}$ – экономический цикл (кризис, депрессия, оживление, подъем) как изменяющиеся условия, в которых функционируют вагонные парки;

$K_2^w SAT_{mp}$ – коэффициент готовности, удовлетворяющий требованиям лица, принимающего решение по уровню показателя готовности вагонов;

$U_\Sigma = \{u_1, u_2, \dots, u_n\}$ – совокупность рациональных конкретных решений.

Системная адаптация технических и организационных средств и условий к изменениям экономической среды, в которой функционируют вагонные парки, заключается в поиске и разработке новых принципов обеспечения готовности в условиях, когда в период кризиса вагонные парки продолжают сохранять первоначальный количественный состав, а объем перевозок резко падает. В этом случае коэффициент готовности увеличивается за счет

Машинобудування і зварювальне виробництво

Режим доступу: <http://eir.pstu.edu/handle/123456789/2>

отбора для работы вагонов с большими ресурсами и больших резервов ремонтного производства, т.е. коэффициент готовности растет при снижении затрат на его обеспечение $(k_2 \langle\langle + \rangle\rangle; 3 \langle\langle - \rangle\rangle)$.

В условиях депрессии коэффициент готовности поддерживается ремонтными процессами на уровне, удовлетворяющем заказчика, а затраты на замену вышедших из строя вагонов начинают расти $(\langle\langle k_2^{SAT} \rangle\rangle; 3 \langle\langle + \rangle\rangle)$.

Для условий фазы оживления соотношение коэффициента готовности и затрат выглядит как $(\langle\langle k_2^{SAT} \rangle\rangle; 3 \langle\langle + + \rangle\rangle)$, а для фазы подъема резко растут затраты $(\langle\langle k_2^{SAT} \rangle\rangle; 3 \langle\langle + + + \rangle\rangle)$.

Множество допустимых стратегий (решений) U может видоизменяться в процессе поступления текущей информации.

В этом случае, согласно концепции адаптивности, следует считать такую адаптивную стратегию $u^*(t)$ из множества $U(t, \tau)$, которая обеспечивает выполнение условия:

$$Y_t^{mp} = (u^*(t, \tau) \geq Y_t(u(t), \tau), u(t) \in U(t, \tau), \quad (5)$$

где t – время;

τ – упреждение прогноза.

Запись Y_t^{mp} означает, что показатель эффективности может меняться во времени t .

Исходя из вышеприведенного, формализованная запись задачи решения проблемы обеспечения готовности вагонов представлена следующим образом:

$$\left. \begin{aligned} & C_3 \Leftrightarrow \langle\langle \{K\}; \cup \{D\}; \cup \{O\}; \cup \{П\} \rangle\rangle; \\ & Y^{mp}(u) = (Y_t(G(u)); C(u); T(u)); u^* \in U^*; \\ & k_2(u^*) \geq K_2^{SAT}, u^* \in U; \\ & (U^* \times \tau) \rightarrow U^* \end{aligned} \right\}, \quad (6)$$

где \Leftrightarrow – равно по определению;

$C_3 \Leftrightarrow \langle\langle \{K\}; \cup \{D\}; \cup \{O\}; \cup \{П\} \rangle\rangle$ – действующие внешние условия экономического цикла, который объединяет в себе множество факторов воздействий: кризисных $\{K\}$, депрессивных $\{D\}$, оживления $\{O\}$ и подъема $\{П\}$;

$Y^{mp}(u) = (Y_t(G(u)), C(u), T(u)); u^* \in U^*$ – результат Y_t выбранной – u^* технологии повышения готовности парков вагонов промпредприятий из множества возможных U^* , зависящий от основных результирующих факторов – эффекта G , затраченных ресурсов C и времени T ;

$k_2(u^*) \geq k_2^{SAT}, u^* \in U^*$ – условие ЛПР;

$(U^* \times \tau) \rightarrow U^*$ – выбранные адаптационные решения на временном отрезке τ .

Опираясь на приведенный математический аппарат и используя данные статистических наблюдений, выполнена практическая оценка состояния подвижного состава [4]. Полученные результаты позволяют говорить о следующем: в высшей точке экономической стабильности предприятие имеет достаточный (в количественной характеристике) рабочий парк для освоения существующих грузопотоков. В период

економічного спада підприємство, маючи надлишковий парк, викликаний зниженням об'ємів оброблюваних грузопотоків, змушено знижувати кількість транспортних одиниць в робочому парку. В стадії економічної стабільності (депресія або пік) кількість транспортних одиниць робочого парку постійно, що викликано стабільно низьким або стабільно високим рівнем грузоперевозок. Пропонується стратегія дозволяє планувати адаптаційні рішення і оцінювати витрати і ефективність їх реалізації в логістических процесах підприємства.

ВИВОДИ

1. В умовах циклічних коливань економічної кон'юнктури підприємства необхідно чітке визначення фази циклу. Оскільки готовність швидко реагувати на змінюваність ринку – одне з основних конкурентних переваг підприємства.

2. Застосування логістическої стратегії при управлінні матеріалопотоками на промислових підприємствах дозволить забезпечити стабільне функціонування і ефективне розвиток промислових підприємств. Тому основою нової організації забезпечення ефективної роботи промислових підприємств повинна бути генерація системи заходів циклічної адаптації до змін зовнішніх і внутрішніх умов середовища, в яких вони функціонують.

Список використаних джерел

1. *Вечканов Г.С.* Макроекономіка / *Г.С. Вечканов, Г.Р. Вечканова.* – СПб.: Пітер, 2008. – 230 с.
2. *Губенко В.К.* Адаптація транспорту металопотоків до змінюваного економічного середовища: монографія / *В.К. Губенко, І.В. Николаєнко, А.В. Тарасенко;* НАН України, Ін-т економіки промисловості. – Донецьк: Вебер, 2009. – 235 с.
3. *Губенко В.К.* Методи розрахунку експлуатаційної готовності вагонних парків промислових підприємств / *В.К. Губенко, М.В. Хара, А.А. Лямзин* // Захист металургійних машин від поломок: зб. наук. пр. – Маріуполь: ПДТУ. – 2010. – Вип. 13. – С.124-131.
4. *Хара М.В.* Забезпечення готовності вагонних парків металевого підприємства до умов економічного циклу / Ринок послуг комплексних транспортних систем та прикладні проблеми логістики: 11 Міжнародна науково-практична конференція (Київ, жовтень 2009р.). – К. 2009. – С. 128–133.

Хара М.В.

ТЕХНОЛОГІЇ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ЛОГІСТИЧНИХ ПРОЦЕСІВ В ТРАНСПОРТНИХ СИСТЕМАХ ПІДПРИЄМСТВ

У статті розглянуто умови макроекономічної динаміки, що визначають закономірності, по яких реалізуються технології забезпечення логістических процесів в транспортних системах підприємств.

Ключові слова: логістический підхід, транспортні системи підприємств, фази економічного циклу, матеріальні потоки, експлуатаційна готовність рухомого складу, коефіцієнт готовності парку вагонів.

**TECHNOLOGIES OF PROVIDING OF LOGISTIC PROCESS
ARE IN TRANSPORT SYSTEMS OF ENTERPRISES**

The terms of macroeconomic dynamics, determining conformities to the law, on which technologies of providing of logistic processes will be realized in transport systems of, industrial enterprises, are considered in the article.

Keywords: *logistic approach, transport systems of enterprises, phase of economic cycle, material streams, operating readiness of rolling stock, coefficient of readiness of park of carriages.*

Рецензент: д.т.н., проф. Парунакян В.Э.
Статья поступила 30.09.2015.

УДК 621.74.06:621.78.019.84

Ищенко А.А., Какарека Д.Л.

**АНАЛИЗ СУЩЕСТВУЮЩИХ СПОСОБОВ ЗАЩИТЫ ОТ
КОРОЗИОННЫХ ПОВРЕЖДЕНИЙ МЕТАЛОКОНСТРУКЦИЙ
МАШИНЫ НЕПРЕРЫВНОГО ЛИТЬЯ ЗАГОТОВОК**

Одной из проблем машины непрерывного литья заготовок является коррозионное повреждение металлоконструкции. В связи с этим металлоконструкция МНЛЗ нуждаются в нанесении различных защитных покрытий. В тоже время способы защиты и восстановления деталей металлургического оборудования и несущих металлоконструкции бункера, брони МНЛЗ и арматуры от комплексного воздействия коррозионного износа рассмотрены недостаточно.

Ключевые слова: *оборудование, износ, способы восстановления.*

Постановка проблемы.

Несущие элементы металлургического оборудования работают в экстремальных условиях эксплуатации в ходе технологических процессов, и поэтому к ним предъявляют самые жесткие требования по состоянию металлоконструкций. В связи с этим, несущие элементы оборудования нуждаются в нанесении различных защитных или восстанавливающих покрытий, когда возможен выход из строя несущих элементов оборудования по причине их износа, что не позволяет дальнейшую их эксплуатацию. Поэтому необходимо проведение своевременных мероприятий по защите этих конструкций от коррозионного износа, что является одной из проблем, имеющих большое значение для металлургического производства. Поэтому существует необходимость в анализе существующих способов защиты металлоконструкций, в частности, машин непрерывного литья заготовок.

Анализ последних исследований и публикаций.

Одной из проблем эксплуатации металлоконструкций металлургического оборудования является подверженность их коррозионному износу. Это обусловлено их работой в агрессивных условиях, таких как повышенная влажность, повышенные и пониженные температуры, повышенное содержание кислот и солей в среде и др. В литературе [1-8] описано множество способов оценки степени коррозионного износа и наиболее эффективным и производительным из них является ультразвуковой эхо - метод.

Машинобудування і зварювальне виробництво

Режим доступу: <http://eir.pstu.edu/handle/123456789/2>

Использование механических толщиномеров можно рекомендовать только в случае отсутствия или невозможности применения ультразвуковых толщиномеров (например, при низких температурах воздуха).

В то же время, способы защиты и восстановления деталей металлургического оборудования, несущих металлоконструкций, металлоконструкций бункера, брони МНЛЗ и арматуры от комплексного воздействия коррозионного износа рассмотрены недостаточно. Также в литературе отсутствуют сведения о существующих способах защиты и восстановления деталей металлургического оборудования от воздействия коррозионного износа.

Цель (задачи) исследования.

Целью настоящей работы являются анализ и систематизация процесса коррозионного износа несущих элементов и защиты их от вредных факторов.

Основной материал исследования.

Коррозионный износ - это износ, который возникает в результате химической или электрохимической реакции материала с окружающей средой. Износ характеризуется величиной потери сечения или несущей способности в результате коррозии металлоконструкций. Детали и элементы металлоконструкций или оборудования, подвергающиеся коррозионному износу, работают с агрессивной средой или вблизи ее. На рисунках 1, 2, 3 приведены различные части металлоконструкций МНЛЗ, подверженные износу.



Рис. 1 – Результат коррозионного износа опоры поворотного стенда МНЛЗ



Рис. 2 – Результат коррозионного износа брони ручьев МНЛЗ

Машинобудування і зварювальне виробництво

Режим доступу: <http://eir.pstu.edu/handle/123456789/2>



Рис. 3 – Результат корозійного износа металоконструкції МНЛЗ (перекрыття)

К основным методам антикоррозионной защиты относятся: легирование металлов, термообработка, ингибирование окружающей металл среды, деаэрация среды, водоподготовка, защитные покрытия, создание микроклимата и защитной атмосферы. Для разработки программы наиболее эффективной защиты металлоконструкций необходимо руководствоваться несколькими факторами.

Первый фактор - выбор материала конструкции. Стойкость против коррозии разных по химическому составу строительных сталей различна. Это различие доходит до двух раз. Наименее стойки кипящие стали. Несколько более стойки (до 10-12%) спокойные и термообработанные стали. При одинаковых сопоставимых характеристиках среды, наибольшей стойкостью против атмосферной коррозии обладают многокомпонентные легированные стали 15ХСНД, 10ХСНД, 10Г2С1Д, содержащие добавки хрома, никеля и меди, а так же кремнисто-марганцовистые стали 15ГС,14Г2 и 10 Г2С. Стойкость стали в морских районах существенно повышает фосфор в сочетании с медью. В последние время широкое использование получили модификации стали 15ХСНД, так как они обладают хорошей сопротивляемостью образованию и развитию трещин, высокой стойкостью против усталостных разрушений. При этом критическая температура перехода стали в хрупкое состояние ниже -65°C . Сталь 10ХСНД по механическим показателям близка к стали 15ХСНД, но по коррозионной стойкости выше. Применение атмосферно-стойких сталей 10ХСНД, 15ХСНД связано с повышенной пластичностью их при низких температурах. Их использование рационально, несмотря на повышенную стоимость, с учетом повышенной коррозионной стойкости.

Второй фактор - эксплуатационная среда. Одна и та же сталь корродирует различно в зависимости от характера воздушной среды, степени её загрязненности газами, запылённости и влажности воздуха. Влажностный режим определяется как технологическими особенностями производства (паровоздушная среда предприятия, объектов химических производств и др.), так и географическим положением района.

Третий фактор - напряжения (деформации). Если в области упругой работы стали заметного влияния напряжений на коррозию не отмечается, то в области пластических деформаций сталь корродирует более интенсивно (различие до 20%). Поэтому участки стали на сгибах (гнутые профили) и зоны пластического деформирования должны подвергаться дополнительной защите.

Четвертый фактор - температура эксплуатации. Температура эксплуатации среды может заметно сказываться на интенсивности коррозионного износа. Нагрев конструкции до 200-300°C практически разрушает защитные покрытия, поэтому требуются специальные меры защиты: экранирование, применение футеровок, бетонирование. В интервале температур от 0 до +40°C, скорость коррозии практически постоянна, а при температуре - 20°C и ниже отмечается заметное замедление коррозионного процесса.

Пятый фактор зависит от кинетики коррозионного процесса. Наибольшая интенсивность коррозии проявляется первые 6-9 месяцев, затем наступает стабилизация процесса, что можно объяснить проявлением, в определенной степени, защитной функции оксидной плёнки, образующейся на поверхности. При этом скорости коррозии могут отличаться до 10 раз. Практический вывод: недопустим длительный перерыв в выполнении работ по грунтовке, консервации конструкций после их изготовления. Общее правило: принятие слитных сечений, без щелей, зазоров и участков, где могли бы задерживаться влага и пыль.

Для защиты оборудования от коррозионного износа в отечественной и зарубежной противоизносной технике применяется большой ассортимент различных износостойких материалов, в том числе и полимерных [9].

Протекторный и катодный метод защиты практически применимы лишь для емкостей, резервуаров для воды. Протекторная защита связана с применением цинка (или его сплавов) с периодической сменой протекторных пластин (являющихся анодом), которые крепятся к корпусу резервуара. Принцип защиты основан на образовании гальванических пар, где сталь является катодом. Разность потенциалов катода и анода 0,4-0,6 В. Для повышения электропроводности воды и увеличения радиуса действия протектора в воду добавляется поваренная соль до получения раствора в 0,03 %. Один из методов гальванизации положен в основу защиты трубчатых опор морских эстакад и глубоководных оснований. Образование защитной плёнки на поверхности, постоянно смачиваемой морской водой - электролитом, происходит при приложении электрического тока к защищаемым конструкциям с помощью передвижного генератора. Недостатком данного метода является невозможность использования его в газоопасных местах, поскольку в данном методе на металлоконструкцию подается электрический ток.

Защитные покрытия с ингибирующими добавками в отдельных случаях могут дать значительный эффект по сроку сохранения защитных свойств лакокрасочного покрытия. В грунт ХС-068 вводятся органические ингибиторы - хинолин, ацетофенон, придин в количестве 3-9% (от массы сухого остатка). Добавки ингибиторов позволяют уменьшить количество покрывных слоев. Недостатком данного метода являются повышенные требования, предъявляемые к ингибиторам; должно быть их соответствие санитарно-гигиеническим нормам, а также пожаро- и взрывобезопасность, что в местах повышенных температур значительно затруднено.

Водно-дисперсные полимер-фосфатные покрытия «Фанкор-1», «Фанкор-4С» применяются в слабоагрессивных средах взамен перхлорвиниловых и глифталевых покрытий. Их можно использовать как для окончательного окрашивания стальных и алюминиевых конструкций, так и в качестве грунтовки под различные лакокрасочные материалы. Краску можно наносить пневматическим и безвоздушным распылением, окунанием, струйным обливом и валиком, что позволяет использовать ее также при реконструкции и усилении металлических конструкций. Покрытия «Фанкор» имеют высокую скорость и небольшую температуру отверждения, что сокращает технологический цикл окрашивания и обеспечивает существенную экономию электроэнергии (при комнатной температуре сушка происходит в течение 0,5-1,5 часа, камерная сушка при температуре 60-

Машинобудування і зварювальне виробництво

Режим доступу: <http://eir.pstu.edu/handle/123456789/2>

80°C - за 5-15 минут). Краска «Фанкор» полностью лишена токсичных, пожароопасных органических растворителей с резкими раздражающими запахами, что присуще цинко-фосфатным покрытиям. Краска сохраняет свои характеристики при эксплуатации в различных климатических зонах с температурой от -60 до +80°C без ограничения влажности. Недостатком данного метода защиты является невозможность использования в условиях повышенных температур, которые образуются в процессе работы линии МНЛЗ.

Полимерные материалы и композиции, такие как Флекскоат компании Diamant – эластичный двухкомпонентный покрывающий материал, предназначены для защиты от коррозии цистерн, резервуаров, трубопроводов, задвижек и т.п. Полиуретановые композиции нового поколения «Протект», «Праймер», «Экобит», «Суперфлекс» могут использоваться на предприятиях машиностроения и энергетической промышленности, в строительстве (многоэтажных парковках, гаражах, автомастерских, самолетных ангарах, торговых и складских помещениях). Долговечность покрытия 10-15 лет. Недостатком данного метода является невозможность использования его при температурах выше +200°C, а также отсутствие возможности контролировать образование трещин и деформации на металлоконструкциях.

Алгоритм оценки степени коррозионного износа оборудования и металлоконструкций приведен на рис. 4, где видно, какими способами необходимо пользоваться при определении коррозионного износа.

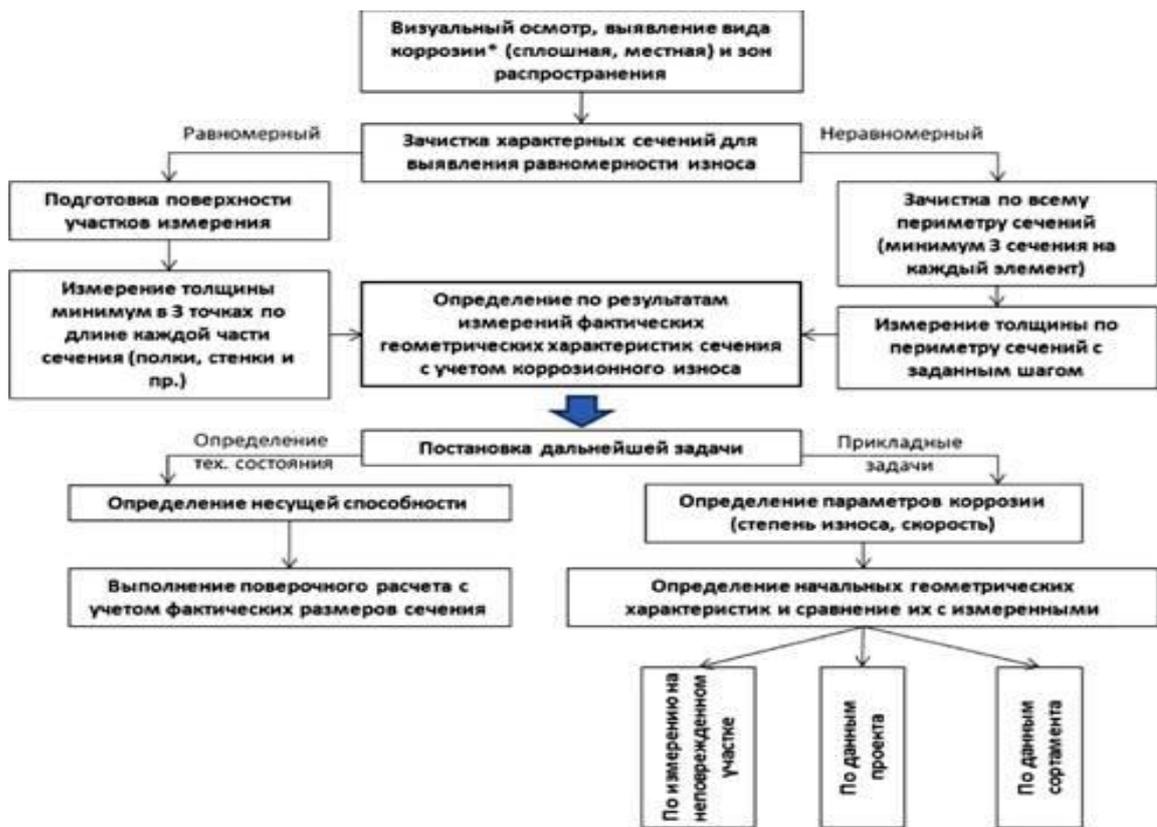


Рис. 4 – Алгоритм оценки коррозионного износа

Проведённый анализ позволяет констатировать, что защиту металлоконструкций МНЛЗ целесообразно и экономически оправданно выполнять полимерными защитными

покрытиями, которые не требуют для своего использования специального оборудования и могут быть применены для покрытия больших площадей металлоконструкций.

При этом алгоритм их применения выглядит следующим образом:

- зачистка поверхностей от краски или коррозионных наростов;
- обезжиривание поверхности;
- просушка поверхности;
- нанесение полимерно-защитного покрытия при помощи кисти или шпателя.

Как видно из этого перечня, работы по защите не будут занимать много времени, и могут быть выполнены в период плановой остановки оборудования на текущий ремонт.

ВЫВОДЫ

В результате проведенного анализа систематизированы основные существующие методы исследований коррозионного износа. Установлено, что существующие материалы для защитных покрытий не позволяют комплексно решить проблему защиты от коррозионного износа, и при этом имеют достаточно высокую стоимость, что не позволяет применять их для покрытий значительной площади металлоконструкций МНЛЗ и другого оборудования. Поэтому разработка с помощью полимерных материалов способа защиты и уменьшения воздействия агрессивной среды на металлоконструкцию МНЛЗ является актуальной задачей.

Список использованных источников

1. *Кормильцин Г.С.* Основы диагностики и ремонта химического оборудования / *Г.С. Кормильцин.* – Тамбов.: Издательство ТГТУ, 2008.- 120с.
2. *Ермаков В.И.* Ремонт и монтаж химического оборудования / *В.И. Ермаков, В.С. Шейн.* – Л.: Химия, 1981.- 367с.
3. *Кормильцин Г.С.* Основы монтажа и ремонта технологического оборудования / *Г.С. Кормильцин, О.О. Иванов.* – Тамбов. Издательство ТГТУ, 2001.- 87с.
4. *Кормильцин Г.С.* Диагностика и ремонт технологического оборудования / *Г.С. Кормильцин, Р.А. Шубин, А.М. Воробьев.* – Тамбов.: Издательство ТГТУ, 2009.- 30с.
5. *Ермолов И.Н.* Методы и средства неразрушающего контроля качества / *И.Н. Ермолов, Ю.Я. Останин.* – М.: Высшая школа, 1988.- 368с.
6. Неразрушающий контроль и диагностика / под ред. *В.В. Клюева.* – М.: Машиностроение, 2005.- 656с.
7. Приборы для неразрушающего контроля материалов и изделий: справочник. В 2 кн. / под ред. *Клюева В.В.* – М.: Машиностроение, 1986.
8. *Ищенко А.А.* Технологические основы восстановления промышленного оборудования современными полимерными материалами. – Мариуполь: ПГТУ, 2007. – 250с.
9. *Артюх В.Г.* Основы защиты металлургических машин от поломок: монография / *В.Г. Артюх.* – Мариуполь, Изд. группа «Университет», 2015.- 288с.

Ищенко А.О., Какарека Д.Л.

АНАЛІЗ ІСНУЮЧИХ СПОСОБІВ ЗАХИСТУ ВІД КОРОЗІЙНИХ ПОШКОДЖЕНЬ МЕТАЛОКОНСТРУКЦІЙ МАШИНИ БЕЗПЕРЕРВНОГО ЛИТТЯ ЗАГОТОВОК

Однією з проблем машини безперервного лиття заготовок є корозійне пошкодження металоко­н­ст­рук­ції. У зв'язку з цим металоко­н­ст­рук­ція МБЛЗ потребує нанесенні різних

Машинобудування і зварювальне виробництво

Режим доступу: <http://eir.pstu.edu/handle/123456789/2>

захисних покриттів. У той же час способи захисту і відновлення деталей металургійного устаткування і несучих металоконструкції бункера, броні МНЛЗ і арматури від комплексного впливу корозійного зносу розглянуті недостатньо.

Ключові слова: обладнання, знос, способи відновлення.

Ishenko A.A. , Kakareka D.L.

ANALYSIS OF EXISTING WAY TO PROTECT AGAINST CORROSION DAMAGE STEEL CONTINUOUS CASTING MACHINE

One of the problems of continuous casting machine is corrosive damage of metal framework. Due to this one metal framework of continuous casting machine is needed to apply various protective coatings. Meanwhile ways of protecting and restoring the details of metallurgical equipment and bearing metal framework of the hopper, continuous casting machine armor and armature against complex impact of corrosive wear are considered insufficient. Comparative analysis of the characteristics of the materials and methods of protecting metal frameworks of metallurgical equipment. Determination of methods of corrosion wear and their classification, as well as existing methods of protecting metal frameworks .

Keywords: equipment, wear, methods of recovery.

Рецензент: д.т.н., проф. Суглобов В.В.

Статья поступила 1.09.2016 р.

УДК 621.791.927.55

Самотугин С.С., Гагарин В.А., Мазур В.А.

ИССЛЕДОВАНИЕ ИЗНОСОСТОЙКОСТИ УПРОЧНЕННЫХ СЛОЕВ ГРАДИЕНТНОГО СТРОЕНИЯ НА СТАЛЬНЫХ ИЗДЕЛИЯХ

Исследовалось влияние геометрии упрочненных плазменным источником нагрева зон на износостойкость стальных изделий. Установлены оптимальные параметры угла наклона и шага упрочненных зон.

Ключевые слова: плазменная закалка, износостойкость, абразивный износ, градиентные покрытия.

Одной из наиболее актуальных задач современного производства является повышение срока службы деталей. Основной причиной их выхода из строя является преждевременный износ контактирующих поверхностей. Известно, что на работоспособность контактирующих поверхностей влияют такие свойства как твердость, шероховатость, способность металла сохранять геометрические размеры в пределах допуска, т.е. износостойкость. Особенно важно решение этой проблемы для тяжелонагруженных деталей металлургии и машиностроения.

Одним из наиболее перспективных методов повышения износостойкости деталей машин является поверхностное упрочнение с использованием высококонцентрированных

источников нагрева, из которых наиболее доступными, экономичными и универсальными являются плазменные источники.

Вместе с тем, внедрение технологий поверхностного упрочнения для многих типов тяжело нагруженных деталей (например, направляющие станков, крановые колеса, штампы и т.п.) сдерживается опасностью охрупчивания поверхностного закаленного слоя. В этой связи, в последнее время интенсивно развиваются новейшие технологии поверхностного упрочнения материалов, позволяющие достигать значительного повышения износостойкости без снижения трещиностойкости (а в ряде случаев – и с увеличением). Этого можно добиться за счет использования принципа композиционности рабочего слоя: либо за счет нанесения слоистых покрытий (наплавкой, напылением, осаждением, поверхностным легированием) [1, 2], либо за счет нанесения структурно-неоднородного (градиентного или дискретного) поверхностного слоя [3-6]. В обоих случаях создается чередование твердых и пластичных участков или слоев. Первое направление перспективно в тех случаях, когда поверхностное упрочнение выполняется после их восстановления наплавкой или напылением. Второе направление является более универсальным, т.к. может быть применено как для восстанавливаемых деталей, так и для неизношенных [7].

Цель настоящей работы – исследование влияния геометрии градиентных упрочненных покрытий полученных с применением плазменного источника нагрева на износостойкость сталей 90ХФ и 45.

Методика исследований. Упрочнение проводилось при нагреве плазмотроном косвенного действия ППУ-1, разработанным в Приазовском государственном техническом университете. В качестве источника тока использовали источник тока для плазменной сварки-резки УПС-804. В качестве плазмообразующего газа использовали аргон.

Для получения максимальной твердости закалки и при этом не допущения оплавления поверхности режимы обработки составили: скорость перемещения плазмотрона 50 см/мин, ток дуги 350А, расход газа – 11л/мин. При таких режимах ширина упрочненной зоны полученной за один проход составляет 10мм, глубина – до 4мм.

Выбор технологии плазменной обработки при нанесении упрочненного слоя дискретного строения зависит от формы упрочняемой детали. Дискретное строение рабочей поверхности детали при упрочнении деталей как плоской, так и цилиндрической формы, может быть получено с нанесением закаленных участков с шагом превышающим ширину зоны упрочнения (рис.1), которые образуют чередование твердых и мягких участков, перекрестной насечки, когда локальные мягкие участки имеют ограниченную конфигурацию квадрата (при перпендикулярном перекрестном движении плазмотрона) или ромба (при неперпендикулярном перекрестном движении). Для получения упрочненного слоя дискретного строения на деталях круглой и плоской формы упрочненные зоны могут наноситься под разными углами к направлению изнашивания, перекрестными зонами, а также в виде единичных зон разной формы.

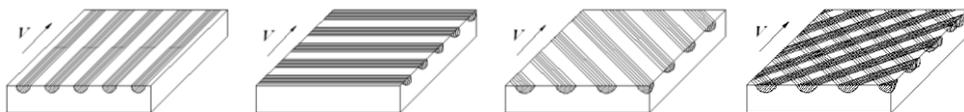


Рис. 1 – Способы нанесения упрочненных слоев градиентного строения с использованием плазменного источника нагрева (V – направление изнашивания)

При нанесении упрочненных зон под углом к направлению изнашивания, изменяется фактический путь контакта сопряженных поверхностей и частиц износа по упрочненным (b') и неупрочненным (f') участкам (рис.2). Так при перпендикулярном к направлению изнашивания расположении зон это значение равно ширине зоны, а с увеличением угла будет увеличиваться. При параллельном направлении изнашивания и упрочненных зон значения b' и f' равны длине дорожек либо непрерывны (бесконечны) в случае цилиндрических деталей. Следовательно, при увеличении угла ω более 0° значения b' и f' будут увеличиваться, а увеличение участка контакта с упрочненной зоной в сочетании с зонами неупрочненными должно дать положительный эффект. При расположении упрочненных зон параллельно направлению изнашивания ($\omega=0^\circ$) будет снижаться эффективность дискретной обработки.

Оптимальные значения расположения упрочненных зон относительно направления изнашивания находятся экспериментально для различных сплавов и условий работы деталей.

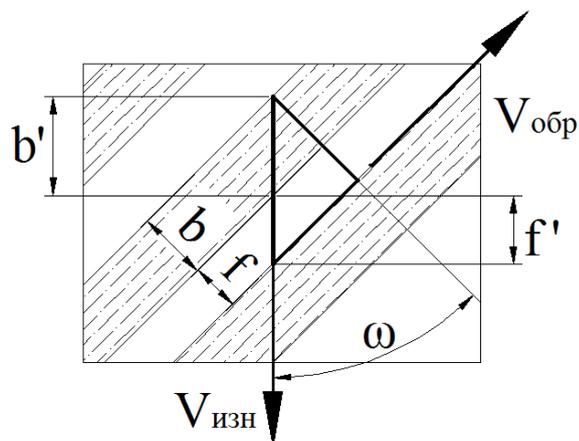


Рис. 2 – Геометрия упрочненных слоев градиентного строения

Для определения оптимальной геометрии упрочненных зон проводились испытания на изнашивание образцов с различным расположением упрочненных зон.

Испытания проводили на образцах размерами 40x50x15 мм из сталей 90ХФ и 45. На первом этапе на образцах наносились упрочненные зоны с разным шагом. Затем упрочненные зоны наносились под разными углами по отношению к направлению изнашивания.

Первая группа образцов подвергалась плазменному упрочнению в исходном состоянии. На образцы наносились упрочненные зоны, расположенные относительно направления изнашивания под углами 0° , 45° , 90° . В каждой группе образцов с разным направлением обработки эти зоны накладывались на различном расстоянии (0, 3, 5, 7, 9 мм).

Вторая группа образцов подвергалась плазменному упрочнению после объемной закалки (охлаждение в воде) по стандартным для данной марки стали режимам. Эксперимент проводился на тех же режимах и с той же геометрией, что и для неупрочненных предварительно.

Испытания на износостойкость проводились на специальном стенде для испытаний по методу изнашивания с абразивной прослойкой (рис. 3). При данном методе к вращающемуся барабану 2 под заданной нагрузкой P_2 , определяемой весом груза P_1 , прижимается своей плоской стороной образец 1. Между барабаном и образцом из бункера засыпается абразив (кварцевый или морской песок, корунд). Абразивные частицы протираются по поверхности

образца, обеспечивая его изнашивание, и, следовательно, потерю в весе. Коэффициент износостойкости определялся по формуле:

$$k_i = \frac{\Delta m_i}{\Delta m_э}, \quad (1)$$

где Δm_i – потеря массы образца,

$\Delta m_э$ – потеря массы эталона (в качестве эталона принимается неупрочненный образец в исходном состоянии).

Образцы взвешивались до и после испытаний на электронных весах с точностью до 0,01г

Результаты исследований. При нанесении упрочненных зон параллельно направлению изнашивания ($\omega=0^\circ$) максимальная износостойкость наблюдается при ширине неупрочненных участков 5-6мм (рис. 4). Линия, отражающая зависимость износостойкости от зазора между упрочненными зонами близка к параболе, но при этом несколько изломана. При различной износостойкости сталей 90ХФ и 45 кривые подобны, что подтверждает закономерность полученных в ходе испытаний данных. Неравномерность линий, возможно, вызвана особенностями метода испытаний: в зоне контакта образца и контр-тела движение абразива сложно точно спрогнозировать.

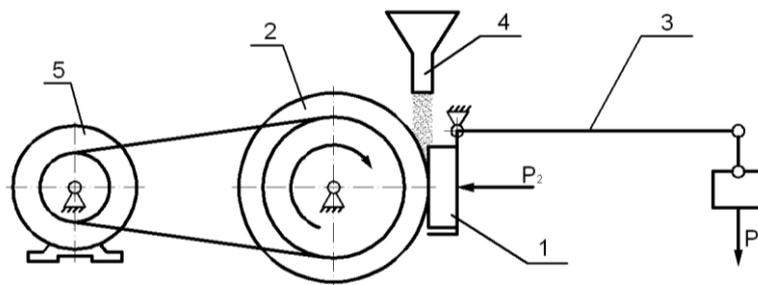


Рис. 3 – Схема испытаний на абразивную износостойкость по методу

Подобная же конфигурация кривых на графике отражающем зависимость износостойкости от величины зазоров между упрочненными зонами при углах наклона упрочненных зон к направлению изнашивания $\omega=45^\circ$ и $\omega=90^\circ$ (рис. 5, 6).

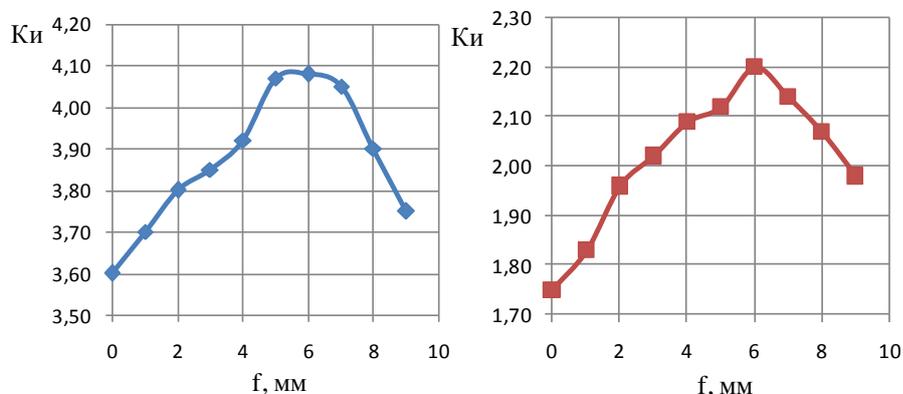


Рис. 4 – График зависимости износостойкости стали 90ХФ и стали 45 от величины зазора между упрочненными плазменной обработкой дорожками, при угле нанесения дорожек относительно направления изнашивания 0°

Машинобудування і зварювальне виробництво

Режим доступу: <http://eir.pstu.edu/handle/123456789/2>

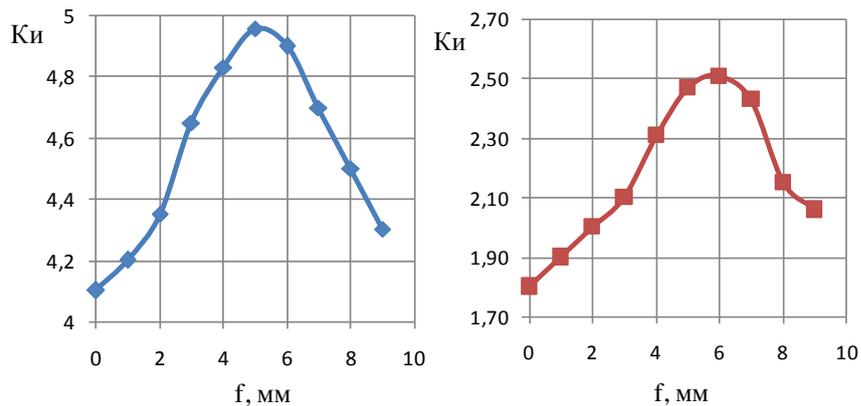


Рис. 5 – График зависимости износостойкости стали 90ХФ и стали 45 от величины зазора между упрочненными плазменной обработкой дорожками, при угле нанесения дорожек относительно направления изнашивания 45°

Сравнение данных износостойкости при равной ширине зазора между упрочненными зонами показывает, что максимальная износостойкость может быть достигнута при угле наклона зон к направлению

Образцы, которые подвергались плазменной обработке после объемной, показали значительное увеличение износостойкости. Подобно образцам, которые не были предварительно упрочнены, сохраняется тенденция к повышению износостойкости при наличии определенных зазоров между зонами поверхностного упрочнения (рис. 7). Структура материала после объемной закалки представляет собой мартенсит с небольшой частью остаточного аустенита. После плазменного поверхностного упрочнения с нанесением упрочненных зон с зазором часть поверхностного слоя получает повторную закалку. изнашивания под углом $\omega=45^\circ$.

В переходной зоне образуется структура отпуска с меньшей твердостью и большей пластичностью. Такие участки будут служить в качестве мягкой демпфирующей прослойки между основным металлом и зонами поверхностной закалки. Износостойкость детали повышается как по сравнению с объемной, так и с поверхностной закалкой. Такие поверхности получают как повышенную стойкость к изнашиванию, так и более высокую контактную прочность, а также стойкость к образованию и распространению трещин.

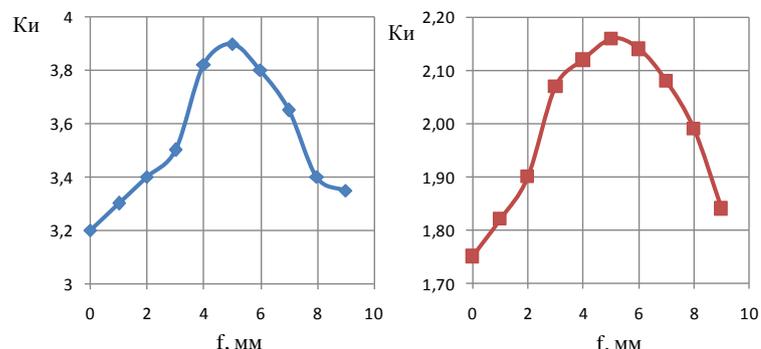


Рис. 6 – График зависимости износостойкости стали 90ХФ и стали 45 от величины зазора между упрочненными плазменной обработкой дорожками, при угле нанесения дорожек относительно направления изнашивания 90°

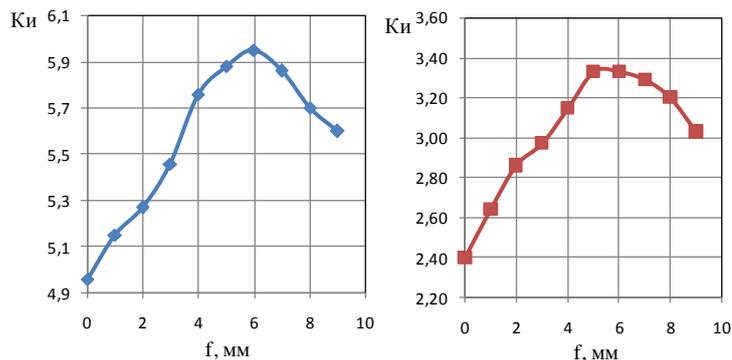


Рис. 7 – График зависимости износостойкости стали 90ХФ и стали 45 от величины зазора между упрочненными плазменной обработкой дорожками (предварительная обработка – объемная закалка), при угле нанесения дорожек относительно направления изнашивания 45°

Обсуждение результатов

Используя полученные данные оптимальных параметров плазменной поверхностной обработки (зазор между упрочненными зонами и угол нанесения упрочненной зоны), была произведена обработка образцов с нанесением упрочненных зон при перпендикулярном перекрестном движении плазмотрона. Обработка производилась с шагом 6мм при ширине упрочненной зоны 10мм и под углом 45° к направлению изнашивания. Испытания на износостойкость показали, что коэффициент износостойкости составил около 4.9, что значительно превышает значения полученные при других способах обработки.

Стоит заметить, что обработка с нанесением упрочненных зон при перпендикулярном перекрестном движении плазмотрона требует больших затрат времени и энергоресурсов. Следует подбирать режимы и геометрию нанесения зон при таком методе индивидуально и применять при повышенных требованиях к детали.

Увеличение износостойкости образцов с зазором между упрочненными дорожками может объясняться позитивным эффектом чередования твердых и мягких участков. После этапа приработки, когда мягкие участки быстро истираются, они уже не подвержены силовому контакту с абразивом и контр-телом. Часть абразива может свободно проходить в этих участках, соответственно, избегая контакта с опорными участками, обладающими максимальной твердостью. В случае работы детали в условиях смазки, данные мягкие участки могут служить в качестве масляных карманов и, соответственно, по ним будет уходить большая часть абразива.

Еще одним положительным фактором, обеспечивающим увеличение износостойкости упрочненных по данному методу образцов, является уменьшение термического влияния на уже имеющуюся дорожку при наложении следующей. Так при упрочнении без зазора имеет место возникновение участков отпуска на границе между зонами, и даже снижение твердости на всей обработанной зоне.

ВЫВОДЫ

Таким образом, выполненные исследования позволяют сформировать технологические основы нанесения упрочненных слоев градиентного строения с высокой абразивной износостойкостью. Определен оптимальный угол между направлением изнашивания и

упрочненними зонами, а також шаг между зонами. Данная технология может быть оптимизирована в зависимости от упрочняемого материала и условий его эксплуатации.

Упрочненные по данной технологии детали, в процессе приработки образуют микрорельеф благоприятствующий повышенной износостойкости за счет формирования в процессе приработки масляных карманов.

Список использованных источников

1. Лещинский Л.К. Слоистые наплавленные и упрочненные композиции / Л.К. Лещинский, С.С. Самотугин. – Мариуполь: Новый мир. – 2005. -392с.
2. Лучка М.В. Износостойкие диффузионно-легированные покрытия / М.В. Лучка, М.В. Киндрачук, П.И. Мельник. – К.: Техника. – 1993. – 143с.
3. Ляшенко Б.А. Упрочняющие покрытия дискретной структуры/ Б.А. Ляшенко, А.Я. Мовшович, А.И. Долматов // Технологические системы. -2001.- №4.- С. 17-25.
4. Антонюк В.С. Выбор параметров покрытий с дискретной структурой при упрочнении поверхности режущего инструмента / В.С. Антонюк, Б.А. Ляшенко, Е.Б. Сорока // Упрочняющие технологии и покрытия. -2005. - №3. – С 49-50.
5. Милевский С.В. Контактная дискретная термообработка / С.В. Милевский // Инженерия поверхности и реновация изделий. – Материалы 6-й междунар. научно- техн. конф. – Ялта, Киев. – 2006. – С.164 – 166.
6. Подгайский М.С. Термическое армирование проката / М.С. Подгайский // Металловедение и термическая обработка металлов.- 1992. - №10. –С.20-23.
7. Технологические основы нанесения упрочняющих покрытий дискретного строения на изделия из чугуна/ С.С. Самотугин, Б.А. Ляшенко., Ю.С. Самотугина, В.А. Гагарин // Научные проблемы современной металлургии: сборник научных трудов, посвященных 100-летию со дня рожд. проф. К.Н. Соколова. – Мариуполь, 2007.– С. 161-172.

Самотугін С.С., Гагарін В.А., Мазур В.А.

ДОСЛІДЖЕННЯ ЗНОСОСТІЙКОСТІ ЗМІЦНЕНИХ ШАРІВ ГРАДІЄНТНОЇ БУДОВИ НА СТАЛЕВИХ ВИРОБАХ

Досліджувався вплив геометрії зміцнених плазмовим джерелом нагрівання зон на зносостійкість сталевих виробів. Встановлено оптимальні параметри кута нахилу і кроку зміцнених зон.

Ключові слова: *плазмовий гарт, зносостійкість, абразивний знос, градієнтні покриття*

Samotugin S.S., Naharin V.A., Mazur V.A.

STUDY WEAR RESISTANCE OF HARDENED LAYERS OF GRADIENT STRUCTURE ON STEEL PRODUCTS

The effect of the geometry of hardening plasma source heating zones on the wear resistance of steel products are investigated . The optimal parameters of the angle of pitch and hardened zones are identified.

Keywords: *plasma hardening, wear resistance, abrasive wear, gradient coating.*

Рецензент: д.т.н., проф. Суглобов В.В.

Статья поступила 26.04.16

Машинобудування і зварювальне виробництво

Режим доступу: <http://eir.pstu.edu/handle/123456789/2>

УДК 669.02.09: 621.791.75

Лоза А.В., Чигарев В.В., Шишкин В.В., Рассохин Д.А.

**УПРОЧНЕНИЕ ЛИТОГО КОРПУСА ЧАШИ ШЛАКОВОЗА РЁБРАМИ
ЖЕСТКОСТИ, ЗАКРЕПЛЕННЫМИ СВАРКОЙ**

В работе выполнен анализ условий работы чаши доменного шлаковоза и основных методов уменьшения деформаций её корпуса. Обоснована целесообразность применения метода сварки для уменьшения деформации корпуса чаши. Использование рёбер жесткости позволяет уменьшить образование дефектов, увеличить надежность и ресурс работы доменного шлаковоза.

Ключевые слова: шлаковоз, чаша, надежность, деформация, термические нагрузки, сварка

Применение шлаковозов на металлургических предприятиях связано с проблемой обеспечения надёжности их работы. Из-за повышенной опасности при перевозке расплавленных материалов возможные аварийные ситуации должны быть исключены. В ходе эксплуатации высокие температурные и механические нагрузки приводят к возникновению остаточных деформаций чаши в районе опорного кольца шлаковоза (т.н. «утяжка»), что снижает его надежность и уменьшает ресурс работы. Возникновение остаточных деформаций обусловлено нагревом стального корпуса литой чаши выше температур 560-580 °С. При этих температурах прочностные характеристики углеродистой стали заметно снижаются, что приводит к изменению геометрии чаши (рис.1) и ухудшению условий её разгрузки.

Применяемые литые рёбра жесткости на чашах существующих конструкций выполняют свою функцию недостаточно эффективно. Во второй половине срока эксплуатации чаши прогибы стенки могут достигать 150-200 мм относительно первоначального профиля. Деформации корпуса такой величины приводят к затруднениям при удалении твёрдой фазы шлака из чаши. Вынужденные мероприятия технологического персонала по удалению коржевых остатков при опорожнении шлаковоза связаны с ударными нагрузками. Это уменьшает ресурс работы не только чаши, но и привода шлаковоза.



Рис.1 – Деформация чаши шлаковоза (а) и трещины в месте наибольших прогибов стенки корпуса (б)

Машинобудування і зварювальне виробництво
Режим доступу: <http://eir.pstu.edu/handle/123456789/2>

В месте наибольших прогибов корпуса развиваются трещины по следующим причинам. Литые изделия изначально не предназначены для деформаций при эксплуатации и обладают недостаточным запасом пластичности. Технология производства таких изделий обуславливает наличие в них целого ряда дефектов литья, которые снижают механические свойства металла корпуса чаш. Кроме того, в сталях при температурах выше 500 °С развивается тепловая хрупкость [1, 2], что ухудшает их механические характеристики. Вышеперечисленные факторы облегчают возникновение трещин в корпусе чаш, снижают их прочность и надежность работы шлаковоза в целом.

Для решения указанной проблемы было выполнено моделирование состояния корпуса литой чаши во время эксплуатации с применением МКЭ по известной методике [3]. Задача решалась на основе численного анализа напряженно-деформированного состояния чаши для упругой модели. В расчете использованы механические свойства литой стали 30Л, без термообработки [4]. Принято допущение о равномерном распределении свойств материала в литом корпусе (механические и теплофизические характеристики зависят от температуры). Влияние дефектов литья при моделировании не рассматривалось. Анализ полученных результатов показывает, что наибольшие по величине деформации локализованы в районе опорного кольца в тех местах, где тепловой поток при охлаждении корпуса экранируется опорными элементами конструкции шлаковоза (рис.2).

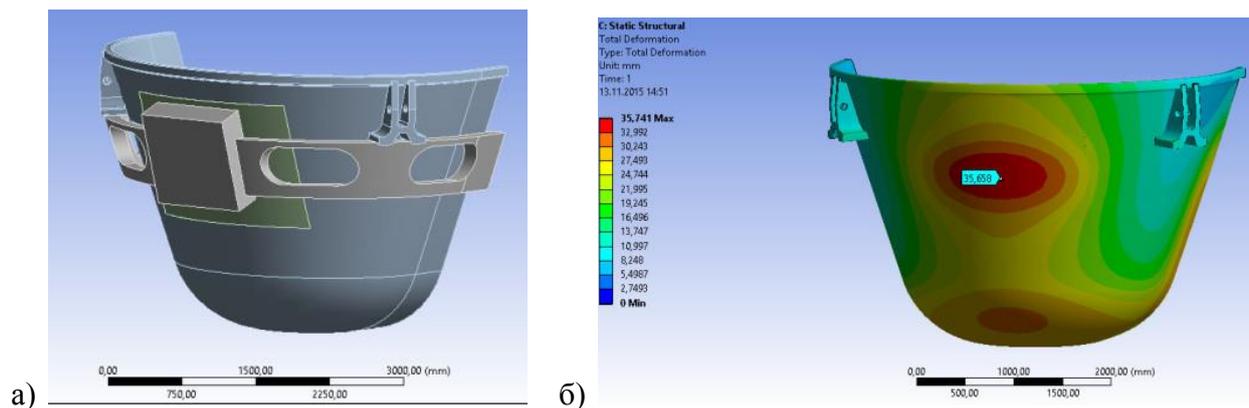


Рис.2 – Модель чаши шлаковоза с опорным кольцом (а) и схема деформаций стенки при неравномерном температурном нагружении (б)

Максимальная величина прогибов определяется величиной температурных градиентов в стенке.

Результаты моделирования показывают, что наибольшие прогибы чаши должны находиться в зоне поворотных цапф опорного кольца. Деформации в основном обусловлены градиентами температур по толщине стенки чаши. Неравномерность температурных полей сохраняется даже в момент технологических пауз перед началом очередного цикла термического нагружения. Это является одной из причин постепенного накопления незначительных пластических деформаций в корпусе чаш.

Анализ существующих методов уменьшения деформации чаш, показывает, что дорогостоящие варианты технологий упрочнения их корпуса (общее и местное легирование, применение многослойных стенок и др.) не находят промышленного применения в современном производстве. В то же время, подробное рассмотрение конструкций существующих шлаковозов и причин их выхода из строя показывает, что ресурсы увеличения прочности и жесткости корпуса чаши ещё полностью не исчерпаны. Известно применение предварительно напряженных устройств [5] для снижения нагрузок в

металлургических машинах. Дополнительные конструктивные элементы могут быть использованы также с целью уменьшения деформаций. В качестве таких элементов в шлаковозе могут выступать дополнительные ребра жесткости. Деформация корпуса с прогибом стенки в радиальном направлении к вертикальной оси шлаковоза может быть уменьшена за счет нагружения конструктивных элементов, работающих на растяжение в противоположном направлении. Дополнительные ребра жесткости должны быть установлены максимально близко к области наибольших деформаций и обладать заданным уровнем прочности. Литые ребра не могут выполнять такую функцию надёжно, т.к. внутренние литейные дефекты снижают прочностные свойства металла, что особенно важно в месте крепления ребра к корпусу.

Наиболее рациональным было бы применение рёбер жесткости из катаных заготовок, закрепленных на корпусе чаши методами сварки. Схема нагружения ребер в направлениях, противоположных утяжке, изменяет характер силового воздействия на корпус чаши при эксплуатации, что снижает её деформацию в несколько раз.



Рис. 3 – Фрагмент чаши с дополнительными рёбрами жесткости

В промышленных условиях опробовано техническое решение в виде дополнительных ребер жесткости, выполненных из катаных заготовок стали марки Ст.3сп. Рёбра закрепляют на корпусе чаши методом сварки выше зоны опорного кольца. Расчет сварных швов выполняют исходя из геометрических размеров рёбер и их количества. Форма ребер конструктивно выполнена таким образом, чтобы они контактировали с опорным кольцом и работали на растяжение, препятствуя прогибу стенки. Технология упрочнения литой чаши сварными элементами с гарантированным уровнем прочности проверена экспериментально, обладает простотой и надёжностью и может быть реализована как на стадии изготовления, так и во время промежуточных ремонтов чаш шлаковозов (рис.3).

Результаты исследования могут быть использованы при совершенствовании конструкции чаш шлаковозов с целью увеличения их срока эксплуатации.

ВЫВОДЫ

1. Деформации чаш доменных шлаковозов возникают из-за недостаточной прочности стального корпуса при температурах 560-580 °С и выше. Для обеспечения надёжной работы

Машинобудування і зварювальне виробництво

Режим доступу: <http://eir.pstu.edu/handle/123456789/2>

при длительной эксплуатации шлаковозов, требуется уменьшить образование остаточных деформаций в виде утяжки.

2. Различные варианты литейных технологий, предлагаемые для снижения деформаций и увеличения прочности корпуса чаш, в настоящий период являются неприменимыми в промышленном производстве.

3. Уменьшить проблему образования утяжки корпуса чаши возможно за счет применения дополнительных ребер жесткости. Для этого необходимо использовать стальные заготовки с гарантированным уровнем прочности, закрепив их на корпусе чаши при помощи сварки.

Список использованных источников

1. О причинах трещинообразования в корпусах кислородных конверторов / В. М. Горицкий [и др.] // *Металлургическая и горнорудная промышленность*. – 1987. – № 1. – С. 57-60.

2. Горицкий В. М. Склонность к тепловой хрупкости сталей Ст.Зсп, 14Г2 и 15ХСНД с повышенным содержанием мышьяка / В. М. Горицкий, Г. Р. Шнейдеров // *Металловедение и термическая обработка металлов*. – 1984. – № 11. – С. 29-32.

3. Исследование деформаций в концевых слябах при непрерывной разливке стали / А. В. Лоза, В. В. Чигарев, Д. А. Рассохин, В. В. Шишкин // *Изв. вузов. Черная металлургия*. – 2015. - Т. 58, № 3. – С. 197–202.

4. *Марочник сталей и сплавов* / под ред. В. Г. Сорокина. – М. : Машиностроение, 1989. – 639 с.

5. Артюх В. Г. Нагрузки и перегрузки в металлургических машинах: монография / В. Г. Артюх. – Мариуполь: Изд-во ПГТУ, 2008. – 246 с.

Лоза А.В., Чигаров В.В., Шишкин В.В., Рассохин Д.О.

**ЗМІЦНЕННЯ ЛИТОГО КОРПУСУ ЧАШИ ШЛАКОВОЗУ РЕБРАМИ
ЖОРСТКОСТІ, ЩО ЗАКРІПЛЕНІ ЗВАРКОЮ**

В роботі виконаний аналіз умов роботи чаши доменного шлаковоозу та основних методів зменшення деформацій її корпусу. Обґрунтована доцільність застосування методу зварки для зменшення деформацій корпусу чаши. Використання ребер жорсткості дозволяє зменшити виникнення дефектів, підвищити надійність та ресурс роботи доменного шлаковоозу.

Ключові слова: *шлаковоз, чаша, надійність, деформація, термічні напруги, зварка*

A.V. Loza , V.V. Chigarev, V.V. Shishkin, D.A. Rassokhin

**STRENGTHENING OF A CAST BODY OF A SLAG-CARRIER'S CAP WITH RIBS,
FIXED BY WELDING**

The article contains the analysis of operation conditions of casings of blast-furnace shop slag cars and the principal methods of improving their strength. The application of welding for reducing the deformation values of slag-carriers casing was well substantiated. Introduction of ribs allows to lessen formation of defects and improve the reliability and service lives of blast-furnace slag carriers.

Keywords: *slag cars, casing, reliability, deformation, thermal loads, welding.*

Рецензент: д-р техн. наук, проф., ГБУЗ «ПГТУ» В.И. Щетинина

Статья поступила 01.12.2015

Машинобудування і зварювальне виробництво

Режим доступу: <http://eir.pstu.edu/handle/123456789/2>

УДК 621.923

Андилахай В.А.

УСЛОВИЯ ПОВЫШЕНИЯ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ ШЛИФОВАНИЯ КРУПНОГАБАРИТНЫХ ДЕТАЛЕЙ ИЗ ТРУДНООБРАБАТЫВАЕМЫХ МАТЕРИАЛОВ

Проведены исследования и разработана эффективная технология круглого наружного шлифования поверхностей с износостойкими наплавленными материалами крупногабаритных деталей. Показано, что применение схемы абразивного круглого шлифования с заданным натягом в технологической системе по сравнению с обычным круглым многопроходным продольным шлифованием по жесткой схеме позволяет обеспечить требуемые параметры точности и производительности обработки.

Ключевые слова: *круглое наружное шлифование, производительность обработки, рабочие контактные поверхности, износостойкая наплавленная поверхность.*

Процесс круглого шлифования наплавленных поверхностей крупногабаритных деталей характеризуется высокой трудоемкостью, являющейся следствием низкой производительности процесса обработки. Основными причинами низкой эффективности обработки являются высокая прочность обрабатываемого материала, высокая твердость, неравномерность снимаемого припуска, а также большая площадь обрабатываемых поверхностей. Производственный опыт показал, что применение алмазного электроэрозионного шлифования также оказалось малоэффективным вследствие интенсивного засаливания алмазного круга и потери его режущей способности, при этом компоновка токарно-карусельного станка не позволяет применять технологическую жидкость, поскольку на таких станках не предусмотрена защита шпиндельного узла от попадания влаги. В связи с этим, можно предположить возможность повышения производительности шлифования за счет снижения силовой напряженности процесса шлифования благодаря выбору и обоснованию прогрессивной схемы шлифования, а также выбору рациональных режимов резания.

Механическая обработка высокотвердых наплавленных материалов рассматривалась в ряде публикаций [1-3]. Например, в работе [1] приведены результаты экспериментальных исследований лезвийной и абразивной обработки алмазными инструментами материалов, наплавленных на рабочие поверхности изделий металлургического назначения. Работы [2, 3] посвящены исследованию процесса шлифования алмазными кругами на металлических связках материалов большой твердости. Отмечается, что в этом случае трудоемкость обработки значительно выше в связи с высокой силовой напряженностью процесса, интенсивным износом и засаливанием алмазного круга. Это указывает на необходимость изыскания новых технологических возможностей эффективной обработки шлифованием наплавленных материалов высокой твердости, которые используются для упрочнения контактных поверхностей крупногабаритных изделий металлургического назначения.

Цель работы – повышение производительности обработки при круглом шлифовании контактных поверхностей с износостойкими наплавленными материалами конусов и чаш засыпных аппаратов доменных печей на основе научно обоснованного выбора оптимальной схемы и параметров режимов шлифования.

На основе подхода к обработке с учетом технологической наследственности погрешность формы обрабатываемой поверхности при круглом шлифовании по жесткой схеме определится следующим образом (рис. 1):

Машинобудування і зварювальне виробництво

Режим доступу: <http://eir.pstu.edu/handle/123456789/2>

$$\delta y = y_1 - y_2, \quad (1)$$

где y_1, y_2 – упругие перемещения, образующиеся при обработке участков поверхности с наибольшим и наименьшим снимаемыми припусками, м.

В соответствии с результатами, полученными в работе [4], уменьшение погрешности обработки можно выразить через коэффициент уточнения с каждым новым проходом круга

$$y_1 - y_2 = y_{уст} \cdot (\varepsilon^{-n_2} - \varepsilon^{-n_1}),$$

где n_1, n_2 – проходы круга;

$y_{уст} = C_1 \cdot t$ – упругое перемещение при установившемся процессе

шлифования, м; $C_1 = \frac{s_{прод} \cdot \sigma \cdot \pi \cdot d_{дет}}{V_{кр} \cdot c \cdot k_{ш}}$ – безразмерный параметр;

$\varepsilon = 1 + 1/C_1$ – уточнение с каждым новым проходом круга;

t – глубина шлифования, м;

$s_{прод}$ – продольная подача, м/с;

$V_{кр}$ – скорость резания (шлифования), м/с;

σ – условное напряжение резания, Н/м² (энергоемкость обработки, Дж/м³);

$k_{ш}$ – коэффициент шлифования, представляющий собой отношение главной составляющей силы резания к радиальной;

c – жесткость технологической системы, Н/м;

$d_{дет}$ – диаметр детали, м.

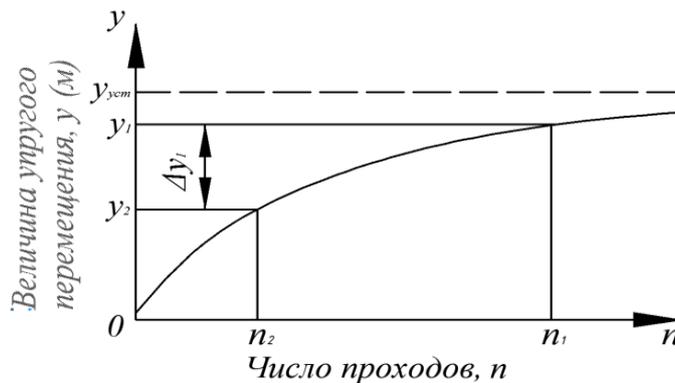


Рис. 1 – Зависимость величины упругого перемещения y от количества проходов n

Согласно зависимости (1), уменьшить $\delta_y = y_1 - y_2 = y_{уст} \cdot (\varepsilon^{-n_2} - \varepsilon^{-n_1})$ можно уменьшением величины $y_{уст}$ и увеличением ε и n . Уменьшение $y_{уст} = C_1 \cdot t$ и увеличение ε связано с уменьшением C_1 путем уменьшения параметров $\sigma, s_{прод}, d_{дет}$ и увеличения $c, k_{ш}$ и $V_{кр}$. Увеличение количества проходов круга n предполагает обеспечение установившегося во времени процесса шлифования, при котором y_1 и $y_2 \rightarrow y_{уст}$ (см. рис. 1). Однако это возможно при относительно больших значениях уточнения $\varepsilon > 1$. В противном случае получим копирование обрабатываемой поверхности по проходам круга, что имеет место в

действующем процессе круглого шлифования. Поэтому необходимо увеличивать ε за счет уменьшения C_1 .

На рис. 2 приведены рассчитанные по преобразованной зависимости (1)

$$\delta y = \frac{\delta Z}{(\varepsilon - 1)} \cdot \varepsilon^{-n_2} \cdot \frac{(1 - \varepsilon^{-n_0})}{n_0} \quad (2)$$

значения δy (где $n_0 = n_1 - n_2 = \delta Z / t$; $\delta Z = Z_1 - Z_2$; Z_1, Z_2 – наибольшее и наименьшее значения снимаемого припуска, м). Как видно, уменьшить δy можно увеличением n_0 и ε , что достигается уменьшением параметров \dagger , $s_{\text{прод}}$. Однако, это снижает производительность обработки $G = \pi \cdot d_{\text{дет}} \cdot s_{\text{прод}} \cdot t$ и неэффективно.

Более эффективно применение шлифования с заданным натягом в технологической системе, равным величине $y_{\text{уст}}$ (см. рис. 1). Это позволит увеличить G за счет исключения переходного процесса в технологической системе и обеспечения равенства фактической и номинальной глубин шлифования:

$$G = \frac{V_{\text{кр}} \cdot y_{\text{уст}} \cdot c \cdot K_{\text{ш}}}{\sigma} \quad (3)$$

В условиях круглого шлифования с низкой жесткостью технологической системы c основными путями увеличения уточнения ε являются уменьшение параметров

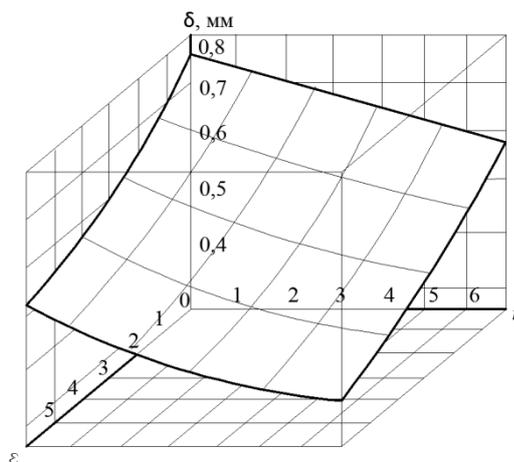


Рис. 2 – Зависимость упругого смещения δy от числа проходов n и уточнения геометрической формы с каждым новым проходом круга ε

$d_{\text{дет}}$, $s_{\text{прод}}$, $\sigma / K_{\text{ш}}$ и увеличение $V_{\text{кр}}$. Однако, поскольку диаметры обрабатываемых конусов и чаш относительно велики и составляют 2000–5000 мм, уточнение принимает малые значения $\varepsilon \rightarrow 1$, что существенно снижает производительность обработки. В этих условиях увеличить реально ε можно уменьшением $s_{\text{прод}}$ и $\sigma / K_{\text{ш}}$. С целью поддержания производительности обработки $G = \pi \cdot d_{\text{дет}} \cdot s_{\text{прод}} \cdot t$ на заданном уровне, очевидно, с уменьшением $s_{\text{прод}}$ необходимо глубину шлифования \dagger увеличивать, применяя глубинное шлифование. Для количественной оценки уточнения ε необходимо знать параметры σ , $K_{\text{ш}}$ и c , которые можно установить экспериментальным путем. Поэтому первоначально были проведены

экспериментальные исследования процесса шлифования на круглошлифовальном станке мод. 3A151 в лабораторных условиях. Обработывали цилиндрический образец диаметром 80 мм с упрочненным слоем, полученным наплавкой порошковой лентой 500X40HC2 РЦ-Б-С твердостью HRC 58–59. Обработку производили по схеме круглого наружного глубинного продольного шлифования абразивным кругом (14A 50 СТ3 5 К ПП 35 м/с 350×40×127 А) с частотой вращения круга $n_{кр} = 1400$ об/мин. Опытным путем установлено, что жесткость технологической системы круглошлифовального станка мод. 3A151 в текущий период эксплуатации составляет $c = 11 \cdot 10^6$ Н/м. Кроме того, определяли фактическую глубину шлифования $t_{ф}$, производительность обработки G , радиальную P_y , составляющую силы резания. Для определения жесткости технологической системы c измеряли смещение заготовки и смещение шпинделя с помощью индикатора часового типа под действием заданной силы, приложенной через динамометр. Фактическую глубину шлифования $t_{ф}$ определяли как половину разности диаметров образца до и после обработки. Для определения эффективной мощности шлифования $N_{эф}$ измеряли мощность электродвигателя шлифовального круга при холостом ходе и при шлифовании. По разности этих значений определяли эффективную мощность шлифования $N_{эф}$. Результаты экспериментальных исследований влияния номинальной глубины и величины продольной подачи на производительность шлифования (рис. 3), на отношение номинальной и фактической глубин шлифования (рис. 4), а также на величину радиальной составляющей силы резания (рис. 5) представлены ниже.

Как установлено, параметры шлифования изменяются в следующих пределах (табл. 1):

Таблица 1

Пределы параметров шлифования

№ пп	Параметр	Минимальное значение	Максимальное значение
1.	$t/t_{ф}$	1,331	1,464
2.	C_1	0,331	0,464
3.	ε	6,46	8,33
4.	G , мм ³ /с	20,3	110,9
5.	G_1 , мм ³ /мин	1218	6654
6.	$N_{эф}$	1230	2490

В связи с достаточно высокой жесткостью технологической системы ($c = 11 \cdot 10^6$ Н/м), отношение номинальной и фактической глубин шлифования $t/t_{ф}$ небольшое, что указывает на возможность осуществления высокопроизводительного процесса абразивного круглого наружного шлифования труднообрабатываемого наплавленного материала твердостью HRC 58–59.

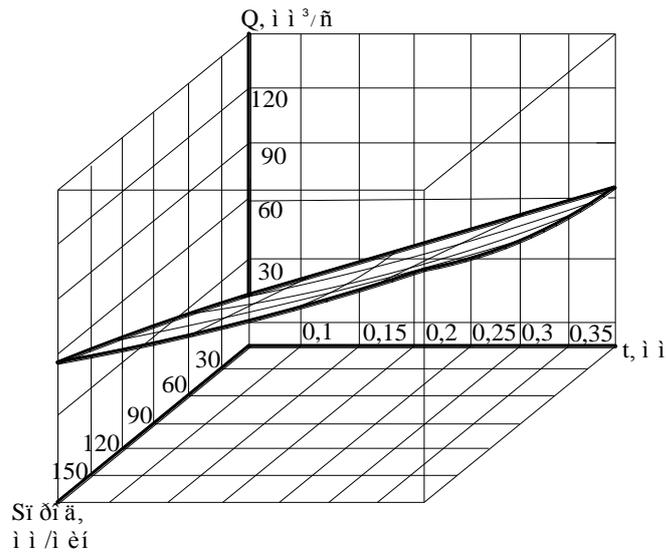


Рис. 3 – Зависимость производительности шлифования G от глубины шлифования t и продольной подачи $S_{\text{прод}}$

При этом уточнение ε принимает относительно большие значения, что позволяет решить задачу устранения погрешности формы обрабатываемой поверхности (обусловленной неравномерностью снимаемого припуска) при высокопроизводительном предварительном шлифовании. Следовательно, применяя схему круглого наружного глубинного шлифования наплавленного материала, можно обеспечить высокопроизводительный сьем значительных припусков и существенно повысить эффективность обработки.

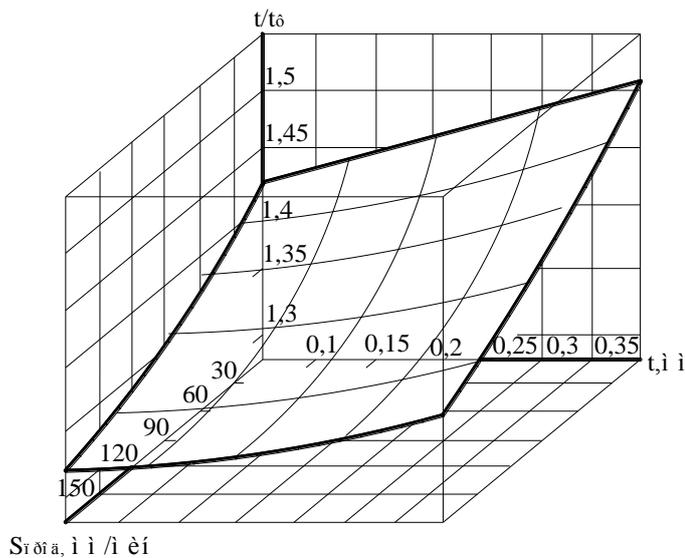


Рис. 4 – Зависимость отношения номинальной глубины шлифования к фактической t/t_{ϕ} от номинальной глубины шлифования t и продольной подачи $S_{\text{прод}}$

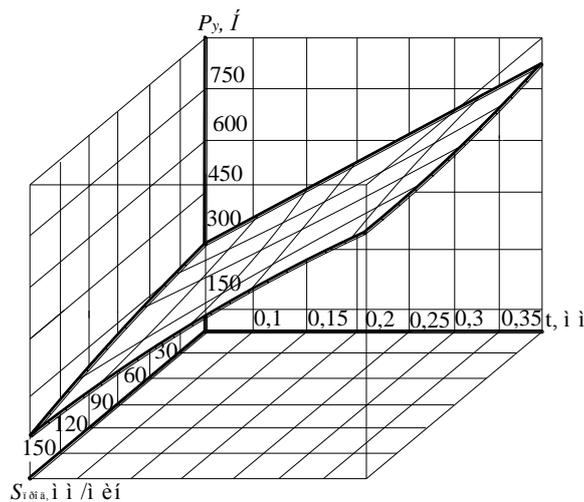


Рис. 5 – Зависимость радиальной составляющей силы резания P_y от номинальной глубины шлифования i и продольной подачи $S_{\text{прод}}$

Вместе с тем, при шлифовании наплавленных контактных поверхностей конусов и чаш в производственных условиях (на станках токарной группы вместо круглошлифовальных станков) добиться таких высоких результатов сложно. Связано это с низкой жесткостью технологической системы, которая, как установлено, равна $3,42 \cdot 10^6$ Н/м, что в 4 раза ниже жесткости круглошлифовального станка мод. 3А151, на котором проводились экспериментальные исследования в лабораторных условиях. При этом $d_{\text{дет}} = 5000$ мм больше в 60 раз. В этом случае при $s_{\text{прод}} = 142$ мм/мин расчетное значение уточнения весьма малое $\varepsilon = 1,032$ ($t/t_{\phi} = 32,25$; $C_1 = 31,25$).

В условиях многопроходного шлифования ($s_{\text{прод}} = 500 - 800$ мм/мин) значения t/t_{ϕ} многократно увеличиваются, а уточнение $\varepsilon \rightarrow 1$. Собственно, этим и объясняется чрезвычайно низкая эффективность (низкая производительность обработки) действующего технологического процесса круглого шлифования наплавленных контактных поверхностей конусов и чаш на токарно-карусельном станке. При этом съем припуска производится за весьма большое количество продольных ходов круга, а исправления погрешности формы обрабатываемой поверхности (обусловленной неравномерностью снимаемого припуска) при предварительном шлифовании практически не происходит. По сути, в процессе шлифования имеет место копирование неровностей обрабатываемой поверхности, что требует последующего длительного выхаживания с целью обеспечения заданной точности формы обрабатываемой поверхности. Естественно, это требует изыскания новых путей повышения эффективности обработки.

Как установлено в ходе экспериментальных исследований, проведенных в лабораторных условиях, процесс шлифования эффективно протекает при глубинах шлифования $0,1 \dots 0,25$ мм, т.е. при достаточно высокой производительности обработки. Чтобы реализовать данный режим шлифования на токарно-карусельном станке в производственных условиях, необходимо в технологической системе создать натяг $y_{\text{уст}} = C_1 \cdot t$, равный $31,25 \cdot (0,1 \dots 0,25 \text{ мм}) = 3,125 \dots 7,8$ мм. Очевидно, это практически неосуществимо. Реально можно реализовать натяг $y_{\text{уст}}$ в пределах до $0,5$ мм, что соответствует $t = y_{\text{уст}} / C_1 = 0,5 \text{ мм} / 31,25 = 0,016$ мм. При меньшем значении $y_{\text{уст}}$ глубина

шлифования l будет еще меньше. Например, при $y_{уст} = 0,15$ мм – глубина шлифования $t = y_{уст} / C_1 = 0,0048$ мм.

Для эффективного ведения процесса обработки при низкой жесткости технологической системы (т.е. когда $\varepsilon \rightarrow 1$) целесообразно использовать схему круглого шлифования с заданным натягом в технологической системе и небольшой скоростью продольной подачи. Практической реализацией данной схемы может быть глубинное продольное шлифование с небольшой долевой продольной подачей $S_\delta \ll 1$ и увеличенной скоростью детали. С целью оценки достоверности теоретических решений проведены экспериментальные исследования параметров круглого наружного шлифования наплавленной контактной поверхности конуса диаметром $d_{оem} = 5000$ мм на токарно-карусельном станке в производственных условиях. Обработывали наплавочный материал ПЛ-Нп 500Х40НС2РЦ-Б-С (ГОСТ 26467-85). Обработку производили без применения охлаждающей жидкости. Использовали абразивный круг на бакелитовой связке ВФ, усиленной стекловолокном – ПП 500×63×203 14А 22 СТ2 ВФ.

В работе исследовали абразивные круги зернистости: 16 – 18 (по FEPA размер зерна 1,6 – 1,2 мм соответственно). В этом случае расчетное (исходное) значение $C_1 = 8,13$.

Экспериментально установлено, что припуск величиной 5 мм при $l = 0,15$ мм был удален за 140 продольных ходов круга (время одного продольного хода равно 7 мин). Номинальное количество продольных ходов круга равно $n = Z / t = 33$. Следовательно, $t_\phi = 0,036$ мм. Тогда $t / t_\phi = 4,1$; $C_1 = t / t_\phi - 1 = 3,1$. Как видно, данное значение C_1 в 2,6 раза меньше исходного (расчетного) значения $C_1 = t / t_\phi - 1 = 8,13$.

Аналогичным образом определили значения t_ϕ , t / t_ϕ и C_1 для других значений l (см. табл. 1). Как видно, во всех случаях значения безразмерного параметра C_1 меньше исходного расчетного значения 8,13. С увеличением номинальной глубины шлифования l фактическая глубина шлифования t_ϕ увеличивается, а безразмерный параметр C_1 , наоборот, уменьшается, принимая значения, до 4-х раз меньше расчетного значения 8,13. Это указывает на увеличение до 3-х раз фактической глубины шлифования t_ϕ и, соответственно, производительности обработки, что обусловлено уменьшением энергоемкости обработки σ в связи с работой абразивного круга в режиме интенсивного износа и самозатачивания. Таким образом, экспериментально установлено, что при шлифовании по данной схеме достигается требуемый эффект обработки. Причем он достигается как за счет применения шлифования с заданным натягом в технологической системе, так и за счет применения крупнозернистого абразивного круга, обладающего высокой режущей способностью. Производительность обработки при этом принимает значения, превышающие значения производительности обработки, полученные в лабораторных условиях на круглошлифовальном станке повышенной жесткости. Это обусловлено тем, что в лабораторных условиях энергоемкость обработки σ была выше в связи с более высокой твердостью применяемого абразивного круга.

ВЫВОДЫ

На основе проведенных исследований предложена схема абразивного круглого шлифования с заданным натягом в технологической системе, которая по сравнению с

обычным круглым многопроходным продольным шлифованием по жесткой схеме позволяет обеспечить требуемое качество обработки и увеличить производительность. В результате применения крупнозернистого абразивного круга на бакелитовой связке все резервы, связанные с уменьшением энергоемкости обработки и повышением производительности шлифования, исчерпаны. Основным резервом эффективного применения данной схемы шлифования в производственных условиях является увеличение жесткости технологической системы.

Список использованных источников

1. Рыжов Э.В. Технологическое обеспечение качества деталей с покрытиями / Э.В. Рыжов, С.А. Клименко, О.Г. Гуцаленко. – К.: Наук. думка, 1994. – 180с.
2. Новиков Г.В. Повышение эффективности алмазно-искрового шлифования деталей с высокопрочными покрытиями: дис. ... канд. техн. наук: 05.02.08 / Новиков Григорий Васильевич. – Харьков, 1989. – 210с.
3. Рыбицкий В.А. Опыт внедрения алмазного шлифования деталей с защитными покрытиями / В.А. Рыбицкий. – К.: Общество "Знание" УССР, 1987. – 23с.
4. Новиков Ф.В. Обоснование оптимальной кинематической схемы круглого шлифования по критериям качества и производительности обработки / Ф.В. Новиков, В.А. Анділахай // Вісник Харківського національного технічного університету сільського господарства імені Петра Василенка. – 2010. – Вип. 106. – С. 52-67.

Анділахай В. А.

**УМОВИ ПІДВИЩЕННЯ ПРОДУКТИВНОСТІ ШЛІФУВАННЯ
ВЕЛИКОГАБАРИТНИХ ДЕТАЛЕЙ З ВАЖКООБРОБЛЮВАНИХ МАТЕРІАЛІВ**

Проведено дослідження й розроблена ефективна технологія круглого зовнішнього шліфування поверхонь зі зносостійкими наплавленими матеріалами великогабаритних деталей. Показано, що застосування схеми абразивного круглого шліфування із заданим натягом в технологічній системі в порівнянні із звичайним круглим багатопрохідним поздовжнім шліфуванням за жорсткою схемою дозволяє забезпечити необхідні параметри точності і продуктивності обробки.

Ключові слова: *кругле зовнішнє шліфування, продуктивність обробки, робочі контактні поверхні, зносостійка наплавлена поверхня.*

Andilahay V. A.

**TERMS IMPROVE PERFORMANCE GRINDING OF LARGE PARTS OF THE
HARD MATERIALS**

The research and developed an effective technology round outer grinding surfaces with wear-resistant weld material of large parts. It is shown that the use of abrasive cylindrical grinding circuit with a predetermined preload in the process system in comparison with conventional round multipass longitudinal grinding on the rigid circuit enables the required parameters of accuracy and processing capacity.

Keywords: *round outer grinding, processing performance, the working contact surfaces, the wear resistance of the weld surface.*

Рецензент: д.т.н., проф. Суглобов В.В.

Статья поступила 10.01.2016

Машинобудування і зварювальне виробництво

Режим доступу: <http://eir.pstu.edu/handle/123456789/2>

УДК 621.791.92

Иванов В.П., Сергиенко Ю.В., Сорочан Е.Н., Таранина Е.В.

ПОВЫШЕНИЕ РАБОТОСПОСОБНОСТИ НАПЛАВЛЕННЫХ КРАНОВЫХ КОЛЕС

Исследовалось влияние сварочных материалов и режимов термообработки на свойства наплавленных крановых колес. Установлены параметры предварительного подогрева изделий, позволяющие предотвратить образование закалочных структур в наплавленном слое. Предложена технология наплавки, обеспечивающая повышение долговечности наплавленного кранового оборудования.

Ключевые слова: крановые колеса, предварительный подогрев, микротвердость, электродуговая наплавка, долговечность.

Цикл эксплуатационного нагружения крановых колес характеризуется периодическим резким скачком амплитудных напряжений при прохождении стыков, крестовин и неровностей на рельсах, а также от воздействия неровностей на поверхности катания.

Высокий нагрев верхних слоев и быстрое охлаждение их при выходе из зоны контакта приводят к структурным изменениям металла. Нормальные и касательные усилия, температурные нагрузки, структурные превращения, которым подвергается каждый участок поверхности катания колеса с большой частотой циклов, вызывает износ, пластические деформации и различные виды контактных усталостных повреждений (рис. 1).

Образование дефектов и скорость нарастания износа колес зависят от многих факторов: условий эксплуатации, химического состава и механических свойств основного и наплавленного металла, размеров колеса, качества формирования наплавленной поверхности, времени года, климатических условий и т.д.



Рис. 1 – Виды износа ходовых колес портального крана: а - отслоение поверхности катания, деформация реборды; б - разрушение колеса.

Износостойкость наплавленных крановых колес в большой степени зависит от твердости рабочего слоя, однако чрезмерно высокая твердость приводит к быстрому изнашиванию подкрановых рельсов, заменять или восстанавливать которые значительно дороже, чем колеса.

Оптимальными следует считать такие способы восстановления и упрочнения, при которых обеспечивается твердость поверхности катания крановых колес, несколько меньшая

Машинобудування і зварювальне виробництво

Режим доступу: <http://eir.pstu.edu/handle/123456789/2>

твердости рельсов [1]. В большой степени это определяется свойствами материала наплавленного слоя и сопутствующей и последующей термообработкой.

Краткое описание техники проведенных экспериментов, используемого оборудования и материалов.

С целью оптимизации технологии восстановления исследовалось влияние температуры предварительного подогрева на свойства наплавленной поверхности катания.

Наплавку производили на образцы из стали 55Л толщиной 10-12 мм сварочной проволокой Св 08ХЗГ2СМ с параметрами жима, указанными на рис. 1.

Замер микротвердости проводили при помощи микротвердомера марки ПМТ-3 с нагрузкой 50 г. Распределение микротвердости в зоне термического влияния описывается кривыми с максимумами, причем образец без подогрева имеет максимальную твердость 9000 МПа, что указывает на наличие мартенситных структур и подтверждается металлографическими исследованиями. При подогреве пластины до 100 °С максимальная твердость снизилась до 8200 МПа. При нагреве пластины до 200 °С наблюдается более заметное снижение максимальной твердости до 4800 МПа. При подогреве пластины до 300 °С максимальная твердость не поднималась выше 3500 МПа, что незначительно отличается от твердости основного металла.

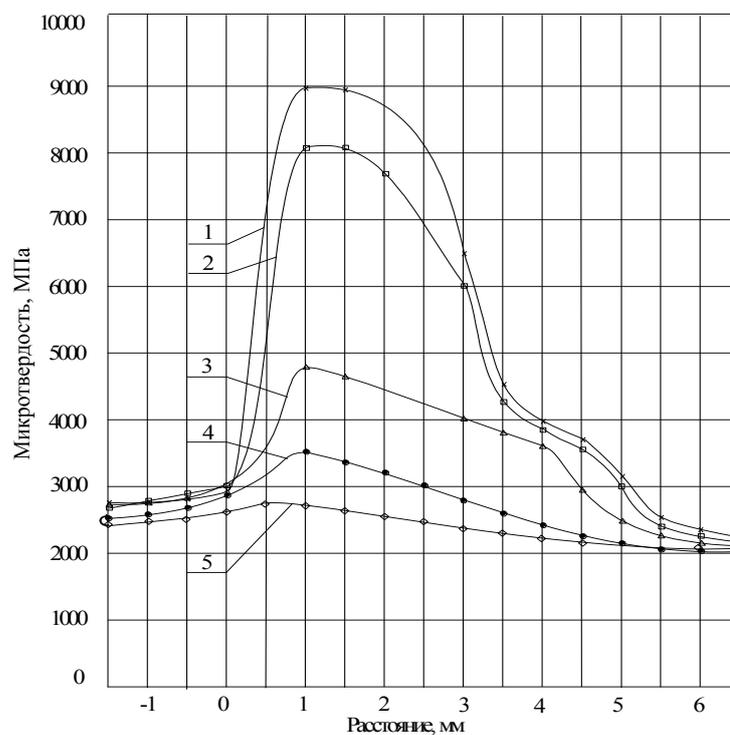


Рис. 2 – Влияние температуры предварительного подогрева на микротвердость зоны термического влияния стали 55Л. Режим сварки $I_H=320A$; $U_D=30B$; $V_H=10м/ч$:

- 1 - без подогрева - ×;
- 2 - подогрев до 100 °С - □;
- 3 - подогрев до 200 °С - △;
- 4 - подогрев до 300 °С - ●;
- 5 - подогрев до 250 °С с местным локальным сопутствующим подогревом - ◇

Для указанных наплавленных образцов были рассчитаны кривые охлаждения. Установлено, что кривые охлаждения образцов № 1, 2, 3 (без подогрева, подогрев до 100 °С и до 200 °С) попадают в зону мартенситных превращений. Кривая охлаждения образца № 4 (подогрев до 300 °С) попадает в зону бейнитных превращений. Уровень микротвердости образца № 5 практически соответствует уровню основного металла (рис. 1). Это позволяет избежать закалочных структур, и, соответственно, трещин в зоне термического влияния.

Твердость упрочненных в процессе изготовления колес доходит до 4800 МПа [2], поэтому предложено для наплавки рабочего слоя изменить технологию, что позволит получить в рабочем слое наплавленный металл, не отличающийся по твердости от металла рельсового пути.

Оценка эффективности технологии наплавки проводилась как по пределу усталости, так и по долговечности. При проведении исследований по определению прочностных характеристик оценивались следующие технологические варианты (см. рис. 2):

- вариант 1 представлял собой контрольные образцы, вырезанные из цельного колеса;
- вариант 2 – образцы, наплавленные без подогрева;
- вариант 3 и 4 – образцы, наплавленные с предварительным и сопутствующим подогревом с использованием сварочных материалов, соответственно, Св08Г2С и Св08Х3Г2СМ.

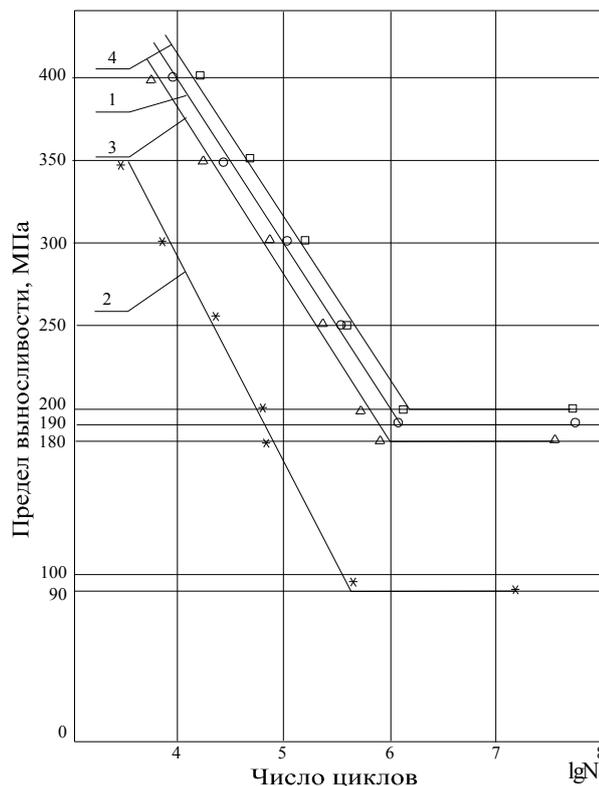


Рис. 3 – Кривые выносливости наплавленных образцов

Оценка эффективности рассмотренных технологий сварки выполнялась путем сравнения предела выносливости образца, вырезанного из цельного колеса, и наплавленных по различным вариантам технологии:

$$\eta_{G-1} = \frac{\sigma_{-1}^i}{\sigma_{-1}^A}, \quad (1)$$

где σ_{-1}^i – предел выносливости образца, соответствующего i -той технологии, МПа;
 σ_{-1}^A – предел выносливости образца, взятого из цельного колеса.

Оценка долговечности образцов проводилась в соответствии с уравнением:

$$\eta_N = \frac{N\sigma_i}{N\sigma_A}, \quad (2)$$

где $N\sigma_i$ – долговечность образцов i -той технологии сварки при уровне напряжений σ ;

$N\sigma_A$ – долговечность контрольных образцов при том же уровне напряжений.

Анализ полученных результатов. Результаты исследований, представленные на рис. 2, свидетельствуют, что предел выносливости контрольных образцов (первая серия) составил $\sigma_{-1}^1=190$ МПа.

Предел выносливости 190 МПа принимался в дальнейших расчетах за 100%. Во второй серии образцов предел выносливости составил 90 МПа, в третьей – 180 МПа, в четвертой – 215 МПа. Соответственно, $\eta_{\sigma-1}^2=45$ %, $\eta_{\sigma-1}^3=94,5\%$, $\eta_{\sigma-1}^4=99,5$ %.

Следовательно, наилучшую усталостную прочность получали образцы четвертой серии. Степень увеличения долговечности, в сравнении с базовой, соответствующей 10^4 степени циклов, составила для второй серии $\eta_N^2=0,4$; для третьей серии $\eta_N^3=0,6$; для четвертой серии $\eta_N^4=1,0$. Для уровня 10^5 степени циклов картина изменения долговечности такая же.

ВЫВОДЫ

1. Рекомендованный вариант технологии обеспечивает долговечность на уровне основного металла.

2. Установлено, что при наплавке колёсной пары подогрев до 300°C позволил снизить твердость в зоне термического влияния с 9000 МПа до 3500 МПа, что выше твердости основного металла на 1300 МПа. С целью снижения твердости зоны термического влияния предложено проводить предварительный подогрев до 340-360°C с применением сопутствующего локального подогрева, что обеспечивает превращение в перлитной области и снижение твердости зоны термического влияния до твердости основного металла. Это позволило избежать появления закалочных структур в зоне термического влияния.

3. Проведенные усталостные испытания показали, что применение предварительного и сопутствующего подогрева при наплавке колёсной пары обеспечивает прочностные характеристики сварного шва не ниже основного металла.

Список использованных источников

1. Совершенствование технологии наплавки крановых колес / С.П. Ананьев, В.А. Коротков, Б.Л. Головизнин, В.В. Козлов // Сварочное производство. – 2007. – №1. – С.23–27.

Машинобудування і зварювальне виробництво

Режим доступу: <http://eir.pstu.edu/handle/123456789/2>

2. Комбинированная наплавка крановых колес / Н.С. Назаров, Н.А. Бондарчук, Н.П. Данильчук // *Металлургическое машиноведение и ремонт оборудования*. – 1980. – №9. – С.70–72.

Іванов В.П., Сергієнко Ю.В., Сорочан О.М., Тараніна Є.В.

ПІДВИЩЕННЯ ПРАЦЕЗДАТНОСТІ НАПЛАВЛЕНИЙ КРАНОВИХ КОЛЕС

Досліджувався вплив зварювальних матеріалів та режимів термообробки на властивості наплавлених кранових коліс. Встановлені параметри попереднього підігріву виробів, що дозволяють запобігти утворення гартівних структур в наплавленому шарі. Запропонована технологія наплавлення, що забезпечує підвищення довговічності наплавленого кранового обладнання.

Ключові слова: кранові колеса, попередній підігрів, мікротвердість, електродугове наплавлення, довговічність.

Ivanov V.P., Sergienko Yu.V., Sorochan E.N., Taranina E.V.

IMPROVE EFFICIENCY OF WELDED CRANE WHEELS

We studied the influence of welding materials and heat treatments on the properties of the weld of crane wheels. The parameters of pre-heating products, to prevent the formation of hardening structures in the deposited layer. The technology of welding, providing increased durability of the weld of crane equipment.

Keywords: crane wheel, pre-heating, micro-hardness, electric arc welding, durability.

Рецензент: д.т.н., проф. Ищенко А.А.

Статья поступила 10.08.2016

УДК 666.97.033.16:621.34.1

Бочарова Е.А.

ПОВЫШЕНИЕ НАДЕЖНОСТИ РЕЗЬБОВЫХ СОЕДИНЕНИЙ ВИБРАЦИОННОГО ОБОРУДОВАНИЯ ДЛЯ ПРОИЗВОДСТВА БЕТОННЫХ ИЗДЕЛИЙ

В статье рассмотрены варианты резьбовых соединений вибромашин. отмечена возможность применения простых и дешевых самотормозящихся гаек, принцип действия которых основан на увеличении радиальных деформаций и момента трения при соединении гайки с болтом.

Ключевые слова: самотормозящиеся гайки, жесткость контактирующих деталей, распределение контактных напряжений, момент трения, схема деформации.

Вибромашины нашли широкое применение в технологиях строительного, машиностроительного и металлургического производства, так как позволяют реализовать такие варианты нагружения, которые невозможны при других традиционных подходах.

Машинобудування і зварювальне виробництво

Режим доступу: <http://eir.pstu.edu/handle/123456789/2>

В строительстве это уплотнение и транспортировка бетонных смесей, вибронгружение свай. В большинстве случаев технология предполагает изготовление компактных и надежных вибраторов (в том числе, поличастотных) и крепление их на стационарном оборудовании, например, на вибростолах (рис. 1) для уплотнения бетонных смесей в формах для получения ФЭМов [1, 2].

Основа получения качественных изделий зависит от степени уплотнения, а нужная степень уплотнения может быть получена путём вибрации, при которой существенно снижается вязкость раствора, он приобретает подвижность и заполняет все пустоты в форме.

Для всех видов изделий разработана и проверена на практике технология создания вибраций. Вибраторы приводятся в движение от высокооборотных электродвигателей. Основными деталями вибраторов являются валы с дебалансами, устанавливаемые на подшипниках качения. Передача от двигателя к валам может быть зубчатой или ременной.

Для снижения шума элементы зубчатого закрепления в виде шестерен или зубчатых ремней могут изготавливаться из полимеров или эластомеров. Количество валов и шестерен может выбираться из условия технологии для получения определённых параметров колебательного движения [1].

В строительной практике встречается много типов вибростолов, отличающихся параметрами колебаний. Опыт эксплуатации этих вибраторов показывает, что, несмотря на имеющиеся конструктивные различия, все они имеют одни и те же слабые места [3].

Вибростолы имеют ряд недостатков, ограничивающих их прочность и ресурс.

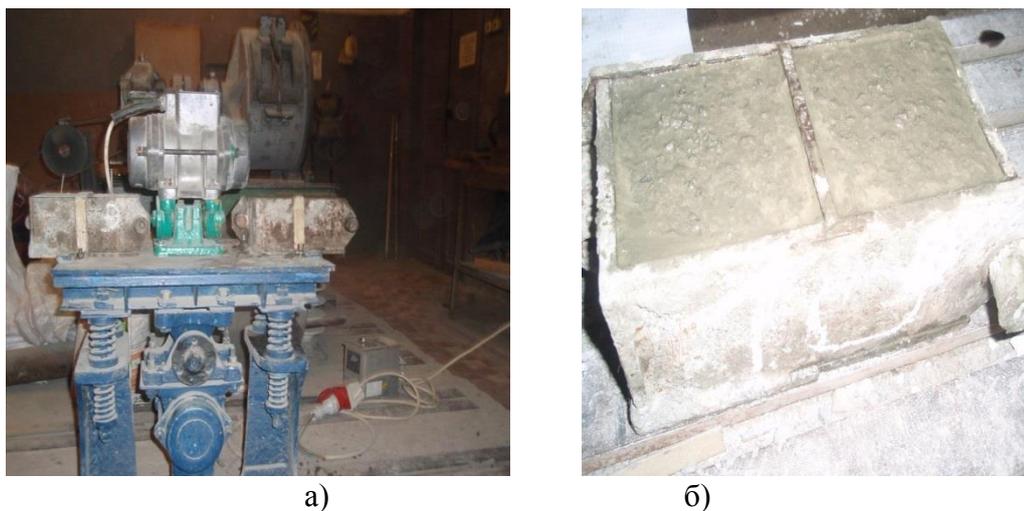


Рис. 1 - Вибростол: а) вибростол с двумя разночастотными возбудителями колебаний; б) форма заполненная раствором

Один из этих недостатков был отмечен в работах [4, 5]. Он связан, с принципиальной невозможностью снизить динамические нагрузки колебательного характера, потому что в этих машинах указанные нагрузки являются основой технологии. Отмечалось также, что самым слабым местом вибростолов являются подшипниковые узлы.

Причина кроется не только в больших нагрузках, привязанных к технологии. Распределение этих нагрузок в зоне контакта внешних колец подшипников с посадочными местами подушек крайне неравномерно.

Такое распределение связано с повышенной жесткостью контактирующих деталей. В этих условиях упругие контактные деформации существенно меньше, чем погрешности изготовления контактирующих поверхностей деталей подшипников. В работе [4]

отмечалось, что наиболее перспективным вариантом улучшения распределения контактных напряжений следует считать введение в зону контакта упругого элемента, например, втулки, изготовленной из эластомера. Такое решение может обеспечить практически равномерное распределение контактных напряжений.

Решение ряда технических вопросов, таких, как размеры и материал упругих прокладок, может быть получено на основе применения высокопрочных полиуретановых эластомеров [6].

Еще один из недостатков вибротрансмиссий – это ненадежность резьбовых креплений. Она объясняется именно вибрационной нагрузкой, способствующей самооткручиванию гаек.

Известны сотни вариантов стопорения гаек, тем не менее, новые решения все время появляются, что говорит об отсутствии надежного, универсального и экономичного варианта стопорения.

Суть любого способа стопорения заключается в том, что должно быть исключено самопроизвольное отвинчивание гаек (поворот их относительно болта).

Во время работы машины на гайку действуют несколько нагрузок. Прежде всего, это момент откручивания динамического происхождения M_d . Этот момент зависит от массы (момента инерции) гайки и её углового ускорения, зависящего от траектории движения.

Кроме того, есть еще момент торможения M_T , который зависит от конструкции резьбового соединения M_T . Естественно, что должно выполняться неравенство

$$M_d < M_T \quad (1)$$

Все предлагаемые методы самоторможения имеют целью обеспечить неравенство (1). В выражении (1) более консервативной величиной является значение M_d , зависящее от частотно-массовых параметров машины и гайки. Величина M_T в одном и том же соединении может меняться в широких пределах, что является большим недостатком стандартного резьбового соединения.

Если такое соединение не затянуто или затяжка по какой-то причине исчезла, то отсутствует осевая сила, приложенная к гайке, а значит, практически отсутствует и момент трения; стопорение такой гайки практически невозможно.

Почему же затяжка гаек, со временем исчезает? Есть несколько основных причин. Первая заключается в том, что в ряде соединений (например, в рельсовых креплениях) возможна пластическая деформация болтов. Поскольку упругая деформация болтов очень мала (она составляет десятые доли миллиметра), то при малой пластической деформации, не превышающей имеющуюся упругую, последняя исчезает, момент трения на гайке практически так же исчезает, после чего следует её самоотвинчивание.

Множество решений, в которых присутствуют упругие шайбы (либо упругие элементы другого назначения) растягивают этот процесс во времени, поскольку в этом варианте упругая деформация и энергия упругой шайбы значительно больше. Хотя это и не дает полной гарантии от самоотвинчивания, но надежность подобного крепления увеличивается. Испытания подобных резьбовых соединений по методу Юнкера подтверждают более высокую надежность этих соединений при наличии упругих шайб, но не гарантируют полного отсутствия самоотвинчивания. Такой результат не может быть приемлем для вибровозбудителей, для рельсовых креплений и некоторых других машин повышенной опасности [7].

Возникает вопрос, есть ли такое конструктивное исполнение резьбового соединения, которое может обеспечить полное отсутствие самоотвинчивания? Такие решения есть. Все они основаны на том, что резьбовые соединения становятся неразъемными, другими

словами, если вибратор с таким креплением нужно переставить на новый стол (или на новую машину), то старое крепление нужно уничтожить, а новое изготовить и поставить.

Такое конструктивное решение (сварка, приклейка, шплинтование и т.д.) сильно усложняет как конструкцию, так и технологию реализации. Экономически такой вариант является высокочрезвычайно затратным и не может применяться при массовом использовании, например, на железной дороге [8].

Для случая массового производства требуется простое и экономичное решение, основанное на изменяющихся стандартных элементах крепления.

Приемлемым вариантом может быть вариант со стандартными гайкой и болтом, причем в этом соединении нужно обеспечить постоянный и значительный момент трения. Выше отмечалось, что момент трения, который возникает от наличия осевой силы между гайкой и элементом крепления, не годится для этих целей, поскольку не обладает стабильностью. Более предпочтительным следует считать такой вариант создания момента трения, при котором между болтом и гайкой создается натяг на протяжении всего рабочего участка резьбы (то есть не зависящий от положения гайки); при этом осевое поджатие гайки не требуется.

Это может быть радиальный натяг. Получить требуемый натяг при изготовлении деталей резьбового соединения затруднительно вследствие жесткости деталей и трудности получения требуемой точности.

Один из вариантов реализации такого узла есть вариант изменения схемы нагружения гайки. Стандартная гайка при наличии радиального натяга должна растягиваться, увеличивая диаметр - это очень жесткий вариант нагружения. Этот вариант можно заменить схемой изгиба гайки (более податливой). Для этого достаточно на гайке выполнить разрез в осевом направлении и сжать её в радиальном направлении, уменьшив размер прорези и, соответственно, её диаметр. Такая гайка при соединении с болтом преодолевает момент трения, возникающий как следствие радиального натяга. Если такая гайка полностью находится на болте, то момент трения её сохраняется постоянным.

Лабораторные испытания таких гаек в диапазоне М22 – М64 показали, что их прочность (разрушающая нагрузка) P^* составляет около 60% от прочности неразрезанной гайки. В большинстве случаев этой прочности достаточно для обеспечения требуемого ресурса. Есть варианты сохранения прочности гаек при изменении их формы. Можно заставить гайку при её предварительном нагружении не растягиваться, а изгибаться. Если разрез на гайке не выполнять, то её прочность сохраняется. Жесткость гайки, которая предварительно должна быть деформирована, уменьшается по сравнению с гайкой исходной, но будет больше, чем у разрезанной гайки, поскольку её ось в окружном направлении из окружности превратится в замкнутую кривую путем пластического деформирования гайки в радиальном направлении.

Есть несколько вариантов такого деформирования (рис. 2, 3, 4). Все они применимы к стандартным гайкам.

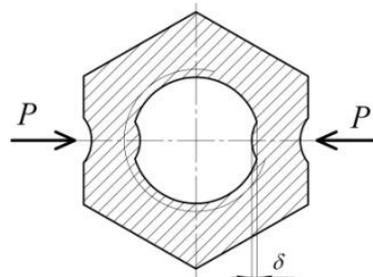


Рис. 2 - Вариант деформирования стандартной гайки

Машинобудування і зварювальне виробництво

Режим доступу: <http://eir.pstu.edu/handle/123456789/2>

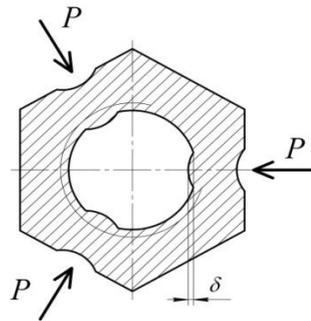


Рис. 3 - Вариант деформирования стандартной гайки

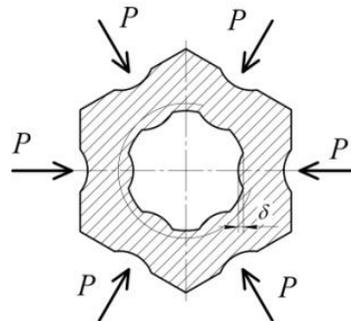


Рис. 4. Вариант деформирования стандартной гайки

Для получения большей податливости можно предварительно изменить схему нагружения (от близкой к балке с защемлением до балки с шарнирными опорами) (рис. 5).

Есть несколько вариантов такого деформирования (рис. 2, 3, 4). Все они применимы к стандартным гайкам.

Для получения большей податливости можно предварительно изменить схему нагружения (от близкой к балке с защемлением до балки с шарнирными опорами) (рис. 5).

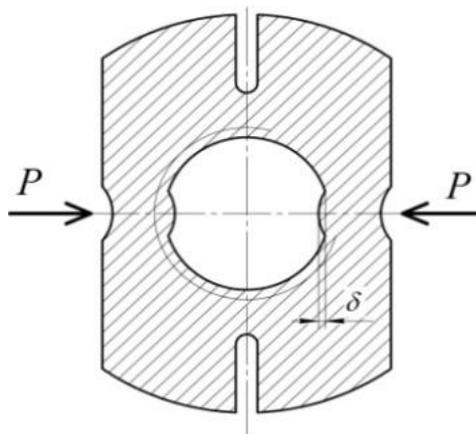


Рис. 5 - Измененная схема нагружения гайки

Еще несколько вариантов повышения податливости могут быть реализованы на основе применения для изготовления гаек высокопрочных, но низко модульных материалов.

Одним из таких материалов может быть высокопрочный чугун с шаровидным

графитом, $E_c=110$ ГПа, жесткость которого в 2 раза меньше (а деформация, соответственно, в 2 раза больше) чем у стали $E_c=220$ ГПа. Почти все марки этих чугунов не уступают по прочности стали. Можно найти достаточно прочные материалы и в классе полимеров. Среди полимеров имеются изученные материалы типа полиамидов, например, ПА6; ПА610, которые при армировании их 30÷40 % стеклоровинга обеспечивают прочность на изгиб $\sigma_n=200\div240$ МПа при $E=10$ ГПа, то есть при жесткости в 20 раз меньшей, чем у стали.

Недостаток прочности компенсируется лучшим распределением нагрузок между витками резьбы и большей высотой гайки.

На рисунках показаны варианты нагружения гаек (заготовки этих гаек представляют собой стандартные изделия).

ВЫВОДЫ

Предложены простые схемы самотормозящихся гаек для надежного крепления вибраторов на технологических машинах. Использован принцип создания постоянного момента трения между болтом и гайкой не зависимо от осевого поджатия соединяемых деталей.

Список использованных источников

1. *Бочарова Е.А.* Повышение ресурса вибрационного оборудования для производства бетонных изделий / *Е.А. Бочарова* // *Захист металургійних машин від поломок: міжвуз. темат. зб. наук. праць / ПДТУ.* – Маріуполь, 2013. – Вип. 15. – С. 169-171.
2. *Бочарова Е.А.* Оптимизация режима работы вибростолла для формирования бетонных изделий / *Е.А. Бочарова* // *Университетская наука - 2011 : Международ. науч.-техн. конф. : тез. докл. / ГВУЗ «ПГТУ».* - Мариуполь, 2011. - Т. 2. – С. 142–143.
3. *Бочарова Е.А.* Амортизация паразитных нагрузок в машинах для производства мелкоштучных строительных изделий / *Е.А. Бочарова, В.В. Белкина* // *Университетская наука - 2016 : Международ. науч.-техн. конф. : тез. докл. / ГВУЗ «ПГТУ».* - Мариуполь, 2016. - Т. 2. – С. 36-37.
4. *Емельяненко Н.Г.* Развитие приводов виброформовочных машин / *Н.Г. Емельяненко, Е.А. Бочарова* // *Университетская наука - 2011 : Международ. науч.-техн. конф. : тез. докл. / ГВУЗ «ПГТУ».* - Мариуполь, 2011. - Т. 2. – С. 147-148.
5. *Бочарова Е.А.* Повышение надежности подшипниковых узлов вибрационного оборудования для производства бетонных изделий / *Е.А. Бочарова* // *Захист металургійних машин від поломок: зб. наук. праць - Маріуполь: ПДТУ, 2011.* – Вип.13. – С. 169-171.
6. *Артюх В.Г.* Нагрузки и перегрузки в металлургических машинах: монография / *В.Г. Артюх.* – Мариуполь: ПГТУ, 2008. – 244 с.
7. *Артюх Г.В.* Особенности применения эластомеров для снижения динамических нагрузок в металлургических машинах / *Г.В. Артюх* // *Захист металургійних машин від поломок: зб. наук. праць.* – Маріуполь, 1997. – Вип. 2. – С. 55-159.
8. *Артюх Г.В.* Инженерные проблемы прочности металлургических машин / *В.Г. Артюх* // *Захист металургійних машин від поломок: зб. наук. праць.* – Маріуполь, 2003. – Вип. 7. – С. 85-96.
9. *Емельяненко М.Г.* Результаты досліджень полічастотної машини / *М.Г. Емельяненко, Е.А. Бочарова, О.О. Шевченко* // *Захист металургійних машин від поломок: зб. наук. праць - Маріуполь, 2014.* – Вип.16. – С. 168-173.

Бочарова О.А.

**ПІДВИЩЕННЯ НАДІЙНОСТІ РІЗЬБОВИХ З'ЄДНАНЬ ВІБРАЦІЙНОГО
УСТАТКУВАННЯ ДЛЯ ВИРОБНИЦТВА БЕТОННИХ ВИРОБІВ**

У статті розглянуто варіанти різьбових з'єднань вібромашин. Відзначено можливість застосування простих і дешевих самотормозящих гайок, принцип дії яких заснований на збільшенні радіальних деформацій і моменту тертя при з'єднанні гайки з болтом.

Ключові слова: самотормозящі гайки, жорсткість контактуючих деталей, розподіл контактних напружень, момент тертя, схема деформації.

Bocharova. E.A.

**IMPROVING THE RELIABILITY OF THREADED CONNECTIONS OF
VIBRATION EQUIPMENT FOR PRODUCTION OF CONCRETE PRODUCTS**

The variants of threaded connections vibrators. Marked by the possibility of the use of simple and low-cost, self-locking nuts, the principle of action-tions are based on the increase of radial strain and friction torque when connecting nuts and bolts.

Keywords: self-locking nut, stiffness, wetted parts, distribution of contact stresses, friction torque, and deformation pattern.

Рецензент: д.т.н., проф. В.Г. Артюх
Стаття постуила 17.06.2016.

УДК 621.86

Суглобов В.В., Гринько П.А.

**ИССЛЕДОВАНИЕ ВИДОВ И ПРИЧИН ПОВРЕЖДЕНИЙ ЛЕНТЫ В
ПРОЦЕССЕ ЭКСПЛУАТАЦИИ ЛЕНТОЧНЫХ КОНВЕЙЕРОВ**

Представлены результаты исследований в производственных условиях видов и причин повреждений транспортерных лент конвейеров. Сформулированы требования, которые должны соблюдаться в процессе эксплуатации, для обеспечения снижения износа и повреждений конвейерной ленты.

Ключевые слова: ленточный конвейер, приводной барабан, натяжной барабан, центрирование ленты.

Одной из проблем при эксплуатации ленточных конвейеров являются различные повреждения транспортерной ленты. Это, в свою очередь, приводит к неплановым технологическим простоям, что требуются дополнительных средств на ремонт ленты, и в конечном итоге отражается на экономической составляющей выпускаемой продукции. Поэтому, работа над повышением срока службы главного элемента конвейера – ленты является наиболее актуальной в области совершенствования конвейерного транспорта.

В процессе эксплуатации ленточных конвейеров выявлены следующие повреждения транспортерной ленты:

1. Продольные порезы различной длины (как сквозные, так и несквозные);

Машинобудування і зварювальне виробництво

Режим доступу: <http://eir.pstu.edu/handle/123456789/2>

2. Сквозные пробой конвейерной ленты;
3. Повреждения бортов ленты;
4. Повреждения обкладок;
5. Поперечные порезы.

Во время работы ленточного конвейера сход ленты с барабанов оказывает значительное влияние на повреждение бортов ленты. На рис. 1 и рис. 2 показаны зафиксированные случаи схода ленты с барабанов во время работы ленточного конвейера

Также выявлены и зафиксированные повреждения конвейерной ленты при работе конвейера (рис. 3 а, б).

Неустойчивое поперечное движение ленты во время работы и сход ленты с барабанов конвейера (рис. 2.4) способствует значительному износу ее бортов, что существенно снижает технико-экономические показатели конвейерного транспорта. Поэтому, не менее важна проблема заштыбовки рамной конструкции, так как большинство конвейеров из-за конструктивной особенности не позволяют механизировать очистку просыпавшегося груза.



Рис. 1 – Сход ленты с приводного футерованного (слева) и натяжного (справа) цилиндрических барабанов



Рис. 2 – Сход ленты относительно продольной оси и ее трение о конструкцию рамы конвейера

В процессе эксплуатации в большей степени происходит износ рабочей поверхности ленты (рис 5 а, б, в), вследствие которого, значительно ухудшаются ее прочностные характеристики. В результате этого, срок эксплуатации ленты значительно сокращается.

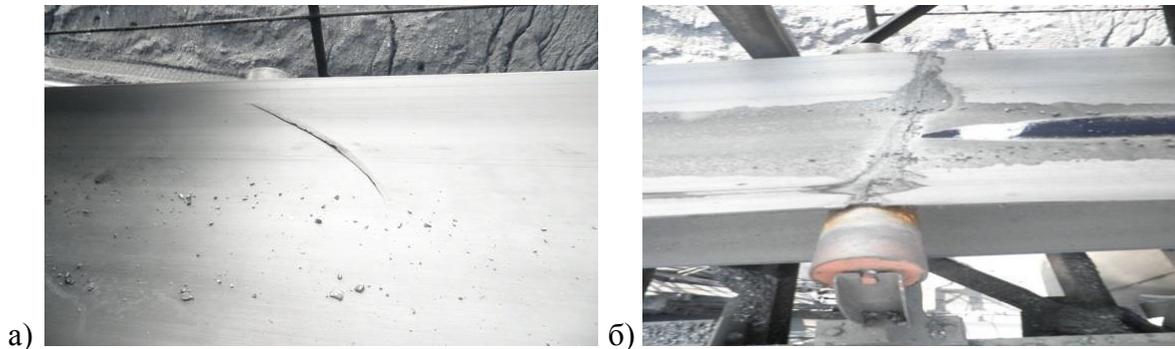


Рис. 3 – Повреждения ленты на работающем конвейере: а) – местное повреждение ленты; б) – повреждение стыка ленты



Рис. 4 – Сход конвейерной ленты с приводного цилиндрического барабана

В процессе эксплуатации в большей степени происходит износ рабочей поверхности ленты (рис. 5 а, б, в), вследствие которого, значительно ухудшаются ее прочностные характеристики. В результате этого, срок эксплуатации ленты значительно сокращается.

При этом следует отметить, что повреждения ленты в результате износа ее рабочей поверхности происходит значительно быстрее при работе на цилиндрическо-конических (выпуклых) барабанах, так как возникают повышенные натяжения в центральной ее части, которые разрывают саму ленту вдоль ее продольной оси (рис. 2.6 а, б).

Этому негативному явлению также способствуют попадание между лентой и барабанов остrokромочных транспортируемых материалов.

Изучение и анализ причин повреждений конвейерных лент показывают, что в среднем 13% всех повреждений лент составляет расслоение их краёв при трении ленты о стойки рамы конвейера.

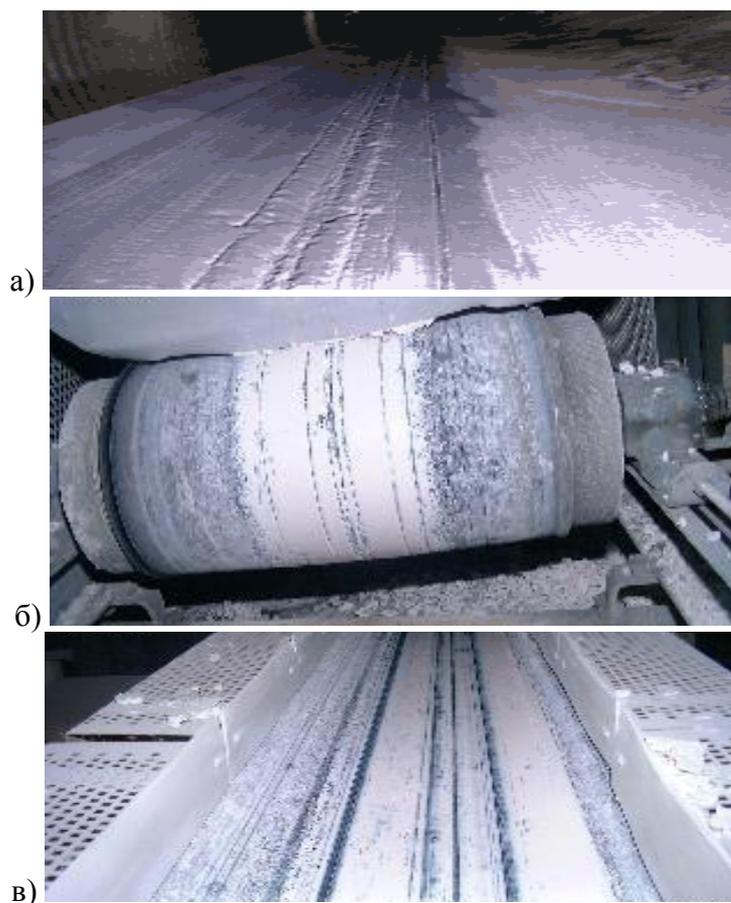


Рис. 5 – Износ рабочей поверхности ленты

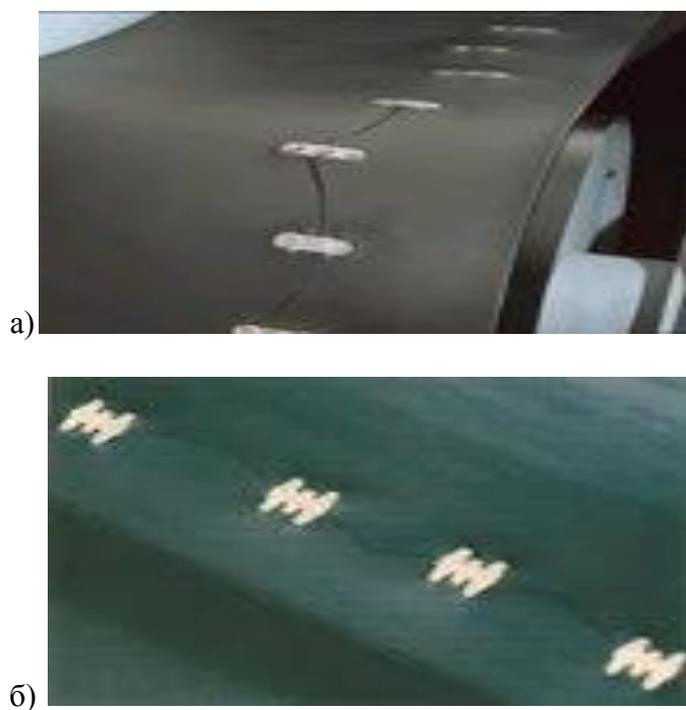


Рис. 6 – Продольный разрыв конвейерной ленты

Машинобудування і зварювальне виробництво
Режим доступу: <http://eir.pstu.edu/handle/123456789/2>

Это приводит к потере работоспособности лент уже через 10-12 месяцев. Весьма дорогую ленту приходится заменять, зачастую имея вполне работоспособную её грузонесущую часть. Трение ленты о боковые стойки конвейера и вызванный этим износ её краёв приводит к уменьшению ширины ленты. Из-за этого снижается производительность конвейера и увеличивается просыпь груза [2].

В ленточных конвейерах преимущественное применение получили цилиндрические или цилиндрическо-конические (бочкообразные) приводные и натяжные барабаны. Недостатком существующих моделей является незащищенность от схода ленты в сторону относительно продольной оси конвейера. Вследствие этого срок службы ленты существенно сокращается.

М.П. Александров обосновал нецелесообразность применения выпуклых барабанов [1]. Оказалось, их выпуклая поверхность приводит к повышению натяжения ленты до 40% в сравнительно узкой центральной части ленты конвейера.

В процессе эксплуатации конвейера на ленту действуют боковые силы, вызываемые следующими факторами: перекосом роlikоопор в горизонтальной и вертикальной плоскостях; отклонением рамы от оси конвейера; неодинаковым сопротивлением вращения боковых роlikоопор; не прямолинейностью ленты в горизонтальной плоскости; не симметричным распределением натяжения по ширине ленты и т.п.

Большие надежды возлагались на разработанные в пятидесятых годах прошлого столетия цилиндрическо-конические приводные и натяжные барабаны. Подобную конструкцию приводного барабана со скосами по краям для заводов разработал Государственный проектный и конструкторский институт «Союзпроммеханизация» (Москва).

Принято считать, что схода ленты можно избежать, если выполнить приводные и натяжные барабаны бочкообразными со стрелой выпуклости $L/200$, но не менее 4 мм, где L – длина барабана [1].

Конструкторы обратили внимание на успешную работу плоскоремennых передач с выпуклыми шкивами, уверенно обеспечивающих центральный ход ремня. Ожидалось, что, придав барабанам ленточных конвейеров аналогичную форму, можно будет достигнуть аналогичного эффекта. Однако, условия работы барабанов ленточных конвейеров и шкивов плоскоремennых передач настолько различны, что полученный эффект оказался прямо противоположным ожидаемому.

На самом деле, выпуклая поверхность барабанов не только не восстанавливает центральный ход ленты, а, наоборот, способствует её уходу в сторону [3].

ВЫВОДЫ

Установлено, что для снижения износа и повреждений конвейерной ленты необходимо выполнение следующих требований в процессе эксплуатации [4]:

1. На ленточных конвейерах с шириной ленты более 1,0 м следует осуществлять контроль сквозного разрушения конвейерной ленты, предупреждающий ее порыв.
2. Из-за пробуксовки конвейерной ленты на приводном барабане в местах загрузки ленточного конвейера могут возникнуть значительные завалы транспортируемого материала, вызывающие в свою очередь повышенный износ обкладок ленты и футеровки барабана и даже воспламенение ленты, для предотвращения которых конвейер должен оснащаться датчиками контроля пробуксовки ленты.

3. Поврежденные места конвейерной ленты должны ремонтироваться (при необходимости с заменой поврежденных участков) или должна производиться замена ленты целиком на новую в зависимости от характера ее повреждения.

4. Стыки конвейерных лент должны быть гладкими. Применение металлических соединителей ленты не допускается.

5. Не допускается сращивание конвейерных лент и приводных ремней с использованием болтов, скоб и т.п. Сращивание должно выполняться методом вулканизации или сшивкой сыromятыми ремешками.

6. Для снижения опасности повреждения конвейерной ленты и с целью уменьшения ее износа загрузочные устройства ленточного конвейера должны обеспечивать снижение высоты падения кусков груза на ленту, сообщение грузовому потоку при загрузке скорости, близкой к скорости движения ленты по величине и направлению, центрированную подачу груза на ленту, заданную производительность, разделение грузопотока на фракции для создания подсыпки, возможность регулирования и контроля режима истечения грузопотока, отделение негабаритов и посторонних предметов, уменьшение пылеобразования.

7. На ленточных конвейерах длиной более 80 метров ширины конвейерной ленты рекомендуется производить переворачивание ленты, исключая загрязнение роликкоопор на холостой ветви. При этом лента должна быть состыкована методом вулканизации, а на участке переворачивания установлен механизм для удаления просыпи.

Список использованных источников

1. Александров М.П. Подъемно-транспортные машины: учеб. для машиностр. спец. вузов / М.П. Александров. – 6-е изд., перераб. – М.: Высшая школа, 1985. – 520с.
2. Покушалов М.П. Исследование и выбор способов центрирования конвейерных лент / М.П. Покушалов // Горнорудные машины и автоматика. – М.: Недра, 1967. – С. 58-63.
3. Щеглов О.М. Выбор рациональной формы приводных и натяжных барабанов ленточных конвейеров / О.М. Щеглов, П.А. Гринько // Подъемно-транспортное дело. – 2011.– Вып. 1. – С. 2 – 5.
4. Межотраслевые правила по охране труда при эксплуатации промышленного транспорта (конвейерный, трубопроводный и другие транспортные средства непрерывного действия). ПОТ Р М-029-2003. – М.: Изд-во НЦЭНАС, 2003.

Суглобов В.В., Гринько П.А.

ДОСЛІДЖЕННЯ ВИДІВ І ПРИЧИН ПОШКОДЖЕНЬ СТРІЧКИ У ПРОЦЕСІ ЕКСПЛУАТАЦІЇ СТРІЧКОВИХ КОНВЕЄРІВ

Наведено результати досліджень в виробничих умовах видів і причин пошкоджень транспортних стрічок конвеєрів. Сформульовано вимоги, яких повинні дотримуватись у процесі експлуатації, для забезпечення зменшення зносу і пошкоджень конвеєрної стрічки.

Ключові слова: *стрічковий конвеєр, приводний барабан, натяжна барабан, центрування стрічки.*

Suglobov V.V., Grinyko P.A.

**RESEARCH OF KINDS AND REASONS OF DAMAGES OF RIBBON IN THE
PROCESS OF EXPLOITATION OF BAND CONVEYERS**

The results of researches are presented in the productive terms of kinds and reasons of damages of conveyor ribbons of conveyers. Requirements that must be observed in the process of exploitation are set forth, for providing of decline of wear and damages of conveyor ribbon.

Keywords: conveyor belt, driving drum, tensioning drum, centering tap.

Рецензент: д.т.н., проф. А.А. Ищенко

Статья поступила 17.06.2016.

УДК 921.791.927.55

Самотугин С.С., Христенко О.А.

**ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ПЛАЗМЕННОГО ПОВЕРХНОСТНОГО
МОДИФИЦИРОВАНИЯ РЕЗЬБОНАРЕЗНОГО ИНСТРУМЕНТА**

Разработаны технологические схемы плазменной обработки наиболее распространенных типов резьбонарезного инструмента – резцов, метчиков, и гребенок. Показан характер распространения тепла в зоне термического влияния, и распределения тепловых полей на примере резьбонарезной гребенки.

Ключевые слова: резьбонарезание, плазма, упрочнение, инструмент

Резьба в машиностроении имеет самое широкое распространение как для крепежных изделий, так и для механизмов, передающих движение (ходовые винты и гайки). Резьба является сложной винтовой поверхностью, к которой предъявляются высокие требования по точности и чистоте обработки. Формообразование резьбы является сложным процессом и резьбовые инструменты работают в очень трудных условиях [1-3].

В работе [4] установлены факторы, обуславливающие низкую стойкость резьбонарезного инструмента:

- 1) низкое качество инструмента вследствие неудовлетворительной термической обработки (заниженная твердость, наличие обезуглероженного слоя, отклонение от технологии термообработки);
- 2) низкое качество поверхностей после шлифования и заточки резьбового профиля инструмента;
- 3) завышенное отклонение размера отверстия под резьбу, твердости и химического состава материала заготовки;
- 4) отсутствие затылования по профилю режущих зубьев метчика;
- 5) увеличенный радиус закругления режущих кромок;
- 6) низкое качество материала инструмента.

Анализ приведенных факторов, в частности 1-го, 2-го и 6-го, показывает перспективность применения методов поверхностного упрочнения для повышения работоспособности резьбонарезного инструмента. Вместе с тем, из-за сложной профильной рабочей поверхности применение любых методов упрочнения затруднено. Известно применение дробеструйной обработки [4] и нанесение покрытий на резьбообразующий инструмент [5,6].

Машинобудування і зварювальне виробництво

Режим доступу: <http://eir.pstu.edu/handle/123456789/2>

Наиболее перспективным для упрочнения такого инструмента можно считать обработку высококонцентрированными источниками нагрева: лазерным лучом [7] и плазменной струей [8]. При этом плазменная обработка имеет ряд технико-экономических преимуществ [8]:

1) возможность получения на поверхности изделия упрочненного слоя глубиной до 5 мм при однократной или многократной обработке как без оплавления поверхности, так и с оплавлением, что значительно превосходит такие способы, как лазерное и электронно-лучевое упрочнение, химико-термическую обработку, осаждение покрытий вакуумным или ионными методами;

2) возможность получения в упрочненном слое скорости охлаждения порядка 10^{05}C/s и высокодисперсных закалочных структур с твердостью до HV 1100 на сталях и чугунах до HV 1700 на спеченных твердых сплавах, что находятся на уровне, достигаемом при лазерном и электронно-лучевом упрочнении и значительно превосходит такие способы, как закалку ТВЧ, газопламенную и объемную печную закалку, цементацию;

3) повышение износостойкости упрочненных материалов в 1,5...5 раз в зависимости от их химического состава, условий трения и технологии обработки;

4) возможность использования в комплексе с объемной термической обработкой (закалкой, отпуском) или восстановительной наплавкой при практически любом сочетании операций;

5) возможность регулирования в широких пределах трещиностойкости упрочненных изделий при различных технологических вариантах упрочнения, а также при использовании совместно с предварительной наплавкой или объемной термической обработкой;

6) возможность локального упрочнения наиболее изнашиваемых участков рабочей поверхности изделия;

7) сохранение требуемой шероховатости рабочей поверхности при упрочнении без оплавления, что допускает применение плазменной обработки в качестве финишной операции; возможность создания определенного поверхностного рельефа при упрочнении с оплавлением;

8) высокие экономические показатели благодаря низкой стоимости, простоте и доступности оборудования, высокой производительности процесса;

9) возможность замены дорогостоящих инструментальных материалов (в особенности наплавочных) на менее легированные и дефицитные.

На основании изложенного, с учетом принятых требований к геометрическим параметрам резбонарезного инструмента и условий его нагружения [1-3], а также известных рекомендаций для разработки технологических процессов упрочнения инструмента других типов [7,8], разработаны технологические схемы плазменной обработки наиболее распространенных типов резбонарезного инструмента – резцов, метчиков, и гребенок (рис. 1).

Резбонарезные резцы. Являются наиболее распространённым инструментом и служат для нарезания наружной и внутренней резьбы. Резцы стержневого типа (рис. 1, а) имеют режущую кромку, соответствующую форме профиля нарезаемой резьбы. Плазменная обработка таких резцов выполняется по передней поверхности с нанесением модифицированной зоны длиной h , соответствующей длине режущего клина, и толщиной по задней поверхности $L1 = 0.5 \dots 1.5 \text{ мм}$.

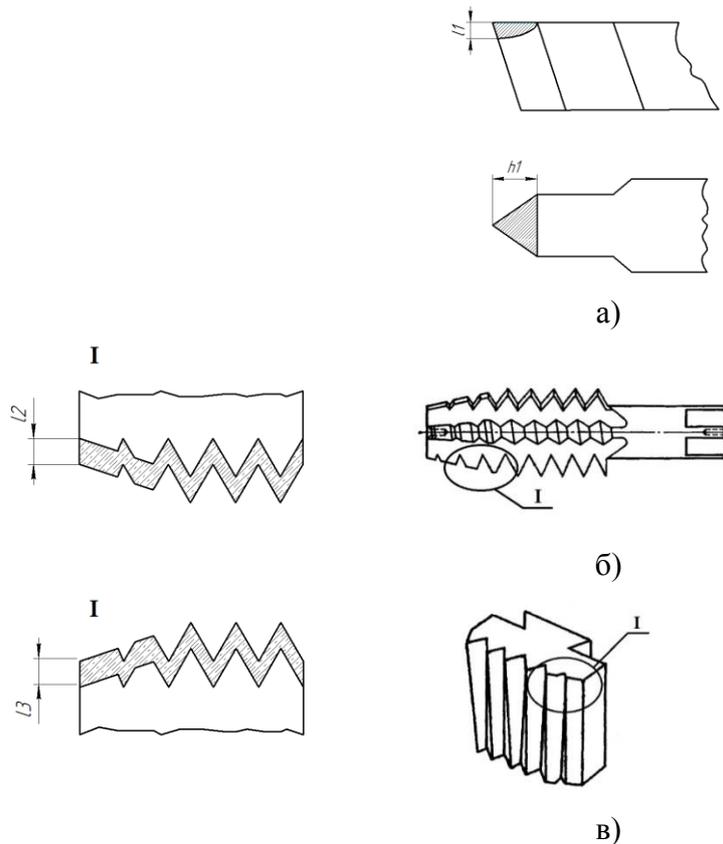


Рис. 1 - Схема расположения модифицированной зоны при плазменной обработке резьбонарезного инструмента: а – резцов; б – метчиков; в – гребенок

Такие размеры модифицированной зоны значительно превосходят величины предельно допустимого износа по передней и задней поверхности и позволяет выполнить требуемое количество переточек после однократного упрочнения.

Метчики. Используются для нарезания внутренней резьбы первого класса точности. Метчик имеет заборную (режущую) часть и калибрующую. Режущая часть метчика выполняет основную работу по образованию профиля резьбы. Калибрующая часть служит для зачистки и окончательной калибровки нарезаемой резьбы.

Основным, определяющим способность продолжения работы метчика, является износ по задним поверхностям $h_{3\max}$. Наиболее изнашиваются последние рабочие и первый калибрующий зубья. Критерий износа, равный $h_{3\max}$, для разных типов метчиков составляет $(0.05 \dots 0.025 D)$, где D – наружный диаметр резьбы [1]. Износ по передней поверхности значительно меньше, чем по задней. Плазменная обработка метчиков выполняется по задней поверхности с нанесением модифицированной зоны толщиной $L_2 \geq h_{3\max}$. (рис. 1, б).

Гребенки. В отличие от токарных резьбовых резцов, нарезающих полный резьбовой профиль за несколько рабочих проходов, гребенка нарезает резьбу полного профиля за один проход. Подобно метчикам гребенка также имеет режущую и калибрующую части. Критерий износа резьбовых головок, оснащенных обычно четырьмя гребенками, составляет $h_{3\max} = 0,35 D$ [1]. Плазменная обработка гребенок выполняется по задней поверхности с нанесением модифицированной зоны толщиной $L_3 \geq h_{3\max}$. (рис. 1, в).

Выбор оптимальных режимов плазменной обработки резбонарезного инструмента конкретных типов выполняется с использованием математических моделей на основании решения уравнения теплопроводности в нелинейной постановке с использованием метода конечных элементов [9]. На рис. 2 в качестве примера показан характер распределения тепловых полей при плазменной обработке резбонарезной гребенки.

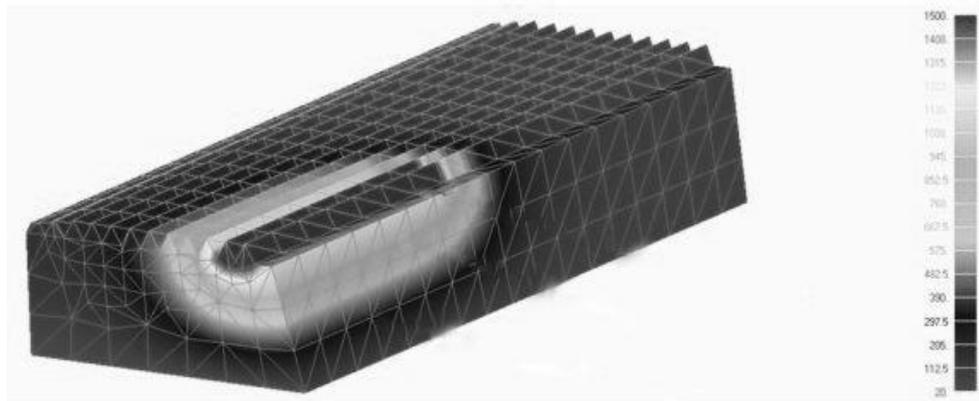


Рис. 2 - Распределение температуры плазменного нагрева по глубине упрочненной зоны

В заключении следует отметить, что задачей плазменной обработки резбонарезного инструмента является не только повышение твердости и износостойкости режущих элементов, но и получение благоприятных значений других характеристик (см. выше факторы, определяющие стойкость инструмента [4]) – шероховатости поверхности, остаточных напряжений и т.д.

В этой связи целесообразно использовать термин «поверхностное модифицирование» взамен термина «поверхностное упрочнение».

ВЫВОДЫ

1. Выполнен анализ условий эксплуатации и причин выхода из строя резбонарезного инструмента. Показана перспективность использования поверхностной обработки высококонцентрированной плазменной струей.

2. Разработаны оптимальные технологические схемы плазменного модифицирования основных типов резбонарезного инструмента – резцов, метчиков, гребенок. Толщина модифицированного слоя в общем случае должна превышать критерий износа по задней поверхности $L \geq h_{3\max}$.

Список использованных источников

1. Грановский В.И. Резание металлов / В.И. Грановский, В.Г. Грановский. – М: Высшая школа, 1985. - 304 с.
2. Родин П.Р. Металлорежущие инструменты / П.Р. Родин.- М: Высшая школа, 1974. - 400 с.
3. Иноземцев Г.Г. Проектирование металлорежущих инструментов / Г.Г. Иноземцев. – М: Машиностроение, 1984. – 272 с.

4. Кургузов С.А. Исследование влияния дробеструйной обработки резьбообразующего инструмента / С.А. Кургузов, Т.Ш. Галиахметов // Известия Тульского государственного университета:.. – 2006. – Вип. 2. – С. 157-161. – Серия : Инструментальные и технологические системы.
5. Геранюшкин А.В. Особенности эксплуатации твердосплавных резьбонарезных пластин и методы повышения их надежности // Мир техники и технологий. – 2008. - №2. – С. 34-35.
6. Табаков В.П. Разработка многослойных покрытий для токарных резьбовых резцов / В.П. Табаков, Д.И. Сагитов // Упрочняющие технологии и покрытия. – 2013. –№5. – С.42-47.
7. Справочник по технологии лазерной обработки / В.С. Коваленко [и др.]. – К.: Техника, 1985. – 167 с.
8. Самоугин С.С. Плазменное упрочнение инструментальных материалов / С.С. Самоугин, Л.К. Лещинский. – Донецк: Новый мир, 2003.– 338 с.
9. Самоугин С.С. Математическая модель процесса поверхностного плазменного упрочнения резьбообразующей гребенки / С.С. Самоугин, В.А. Мазур, О.А. Христенко // Захист металургійних машин від поломок. – Мариуполь, 2014. – Вип. 16. – С. 14-18.

Самоугін С.С., Христенко О.О.

ТЕХНОЛОГІЧНІ ОСНОВИ ПЛАЗМОВОГО ПОВЕРХНЕВОГО МОДИФІКУВАННЯ РІЗЬБОНАРИЗНОГО ІНСТРУМЕНТУ

Розроблено технологічні схеми плазмової обробки найбільш поширених типів різьбонарізного інструменту - різців, мітчиків, гребінок. Показан характер поширення тепла в зоні термічного впливу, і розподілу теплових полів на прикладі різьбонарізної гребінки.

Ключові слова: різьбонарізання, плазма, зміцнення, інструмент

Samotugin S.S., Khrystenko O.A.

TECHNOLOGICAL BASIS OF PLAZMA SURFACE MODIFICATION OF THREAD-CUTTING TOOLS

Presents technological scheme of the plasma treatment of the most common types of thread-cutting tools - cutters, taps, and combs. It showed the character of distribution of heat in the heat-affected zone, and distribution of thermal fields on example of chaser.

Keywords: thread cutting, plasma, hardening, tool

Рецензент: д.т.н., проф. Суглобов В.В.

Статья поступила 26.09.2016

УДК 621.65.05:669.02/.095

Засельский В.И., Бейгул О.А.

ИССЛЕДОВАНИЕ ПОВРЕЖДЕНИЙ ТРАНСПОРТИРУЮЩЕГО И ПЕРЕКАЧИВАЮЩЕГО ОБОРУДОВАНИЯ ГОРНО-МЕТАЛЛУРГИЧЕСКОГО КОМПЛЕКСА

Проанализированы виды дефектов и причины их появления в деталях и корпусах транспортирующего и перекачивающего оборудования взаимодействующего с различными видами сред. В результате проведенного анализа, даны рекомендации по повышению надежности данного оборудования, путем усиления участков деталей и узлов, подверженных износу.

Ключевые слова: *износ, дефект, шламопровод, шламовый насос, вакуум-насос, шибберная задвижка.*

Перекачивающее оборудование применяется в разных сферах промышленности и работает с различными средами. Поэтому определены шесть типичных перекачиваемых сред для насосов: **чистые** и слегка загрязненные жидкости, **загрязненные** жидкости и взвеси, **легко загазованные** жидкости, **газожидкостные** смеси и **агрессивные** жидкости.[1]

В соответствии со средой, в которой работает насос, его детали подвергаются различным видам износа, а именно абразивному, гидроабразивному или газоабразивному, кавитационному, коррозионному изнашиванию. При воздействии таких сред на деталях перекачивающего оборудования интенсивно образуется каверены в корпусах, изнашиваются лопасти нагнетающих колес, нарушается цилиндричность пропускных отверстий задвижек, а в худшем случае в корпусах образуются сквозные повреждения. Наименьшей надежностью обладают детали и корпуса насосов перекачивающих загрязненные жидкости и взвеси, в частности шламовых насосов и вакуум-насосов.

Для восстановления и защиты подобных повреждений применяют различные способы, такие как наплавка, покрытие лакокрасочными растворами. В последнее время используют защиту в виде покрытия композитными материалами. Вид защиты корпусов насоса зависит от их конструкции и материала, из которого он изготовлен. Существует два вида корпусов шламовых насосов: одни изготавливают из высокопрочных хромистых чугунов, а вторые изготавливают из обычных серых чугунов. Корпуса насосов, изготовленные из серого чугуна, имеют низкую износостойкость и требуют выполнения операции защиты дополнительным антиабразивным слоем, это позволяет значительно продлить его срок службы. А насосы, изготовленные из хромистых чугунов, не нуждаются в такой броне прослойке, учитывая высокую износостойкость самого материала. Однако и в одном, и в другом случаях длительность работы корпуса измеряется несколькими месяцами и затем требуется его восстановление.

Одним из экспериментальных объектов, который анализировался, был шламовый насос горно-металлургического комплекса, имеющий сквозное повреждение корпуса выполненного из хромистого чугуна и значительный износ стенок корпуса на 1/5 его периметра (рис.1)[2].

Как видно из рисунка учитывая положение выходного патрубка относительно места повреждения, наибольшая интенсивность износа имеет место в нижней части корпуса, там где существует наибольшая вероятность концентрации абразивных частиц. Аналогичное повреждение в нижней части корпуса представлено на рис. 2.



Рис. 1 – Корпус шламового насоса со сквозным дефектом

Совершенно иной характер повреждений имеет место у насосов имеющих слой брони из абразивостойкого материала. Несмотря на то, что в рабочем положении он располагается так же как и предыдущий, но интенсивно изнашивается в нем входной патрубок, который так же, как правило, выходит из строя по причине сквозного свища. Причину такого различия в объектах износа следует искать как в концентрации абразивных частиц в перекачиваемых средах, так и в характере взаимодействия абразивной среды с различными участками корпуса насоса. По-видимому, вихреобразное движение абразивной среды с большим содержанием абразивных частиц во всасывающем патрубке гораздо интенсивнее его изнашивает, чем та же среда движущаяся по окружности внутри корпуса. И в то же время при взаимодействии с упрочненным чугуном происходит обратное явление и промоины образуются в нижней части корпуса, как это было показано на рисунке 1.



Рис. 2 – Изношенный корпус шламового насоса со слоем брони из абразивостойкого материала

Дефекты подобные износу корпусов из хромистого чугуна наблюдаются и в вакуум-насосах, где также изнашивается нижняя часть корпуса, которая в большей мере контактирует с абразивной средой (рис. 3).

Аналогичные промоины имеют место и в шламопроводах, в нижней их части, где интенсивность истирания металла трубы является максимальной. И прежде всего это происходит на изгибах шламопроводов там, где ламинарное течение перекачиваемой среды нарушается, вследствие изменения направления течения жидкости.

Машинобудування і зварювальне виробництво

Режим доступу: <http://eir.pstu.edu/handle/123456789/2>



Рис. 3 – Вакуум-насос ВВН 2-50

Что касается запорной арматуры, то большие задвижки имеют выработку по контактными поверхностям, как корпуса, так и подвижных элементов специальных дисков. Шиберные задвижки, работающие в горно-металлургическом комплексе независимо от типоразмера получают в результате эксплуатации промоины на контактной поверхности в нижней части корпуса. Вследствие неплотного перекрытия потока газа или жидкости содержащиеся в них частички окислов железа вырабатывают в чугуне канавки, через которые впоследствии происходят утечки. На рисунке 4 показана задвижка, которая имела подобное повреждение [2]. В результате содержания в среде газа абразивных частиц и их воздействия на чугунный корпус при неплотном закрытии шибера.

Еще одна причина выхода шиберных задвижек из строя – корродирование контактных поверхностей, по которым перемещается шибер, что в конечном итоге приводит также к появлению утечек и потере функции отсечки носителя.

Подводя итог проведенному анализу причин выхода из строя транспортирующего и перекачивающего оборудования горно-металлургического комплекса следует обратить внимание на необходимость выполнения усиленной защиты от износа именно тех участков корпусов насосов, шламопроводов или задвижек, которые по тем или иным причинам интенсивно вырабатываются. В качестве такой защиты могут использоваться и пластины выполненные из твердых сплавов и, что более практично, покрытие из композитных материалов, имеющих хорошие противоизносные свойства.



Рис. 4 – Общий вид шиберной задвижки ДУ 1000 с дефектом контактных поверхностей.

Машинобудування і зварювальне виробництво

Режим доступу: <http://eir.pstu.edu/handle/123456789/2>

ВЫВОДЫ

1. В целом надежность перекачивающего оборудования невысока из-за отсутствия учета интенсивности абразивного износа перекачивающей средой на отдельных участках его корпусов.
2. Перспективными следует считать работы направленные на повышение надежности этого оборудования, путем усиления участков подверженных износу, за счет применения защитных покрытий, создания броневых слоев, имеющего повышенную сопротивляемость абразивному износу.

Список используемых источников

1. Классификация насосов [Электронный ресурс]. - Компания ПО Электромотор, 2009. – Режим доступа: <http://electronpo.ru/info>.
2. Ищенко А.А. Технологические основы восстановления промышленного оборудования современными полимерными материалами / А.А. Ищенко. – Мариуполь: ПГТУ, 2007. — 250с.

Засельский В.Й., Бейгул О.А.

**ДОСЛІДЖЕННЯ УШКОДЖЕНЬ ТРАНСПОРТУЮЧОГО І ПЕРЕКАЧУЮЧОГО
ОБЛАДНАННЯ ГІРНИЧО-МЕТАЛУРГІЙНОГО КОМПЛЕКСУ**

Проаналізовані види дефектів і причини їх виникнення в деталях і корпусах транспортуючого і перекачуючого обладнання що взаємодіє з різними видами середовища. В результаті проведеного аналізу, надано рекомендації щодо підвищення надійності даного обладнання, шляхом посилення ділянок деталей і вузлів, схильних до зносу.

Ключові слова: знос, дефект, шламопровід, шламовий насос, вакуум-насос, шибер.

Zaselsky V.I., Beygul O.A.

**INVESTIGATION OF DAMAGE THE TRANSPORTING AND PUMPING EQUIPMENT
OF MINING AND METALLURGICAL COMPLEX**

It has been analyzed the types of defects and causes of their appearance in parts and housings of transporting and pumping equipment interacting with different types of environments. As a result of the analysis it was given the recommendations to improve the reliability of this equipment, by strengthening the areas of parts and units subjected to wear.

Keywords: wear, defect, cuttings ditch, slurry pump, suction pump, slide gate.

Рецензент: д.т.н., проф. Ищенко А.А.

Статья поступила 27.09.2016

УДК 621.86

Суглобов В.В., Гринько П.А.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ЦЕНТРИРУЮЩЕЙ СПОСОБНОСТИ ЛЕНТОЧНЫХ КОНВЕЙЕРОВ

Представлены результаты экспериментальных исследований центрирующей способности ленточных конвейеров с барабанами различных конструкций. Показано, что барабаны с цилиндрической центральной частью и торцевыми участками, выполненными в форме кривых второго порядка, обладают эффектом само центрирования транспортной ленты.

Ключевые слова: ленточный конвейер, приводной барабан, натяжной барабан, центрирование ленты

Ленточные конвейеры в современном производстве имеют широкое применение и должны соответствовать требованиям повышенной надежности в течение всего эксплуатационного периода. Однако, как показывает опыт проектирования и эксплуатации, одним из негативных факторов является неудовлетворительная устойчивость ленты относительно продольной оси конвейера в процессе работы, что, в свою очередь, снижает ее эксплуатационный срок службы. Поэтому, изучение проблемы устойчивого движения ленты в процессе эксплуатации ленточного конвейера с целью повышения срока ее службы, а также разработка усовершенствованного оборудования конвейеров, в том числе барабанов, является актуальной научно-технической задачей.

Для оценки влияния конструктивных особенностей барабанов на характер движения ленты вдоль продольной оси конвейера, была разработана и изготовлена экспериментальная установка ленточного конвейера в масштабе 1:50. Были исследованы барабаны цилиндрической формы, цилиндрическо-конической формы, и новой конструкции - с цилиндрической центральной частью и торцевыми участками, выполненными в виде кривых второго порядка [1, 2]. Данная экспериментальная установка (рис. 1) позволяла изменять угол перекоса приводного барабана относительно продольной оси и изменять натяжение ленты. Исследованные конструкции барабанов имели различную форму восстанавливающей поверхности.

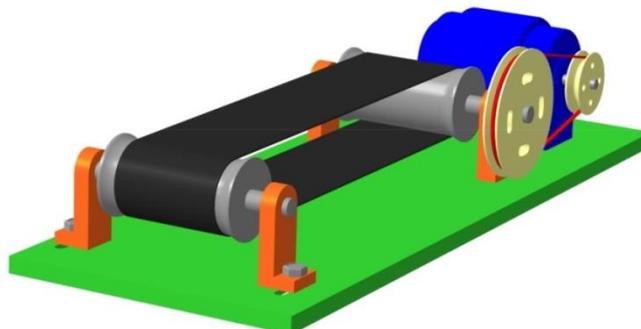


Рис. 1 – Экспериментальная установка ленточного конвейера

Характер работы экспериментальной установки ленточного конвейера с различными конструкциями барабанов подкреплён также видео регистрацией.

Машинобудування і зварювальне виробництво

Режим доступу: <http://eir.pstu.edu/handle/123456789/2>

Експериментальні дослідження умов центрування ленти на моделі конвейєра показали:

1. Применение барабанов с цилиндрической формой рабочей поверхности абсолютно не обеспечивает центрального движения ленты во время работы ленточного конвейера. Свидетельством тому, является сход ленты с барабанов модели конвейера уже на 11-й секунде с момента пуска (рис. 2).



Рис. 2 – Сход ленты с цилиндрических барабанов на 11-й секунде работы модели конвейера

2. Применение барабанов с цилиндрическо-конической формой (бочкообразных), также не обеспечивает прямолинейного движения ленты относительно продольной оси конвейера во время его работы. Установлено, что данная форма барабана предотвращает сход ленты в случаях:

- отсутствия снижения силы трения между лентой и барабаном из-за колебательных процессов при пуске и при движении ленты по роликоопорам во время работы конвейеров;
- отсутствия неравномерного распределения груза на ленте;
- отсутствия перекосов роликоопор в горизонтальной и вертикальной плоскостях;
- отсутствия различного сопротивления вращению роликоопор;
- отсутствия несимметричного распределения натяжения по ширине ленты;
- отсутствия отклонения става от оси конвейера;
- отсутствия перекоса барабанов на раме.

В реальных условиях эксплуатации соблюдение всех вышеперечисленных условий практически невыполнимо.

Так, при создании в модели незначительного перекоса приводного барабана в пределах 1^0 относительно продольной оси, сход ленты с таких барабанов наблюдался уже на 8-й секунде работы конвейера (рис. 3).

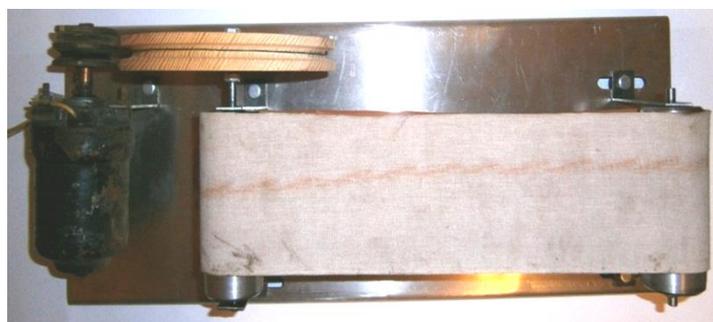


Рис. 3 – Сход ленты с бочкообразных барабанов на 8-й секунде работы модели конвейера

3. Применение барабанов новой конструкции, состоящих из цилиндрического и торцевых участков, имеющих форму кривой второго порядка, показало, что центральное движение ленты относительно продольной оси конвейера полностью обеспечивается. Для подтверждения стабильной работы новой конструкции барабанов был создан угловой перекося приводного барабана относительно продольной оси модели ленточного конвейера 4^0 (при регламентированных перекосях до $0,1^0$). При этом, центральное движение ленты во время работы модели ленточного конвейера полностью обеспечивалось (рис. 4), а дополнительные натяжения в ленте при ее прохождении на торцевых криволинейных участках барабана не превышали 1-2% от номинальных значений.



Рис. 4 – Обеспечение центрального движения ленты с применением барабанов новой конструкции

ВЫВОДЫ

Прямолинейное движение транспортерной ленты ленточных конвейеров можно обеспечить за счет использования рациональных конструкций приводных и натяжных барабанов, обладающих эффектом само центрирования ленты. Экспериментально доказано, что такими свойствами обладают барабаны с центральным участком цилиндрической формы и торцевыми частями, выполненными в форме кривой второго порядка.

Список используемых источников

1. Суглобов В.В. Экспериментальные исследования условий центрирования ленты на ленточных конвейерах / В.В.Суглобов, П.А. Гринько // Университетская наука - 2015 : Междунар. науч.-техн. конф. : тез. докл. / ГВУЗ «ПГТУ». - Мариуполь, 2015. - Т. 2. - С. 33.
2. Вибір раціональної форми приводних і натяжних барабанів стрічкових конвеєрів / В.В. Суглобов, Г.Г. Гаркуша, В.Т. Власов, П.А. Гринько // Актуальні питання освіти, підготовки та працевлаштування фахівців морської галузі : матеріали науково-техн. конф. (Мариуполь, 29 травня 2015 р.) / Азов. морський ін-т Одес. нац. морської академії (АМІ ОНМА). - Мариуполь, 2015. - С. 206-210.

Суглобов В.В., Гринько П.А.

ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ЦЕНТРУЮЧОЇ ЗДАТНОСТІ СТРІЧКОВИХ КОНВЕЄРІВ

Представлені результати експериментальних досліджень центруючої здатності стрічкових конвеєрів з барабанами різних конструкцій. Показано, що барабани з

Машинобудування і зварювальне виробництво

Режим доступу: <http://eir.pstu.edu/handle/123456789/2>

циліндричною центральною частиною та торцевими ділянками, що виконані у формі кривих другого порядку, володіють ефектом само центрування транспортної стрічки.

Ключові слова: стрічковий конвейер, привідний барабан, натяжний барабан, центрування стрічки

Suglobov V.V., Grinyko P.A.

EXPERIMENTAL RESEARCHES OF CENTRING ABILITY OF BAND CONVEYERS

The results of experimental researches of centering ability of band conveyers are presented with the drum of different constructions. It is retimed that drums with cylindrical central part and butt-end areas, executed in form curves the second order, possess an effect self centering of conveyer ribbon.

Keywords: conveyor belt, driving drum, tensioning drum, centering tap.

Рецензент: д.т.н., проф. А.А. Ищенко

Статья поступила 07.12.2016

УДК 621.86

Суглобов В.В., Гринько П.А.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ЛЕНТОЧНЫХ КОНВЕЙЕРОВ В ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ УСЛОВИЯХ

Представлены результаты исследований в производственных условиях уровня динамических нагрузок на действующем конвейере и их влияние на частоту схода ленты с конвейера. Даны рекомендации по оптимизации времени пуска конвейера.

Ключевые слова: ленточный конвейер, динамические нагрузки, оптимизация времени пуска.

Ленточные конвейеры в современном производстве являются одним из основных логистических элементов, обеспечивающих технологические процессы в различных отраслях народного хозяйства. Это предъявляет жесткие требования к эксплуатационной надежности таких конвейеров, в том числе и при нестационарных режимах работы.

Изучение и исследования ленточных конвейеров в производственных условиях показало, что динамические нагрузки, возникающие при нестационарных режимах работы (пуск, торможение, изменения скорости) приводят как к повреждениям ленты, так и к ее сходам с оси конвейера. При этом, частота сходов достигает 3-5 случаев за сутки, а обычно используемая регулировка положения ленты центрирующими роликами достаточно трудоемка и не всегда осуществима при некоторых видах транспортируемого материала.

Для изучения влияния динамических нагрузок на характер работы ленточных конвейеров были проведены экспериментальные исследования ленточного конвейера морского торгового порта, транспортирующего уголь. Техническая характеристика данного конвейера представлена в табл. 1.

Машинобудування і зварювальне виробництво

Режим доступу: <http://eir.pstu.edu/handle/123456789/2>

Таблица 1

Техническая характеристика исследуемого ленточного конвейера

Транспортируемый материал	Производительность, т/ч	Длина, м	Скорость движения ленты, м/с
Уголь	1100	602	2,5

Исследовался пуск конвейера, при котором определялась величина динамических нагрузок на приводной двигатель.

Для этого был использован анализатор параметров электрической цепи Fluke 454 (Нидерланды), вмонтированный в преобразователь частоты, который питает двигатель.

Данный анализатор электрической цепи обеспечивает непрерывное считывание таких параметров работы двигателя, как сила тока, A ; частота вращения, об/мин; вращающий момент, в % от номинального значения; напряжение, B на выходе преобразователя частоты; напряжение сети, B .

На рис. 1 и 2 показаны характерные осциллограммы названных параметров двигателя на 4-й и 15-й секундах разгона.

В табл. 2 приведены экспериментальные и расчетные значения моментов приводного двигателя конвейера, полученные из условия предотвращения пробуксовки ленты на приводном барабане, имеющего вид:

$$\frac{S_{ст.лб} + S_{д.лб}}{S_{ст.сб}} \leq e^{\mu\alpha} \quad (1)$$

где $S_{ст.лб}$, $S_{ст.сб}$, $S_{д.лб}$ – статические и динамические усилия в набегающей и сбегающей ветвях, Н

μ – коэффициент трения между лентой и поверхностью обода приводного барабана;

α – угол обхвата приводного барабана лентой, рад.

Допустимое по условию отсутствия пробуксовки усилие для конвейера с абсолютно податливым натяжным устройством составит:

$$[F''] = \max S_{НБ}, \text{ Н} \quad (2)$$

где $\max S_{НБ}$ – максимальное усилие в точке набегания ленты на приводной барабан, Н

Время разгона при линейно изменяющемся усилии привода, исключаяющее появление повышенных динамических нагрузок, соответственно равно:

$$t_p = \frac{m_K}{\gamma} \ln \left(\frac{F'' - W + \gamma \cdot v}{F'' - W} \right), \text{ с} \quad (3)$$

где W – окружное усилие привода, Н

v – скорость движения ленты, м/с

m_K – приведенная масса конвейера, Н

γ – коэффициент механической характеристики привода.

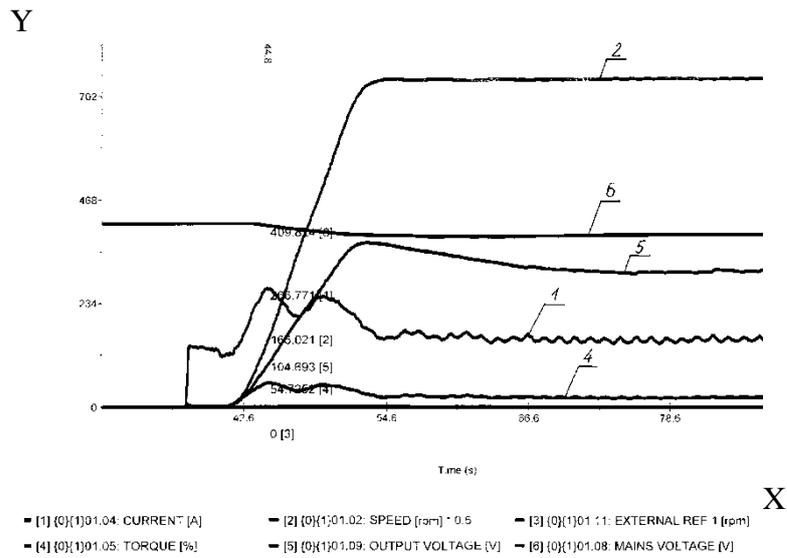


Рис. 1 – Значения параметров приводного двигателя ленточного конвейера при пуске на 4-й секунде разгона

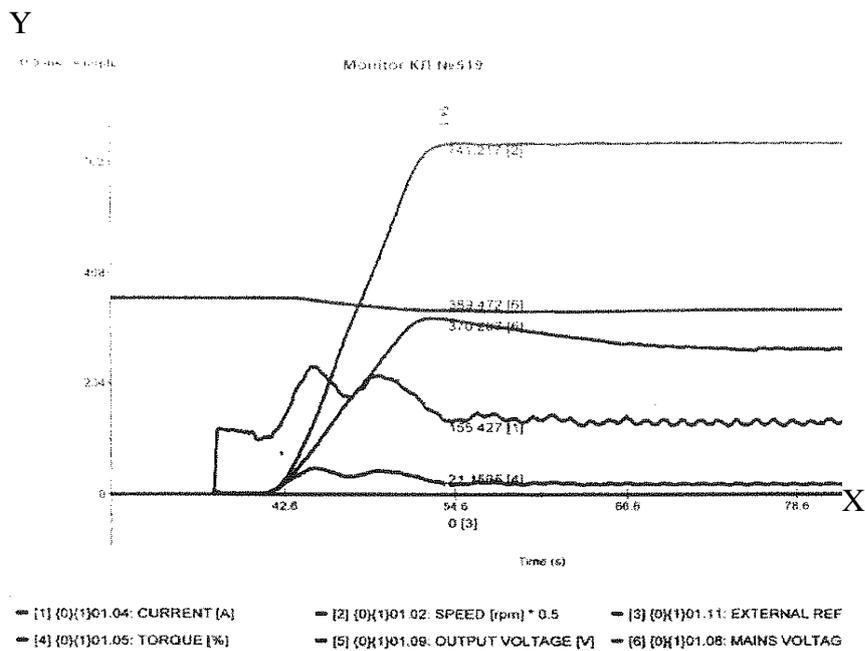


Рис. 2 – Значения параметров приводного двигателя ленточного конвейера при пуске на 15-й секунде разгона

В табл. 2. приведены расчетные и экспериментальные значения величины динамических нагрузок при пуске ленточного конвейера с технической характеристикой, приведенной в табл. 1.

Таблица 2

Расчетные и экспериментальные значения величины динамических нагрузок ленточного конвейера

Время разгона конвейера, с	Величина динамических нагрузок, % от номинального значения		Отклонение экспериментальных и расчетных значений, %
	Расчетное значение	Экспериментальное значение	
4	151	154	2,0
6	147	149	1,3
10	138	136	1,4
15	126	121	3,9
19	115	113	1,7
24	110	109	1,0

Экспериментальные исследования ленточного конвейера в производственных условиях позволили определить величину динамических нагрузок во время разгона конвейера, а также оптимизировать время пуска с учетом этих нагрузок. Так, для стационарных конвейеров при увеличении времени разгона до 24 с, уровень динамических нагрузок составляет 9-10% от номинального значения. При снижении времени разгона до 4 с, динамические нагрузки увеличиваются до уровня 50-55% от номинальных значений [1].

На рис. 3 приведен график зависимости величины динамических нагрузок от времени разгона ленточного конвейера.

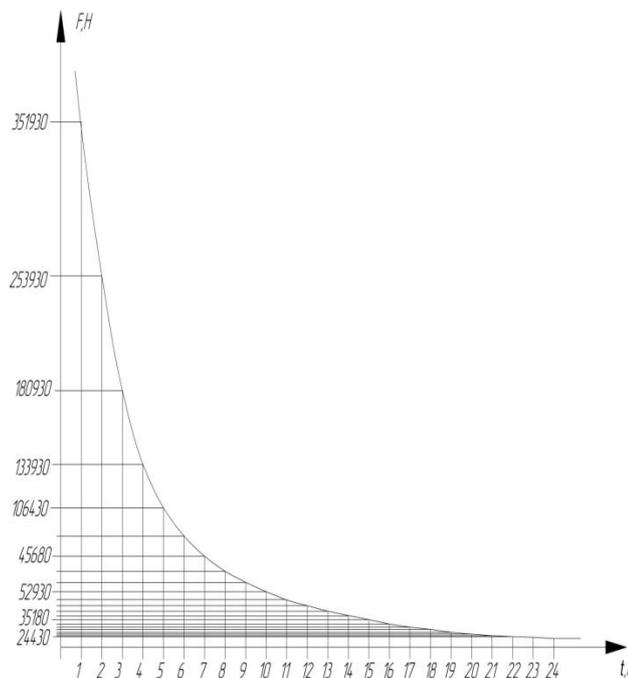


Рис. 3 – График зависимости величины динамических нагрузок от времени разгона ленточного конвейера: F -усилие в ленте; t -время разгона

Машинобудування і зварювальне виробництво

Режим доступа: <http://eir.pstu.edu/handle/123456789/2>

Сравнительная оценка экспериментальных и расчетных значений величины динамических нагрузок дает расхождение до 4% (табл. 2). Поэтому, выражения (2-3) можно использовать для определения оптимального времени пуска при заданном уровне динамической составляющей и соответствующего натяжения ленты.

ВЫВОДЫ

1. Установлено, что увеличение времени пуска исследованного конвейера до 24 с позволяет снизить величину дополнительных динамических нагрузок до приемлемого уровня 9-10 %.

2. Получены выражения для определения оптимального времени пуска конвейера при заданном уровне динамической составляющей нагрузок и соответствующего натяжения ленты.

Список используемых источников

1. Суглобов В.В. Экспериментальные исследования ленточных конвейеров /В.В.Суглобов, В.Т. Власов, П.А. Гринько // Университетская наука - 2016 : Междунар. науч.-техн. конф. : тез. докл. / ГБУЗ «ПГТУ». - Мариуполь, 2016. - Т. 2. – С. 56.

Суглобов В.В., Гринько П.А.

ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ СТРИЧКОВИХ КОНВЕЄРИВ У ВИРОБНИЧИХ УМОВАХ

Надані результати досліджень у виробничих умовах рівня динамічних навантажень на діючому конвеєрі і їх вплив на частоту сходів стрічки з конвеєру. Наведені рекомендації з оптимізації часу пуску конвеєра.

Ключові слова: стрічковий конвеєр, динамічні навантаження, оптимізація часу пуску.

Suglobov V.V., Grinyko P.A.

EXPERIMENTAL RESEARCHES OF BAND CONVEYERS ARE IN PRODUCTION TERMS

The results of researched in the production terms of level of the dynamic loadings on an operating conveyer and their influence are presented on frequency of tails of ribbon from a conveyer. Resulted recommendation on optimization of time of starting of conveyer.

Keywords: band conveyer, dynamic loadings, optimization of starting time.

Рецензент: д.т.н., проф. А.А. Ищенко

Статья поступила 7.12.2016

УДК 629.4.014.3

В.С. Воропай

АНАЛИЗ ТРАНСПОРТНО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ЦИКЛА ПЕРЕВОЗКИ АГЛОМЕРАТА

В статье представлены результаты анализа нормативных и фактических временных показателей по эксплуатации полувагонов-хопперов в транспортно-технологическом цикле перевозки агломерата.

Ключевые слова: транспортно-технологический цикл, полувагон-хоппер, технологический регламент, неисправность.

Постановка проблемы. Крупные металлургические предприятия характеризуются значительными объемами выпуска продукции, достигающими 5-6 млн. тонн в год, а их транспортноёмкость составляет от 4 до 12 тонн материальных ресурсов на тонну продукции. Железнодорожные перевозки обеспечивают транспортировку около 80 % от общего объема сырья, полуфабрикатов, готовой продукции [1, с. 159].

Инвентарный парк вагонов металлургического комбината для внутренних перевозок составляет более 1000 единиц и состоит из крытых вагонов, платформ, полувагонов, цистерн, вагонов изотермических и специального назначения. Наиболее массовыми являются маршруты, на которых эксплуатируются платформы и полувагоны различных типов. Среди разновидностей полувагонов наибольшая доля приходится на полувагоны-хопперы (далее – вагоны-хопперы).

Одним из основных производств на металлургических предприятиях является аглодоменный передел, результат работы которого – литейный и передельный чугун, один из главных и востребованных продуктов металлургических предприятий. Основным сырьем для производства высококачественного чугуна является агломерат. Поэтому одним из основополагающих факторов для успешной работы предприятия является своевременная и бесперебойная доставка сырья для доменного производства. Своевременная подача агломерата к бункерам доменного цеха обеспечивает непрерывность производственного процесса и соответствие технологическому регламенту основного производства.

Доставка агломерата является одним из наиболее массовых грузопотоков на металлургических предприятиях полного цикла. Непрерывность производственного процесса круглосуточно обеспечивает рабочий парк вагонов-хопперов для перевозки агломерата. По данным одного из крупных металлургических предприятий, объемы производства агломерата достигают 11,86 млн. т/год (33,5 тыс. т/сутки). Рабочий парк вагонов-хопперов должен иметь высокие показатели коэффициента технической готовности, а также других показателей надежности, быть адаптивным к изменяющимся потребностям производства, чтобы обеспечивать высокотехнологичный процесс перевозки агломерата. На сегодняшний день для обеспечения перевозки такого объема агломерата инвентарный парк таких вагонов состоит из 300 единиц, рабочий парк составляет порядка 245 единиц, с учетом вагонов, внепланово находящихся в ремонте.

Главным и неоспоримым условием при перевозке агломерата является обеспечение безопасности такой перевозки. Маршрут характеризуется особой напряженностью, за один оборот перевозится более 1000 т горячего агломерата, температура перевозимого агломерата достигает 700 °С. Поэтому, самыми приоритетными для транспортного направления

металлургических предприятий должны быть анализ и оценка ресурса как каждого вагона в целом, так и его составных элементов в отдельности, что на данный момент не выполняется.

Остро стоит вопрос об обновлении парка. Однако, учитывая низкий уровень темпов вагоностроения в стране, ограниченность средств оборотного капитала предприятия на закупку импортных вагонов и сложную экономическую ситуацию, актуальным становится рациональный подход к выполнению технического обслуживания и ремонта вагонов.

В таких условиях резко возрастает значение качества капитального ремонта, ведь из него вытекает сокращение частоты и затрат на плановые и текущие ремонты и максимальное уменьшение количества внеплановых ремонтов.

К самым дорогостоящим элементам конструкции вагона относятся основные элементы несущей конструкции, а для вагонов-хопперов, в первую очередь, износу подвержены листы обшивы кузова. Таким образом, решение задач, связанных с сокращением затрат на ремонт и улучшением его качества, сводится к увеличению срока службы материала кузова путем применения качественных сталей, сокращению затрат на энергоресурсы, высвобождению рабочей силы и упрощению сложных трудоемких операций путем механизации и автоматизации процесса ремонта.

Также, немаловажным фактором повышения надежности и безотказной работы подвижного состава являются правильные условия эксплуатации. А именно – ликвидация нарушений условий погрузки/выгрузки, где зачастую и деформируется кузов, элементы разгрузочного устройства.

Таким образом, основные проблемы транспортного обслуживания перевозки агломерата заключаются в обеспечении готовности парка вагонов выполнять заданные функции в нужный момент времени, а также в расходе времени, трудозатрат, энергетических затрат, денежных средств на проведение внеплановых ремонтов вагонов-хопперов.

Актуальным становится анализ транспортно-технологического цикла вагонов-хопперов, который включает в себя нормативы на выполнение всех операций, связанных с перевозкой агломерата. Такой анализ позволит определить взаимосвязь между нормами действующего регламента этой перевозки и реальной работой транспорта.

Исследования и публикации по теме. Исходя из большинства имеющихся на сегодняшний день результатов научных исследований, можно сделать вывод, что теории и способы повышения ресурсных возможностей разрабатывались для вагонов магистральных путей, как грузовых, так и пассажирских, вагонов метрополитена [2]. Однако, вагоны промышленного транспорта предприятий имеют специфику в отношении оценки и анализа их ресурсных возможностей, а именно – эффективность эксплуатации таких вагонов, их надежность определяется теми нормами, которые закладывает высшее звено управления предприятием. Зачастую, такие нормы не отвечают современным требованиям, предъявляемым к безопасности и эффективной эксплуатации вагонов промышленных предприятий. Соответственно, исследованиям, направленным на оценку ресурса вагонов промышленного транспорта предприятий, внимания не уделялось.

Вопросам жизненного цикла подвижного состава (Life Cycle Cost (LCC)) железнодорожного транспорта посвящены работы таких ученых как Басова Г.Г., Боднара Б.Е., Калабухина Ю.Е., Лобойко Л.М. и др. Лобойко Л.М. в [3, с. 6-18] предложены варианты сроков эксплуатации пассажирских вагонов, для которых назначенный срок службы истек. В этой научной работе подход к эксплуатации вагонов выполнен с позиции экономического обоснования жизненного цикла каждого вагона.

Таким образом, существует необходимость в обосновании целесообразности эксплуатации вагонов промышленного транспорта, срок службы которых истек. Подобные оценки проводились в работах [4] и были посвящены тяговому подвижному составу.

Машинобудування і зварювальне виробництво

Режим доступу: <http://eir.pstu.edu/handle/123456789/2>

Необходимо понимать, что в современных условиях взаимодействия производства и транспорта предприятия, аритмия работы всего предприятия порождает особые условия для работы транспорта в целом. Поэтому, те нормы по эксплуатации вагонов [5], которые в настоящее время действуют на предприятиях страны, теряют свою актуальность. Необходим методологический подход с точки зрения адаптации систем по эксплуатации вагонов к изменяющимся условиям производственного цикла. Эти вопросы нашли свое отражение в работах [6].

Анализ литературных источников дает основание сделать вывод, что пока еще не получили должного развития методы исследования и реализации систем технического обслуживания и ремонта вагонов промышленного транспорта по их фактическому состоянию.

На данном этапе **актуальным** является анализ технологического регламента работы вагонов-хопперов, предназначенных для перевозки агломерата, и выявление недостатков, связанных с работой транспорта в рамках условий нормативов и его реальной работой, которая зависит от динамики производственного цикла.

Целью статьи является анализ транспортно-технологического цикла вагонов-хопперов на промышленном предприятии.

Изложение основного материала.

Транспортно-технологический цикл представляет собой производственный процесс по перевозке груза, когда выполняются этапы подачи подвижного состава под погрузку, транспортирование и разгрузку. Соответственно, одним из основных показателей эффективности выполнения всех операций в транспортно-технологическом цикле является показатель времени на выполнение этих операций, который, в свою очередь, зависит от множества факторов, оказывающих влияние на работу каждого вагона. Транспортно-технологический цикл перевозки агломерата состоит из 3-х основных этапов: погрузка, транспортировка, выгрузка.

Согласно имеющемуся путевому развитию станции промышленного предприятия, на которой происходит погрузка агломерата и элемент которой указан на рис. 1, погрузка происходит следующим образом.

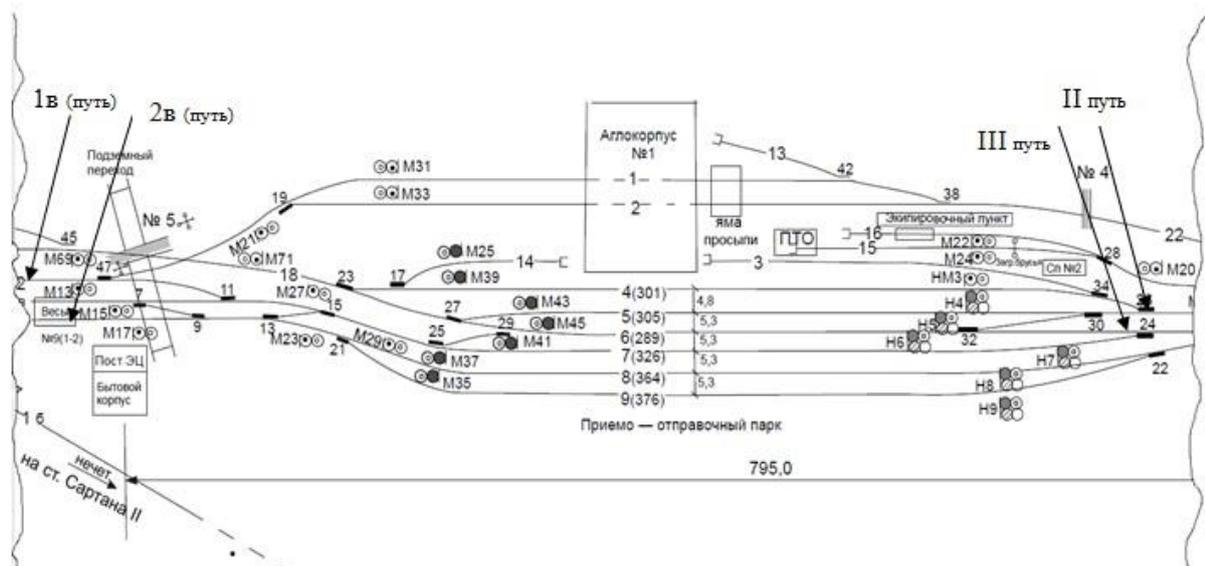


Рис. 1 – Фрагмент погрузочно-разгрузочного фронта станции «Аглофабрика» металлургического комбината

Машинобудування і зварювальне виробництво
 Режим доступу: <http://eir.pstu.edu/handle/123456789/2>

Со станции доменного цеха «Бункера» поезд прибывает на станцию «Аглофабрика» по II или III пути и становится на свободный путь 4-6 приемоотправочного парка станции. Затем поездной локомотив отцепляется и меняется на маневровый. Далее производится технический осмотр вагонов. Если при осмотре выявлена неисправность вагона - производятся маневры по отцепке вагона из состава и постановка на пути ПТО. Затем происходит подача под погрузку вагонов-хопперов в Аглокорпус №1. Подача вагонов-хопперов в Аглокорпус №1 производится вагонами вперед. Вагоны после погрузки отправляют на провеску на пути № 7-9, 1в, 2в (где происходит отбор проб в отдел технического контроля) и формирование состава. После того, как состав сформирован, его отправляют по II или III пути на станцию доменного цеха.

Зарубежный опыт показывает, что наиболее предпочтительным при передаче агломерата в доменное производство, с точки зрения планировочных решений и технико-экономических показателей, является конвейерный вид транспорта. Очевидно, что для этого аглофабрика и доменное производство должны находиться в одной зоне. В данном случае железнодорожным транспортом агломерат отгружается только на внешнюю сеть. Такие виды перевозок применяются при проектировании современных схем генерального плана металлургических предприятий. Однако, на ряде металлургических заводов России и Украины, построенных в первой половине двадцатого столетия, отгрузка агломерата в доменное производство производится железнодорожным видом транспорта при условии нахождения доменного производства на значительном расстоянии от аглофабрики [7].

Каждому вагону-хопперу, выполняющему технологическую перевозку агломерата, ежедневно приходится выполнять доставку агломерата на расстояние около 8 – 10 км до трех раз в сутки. Вагоны формируются в составы, именуемые «вертушками», работа которых должна выполняться в соответствии с технологическими нормативами по их обороту. Данные нормативы отражаются в контактном графике [7], который является суточным планом-заданием на погрузку, транспортировку и выгрузку «вертушек».

Однако, проведенный хронометраж транспортно-технологического цикла по перевозке агломерата позволил сделать вывод о несовпадении ритма фактической работы транспорта и тех нормативов, в соответствии с которыми вагоны-хоппера должны работать и это видно на элементе графика на рисунке 2.

Нормативы на выполнение операций строго регламентированы и должны выполняться, так как от своевременной доставки агломерата в доменный цех зависит выполнение суточного плана по выпуску чугуна. На графике, на рисунке 2, указаны основные операции по доставке агломерата с их нормируемым временем (указано в левой колонке графика), которые не согласованы с графиком движения «вертушки», а именно – операции маневров по выставке вагонов-хопперов на пути пункта технического обслуживания и технический осмотр вагонов-хопперов после выгрузки на бункерах доменного цеха.

По нормативному графику перевозочного процесса агломерата 20 мин затрачивается на маневры по выставке неисправных вагонов-хопперов в ремонтные тупики. Если предположить, что такие вагоны могут находиться в разных составах, тогда на маневры приходится от 20-60 мин в сутки, а так как по данным хронометража это время больше на 10 мин от нормативного, тогда суточный показатель будет достигать 90 мин. Помимо того, 20 мин нормированы для выставки вагонов-хопперов в ремонтные тупики из расчета на один вагон, соответственно, за один оборот «вертушки» таких вагонов в составе может быть несколько.

Мелкие ремонты («МР») на данной перевозке предполагают отцепку вагона, или группы вагонов, от состава и подачи на специализированные ремонтные пути предприятия,

Машинобудування і зварювальне виробництво

Режим доступу: <http://eir.pstu.edu/handle/123456789/2>

либо пункты технического обслуживания [5]. Неисправности обнаруживаются во время технического осмотра подвижного состава каждый рейс перед погрузкой вагонов на станции «Аглофабрика», либо после разгрузки.

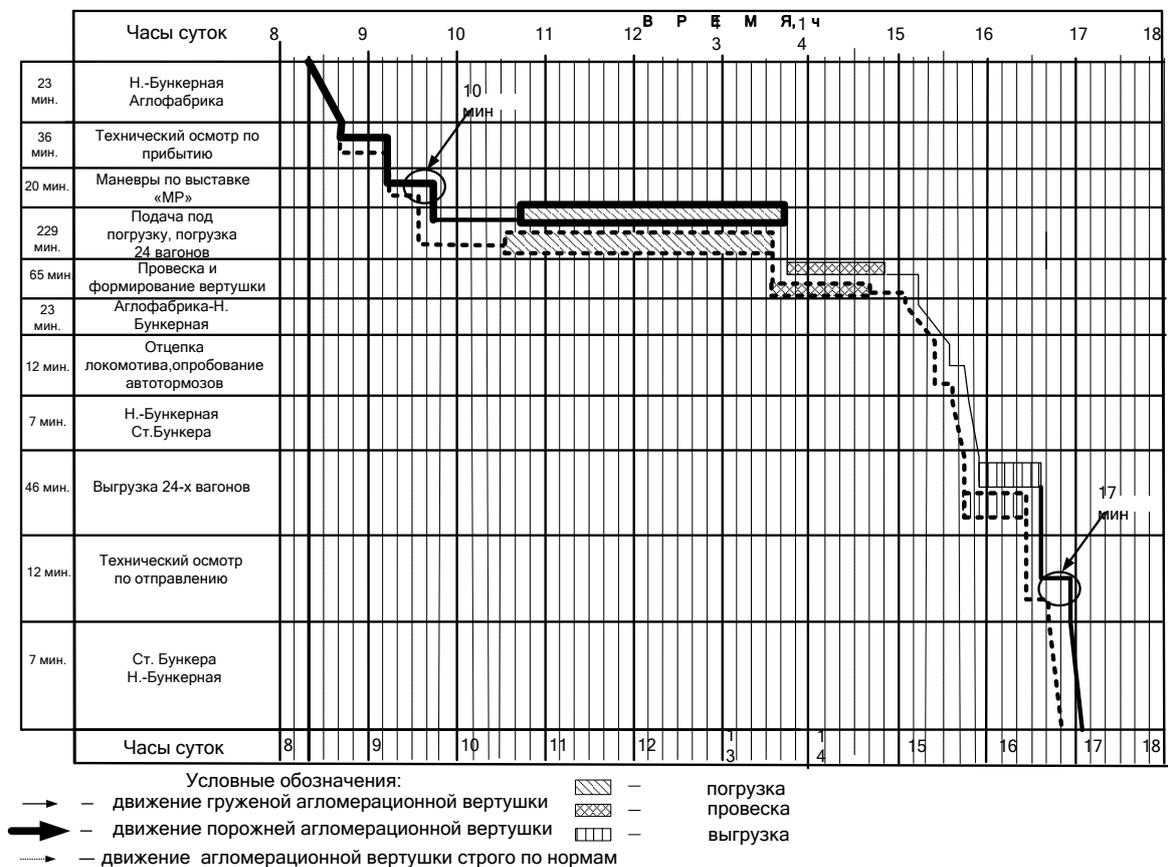


Рис. 2 – Элемент нормативного и фактического графиков оборота «вертушки» на участке обращения ст.Аглофабрика-ст.Бункера

Маневровые операции по постановке вагонов-хопперов на пути ремонта во время транспортно-технологического цикла свидетельствуют о том, что они являются неэффективными элементами транспортной системы предприятия [8].

Отцепка вагонов от состава и подача на ремонтные пути сопровождается дополнительной работой локомотива, дополнительными маневрами и, соответственно, временными затратами и финансовыми затратами на топливные ресурсы для работы локомотива, что является показателем низкой эффективности транспортно-технологического процесса, когда передовые транспортные технологии должны быть основаны на адаптации работы транспорта к изменяющимся условиям внутренней среды предприятия.

Во время проведения технического осмотра по отправлению основной задержкой (на графике, на рис. 2 такая задержка составляет 7 мин из расчета на одну «вертушку») является неисправность в работе разгрузочных бункеров вагонов-хопперов. Одна из основных причин – ненадежная работа кранов управления системой выгрузки бункеров. Учитывая конструктивную особенность, в имеющейся конусной бронзовой пробке крана управления для связи с атмосферой имеется отверстие, через которое происходит взаимодействие с разгрузочным цилиндром. В связи с уменьшением диаметра данного отверстия из-за различных загрязнений, происходит падение рабочего давления в магистрали. Как следствие,

затрачується більше часу на відкриття-закриття розгрузочних люків. Це влечет за собою значительне збільшення простою подвижного складу під розгрузочними операціями і відправки складу в зворотному напрямку.

Згідно даним журналу реєстрації виконаних ремонтів, 7% робочого парку щодня перебуває в поточному ремонті на пунктах технічного обслуговування. Крім поточних ремонтів, на залізничній станції, де виробляється завантаження агломерату, існують спеціальні тупики для проведення малих ремонтів. Так, з 245 вагонів-хопперів, забезпечуючих щоденний обсяг перевезень, в середньому, 17 вагонів по різних технічних причинах не можуть забезпечувати перевезення агломерату. Виникає накопичення і простою вагонів на станції Аглофабрики.

Таким чином, промислове підприємство може нормально функціонувати тільки при нормальній подачі сировини, а також вивозу готової продукції. Транспорт повинен працювати ритмічно. При порушенні роботи залізничного транспорту виникають втрати, обумовлені неповним використанням його провозної і пропускної спроможності, значально ускладнюється завантаження на під'їзних шляхах, виникає скоплення вагонів в очікуванні завантаження, а порожні вагони несвоєчасно подаються під завантаження, про що свідчить аналіз транспортно-технологічного циклу по перевезенні агломерату.

ВИВОДИ

1. Основною причиною невідповідності ритму процесів, що протікають в транспортно-технологічному циклі і виробництва, є низька експлуатаційна надійність вагонів-хопперів для перевезення агломерату.

2. Динаміка часових показників по тривалості проведення маневрових операцій дозволила зробити висновок про затримку одного транспортно-технологічного циклу на 17 хв, що недопустимо в транспортно-логістических системах сучасного металургічного підприємства.

Список использованных источников

1. *Парунакян В.Э.* Основные принципы формирования логистической системы производственно-транспортного комплекса промышленных предприятий / *В.Э. Парунакян* // Вестник Восточноукр. нац. ун-та им. В. Даля. – Луганск, 2010. – №10 (152), ч. 1. – С. 159-173.

2. *Третьяков А.В.* Управление индивидуальным ресурсом вагонов в эксплуатации / *А.В. Третьяков.* - СПб.: Изд-во «ОМ-Пресс», 2004. – 348 с.

3. *Лобойко Л.М.* Підвищення ефективності використання пасажирських вагонів: автореф. дис. канд. техн. наук : 05.22.20 / *Л.М. Лобойко*, Дніпропетровський національний ун-т залізничного транспорту ім. В.Лазаряна. – Дніпропетровськ, 2009. – 22 с. – укр.

4. *Бабел М.* Анализ стоимости жизненного цикла (LCC) при оценке эффективности подвижного состава / *М.Бабел, М. Шкода, Е.Е Коссов* // Вестник ВНИИЖТ. – 2013. – №6. – С. 55–60.

5. О совершенствовании системы технического обслуживания и ремонта вагонов [Текст]: приказ № 50: утв. М-вом тяжелого и транспортного маш. СССР 14.10.86: введ в действие с 14.01.87.

6. *Морчиладзе И.Г.* Метод ситуационной адаптации вагонов к международным перевозкам грузов: монография / *И.Г. Морчиладзе.* – СПб: ОМ-Пресс, 2005. – 216 с.

7. *Парунакян В.Э.* Транспортное обслуживание металлургического производства: учебное пособие / *В.Э. Парунакян, А.В. Маслак.* – Мариуполь, 2013. – 208 с.

8. *Копылова О.А.* Методика формирования энергоэффективной транспортно-логистической инфраструктуры / *О.А. Копылова, А.Н. Рахмангулов* // Современные проблемы транспортного комплекса России: межвуз. сб. науч. тр. – Магнитогорск, 2012. Вып. 2. – С. 45-53.

В.С. Воропай

АНАЛІЗ ТРАНСПОРТНО-ТЕХНОЛОГІЧНОГО ЦИКЛУ ПЕРЕВЕЗЕННЯ АГЛОМЕРАТУ

У статті представлені результати аналізу нормативних та фактичних часових показників по експлуатації напіввагонів-хоперів в транспортно-технологічному циклі перевезення агломерату.

Ключові слова: транспортно-технологічний цикл, напіввагон-хопер, технологічний регламент, несправність.

V.S. Voropay

ANALYSIS OF CARRIAGE SINTER TRANSPORTATION AND TECHNOLOGICAL CYCLE

The article presents an analysis of the regulatory and actual time indicators for operating hot pellet wagon in freight transportation sinter process cycle.

Keywords: transport and technological cycle, hot pellet wagon, production schedules, failure.

Рецензент: д.т.н., проф. *Парунакян В.Э.*

Статья поступила 7.12.2016

УКРАИНА: НЕМЕЦКІЕ ІНВЕСТИРИ ОТКРИВАЮТ ЗАВОД



Немецкий холдинг Leoni AG откроет в Коломые (Ивано-Франковской обл.), завод по изготовлению электропроводки для автомобилей. Уже в январе 2017 г. начнется набор сотрудников.

На первых порах Leoni AG планирует создать 800 рабочих мест для жителей области, сообщает пресс-служба Государственной службы

занятости. «Мы проводили анализ многих регионов из нескольких аспектов, один из них — это наличие человеческих ресурсов. И здесь, в Коломые, этот показатель лучший по сравнению с другими регионами», — рассказал генеральный директор дочерней компании Leoni AG в Украине Штефан Шмидт. Средняя зарплата на заводе составит 7 тыс. грн.

Большинство работников будут обучать сразу на рабочих местах. Отдельных сотрудников отправят на обучение в Стрые (Львовская обл.), где завод Leoni AG работает уже 12 лет. Часть персонала поедет учиться в Германию к поставщикам немецкого холдинга, где будет изучать специфические виды выработки вяза кабелей. (RusCable/Машиностроение Украины и мира)

УКРАИНА: ПОСТАВИТ В ИРАН 3 ТЫС. ВАГОНОВ И ПОЛУВАГОНОВ



Компания «Азовобщемаш» (Мариуполь, Донецкая обл.) договорилась с компанией Faез E-Commerce (Иран) о поставке 3 тыс. вагонов общей стоимостью 100 млн. евро. Об этом говорится в сообщении совета экспортеров и инвесторов при Министерстве иностранных дел.

«По результатам переговоров отечественного гиганта машиностроения с иранскими партнерами подписан контракт на поставку в Иран 3 тыс. вагонов и полувагонов», — говорится в нем.

Согласно сообщению, это только первая сделка по поставке продукции ПАО «Азовобщемаш» в Иран, поскольку общая

потребность иранских государственных компаний Pars Wagon и Wagon Korsa составляет более 35 тыс. вагонов, полувагонов и цистерн.

В сообщении также говорится, что общий потенциал сотрудничества «Азовобщемаша» с иранскими предприятиями составляет более 1 млрд. евро.

В 2015 г. «Азовобщемаш», согласно международным стандартам финансовой отчетности, увеличил убыток на 30% или на 768,972 млн. до 3,328 млрд. грн. В 2015 г. чистый доход сократился на 73,8% или на 479,535 млн. до 170,639 млн. грн.

ПАО «Азовобщемаш» входит в состав группы компаний «Азовмаш», это бывшее оборонное предприятие, специализирующееся на производстве автотопливозаправщиков, железнодорожных цистерн для перевозки химических продуктов, контейнеров для ядерного топлива и корпусов бронетанковой техники. (Українські новини/Машиностроение Украины и мира)

УКРАИНА: НАЧАЛ РАБОТУ HI-TECH OFFICE UKRAINE



В Украине открылся Hi-tech office Ukraine, созданный для развития инновационных технологий. Об этом в ходе открытия заявил первый вице-премьер-министр, министр экономического развития и торговли Украины Степан Кубив.

«Хочу официально сообщить, что сегодня в Украине работает самое современное пространство для развития инноваций», — сказал Кубив.

По его словам, в основе создания инновационного офиса заложены лучшие модели экологических проектов Канады и Израиля, которые «помогают инновационным технологическим компаниям начинать свою деятельность и развиваться».

Кубив также отметил, что в программе новосозданного офиса смогут принять участие все желающие внедрить новые технологии в своей деятельности. «Это в первую очередь представители АПК, блока энергоэффективности, инфраструктуры, кибербезопасности», — сказал первый вице-премьер.

Открытие Hi-tech office Ukraine, в частности, состоялось при участии Кубива, заместителя главы администрации президента Дмитрия Шимкива, а также главы правления Hi tech office Ukraine, главного директора «Vodafone Украина» Олега Проживальского. (rbc.ua/Машиностроение Украины и мира)

**ДО ВІДОМА АВТОРІВ,
які надсилають статті у міжвузівський тематичний збірник наукових праць
«Наука та виробництво»**

У збірнику публікуються статті за наступними напрямками:

- 1. Машинобудування і зварювальне виробництво.**
- 2. Будівництво та архітектура.**
- 3. Біоінженерія.**
- 4. Металургія.**
- 5. Інформаційні технології.**
- 6. Ремонт та відновлення деталей машин.**
- 7. Матеріалознавство.**
- 8. Транспортні технології.**

Усі статті повинні відповідати вимогам Постанови Президії ВАК України №7-05/1 від 15.01.2003. Вартість публікації однієї статті в збірнику становить 25 грн. в разі дотримання авторами таких вимог до оформлення:

- текст статті набирається на комп'ютері в текстовому редакторі Microsoft Word (шрифт 12-й Times New Roman, міжрядковий інтервал 1,0; поля: верхнє і нижнє – по 20 мм, бічні – по 20 мм);

- ілюстративний матеріал монтується в текст. Креслення і графіки виконуються в будь-якому графічному редакторі. Ілюстративний матеріал повинен бути придатний для безпосереднього відтворення розмножувальними пристроями;

- підписи і перелік посилань оформляються відповідно до стандарту ДСТУ ГОСТ 7.1:2006;

- на першій сторінці статті напівжирним шрифтом набираються: код УДК – у лівому верхньому куті; прізвища та ініціали авторів – на один рядок нижче, у правому верхньому куті; назва статті – посередині сторінки (великими літерами);

- анотація мовою статті з ключовими словами розташовується одразу після назви статті. Анотації, що надруковані іншими мовами розташовуються у наприкінці статті;

- на останній сторінці статті після переліку посилань у правому нижньому куті курсивом друкується «*Стаття надійшла...*» і проставляється дата подання статті у редколегію. У лівому нижньому куті друкується «Рецензент: д.т.н. ...» і П.І.Б. рецензента.

Редакція звертається до авторів з проханням при підготовці статей враховувати вимоги, в відповідності з яким, стаття повинна містити такі необхідні елементи, як:

- постановка проблеми в узагальненому вигляді і її зв'язок з важливими науковими чи практичними завданнями;

- аналіз останніх досліджень і публікацій, в яких започатковано розв'язання даної проблеми і на які спираються автори виділення невирішених раніше частин загальної проблеми, котрим присвячена означена стаття;

- формулювання цілей статті (постановка завдання);

- виклад основного матеріалу дослідження з повним обґрунтуванням отриманих наукових результатів;

- висновки з даного дослідження і перспективи подальшого розвитку даного напрямку.

Увага! Зазначені елементи статті повинні бути виділені відповідними заголовками:

Постановка проблеми; Аналіз останніх досліджень і публікацій; Мета (завдання) дослідження; Основний матеріал дослідження; Висновки.

Статті подаються в двох примірниках (з яких один повинен бути першим, видрукованим на лазерному принтері) на одному боці аркуша формату А4. До рукопису статті додаються:

- експертний висновок про можливість опублікування у відкритому друці;
- рецензія доктора технічних наук, у якій повинна бути відбита наукова новизна результатів, їх цінність і значимість;
- рекомендація кафедри чи організації, що представляє дану статтю до публікації;
- короткі реферати російською, українською, англійською мовами (не більше 300 знаків кожен). До кожного реферату додаються 5...7 ключових слів;
- відомості про авторів: прізвище, ім'я, по батькові, учений ступінь, звання, місце роботи, посада, адреса, робочий телефон.

До перерахованих матеріалів необхідно додавати CD з текстом статті (Word 2003 або формат **.rtf**).

ВИМОГИ ДО ОФОРМЛЕННЯ CD

- експертний висновок про можливість опублікування – *файл expert.doc*;
- рецензія доктора технічних наук – *файл recenz.doc*;
- рекомендація кафедри чи організації – *файл recomend.doc*;
- відомості про авторів – *файл sved_avt.doc*;
- реферат українською, англійською та російською мовою – *файл ref.doc*;
- текст статті – *файл article.doc*;

Ініціали і прізвища авторів, вчені ступені, назва організації, місто, країна, назва, анотація статті та ключові слова наводяться, **українською, англійською та російською мовами**.

Повністю оформлені статті та додані до них матеріали надсилаються в редакцію збірника на адресу: 87500, Україна, Донецька обл., м. Маріуполь, вул. Університетська, 7, ДВНЗ «Приазовський державний технічний університет», каф. «Будівництва, технічної експлуатації і реконструкції». Тел. (0629) 44-66-23; 44-66-73; 44-65-49. Приймання статей проводить відповідальний секретар редколегії збірника, к.т.н., ст. викладач кафедри МОЗЧМ **Рассохін Дмитро Олександрович**. E-mail: Radullik@yandex.ua. Тел.+380961222274.

Підписано до друку 22.02.2017 р.

Папір тип №2. Умов. друк. ар. 10,69. Тираж 400. Формат 60x84 1/8.
Замовлення №110. Матеріали збірника друкуються мовою оригіналу.

Ціна договірна.

Надруковано у видавничо-поліграфічному центрі ДВНЗ «ПДТУ»
87500, Україна, Донецька обл., м. Маріуполь, вул. Університетська, 7.

Свідоцтво внесення суб'єкта видавничої діяльності

ДК № 3729 від 15.03.2010 р.

Режим доступу: <http://eir.pstu.edu/handle/123456789/2>

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ДЕРЖАВНИЙ ВИЩИЙ НАВЧАЛЬНИЙ ЗАКЛАД
«ПРИАЗОВСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ ТЕХНІЧНИЙ
УНІВЕРСИТЕТ»

РАДА МОЛОДИХ ВЧЕНИХ ДВНЗ «ПДТУ»
ВІДДІЛ АСПІРАНТУРИ І ДОКТОРАНТУРИ ДВНЗ «ПДТУ»
ІНСТИТУТ ЕЛЕКТРОМЕХАНІКИ, ЕНЕРГОЗБЕРЕЖЕННЯ І
СИСТЕМ УПРАВЛІННЯ КРЕМЕНЧУЦЬКОГО
НАЦІОНАЛЬНОГО УНІВЕРСИТЕТУ



ІІІ ВСЕУКРАЇНСЬКА НАУКОВО- ПРАКТИЧНА КОНФЕРЕНЦІЯ МОЛОДИХ ВЧЕНИХ, ФАХІВЦІВ, АСПІРАНТІВ

«ПРОБЛЕМИ ЕНЕРГОРЕСУРСЗБЕРЕЖЕННЯ В ПРОМИСЛОВОМУ РЕГІОНІ. Наука і ПРАКТИКА»



11 – 12 травня 2017 року

м. Мариуполь

*Кордонів наукового пізнання і
передікання передбачити неможливо*

Д. Менделєєв

Шановні колеги!

Запрошуємо Вас прийняти участь у роботі ІІІ Всеукраїнської науково-практичної конференції молодих вчених, фахівців, аспірантів «Проблеми енергоресурсозбереження в промисловому регіоні. Наука і практика», що відбудеться 11-12 травня 2017 на базі ДВНЗ «Приазовський державний технічний університет».

Мета конференції:

обговорення науково-технічних досягнень, визначення перспективних напрямків досліджень, розширення можливостей наукового обміну, зміцнення зв'язків між ВНЗ та промисловими підприємствами України.

Напрямки роботи конференції (секції)

1. Енергозбереження в електротехнічних комплексах, мережах та системах
2. Енергозбереження в теплоенергетичних установках і системах
3. Енергоресурсозбереження в металургійній промисловості
4. Енергоефективні технології в зварюванні та машинобудуванні
5. Енергоресурсозбереження на транспорті
6. Інформаційні технології в енергоресурсозбереженні

Робочі мови конференції:

українська, російська, англійська

Для успішного проведення конференції просимо надати до оргкомітету на email pgtu.conference@gmail.com до **30 квітня** заявку на участь у конференції та тези доповідей в електронному вигляді (MS Word), формат А5, поля - 2 см з усіх боків, шрифт: Times New Roman, висота шрифту 10 pt, відступ абзацу - 0,75 см. міжрядковий інтервал - одинарний. Назва тез набирається по центру сторінки великими літерами, жирним шрифтом. Перенесення слів у назві не допускаються, крапка не ставиться. Нижче, через 1,5 інтервалу, ім'я, по батькові (ініціали), прізвище, через кому - посада і місце роботи. Нижче, через 1,5 інтервалу, з нового рядка - текст тез в обсязі 1 - 2 повних сторінок.

