

Міністерство освіти і науки України  
Національний університет «Чернігівська політехніка» (Україна)  
Національний технічний університет України «КПІ ім. І. Сікорського» (Україна)  
Oerlikon Barmag GmbH (Німеччина)  
Херсонський національний технічний університет (Україна)  
Донбаська державна машинобудівна академія (Україна)  
Національний авіаційний університет (Україна)  
ТОВ «БАХ-Інжиніринг» (Україна)  
Інженерна академія України  
Академія наук вищої освіти України  
Лодзький технічний університет (Польща)  
Технічний університет в Кошице (Словаччина)  
Thyssenkrupp Materials International GmbH (Німеччина)  
Національний університет «Львівська політехніка» (Україна)  
Батумський державний університет ім. Ш. Руставелі (Грузія)  
Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут»  
Українське товариство механіки ґрунтів, геотехніки і фундаментобудування  
Державний науково-дослідний інститут випробувань і сертифікації озброєння  
та військової техніки (Україна)



**oerlikon**  
barmag



**BACH ENGINEERING**



МІНІСТЕРСТВО  
ОСВІТИ І НАУКИ  
УКРАЇНИ

**ThyssenKrupp**

Матеріали X міжнародної  
науково-практичної конференції

# «КОМПЛЕКСНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ЯКОСТІ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПРОЦЕСІВ ТА СИСТЕМ»

Том 3

23 - 25 вересня 2020 р.  
м. Чернігів

УДК 621; 624; 674; 684; 621.22; 621.51-54; 661; 664; 620.268; 621.791; 004  
К63

*Рекомендовано до друку вченою радою Національного університету «Чернігівська політехніка» (протокол № 7 від 28.09.2020)*

Комплексне забезпечення якості технологічних процесів та систем (КЗЯТПС – 2020): матеріали тез доповідей X Міжнародної науково-практичної конференції (м. Чернігів, 23–25 вересня 2020 р.): у 3-х т. / Національний університет «Чернігівська політехніка» [та ін.]; відп. за вип.: Єрошенко Андрій Михайлович [та ін.]. – Чернігів: НУ «Чернігівська політехніка», 2020. – Т. 3. – 60 с.

ISBN 978-617-7932-01-6

Видання індексується у наукометричній базі даних РІНЦ (Ліцензійний договір № 611-03/2016К від 17.03.2016 р.

### **ОРГАНІЗАЦІЙНИЙ КОМІТЕТ**

к.т.н., доц. Єрошенко Андрій Михайлович, (Секція № 1)  
к.т.н., доц. Космач Олександр Павлович, (Секція № 2)  
к.т.н., доц. Сапон Сергій Петрович, (Секція № 3)  
к.т.н., доц. Хребтань Олена Борисівна, (Секція № 4)  
к.т.н., доц. Прибисько Ірина Олександрівна, (Секція № 5)  
к.т.н., доц. Корзаченко Микола Миколайович, (Секція № 6)  
к.т.н., доц. Терещук Олексій Іванович, (Секція № 6)  
к.т.н., доц. Приступа Анатолій Леонідович, (Секція № 7)  
к.т.н., доц. Базилевич Володимир Маркович, (Секція № 8)  
к.пед.н., доц. Коленіченко Тетяна Іванівна (Секція № 9)

#### **Відповідальний координатор конференції:**

к.т.н., доц. Сапон Сергій Петрович, тел. (097) 3844197, e-mail: [s.sapon@gmail.com](mailto:s.sapon@gmail.com) або  
[kzyatps@gmail.com](mailto:kzyatps@gmail.com)  
<https://www.facebook.com/kzyatps/>  
[www.conference-chernihiv-polytechnik.com](http://www.conference-chernihiv-polytechnik.com)

\*За зміст матеріалів, викладених в тезах доповідей персональну відповідальність несуть автори



УДК 621; 624; 674; 684; 621.22; 621.51-54; 661; 664; 620.268; 621.791; 004

ISBN 978-617-7932-01-6

© Національний університет  
«Чернігівська політехніка», 2020

**МІЖНАРОДНИЙ ПРОГРАМНИЙ КОМІТЕТ КОНФЕРЕНЦІЇ**

доктор Шефер Клаус (Oerlikon Barmag, Німеччина)  
Штильгер Мартін (ThyssenKrupp, Німеччина)  
д-р. наук, проф. Бадіда Мирослав, (Технічний університет Кошице, Словаччина)  
д-р. наук, проф. Вархола Міхал, (Президент Академічного співтовариства М. Балудянського, Словаччина)  
к.т.н., проф. Голетіані Кетаван (Батумський навчальний університет навігації, Грузія)  
д-р. наук, проф. Келемен Міхал, (Технічний університет Кошице, Словаччина)  
д.т.н., проф. Нікітенко М.І. (Білоруський національний технічний університет, Білорусь)  
д.ф.н., проф. Новрузов Рафік (Бакінський слов'янський університет, Азербайджан)  
д.т.н., проф. Радзевич С.П., (EATON Corp., США)  
проф. Сандал Ян-Урбан (Ректор інституту ім. д-ра Яна-Урбана Сандала, Норвегія)  
д.т.н., проф. Федориненко Д.Ю. (Tohoku University, Японія)

**НАЦІОНАЛЬНИЙ ПРОГРАМНИЙ КОМІТЕТ КОНФЕРЕНЦІЇ**

д.т.н., проф. Новомлинець О.О. (м. Чернігів, в.о. ректора Національного університету «Чернігівська політехніка»)  
д.т.н., проф. Ступа В.І. (м. Київ, Київський національний університет технологій та дизайну)  
д.т.н., проф. Бобир М.І. (м. Київ, НТУУ «Київський політехнічний інститут ім. Ігоря Сікорського»)  
д.т.н., проф. Андренко П.М. (м. Харків, НТУ «Харківський політехнічний інститут»)  
д.т.н., проф. Антонюк В.С. (м. Київ, НТУУ «Київський політехнічний інститут ім. Ігоря Сікорського»)  
д.т.н., с.н.с. Башинський В.Г. (м. Чернігів, Державний НДІ випробувань і сертифікації озброєння та військової техніки)  
д.т.н., проф. Білик С.І. (м. Київ, Київський національний університет будівництва і архітектури)  
д.т.н., проф. Болотов Г.П. (м. Чернігів, Національний університет «Чернігівська політехніка»)  
д.т.н., проф. Васильченко Я.В. (м. Краматорськ, Донбаська державна машинобудівна академія)  
д.т.н., проф. Веселовська Н.Р. (м. Вінниця, Вінницький національний аграрний університет)  
д.т.н., проф. Винников Ю.Л. (м. Полтава, Національний університет «Полтавська політехніка ім. Юрія Кондратюка»)  
д.т.н., проф. Воронцов Б.С. (м. Київ, НТУУ «Київський політехнічний інститут ім. Ігоря Сікорського»)  
д.т.н., доц. Грибков Е.П. (м. Краматорськ, Донбаська державна машинобудівна академія)  
д.т.н., проф. Грицай І.Є. (м. Львів, Національний університет «Львівська політехніка»)  
д.т.н., проф. Данильченко Ю.М. (м. Київ, НТУУ «Київський політехнічний інститут ім. Ігоря Сікорського»)  
д.т.н., проф. Денисов Ю.О. (м. Чернігів, Національний університет «Чернігівська політехніка»)  
к.т.н., с.н.с. Дмитрієв В.А. (м. Чернігів, Державний НДІ випробувань і сертифікації озброєння та військової техніки)  
д.т.н., проф. Дмитрієв Д.О. (м. Херсон, Херсонський національний технічний університет)  
д.т.н., проф. Долгов М.А. (м. Київ, Інститут проблем міцності ім. Г.С.Писаренка)  
д.т.н., проф. Дубенець В.Г. (м. Чернігів, Національний університет «Чернігівська політехніка»)  
д.т.н., проф. Дубровський М.П. (м. Одеса, Одеський національний морський університет)  
д.т.н., проф. Залога В.О. (м. Суми, Сумський державний університет)  
д.геол.н., проф. Іванишин В.А. (м. Чернігів, Національний університет «Чернігівська політехніка»)  
к.т.н., проф. Іванов М.І. (м. Вінниця, Вінницький національний аграрний університет)  
д.т.н., проф. Іскович-Лотоцький Р.Д. (м. Вінниця, Вінницький національний технічний університет)  
д.т.н., проф. Казимир В.В. (м. Чернігів, Національний університет «Чернігівська політехніка»)  
д.т.н., проф. Калафатова Л.П. (м. Покровськ, Донецький національний технічний університет)  
д.т.н., проф. Кальченко В.І. (м. Чернігів, Національний університет «Чернігівська політехніка»)  
д.т.н., проф. Кальченко В.В. (м. Чернігів, Національний університет «Чернігівська політехніка»)  
д.т.н., проф. Квасніков В.П. (м. Київ, Національний авіаційний університет)  
д.т.н., проф. Кириченко А.М. (м. Кропивницький, Центральноукраїнський національний технічний ун-т)  
д.т.н., проф. Клименко Г.П. (м. Краматорськ, Донбаська державна машинобудівна академія)  
д.т.н., проф. Клименко С.А. (м. Київ, Інститут надтвердих матеріалів ім. Бакуля)  
д.т.н., проф. Клочко О.О. (м. Харків, НТУ «Харківський політехнічний інститут»)  
д.т.н., проф. Ковалевський С.В. (м. Краматорськ, Донбаська державна машинобудівна академія)  
д.т.н., проф. Ковальов В.Д. (м. Краматорськ, Донбаська державна машинобудівна академія)  
д.т.н., проф. Козловський В.В. (м. Київ, Національний авіаційний університет)  
д.т.н., проф. Колосов О.Є. (м. Київ, НТУУ «Київський політехнічний інститут ім. Ігоря Сікорського»)

д.т.н., проф. Копилов В.І. (м. Київ, НТУУ «Київський політехнічний інститут ім. Ігоря Сікорського»)  
к.т.н., проф. Корнієнко М.В. (м. Київ, Київський національний університет будівництва і архітектури)  
д.т.н., проф. Корченко О.Г. (м. Київ, Національний авіаційний університет)  
д.т.н., проф. Криворучко О.В. (м. Київ, Київський національний торговельно-економічний університет)  
д.т.н., проф. Кузнецов Ю.М. (м. Київ, НТУУ «Київський політехнічний інститут ім. Ігоря Сікорського»)  
д.т.н., проф. Лебедев В. О. (м. Київ, Інститут електрозварювання ім. Є.О. Патона)  
д.т.н., проф. Лурье З.Я. (м. Харків, НТУ «Харківський політехнічний інститут»)  
д.т.н., проф. Луців І.В. (м. Тернопіль, Тернопільський національний технічний університет ім. І. Пулюя)  
д.т.н., проф. Майборода В.С. (м. Київ, НТУУ «Київський політехнічний інститут ім. Ігоря Сікорського»)  
д.т.н., проф. Марков О.Є. (м. Краматорськ, Донбаська державна машинобудівна академія)  
д.т.н., доц. Мачуга О.С. (м. Львів, Національний лісотехнічний університет України)  
д.т.н., проф. Мироненко Є.В. (м. Краматорськ, Донбаська державна машинобудівна академія)  
д.т.н., проф. Огінський Й.К. (м. Запоріжжя, Запорізька державна інженерна академія)  
д.т.н., проф. Орловський Б.В. (м. Київ, Київський національний університет технологій та дизайну)  
д.т.н., проф. Павленко П.М. (м. Київ, Національний авіаційний університет)  
д.т.н., проф. Пальчевський Б.О. (м. Луцьк, Луцький національний технічний університет)  
д.т.н., проф. Панчук В.Г. (м. Івано-Франківськ, Івано-Франківський національний університет нафти і газу)  
д.т.н., проф. Пасічник В.А. (м. Київ, НТУУ «Київський політехнічний інститут ім. Ігоря Сікорського»)  
д.т.н., проф. Пермяков О.А. (м. Харків, НТУ «Харківський політехнічний інститут»)  
д.т.н., проф. Петраков Ю.В. (м. Київ, НТУУ «Київський політехнічний інститут ім. Ігоря Сікорського»)  
д.т.н., проф. Пінчевська О.О. (м. Київ, Національний університет біоресурсів і природокористування України)  
д.т.н., проф. Пилипенко О.І. (м. Чернігів, Національний університет «Чернігівська політехніка»)  
д.т.н., проф. Плаван В.П. (м. Київ, Київський національний університет технологій та дизайну)  
д.т.н., проф. Похмурська Г.В. (м. Львів, Національний університет «Львівська політехніка»)  
д.т.н., проф. Равська Н.С. (м. Київ, НТУУ «Київський політехнічний інститут ім. Ігоря Сікорського»)  
д.т.н., проф. Рудь В.Д. (м. Луцьк, Луцький національний технічний університет)  
д.т.н., проф. Савченко О.В. (м. Чернігів, Національний університет «Чернігівська політехніка»)  
д.т.н., проф. Саленко О.Ф., (м. Київ, НТУУ «Київський політехнічний інститут ім. Ігоря Сікорського»)  
д.т.н., проф. Сахно Є.Ю. (м. Чернігів, Національний університет «Чернігівська політехніка»)  
д.т.н., проф. Сиза О.І. (м. Чернігів, Національний університет «Чернігівський колегіум ім. Т.Г.Шевченка»)  
д.т.н., проф. Скоробогатова В.І. (м. Чернігів, Національний університет «Чернігівська політехніка»)  
д.т.н., проф. Струтинський В.Б. (м. Київ, НТУУ «Київський політехнічний інститут ім. Ігоря Сікорського»)  
д.т.н., проф. Ступницький В.В. (м. Львів, Національний університет «Львівська політехніка»)  
д.т.н., проф. Тітов В.А. (м. Київ, НТУУ «Київський політехнічний інститут ім. Ігоря Сікорського»)  
д.т.н., проф. Тіхенко В.М. (м. Одеса, Одеський національний політехнічний університет)  
д.пед.н., проф. Ткач Ю.М. (м. Чернігів, Національний університет «Чернігівська політехніка»)  
д.т.н., проф. Тонконогий В.М. (м. Одеса, Одеський національний політехнічний університет)  
д.т.н., проф. Фальченко Ю.В. (м. Київ, Інститут електрозварювання ім. Є.О. Патона)  
д.т.н., проф. Філоненко С.Ф. (м. Київ, Національний авіаційний університет)  
д.т.н., доц. Чуприна В.М. (м. Чернігів, Державний НДІ випробувань і сертифікації озброєння та військової техніки)  
д.т.н., проф. Чухліб В.Л. (м. Харків, НТУ «Харківський політехнічний інститут»)  
д.т.н., проф. Цибуля С.Д. (м. Чернігів, Національний університет «Чернігівська політехніка»)  
д.т.н., проф. Шахбазов Я.О. (м. Львів, Українська академія друкарства)  
д.т.н., проф. Шевченко О.В. (м. Київ, НТУУ «Київський політехнічний інститут ім. Ігоря Сікорського»)  
д.т.н., проф. Шинкаренко В.Ф. (м. Київ, НТУУ «Київський політехнічний інститут ім. Ігоря Сікорського»)  
д.т.н., проф. Юдін О.К. (м. Київ, Київський національний університет ім. Тараса Шевченка)

**Організатори конференції висловлюють щире подяку членам програмного комітету конференції «Комплексне забезпечення якості технологічних процесів та систем» за вагомий внесок в зростання авторитету і досягнення рівня найбільшої мультидисциплінарної міжнародної науково-практичної конференції України.**

## ТЕЗИ ДОПОВІДЕЙ СЕКЦІЙНИХ ЗАСІДАНЬ

### СЕКЦІЯ 1

#### ТЕХНОЛОГІЧНІ ПРОЦЕСИ ТА СИСТЕМИ МАШИНОБУДІВНОГО ВИРОБНИЦТВА

- Veselovska N. R., Malakov O. I., Hnatyuk O. F.** The analysis of test planning of flexible production systems 8  
*Vinnitsia National Agrarian University, Vinnitsia*
- Шепеленко І.В.<sup>1</sup>, Немировський Я.Б.<sup>1</sup>, Цеханов Ю.О.<sup>2</sup>, Єрьомін П.М.<sup>1</sup>, Гуцул В.І.<sup>1</sup>, Мірзак В.Я.<sup>1</sup>** Особливості деформуючого протягування малопластичних матеріалів 9  
<sup>1</sup> *Центральноукраїнський національний технічний університет, м. Кропивницький*  
<sup>2</sup> *Воронізький державний технічний університет, м. Вороніж, Росія*
- Погребняк Р.П.** Зміна режимів різання при контурній токарній обробці чашковим різцем фасонного профілю гребеня залізничного колеса 11  
*Національна металургійна академія України, м. Дніпро*
- Погребняк Р.П.<sup>1</sup>, Погребняк М. Р.<sup>2</sup>** Надлишкові зв'язки у схемі кривошипно-повзунного механізму захоплювача 13  
<sup>1</sup> *Національна металургійна академія України, м. Дніпро*  
<sup>2</sup> *Національний технічний університет «Дніпровська політехніка», м. Дніпро*
- Шелковий О.М., Стрельчук Р.М.** Технологічні основи електроерозійного шліфування зі змінною полярністю електродів 15  
*Національний технічний університет «ХПІ», м. Харків*

### СЕКЦІЯ 2

#### ТЕХНОЛОГІЇ ДЕРЕВООБРОБКИ І МЕБЛЕВОГО ВИРОБНИЦТВА

- Маєвський В.О., Ференц О.Б., Андрашек Й.В., Копинець З.П., Дадак Ю.Р., Сторожук В.М.** Аналіз об'ємного виходу пиломатеріалів з урахуванням класів якості соснової пилової сировини 17  
*Національний лісотехнічний університет України, м. Львів, tlsdbv@nltu.edu.ua*

### СЕКЦІЯ 4

#### ТЕХНОЛОГІЧНІ ПРОЦЕСИ ТА СИСТЕМИ ХІМІЧНОЇ, ЛЕГКОЇ, ПЕРЕРОБНОЇ ТА ХАРЧОВОЇ ПРОМИСЛОВОСТІ

- Полукаров Ю.О.** Переваги та недоліки вогнетривів у виробництві керамічних матеріалів 20  
*Національний технічний університет України «КПІ ім. Ігоря Сікорського», м. Київ*

### СЕКЦІЯ 5

#### ЗВАРЮВАННЯ ТА СПОРІДНЕНІ ПРОЦЕСИ І ТЕХНОЛОГІЇ. МАТЕРІАЛОЗНАВСТВО

- Мазанко В.Ф., Мордюк Б.Н., Герцркен Д.С., Богданов С.Є.** Параметри дифузії радіоактивного вуглецю <sup>14</sup>C у високоентропійних сплавах при ізотермічному відпалі 21  
*Інститут металофізики ім. Г. В. Курдюмова НАН України, м. Київ*

<b>Мазанко В.Ф., Філатов О.В., Бевз В.П., Герцрікен Д.С., Богданов Є.І.</b>	23
Електричні явища в системі Ст 3+ВЕС при ударному навантаженні	
<i>Інститут металофізики ім. Г. В. Курдюмова НАН України, м. Київ</i>	
<b>Зягор І.В., Завертанний М.С., Левчук А.М., Шило Ю.А.</b>	25
Особливості деформації при зварюванні тертям жароміцних нікелевих сплавів у різнойменному сполученні	
<i>Інститут електрозварювання ім. Є.О.Патона НАН України, м. Київ</i>	
<b>Мазанко В.Ф., Герцрікен Д.С.</b>	27
Дифузія в твердому стані металів за рівноважних умов та при імпульсних навантаженнях	
<i>Інститут металофізики ім. Г. В. Курдюмова НАН України, м. Київ</i>	
<b>Лебедев В.А., Жук Г.В.</b>	29
Анализ некоторых возможностей импульсной подачи электродной проволоки при дуговой сварке и наплавке	
<i>Інститут електросварки ім. Е. О. Патона НАН України, г. Киев</i>	
<b>Лебедев В.А., Жук Г.В.</b>	31
Перспективные исследования систем импульсной подачи оборудования для электродуговой сварки и наплавки	
<i>Інститут електросварки ім. Е. О. Патона НАН України, г. Киев</i>	
<b>Лебедев В.А.</b>	33
Механизованная электродуговая синергетическая сварка на основе дозированной подачи электродной проволоки	
<i>Інститут електросварки ім. Е. О. Патона НАН України, г. Киев</i>	
<b>Бриков М.М., Лебедев В.О., Новіков С. В.</b>	36
Перспективи використання наплавлення з механічними коливаннями для отримання зносостійких шарів з градієнтною структурою	
<i>Інститут електрозварювання ім. Є.О. Патона НАН України, м. Київ</i>	
<b>Лебедев В.А., Новиков С. В.</b>	37
Моделирование величин твёрдости наплавленного металла и металла зтв при низкочастотных колебаниях сварочной ванны	
<i>Інститут електросварки ім. Е. О. Патона НАН України, г. Киев</i>	
<b>Берднікова О.М.<sup>1</sup>, Алексеєнко Т.О.<sup>1</sup>, Половецкий Є.В.<sup>1</sup>, Гурнік О.О.<sup>2</sup>,</b>	39
Структура та характер руйнування легованої сталі з вмістом вуглецю 0,31%	
<sup>1</sup> <i>Інститут електрозварювання ім. Є.О. Патона, м. Київ</i>	
<sup>2</sup> <i>Фаховий коледж інженерії та зв'язку Національного авіаційного університету, м. Київ</i>	
<b>Кушнарєва О.С., Берднікова Е.Н., Бернацкий А.В., Кушнарєва Т.Н., Алексеєнко І.І.</b>	40
Структурные особенности поверхностных слоев, полученных лазерным и лазерно-плазменным легированием	
<i>Інститут електросварки ім. Е.О. Патона, г. Киев</i>	
<b>Берднікова Е.Н., Кушнарєва О.С., Половецкий Е.В., Титков Е.П., Еремєєва Л. Т.</b>	42
Структура и свойства композиционных покрытий при детонационном напылении	
<i>Інститут електросварки ім. Е.О. Патона, г. Киев</i>	
<b>Kruglyak I. V.</b>	43
Technology for the production of chrome diffusion coatings in composite media	
<i>Dniprovsky State Technical University, Kamyanskoe</i>	
<b>Korobochka O.M., Babko I.O.</b>	45
Obtaining chromo-titanium coatings under conditions of self-propagating high-temperature synthesis	
<i>Dniprovsky State Technical University, Kamyanskoe</i>	
<b>Belozor I.V., Sereda V.P.</b>	46
Formation of doped molybdenum coatings in the SHS	
<i>Dniprovsky State Technical University, Kamyanskoe</i>	

- Prolomov A.A., Sereda V.P.** Obtaining doped molybdenum coatings under conditions of self-propagating high-temperature synthesis 47  
*Dniprovsky State Technical University, Kamyanskoe*

### СЕКЦІЯ 7

#### РАЦІОНАЛЬНЕ ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ. ЕНЕРГЕТИКА, ЕНЕРГОЕФЕКТИВНІСТЬ ТА РЕСУРСОЗБЕРЕЖЕННЯ

- Федорова К.В., Полукаров Ю.О.** Специфіка водовідштовхуючого покриття для безпілотних літаючих апаратів 49  
*Національний технічний університет України «КПІ ім. Ігоря Сікорського», м. Київ*

### СЕКЦІЯ 8

#### ІНФОРМАЦІЙНІ ТА КОМУНІКАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ. ІНФОРМАЦІЙНА БЕЗПЕКА. ІНФОРМАЦІЙНО-ВИМІРЮВАЛЬНІ СИСТЕМИ. ЕЛЕКТРОНІКА

- Ербосынова А.С.<sup>1</sup>, Павленко П.Н.<sup>2</sup>, Власенко Ю.В.<sup>2</sup>, Захарчук Т.Н.<sup>2</sup>** 50  
Проектирование, моделирование и расчет параметров манипуляционных роботов  
<sup>1</sup> *НАО «Казахский национальный исследовательский технический университет им. К.И. Сатпаева», г. Алматы, Казахстан*  
<sup>2</sup> *Національний авіаційний університет, г. Киев*
- Тетерін С.О.** Метод оцінки ефективності комерціалізації інновацій 52  
*Національний авіаційний університет, м. Київ*
- Богданова Л.М., Аносов В.Л.** Використання інформаційних технологій для проектування металорізального інструменту 53  
*Донбаська державна машинобудівна академія, м. Краматорськ*

### СЕКЦІЯ 9

#### ЕКОНОМІЧНІ, ПРАВОВІ ТА СОЦІАЛЬНО-ПСИХОЛОГІЧНІ АСПЕКТИ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ЯКОСТІ ТА ЕФЕКТИВНОСТІ ПРОЦЕСІВ ТА СИСТЕМ

- Савенко В.І., Нестеренко І.С., Пальчик П.П.** Управління конкурентоспроможністю підприємства в сучасних умовах господарювання 55  
*Київський національний університет будівництва і архітектури, м. Київ*
- Петренко Л.М.** Розробка інформаційної технології для прогнозування фінансового стану підприємства 56  
*Національний технічний університет України «КПІ ім. Ігоря Сікорського», м. Київ*

**СЕКЦІЯ 1**  
**ТЕХНОЛОГІЧНІ ПРОЦЕСИ ТА СИСТЕМИ МАШИНОБУДІВНОГО**  
**ВИРОБНИЦТВА**

UDC 621.979:923

**Veselovska N. R., Doctor of Technical Sciences, Professor**  
**Malakov O. I.**  
**Hnatyuk O. F.**  
Vinnytsia National Agrarian University, [wnatalia@ukr.net](mailto:wnatalia@ukr.net)

**THE ANALYSIS OF TEST PLANNING OF FLEXIBLE PRODUCTION SYSTEMS**

In our country, automatic production lines are widely used, combining complexes of aggregate machines and automatic machines that work automatically. The disadvantage is the narrow focus on the manufacture of a certain type of product. In this regard, such tools can be only used where production is massive and sustainable. In industrialized countries, large-scale and mass production is only 20%, and single, small-scale and mass production is 80% [1, 2, 3].

In order to resolve the contradictions caused, on the one hand, by the small-scale production facilities, and on the other, by the large scale of production itself, methods of group technology were developed. The next step in the automation of production is the development of programmable and, therefore, reconfigurable tools, that is, flexible equipment. These include CNC machines, machining centers, industrial robots and other equipment.

As a rule, test planning involves the fact that the product being checked, or some part of it, must be removed from the ready state for some time. This means that more frequent tests reduce the useful time during which the system is ready for action and expects only the occurrence of an accident or alarm, and, on the other hand, less frequent tests reduce the confidence in servicing equipment and, consequently, its ability to perform the resulting problems [4, 5]. In addition, test planning can significantly increase the failure rate of system equipment or lead to additional malfunctions, while in passive standby or storage, in many cases, the risk of failure is less.

Let the product in the ready state undergo tests which are carried out in a negligible time without creating the prerequisites for the appearance of additional malfunctions.

Hardware failures will be called malfunctions, emphasizing the fact that they are timely eliminated, they may not lead to a failure to perform some task [6, 7]. We believe that each testing has a fixed cost of  $C_1$ , and the stay of the product in a malfunctioning state for one hour is costed in  $C_2$ . Then a malfunction that occurs at any moment between some  $k$ th and  $(k + 1)$ -th tests causes operational losses equal to:

$$\int_{t_k}^{t_{k+1}} \{(k + 1)C_1 + C_2(t_{k+1} - x)\}dF(x), \quad (1)$$

where  $F(x)$  is the distribution of time to the first fault. However, since a malfunction can occur after any test, to calculate the total expected operational loss, it is necessary to add (1) over all possible  $k$  from 0 to  $\infty$ :

$$M[C_3] = \sum_{k=0}^{\infty} \int_{t_k}^{t_{k+1}} \{C_1(k + 1) + C_2(t_{k+1} - x)\}dF(x). \quad (2)$$

If the distribution  $F(x)$  is continuous and has a moment, then there exists a sequence of non-negative numbers  $\{F^*_k\}$  (which represent the moments of tests) that minimizes the total expected losses of the form (2). This sequence can be found for all  $k$ :



$$\frac{\partial}{\partial t_k} \left\{ \int_{t_{k-1}}^{t_k} [kC_1 + C_2(t_k - x)]dF(x) + \int_{t_k}^{t_{k+1}} [(k+1)C_1 + C_2(t_{k+1} - x)]dF(x) \right\} = 0 \quad (3)$$

or finally

$$t_{k+1} - t_k = \frac{F(t_k) - F(t_{k-1})}{f(t_k)} - \frac{C_1}{C_2}, \quad (4)$$

where

$$f(t_k) = \left. \frac{dF(t)}{dt} \right|_{t=t_k}.$$

Using recurrence relation (4), the optimal values of the test moments  $\{t_k^*\}$  are successively determined, but for this it is necessary to set the value  $t_1$ , on the basis of which all the other test moments are found [4-5]. Such verification strategies are called periodic to distinguish them from variable-interval verification strategies called sequential. If the form of the distribution law  $F(t)$  is unknown, then the task of test planning is formulated somewhat differently.

The basic dependencies of test planning and repair under variable operating modes have been monitored and the ranges of existence of the system depending on internal factors and changes in working time, environmental characteristics and factors affecting the system have been obtained.

Several methods of mathematical test planning on the operability of the FPS equipment have been analyzed and developed, taking into account the impact of all possible negative factors on the system.

#### List of references

1. Shishmarev, V. (2005) Automation of technological processes: Textbook for students. Environments.- M.: Publishing center "Academy".
2. Cherpakov, B. I., Vereina L.I. (2004) Production Automation and Mechanization: Textbook. study guide. environmental institutions. prof. education. - M.: Academy Publishing Center.
3. Baralo, O.V., Samoilenko, P. G., Granat, S. E., Kovalev, V. A. (2010) Automation of technological processes and systems of automatic control: Tutorial. - K.: Agrarian education. -P. 557.
4. Martynenko, I. I., Martynenko, I. I. (1995) Automation of technological processes of agricultural production [Electronic resource] - K.: Harvest. - Resource Access Mode: <https://buklib.net/books/35489/>.
5. Automation and mechanization of production (2017) [Electronic resource] // My education.- Resource access mode: <http://moyaosvita.com.ua/osvita-2/avtomatizaciya-i-mexanizaciya-virobnictva/>. (Ukr)..

УДК 539.213:621.778.011

**Шепеленко І.В., канд. техн. наук**

**Немировський Я.Б., докт. техн. наук, професор**

Центральноукраїнський національний технічний університет, [kntucpfzk@gmail.com](mailto:kntucpfzk@gmail.com)

**Цеханов Ю.О., докт. техн. наук, професор**

Воронізький державний технічний університет, [tsekhanov@yandex.ru](mailto:tsekhanov@yandex.ru)

**Єрємін П.М., канд. техн. наук**

**Гуцул В.І., канд. техн. наук**

**Мірзак В.Я., канд. техн. наук**

Центральноукраїнський національний технічний університет, м. Кропивницький

#### ОСОБЛИВОСТІ ДЕФОРМУЮЧОГО ПРОТЯГУВАННЯ МАЛОПЛАСТИЧНИХ МАТЕРІАЛІВ

Для оцінки якості обробленої деталі слід використовувати параметр, що характеризує дефектність поверхневого шару, – ресурс використаної пластичності [1, 2]. Дослідження показників пластичності стає особливо актуальним при обробці пластичним деформуванням малопластичних матеріалів, в тому числі такого конструкційного

матеріалу як графітовмісткий чавун СЧ20, можливості пластичної формозміни якого обмежені руйнуванням.

Рекомендації з вибору режимів деформуючого протягування та оцінки ресурсу використаної пластичності при обробці виробів з пластичних матеріалів наведені в низці робіт [1, 3], водночас для малопластичних матеріалів це питання вивчено недостатньо. Більше того, вкоренилась думка, що обробка виробів із малопластичних матеріалів деформуючим протягуванням є нездійсненною. Однак дані [4, 5 та ін.] свідчать про можливість і перспективність дослідження цього напрямку.

Наукові основи для пластичної обробки малопластичних матеріалів сформульовані в [6], де зазначено, що при створенні умов усебічного стиснення навіть крихкі матеріали можуть вести себе як пластичні, тобто мати певні залишкові деформації.

При деформуючому протягуванні в зоні взаємодії інструмента з виробом створюються умови, близькі до всебічного стиску, які дають змогу виконувати пластичну обробку виробів навіть з такого напівкрихкого (малопластичного) матеріалу як чавун. Умови близькі до всебічного стиску, характеризуються від'ємним значенням коефіцієнта жорсткості напруженого стану [1]. Отже, обробку виробів із чавуну деформуючим протягуванням необхідно виконувати при від'ємних значеннях показника напруженого стану. У цьому випадку необхідно уникати наскрізних пластичних деформацій заготовки: її зовнішня поверхня не повинна пластично деформуватися, це неминуче призведе до руйнування заготовки. Тому пластична зона повинна охоплювати тільки внутрішню частину стінки заготовки.

Дослідження напружено-деформуючого стану в осередку деформації показує, що основне накопичення мікрodefektів відбувається в позаконтактній зоні – перед ділянкою контакту. Деформування матеріалів заготовки перед ділянкою контакту відбувається до величини накопиченої деформації в цій зоні. При цьому коефіцієнт жорсткості напруженого стану постійний і становить  $\eta = -1,73$ , що відповідає стисненню в умовах плоскої деформації. На початку контактної зони відбувається різке збільшення від'ємного значення коефіцієнта жорсткості напруженого стану, що свідчить про те, що в цій точці матеріал переходить у стан сильного об'ємного стиснення і коефіцієнт сягає значення  $\eta \approx -7$ . Тож відбувається подальше накопичення деформації в контактній зоні. Однак збільшення ресурсу використаної пластичності в даному випадку практично не відбувається. Це пояснюється тим, що в матеріалі, який деформується в умовах потужного об'ємного стиснення, мікрodefekти практично не виникають. Дана особливість забезпечує додаткові можливості для інтенсивної деформації зсуву в поверхневому шарі за рахунок роботи тертя.

Аналіз розрахункової схеми зміни параметрів деформації за один цикл деформування показує, що основне накопичення ушкоджень відбувається в позаконтактній зоні – перед ділянкою контакту, де має місце напружений стан стиснення в умовах плоскої деформації. Зменшення цієї зони веде до збільшення ресурсу пластичності оброблюваного матеріалу. Технологічний вплив на розміри позаконтактної зони можна здійснювати зміною величини натягу на елемент. Зазначене положення підтверджується експериментальними даними [7], згідно з якими гранична деформація до руйнування зростає при мінімальних натягах на елемент.

Управління параметрами позаконтактної зони за ділянкою контакту можна здійснити також зміною кута нахилу твірної робочого конуса інструмента –  $\alpha$ . Причому, чим менший кут  $\alpha$ , тим менші параметри в позаконтактній зоні. Отже, для збільшення ресурсу пластичності при обробці виробів із чавуну необхідно потрібну деформацію здійснювати при мінімально необхідних кутах  $\alpha$  і натязі.

Варіантом технологічного впливу на ресурс пластичності виробів із малопластичних матеріалів є також збільшення товстостінності заготовки з чавуну, що збільшує її

пластичність при деформуючому протягуванні. Таким чином, при обробці тонкостінних заготовок, ресурс пластичності яких незначний, необхідно збільшувати їх товщину за рахунок встановлення оброблюваних заготовок в додатковий корпус, внутрішній діаметр якого дорівнює зовнішньому діаметру оброблюваної заготовки. Зазначені технологічні прийоми уможливають обробку деформуючим протягуванням виробів із малопластичних матеріалів.

#### Список посилань

1. Цеханов, Ю.А. Механика формообразования заготовок при деформирующем протягивании [Текст] / Ю.А. Цеханов, С.Е. Шейкин – М-во образования Рос. Федерации. Воронеж. гос. технол. акад. – Воронеж, 2001. – 200 с.
2. Смелянский, В.М. Механика упрочнения деталей поверхностным пластическим деформированием [Текст] / В. М. Смелянский – М. Машиностроение, 2002. – 300 с.
3. Математическое моделирование процесса деформирующего протягивания [Текст] / Е.А. Балаганская, Б.А. Голоденко, Я.Б. Немировский, Ю.А. Цеханов – М-во образования Рос. Федерации. Воронеж. гос. технол. акад. – Воронеж : Воронеж. гос. технол. акад., 2001. – 194 с.
4. Немировский, Я.Б. Особенности расчета усадки отверстий при деформирующем протягивании деталей из чугуна [Текст] / Я.Б. Немировский, А.В. Чернявский, П.Н. Еремин // Високі технології в машинобудуванні: Збірник наукових праць. – Харків, НТУ «ХП», 2014. – Вип. 1(24). – С.109–121.
5. Nemirovskyy, Yu. Issues about limit plastic deformations of deforming broaching of cast iron parts [Text] / Yu. Nemirovskyy, O. Chernyavskyy, P. Eryomin, Yu. Tsekhanov // Scientific Journal of the Ternopil National Technical University.–N1(81).–Ternopil, TNTU, 2016.–PP. 88–97.
6. Бриджмен, П.В. Новейшие работы в области высоких давлений: Монография [Текст] / П.В. Бриджмен; под ред. и с дополн. акад. Л.Ф. Верещагина. – М. : Гос. изд-во иностр. лит-ры. – 1948. – 300 с.
7. Механіка комбінованого протягування графітовмісних чавунів. Монографія [Текст] / Е.К. Посвятенко, Я.Б. Немировський, О.В. Чернявський, П.М. Єрьомін – М-во освіти та науки України, Кіровоградський нац. техн. ун-т. – Кропивницький, 2017. – 286 с.

УДК 621.923

Погребняк Р.П., канд. техн. наук., доцент

Національна металургійна академія України, м. Дніпро, pogrebnyakk@ukr.net

### ЗМІНА РЕЖИМІВ РІЗАННЯ ПРИ КОНТУРНІЙ ТОКАРНІЙ ОБРОБЦІ ЧАШКОВИМ РІЗЦЕМ ФАСОННОГО ПРОФІЛЮ ГРЕБЕНЯ ЗАЛІЗНИЧНОГО КОЛЕСА

Найчастіше токарну контурну обробку фасонної поверхні залізничних коліс й колісних пар при їх виробництві та ремонті виконують чашковими різцями діаметром вставки 25...30 мм [1] на карусельних й колесотокарних верстатах. При обробці залізничних коліс застосування чашкових різців обумовлено необхідністю забезпечити необхідний радіус жолобника в місці сполучення поверхні катання й гребеня, тому радіус жолобника визначає діаметр інструмента.

Геометрія профілю кочення й гребеня залізничного колеса за ДСТУ ГОСТ 10761:2016 [2] складається з фрагментів кіл і прямих та навіть при постійній глибині й швидкості обходу контуру режими різання не залишаються постійними й відрізняються від режимів різання при прямолінійному точінні.

При різанні чашковим різцем криволінійної ділянки профілю не глибина різання прямолінійного точіння  $t$  визначає цей параметр режиму різання, визначальною є довжина криволінійного контакту різця з деталлю або кут контакту між ними (рис. 1, а). При однаковій глибині різання кут контакту різний для криволінійного й прямолінійного точіння, тому наведена глибина різання, формула якої отримана за умови рівності кутів

контакту на ділянках криволінійного й прямолінійного точіння [3, 4], залежить від координати ділянки обробки профілю і має вигляд:

$$t(x) = \frac{2(R(x) - r) + t}{2R(x)} t . \quad (1)$$

Подача на криволінійній опуклій радіусній ділянці гребеня теж не буде рівною подачі на прямолінійній ділянці профілю і теж залежна від координати ділянки обробки [1]:

$$S(x) = \left(1 - \frac{r - 0,5t}{R(x)}\right) S . \quad (2)$$

Зміна швидкості різання відбувається за рахунок зміни діаметру обробки

$$V(x) = 0,001(D(x) + y(x))\pi \cdot n . \quad (3)$$

Тут позначено:  $t$  – глибина різання на прямолінійній ділянці профіля, мм;  $S$  – подача на прямолінійній ділянці профіля, об/хв;  $V$  – швидкість різання, м/хв;  $r$  – радіус інструмента, мм;  $D$  – діаметр колеса по поверхні кочення, м;  $n$  – частота обертання планшайби, хв<sup>-1</sup>;  $R$  – радіус кіл еквідистанти, що описують профіль;  $y$  – збільшення діаметру обробки за рахунок висоти гребеня, м;  $n$  – частота обертання планшайби, хв<sup>-1</sup>.

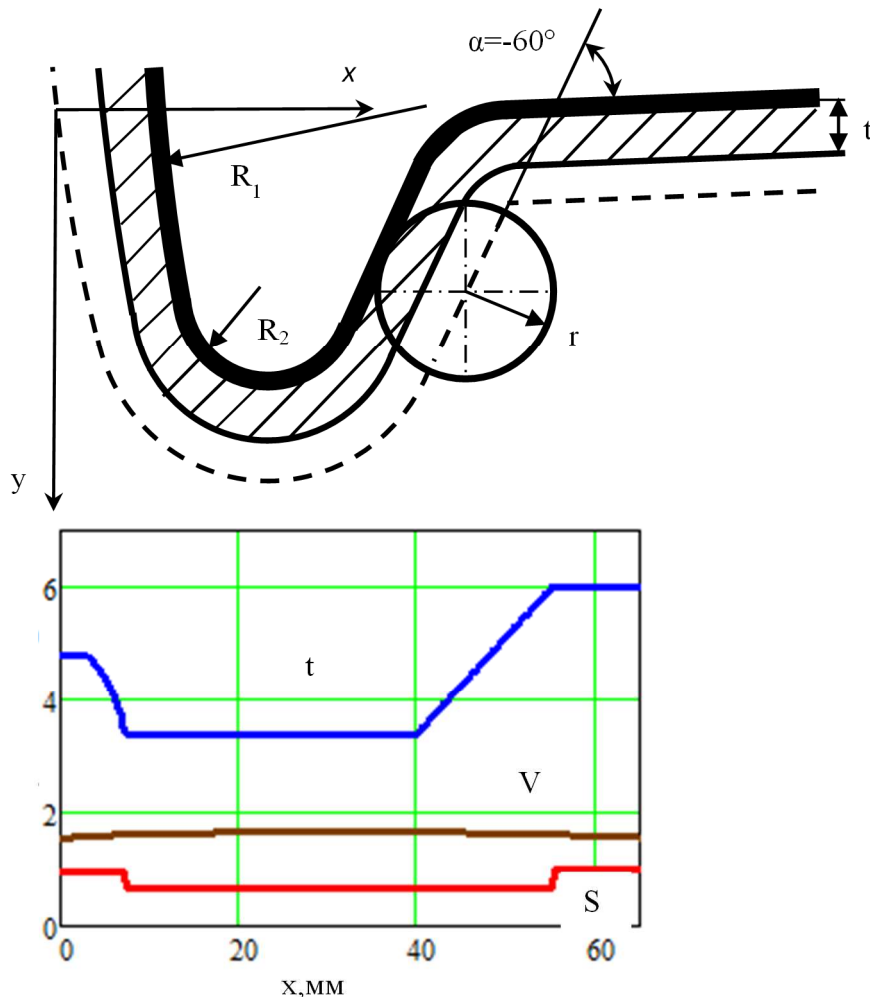


Рис. 1 – Зміна наведених режимів різання при контурній обробці фасонної поверхні гребеня й поверхні кочення залізничного колеса за ДСТУ ГОСТ 10761:2016 ( $t = 6$  мм,  $S = 1$  мм/об,  $n = 30$  об/хв,  $R_1 = 27,5$  мм,  $R_2 = 60$  мм,  $r = 15$  мм)

Моделюванням засобами MathCad побудовані графіки зміни наведених режимів різання при обробці поверхні гребеня й поверхні кочення залізничного колеса за ДСТУ ГОСТ 10761:2016.

Як видно на опуклих ділянках обробки гребеня при постійній швидкості обходу контура наведена подача істотно зменшуються, однак ще більш суттєво зменшуються наведена глибина різання відносно режимів різання прямолінійного точіння. При обробці жолобника, де при незмінній глибині різання значно збільшується довжина контакту деталі з різцем, наведена глибина різання різко й суттєво зростає якщо продовжувати обхід контуру одним різцем. Для запобігання такого зростання в районі жолобника закінчується обробка профілю двома бічними супортами, що рухаються назустріч один одному [5], при цьому наведена глибина різання не перевищує глибини різання прямолінійного точіння.

Режими різання не залишаються сталими не тільки в залежності від координати обробки  $x$ , але й міняються в часі у зв'язку з викривленням форми заготовки колеса після прокатки на колесопрокатному стані [6].

#### Список посилань

1. Погребняк, Р.П. Технологическая нагрузка и точность формообразования фасонной поверхности железнодорожного колеса фасонным резцом [Текст]/ Р.П. Погребняк // СТИН (Станки инструмент), М., 2012. – № 1. – С. 29-34.
2. ДСТУ ГОСТ 10761:2016. Колеса суцільнокатані. Технічні умови : чинний з 2016-09-01. – К.: Держспоживстандарт України, 2016. – 15 с.
3. Pogrebnyak, R. Load and shaping precision of a complex railroad-wheel surface [Текст] / R. Pogrebnyak // Russian engineering research. Allerton Press, Inc., New York. - 2012. Т. 32. - №4. pp.407-411. doi:10.3103/S1068798X12040211.
4. Погребняк, Р.П. Пружна нелінійна динаміка руху супорта карусельного верстата для обробки суцільнокатаних залізничних коліс [Текст] / Р.П. Погребняк // Наука та прогрес транспорту. – 2017. - № 4 (70). – с.98-105. doi.org/10.15802/stp2017/109606
5. Іващенко В.П., Погребняк, Р.П. Технологічні процеси механічної обробки залізничних коліс[Текст] / В. П. Іващенко, Р.П.Погребняк // Теорія и практика металургії, Дніпропетровськ, 2011. – № 3-4 (82-83). – С.6 –11.
6. Погребняк, Р.П. Форма прокатоної заготовки залізничного колеса [Текст] / Р.П.Погребняк // Теорія и практика металургії, Дніпропетровськ, 2011. – № 1-2. – С.113 –117.

УДК 621.833

**Погребняк Р.П., канд. техн. наук., доцент**

Національна металургійна академія України, м. Дніпро, pogrebnyakk@ukr.net

**Погребняк М. Р., студент**

Національний технічний університет «Дніпровська політехніка», м. Дніпро

## НАДЛИШКОВІ ЗВ'ЯЗКИ У СХЕМІ КРИВОШИПНО-ПОВЗУННОГО МЕХАНІЗМУ ЗАХОПЛЮВАЧА

Добре відомі переваги будь-яких механізмів без надлишкових зв'язків (повторювальних зв'язків) [1, 2], тому доцільно проектування самовстановлених стрижньових механізмів, у тому числі й захоплюючих пристроїв.

Робочий орган промислового робота, що призначений для захоплення й утримання об'єкта маніпулювання, називають захоплювальним (захоплювачем, захватом) пристроєм. Механізми захватів роботів і маніпуляторів є окремими пристроями зазвичай з індивідуальним приводом [3, 4, 5]. Побудований на основі спареного паралелограмного кривошипно-повзунного механізму стрижньовий механізм захвату (рис. 1, а) має десять ланок і ведучий повзун 1, який впливає на шатуни 2 і 6, що з'єднані коромислами 3 і 7 зі

станиною 0. На продовженні шатунів шарнірно закріплені ланки 4 й 8, що містять затискні елементи захвату. Додані діади 4-5 та 8-9 утворюють паралелограм і забезпечують плоско-паралельний рух затискних елементів захвату.

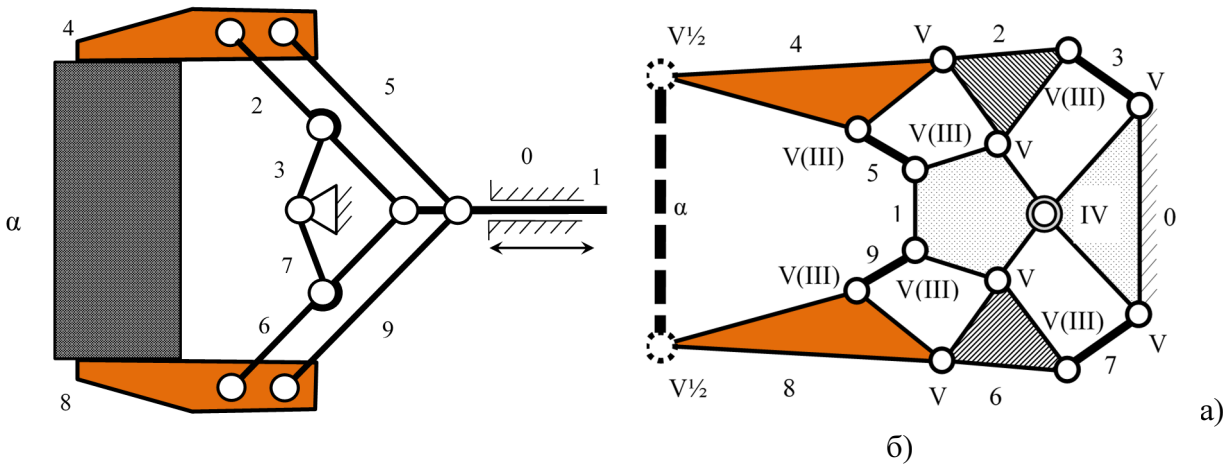


Рис. 1 – Кінематична(а) і структурна схема(б) кривошипно-повзунного механізму захвату

Пошук надлишкових зв'язків виконаний засобами теорії механізмів і машин за допомогою універсальної структурної теорії Озолса для аналізу механізму захвату як механізму із внутрішніми і зовнішніми зв'язками. Механізми захватів мають змінну структуру з різними основними параметрами схем, тому їх аналіз проводять двічі: до та після затиску об'єкта затискними елементами захвату, під час якого накладаються зовнішні зв'язки, серед них є і односторонні неутримуючі [6, 7].

*Зовнішнє тіло(об'єкт)  $\alpha$  не затиснуто.* Зовнішній контур 1-5-4- $\alpha$ -8-9 не утворений. У такій структурній схемі механізму (рис. 2, а) є дев'ять рухомих ланок, тринадцять з'єднань і чотири контури. Основні внутрішні структурні параметри кінематичного ланцюга: рухомість механізму  $W=1$ , число ланок  $n=10$ , число з'єднань  $p=13$ , загальне число рухливостей усіх з'єднань  $f=12 \cdot 1 + 1 \cdot 2 = 14$ , число контурів  $k=4$ . Загальне число надлишкових зв'язків знайдемо за формулою Озолса [1]

$$\sigma = W + 6k - f, \quad (1)$$

$\sigma = 1 + 6 \cdot 4 - 14 = 11$ . У симетричних чотирьох контурах утворюються по три надлишкових зв'язка. Загальна для обох контурів оберտальна рухомість самовстановлення ведучого повзуна, що використовується при збиранні в одному контурі (наприклад, 0-1-2-3) і зменшує кількість надлишкових зв'язків, вже не може бути використана для самовстановлення в іншому (0-1-6-7). Тому в одному контурі (0-1-2-3) утворюються два ПЗ, а в іншому (0-1-6-7) – три. У контурах паралелограмів 1-2-4-5 і 1-6-8-9 можлива непаралельність осей шарнірів може створити вигин і скручування шатунів, і ці деформації будуть викликані дією надлишкових зв'язків, а не дією зовнішньої сили.

*Зовнішнє тіло  $\alpha$  затиснуто.* Тепер накладені зовнішні зв'язки і структура механізму змінилася. Механізми захватів завжди мають зовнішні зв'язки, то згідно універсальній структурній теорії розглядати їх потрібно з двох позицій. По-перше, в ізоляції від зовнішніх тіл, з якими він має зовнішні зв'язки (ізольовано від об'єкта маніпулювання); число ступенів свободи при усунених зовнішніх зв'язках називають фактичною рухомістю механізму ( $W_{\phi}$ ). По-друге, в робочому стані, коли діють зовнішні зв'язки (об'єкт затиснутий); рухомість при діючих зовнішніх зв'язках – робоча рухомість механізму ( $W_p$ ).  $W_{\phi}$  менша за  $W_p$  на кількість накладених зовнішніх зв'язків. Перший випадок відповідає стану механізму вільного від об'єкта маніпулювання, другий – стану механізму, коли об'єкт затиснутий. Оскільки тепер механізм має зовнішні зв'язки, то для

подальшого аналізу доцільно використовувати зовнішню структурну формулу, яка дозволяє встановити у такому механізмі кількість зовнішніх надлишкових зв'язків:

$$\sigma_a = S_a - (W_\phi - W_p) - W_a, \quad (2)$$

де  $S_a$  – число зовнішніх зв'язків,

$W_a$  – число втрачених рухомостей зовнішніх тіл від дії зовнішніх зв'язків.

Після затиску деталі  $\alpha$  в схемі утворюється ще один контур 1-5-4-  $\alpha$  -8-9, а механізм і зовнішнє тіло повністю втрачають рухомість  $W_p = 0$ . При плоских затискних елементах та достатнього тертя між ними і об'єктом захвату останній не може рухатися відносно механізму, тому вважаємо, що у зовнішніх парах 4- $\alpha$  і  $\alpha$ -8 за цих умов утворюються нерухомі з'єднання VI класу. Зовнішні з'єднання стають здатними передати силу і здійснювати всі голономні фрикційні зв'язки тільки тоді, якщо обидві ланки 8 і 4 затискають об'єкт. Кількість зовнішніх надлишкових зв'язків за залежністю (2):  $\sigma_a = 12 - (1 - 0) - 6 = 5$ , з них три утворюються під час накладання фрикційних голономних зв'язків, двічі обмежують передачу моменту і передачу сил. Кінематично було б достатньо, щоб зазначені фрикційні зв'язки накладав один затискний елемент захвата. Решта два з виявлених зовнішніх надлишкових зв'язків вимагають суворого дотримання паралельності поверхонь затискних елементів захвата і бічних поверхонь деталі в двох взаємно перпендикулярних площинах.

#### Список посилань

1. Озол, О. Г. Основы конструирования и расчета механизмов [Текст] / О. Г. Озол. – Рига : Звайгзне, 1979. – 360 с.
2. Reshetov, L. Self-Aligning Mechanisms : Reference book [Текст] / Transl. from Russian by L. Sachs. Moscow : Mir, 1986. 528 p.
3. Боренштейн, Ю. П. Исполнительные механизмы захватывающих устройств [Текст] / Ю. П. Боренштейн. – Ленинград : Машиностроение, 1982. – 302 с.
4. Robot grippers / Gareth J. Monkman, Stefan Hesse, Ralf Steinmann, Henrik Schunk. – Weinheim : Wiley-VCH; 2007. – 463 p. doi: 10.1002/9783527610280
5. Belfiore, N. P. An atlas of linkage-type robotic grippers [Текст] / N. P. Belfiore, E. Pennestri // Mechanism and Machine Theory. – 1997. – Vol. 32. – Iss. 7. – P. 811–833.
6. Pogrebnyak, R. P. Structural analysis and rational design parallelogram arm gripping device [Текст] / R. P. Pogrebnyak // Теорія і практика металургії. – 2015. – № 1-2. – С. 123–125.
7. Погребняк, Р. П. Пошук та усунення надлишкових зв'язків у захоплюючих пристроях (захоплювачах) механізмів маніпуляторів [Текст] / Р. П. Погребняк // Металлургическая и горнорудная промышленность. – 2015. – № 7 (296). – С. 91–95.

УДК 621.923

**Шелковий О.М., докт. техн. наук, професор**

**Стрельчук Р.М., канд. техн. наук**

Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут»,

alnikshelk@gmail.com

### ТЕХНОЛОГІЧНІ ОСНОВИ ЕЛЕКТРОЕРОЗІЙНОГО ШЛІФУВАННЯ ЗІ ЗМІННОЮ ПОЛЯРНІСТЮ ЕЛЕКТРОДІВ

Особливість технології електроерозійного шліфування зі змінною полярністю електродів полягає в тому, що робочий зазор між струмопровідними поверхнями – інструмента і заготовки залишається в процесі обробки практично постійним [1]. І це закономірно щодо періодично змінної полярності електродів. Так, при зворотній полярності електродів стабільність зазору забезпечується кінематикою устаткування. Продукти, що утворюються ж миттєво, електроерозією у вигляді наросту утворень на оброблюваній поверхні заготовки-катоді, відразу ж знімаються зернами і викидаються

ними з робочої зони разом з оплавленими продуктами електроерозії, що раніше осіли між зернами – при попередній прямій полярності. Особливість же обробки в період прямій полярності характерна тим, що компенсація зазору між електродами досягається, що миттєво утворюються наростуваннями, що і заповнюють проміжки зв'язки між зернами інструмента-катода. Забезпечений зміною в часі полярності стабільний електроерозійний проміжок створює нові технічні передумови для більш рівномірного, високоенергоємного процесу.

Якість оброблюваної поверхні забезпечується технологічними параметрами, що сполучають кінематичні та електричні дані, ідентичні застосовуваним при різних способах електроерозійної обробки в промислово-виробничих умовах [2].

Результати шліфування матеріалів – твердого сплаву ВолКар, твердого сплаву ВК10 і стали ШХ15 отримані в рівних умовах при тих самих технологічних режимах для всіх способів обробки. У якості інструмента було застосовано алмазний круг на металевій зв'язці типу 12А2–45° 150×10×3×32 АС6 125/100 М1–4. Електроерозійне шліфування проводилося на модернізованому верстаті моделі 3Д642Е. При прямій полярності – (алмазний круг-катод, заготовка-анод), частота проходження робочих уніполярних імпульсів відповідала 8000 Гц; при зворотній полярності (алмазний круг-анод, заготовка-катод) – 25000 Гц.

Використання електроерозійного алмазного шліфування зі змінною полярністю електродів забезпечує в порівнянні з існуючими способами наступні основні переваги: можливість обробки різних важкооброблюваних струмопровідних матеріалів з більш високою продуктивністю і якістю обробки при значній стійкості абразивних інструментів на 20–25%; зменшення витрат енергії при обробці на 15–20%; зниження трудомісткості обробки на 14–18%; підвищення працездатності абразивних інструментів для цих цілей в 1,7–3,3 р.

#### Список посилань

1. Патент України на корисну модель №131894, МПК (2018.01) В24В 1/00. Спосіб електроерозійного алмазного шліфування зі змінною полярністю електродів / Стрельчук Р.М., Узунян М.Д. – № u 201806851; заявл. 18.06.2018; опубл. 11.02.2019. – Бюл. № 3/2019.

2. Беззубенко, Н. К. Алмазно-искровое шлифование: краткий обзор разработки харьковской научной школы физики процессов резания / Н. К. Беззубенко, Ю. Г. Гуцаленко // Інформаційні технології: наука, техніка, технологія, освіта, здоров'я: Матеріали міжнар. наук.-практ. конф. 18-19 трав. 2006 р., присвяч. 100-річчю з дня народження М. Ф. Семка. – Х.: Вид-во „Курсор”, 2006. – С. 60-66.



## СЕКЦІЯ 2

### ТЕХНОЛОГІЇ ДЕРЕВООБРОБКИ І МЕБЛЕВОГО ВИРОБНИЦТВА

УДК 674.093

Масвський В.О., докт. техн. наук, професор

Ференц О.Б., канд. техн. наук, доцент

Андрашек Й.В., канд. техн. наук, доцент

Копинець З.П., канд. техн. наук

Дадак Ю.Р., канд. техн. наук, доцент

Сторожук В.М., канд. техн. наук, доцент

Національний лісотехнічний університет України, м. Львів, [tlsdbv@nltu.edu.ua](mailto:tlsdbv@nltu.edu.ua)

#### АНАЛІЗ ОБ'ЄМНОГО ВИХОДУ ПИЛОМАТЕРІАЛІВ З УРАХУВАННЯМ КЛАСІВ ЯКОСТІ СОСНОВОЇ ПИЛОВОЇ СИРОВИНИ

Через скасування дії міждержавних стандартів (ГОСТ) в Україні з 01.01.2019 р., які розроблені до 1992 року втратили свою актуальність розроблені на їхній основі нормативи виходу пиломатеріалів з пилової сировини. Тому розроблено нові керівні матеріали з нормування витрати пилової сировини у виробництві пиломатеріалів, враховуючи вимоги чинних національних стандартів України [1].

Згідно з ДСТУ EN 1927-2:2018 [2] за якістю соснови лісоматеріали поділяють на чотири класи якості (сорти) (А, В, С, D), а згідно з ГОСТ 9463-88 [3] – поділяли на три сорти (1, 2, 3). Отже, існують відмінності у визначенні якості лісоматеріалів. Після відміни ГОСТ 2708-75 [4] та ГОСТ 2292-88 [5] усунуто парадоксальну ситуацію, коли для визначення об'єму лісоматеріалів чинними були два різні методи їхнього вимірювання та обліку [6]. На цей час облік пилової сировини проводять за середнім діаметром та довжиною виміряними за методикою, наведеною у ДСТУ 4020-2-2001 [7].

На підставі аналізу нормативів витрати пилової сировини [8], розроблених на основі відмінених міждержавних стандартів та нормативів витрати пилової сировини розроблених за нашою участю [1] на основі чинних національних стандартів України на рис. 1 та рис. 2 наведено виходи пиломатеріалів у відсотках залежно від якості лісоматеріалів.

Як видно з рис. 1 та рис. 2 об'ємні виходи обрізних та необрізних пиломатеріалів з деревини сосни, встановлених згідно з чинними національними стандартами України гармонізованими з європейськими, випиляних на пилорамах та стрічкопилкових колодопиляльних верстатах відрізняються від об'ємних виходів встановлених згідно з відміненими міждержавними стандартами (ГОСТ), які розроблені до 1992 року.

**Висновок.** Використовувати нормативи витрати пилової сировини на пиломатеріали розроблені згідно з відміненими міждержавними стандартами за умов впровадження національних стандартів України гармонізованих з європейськими не доцільно. Варто користуватися розробленими за нашою участю нормативами витрати пилової сировини на пиломатеріали, які дають змогу встановлювати об'ємний вихід пиломатеріалів з пилової сировини різних класів якості.

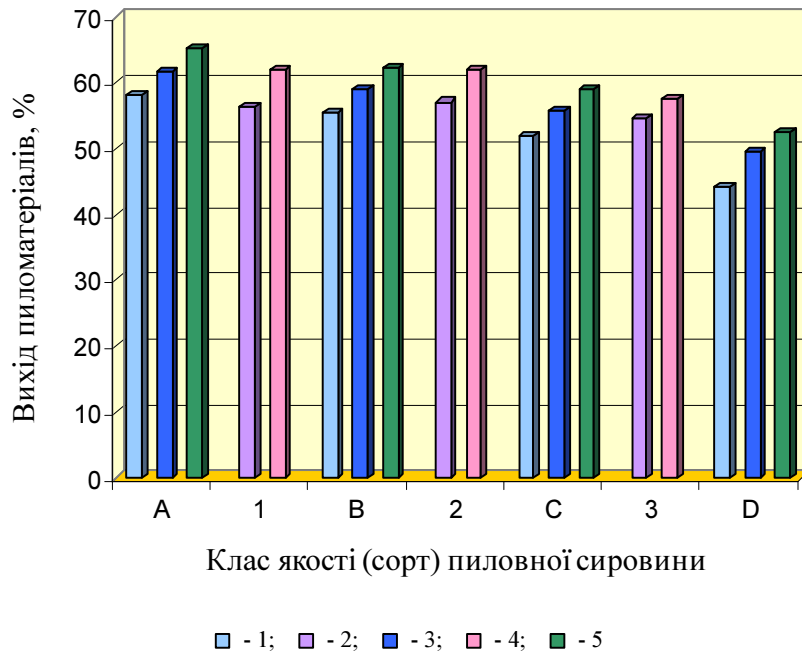


Рис. 1 – Об’ємний вихід обрізних пиломатеріалів з соснової пиловної сировини після розпилювання на пилорамах: 1 – для групи діаметрів до 29 см (згідно з [1]); 2 – для групи діаметрів до 24 см (згідно з [8]); 3 – для групи діаметрів до 30-39 см (згідно з [1]); 4 – для групи діаметрів 26 см і більше (згідно з [8]); 5 – для групи діаметрів 40 см і більше (згідно з [1])

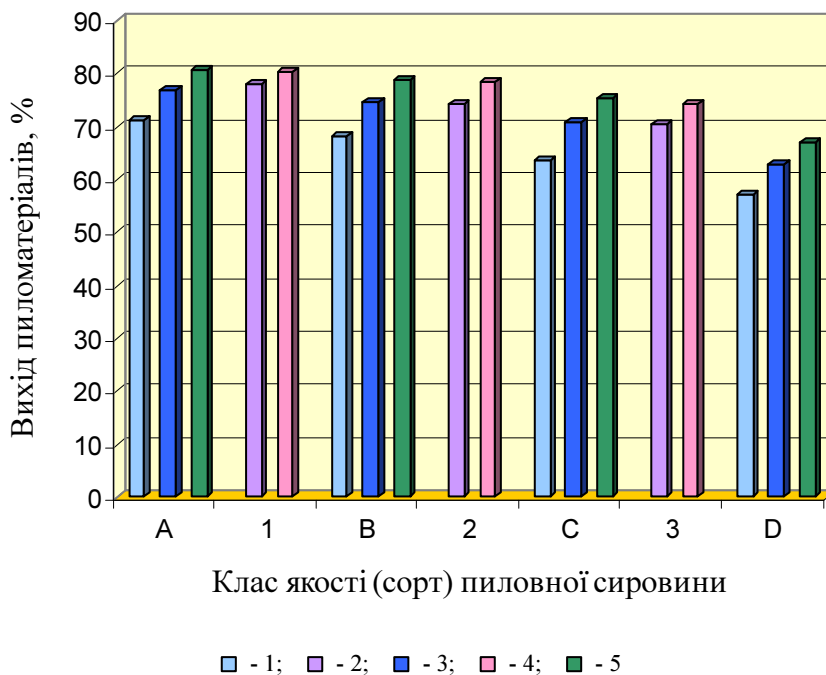


Рис. 2 – Об’ємний вихід необрізних пиломатеріалів з соснової пиловної сировини після розпилювання на стрічкопилкових колодопиляльних верстатах: 1 – для групи діаметрів до 29 см (згідно з [1]); 2 – для групи діаметрів до 24 см (згідно з [8]); 3 – для групи діаметрів 30-39 см (згідно з [1]); 4 – для групи діаметрів 26 см і більше (згідно з [8]); 5 – для групи діаметрів 40 см і більше (згідно з [1])

### Список посилань

1. Маєвський В.О. Доповнення до Рекомендацій для лісопиляльно-деревообробних підприємств України «Розрахунок норм витрат деревини різних порід на виготовлення пилопродукції залежно від виду лісопиляльного устаткування та вибір лісопиляльного устаткування» / В.О. Маєвський, Н.В. Марченко, О.Б. Ференц, Й.В. Андрашек, З.П. Копинець, С.М. Мазурчук, Н.В.Буйських. – К.: НУБіП України, НЛТУ України, 2019. – 35 с.
2. Лісоматеріали круглі хвойні. Класифікація за якістю. Частина 2. Сосна (EN 1927-2:2008, IDT): ДСТУ EN 1927-2:2018. – [Чинний від 01.01.2019]. – К.: ДП «УкрНДНЦ», 2018. – 10 с. – (Національний стандарт України).
3. Лесоматериалы круглые хвойных пород. Технические условия : ГОСТ 9463-88. – [Введен с 01.01.1991, отменен с 01.01.2019]. – М.: Издательство стандартов, 1988. – 10 с. – (Государственный стандарт Союза ССР).
4. Лесоматериалы круглые. Таблицы объемов : ГОСТ 2708-75. – [Введен с 01.01.1977, отменен с 01.01.2019]. – М.: Издательство стандартов, 1975. – 19 с. – (Государственный стандарт Союза ССР).
5. Лесоматериалы круглые. Маркировка, сортировка, транспортирование, методы измерения и приемка : ГОСТ 2292-88. – [Введен с 01.01.1977, отменен с 01.01.2019]. – М.: Издательство стандартов, 1988. – 10 с. – (Государственный стандарт Союза ССР).
6. Марченко Н. В. Щодо стандартизації круглих лісоматеріалів / Н. В. Марченко, Н. В. Буйських, С. М. Мазурчук // Стандартизація, сертифікація, якість. – 2018. – №3 (110). – С. 32-39.
7. Лісоматеріали круглі та пиляні. Методи обмірювання та визначення об'ємів. Частина 2. Лісоматеріали круглі (pr EN 1309-2:1998) – ДСТУ 4020-2-2001. – [Чинний від 01.07.2001]. – К.: Держстандарт України, 2001. – 76 с. (Державний стандарт України).
8. Звіт про науково-дослідну роботу “Розробити науково обґрунтовані нормативи витрат деревини у виробництві пиломатеріалів” (Договір №08. 22-08-05) / Науковий керівник О.Б.Ференц. – Львів: НЛТУ України, 2006. – 73 с.

## СЕКЦІЯ 4 ТЕХНОЛОГІЧНІ ПРОЦЕСИ ТА СИСТЕМИ ХІМІЧНОЇ, ЛЕГКОЇ, ПЕРЕРОБНОЇ ТА ХАРЧОВОЇ ПРОМИСЛОВОСТІ

УДК 331.45

Полукаров Ю.О., канд. техн. наук, доцент

Національний технічний університет України «КПІ ім. Ігоря Сікорського», [polukarov@ukr.net](mailto:polukarov@ukr.net)

### ПЕРЕВАГИ ТА НЕДОЛІКИ ВОГNETРИВІВ У ВИРОБНИЦТВІ КЕРАМІЧНИХ МАТЕРІАЛІВ

На сьогоднішній день на виробництві керамічних матеріалів після стадії приготування глинистої маси згідно технологічного регламенту відбувається процес сушіння та випалу. Випал, зазвичай, проводять в печах, в яких внутрішня температура для матеріалу може сягати 1200 °С, що залежить від марки кінцевого продукту. Така надвисока температура може бути шкідливим, а в окремих випадках, навіть небезпечним виробничим фактором для працюючого персоналу [1]. Доведено, що висока температура повітря, особливо у поєднанні з тепловим випромінюванням і фізичним навантаженням вкрай негативно впливає на роботу серцево-судинної системи працівників, їх водно-сольовий баланс та дихання. Нерідко працівники даної галузі скаржаться на суттєве зниження артеріального тиску та згущення крові.

З метою попередження переходу високих температур до навколишнього середовища та запобігання ускладнення роботи працівників в гарячих цехах піч неодмінно повинна мати теплоізоляційну футеровку, яка, до того ж, дозволить істотно зменшити витрату палива. Зазвичай, для футеровки використовують різні вогнетривкі матеріали (вогнетриви), які здатні протистояти дії високих температур, а також фізичним та фізико-хімічним процесам (зокрема, роз'їданню шлаками), що нерідко відбуваються в печах за дії високих температур. На сьогодні у виробництві кераміки найчастіше застосовуються шамотна, динасова та талькова цегла [2].

Шамотна цегла є основним матеріалом для спорудження печей, виготовляється з вогнетривкої глини та обпалюється. Головний його плюс полягає в тому, що шамот витримує різкі коливання температури. Печі, зроблені з шамотної цегли, легко переносять багаторазові зупинки з повним охолодженням і наступним швидким нагріванням протягом кількох годин до температури 1150-1300°С. Шамот відноситься до нейтральних матеріалів і слабо піддається дії шлаків.

Динасова цегла. Динасова цегла більш вогнетривка, ніж шамотна. Динас готується майже з одного меленого кварцу, тому таку цеглу часто називають кварцовою. Динасова цегла має високу вогнетривкість (1650 - 1750 °С). Основний недолік динасової цегли – не допустимість різких коливань температури: при швидкому розігріві або, навпаки, при швидкому охолодженні вона тріскається. Тому, якщо піч або окремі її частини викладені з динасового цегли, розігрівати і охолоджувати їх потрібно повільно, особливо в інтервалах температур від 200 до 600 °С.

Талькова цегла. Виготовляється з талькового сланцю. Цегла випилюється з природного талькового каменю та потім обпалюється. Температура плавлення природного тальку близько 1500 °С. Тальк стійкий до впливу шлаків. Розм'якшення талькової цегли настає при температурі 1350-1400 °С, але термічна стійкість талькової цегли невисока, що є її основним недоліком.

#### Список посилань

1. Полукаров Ю. О. Проблема підвищених температур основного обладнання на виробництві [Текст]. / Полукаров Ю. О., Арламов О. Ю., Шинкарьок Є. А. //Матеріали дев'ятої науково-методичної конференції. – Київ, 12-13 листопада 2013 р. – К.: НТУУ “КПІ”, 2013. – С. 205-207.
2. Крупа А.А. Хімічна технологія керамічних матеріалів [Текст]./ Крупа А.А., Городов В.С. – К.: Вища шк., 1990. – 399 с.

## СЕКЦІЯ 5 ЗВАРЮВАННЯ ТА СПОРІДНЕНІ ПРОЦЕСИ І ТЕХНОЛОГІЇ. МАТЕРІАЛОЗНАВСТВО

УДК 669.47:539.89:539.219

Мазанко В.Ф, докт. техн. наук, професор  
Мордюк Б.Н., докт. фіз.-мат. наук  
Герцкен Д.С., канд. фіз-мат. наук  
Богданов С.Є., канд. фіз-мат. Наук

Інститут металофізики ім. Г. В. Курдюмова НАН України, м. Київ, [vmazanko@imp.kiev.ua](mailto:vmazanko@imp.kiev.ua)

### ПАРАМЕТРИ ДИФУЗІЇ РАДІОАКТИВНОГО ВУГЛЕЦЮ $^{14}\text{C}$ У ВИСОКОЕНТРОПІЙНИХ СПЛАВАХ ПРИ ІЗОТЕРМІЧНОМУ ВІДПАЛІ

Дослідження проведено на двох сплавах: AlFeNiCoCuCr та FeMnNiAlCrCo. Відпал зразків при цементації проводили при температурі  $950^\circ\text{C}$  протягом 2-х год. у печі типу СЦОЛ. Попередньо зразки вміщували у сталевий контейнер діаметром 20 та довжиною 60 мм. Після цього об'єм контейнера заповнювали порошком карбюризатора, який містив речовину  $\text{BaCO}_3$ . У даній сполуці стабільний вуглець  $^{12}\text{C}$  заміщувався на радіоактивний вуглець  $^{14}\text{C}$ .

Після ізотермічного відпалу зразки розрізали на дві частини, шліфували та вміщували на фотоплівку типу РFH-T фірми Kodak. Тривалість експонування зразків на вказаній плівці складала від декількох до десятків годин в залежності від радіоактивності зразків. Слід відзначити, що особливістю використаної фотоплівки є те, що світлочутливий шар нанесено на неї тільки з одного боку. Після проявлення плівки дифузійну зону проникнення радіоактивного ізоотопу в сплав фотометрували на мікрофотометрі МФ-4 в автоматичному режимі. Концентраційні криві розподілу радіоактивного ізоотопу в зразках будувались по вісям X – мкм та Y – одиниці почорніння (S), пропорційні концентраціям (C) радіоактивного вуглецю (рис. 1). Для визначення величини коефіцієнта дифузії використано метод [1].

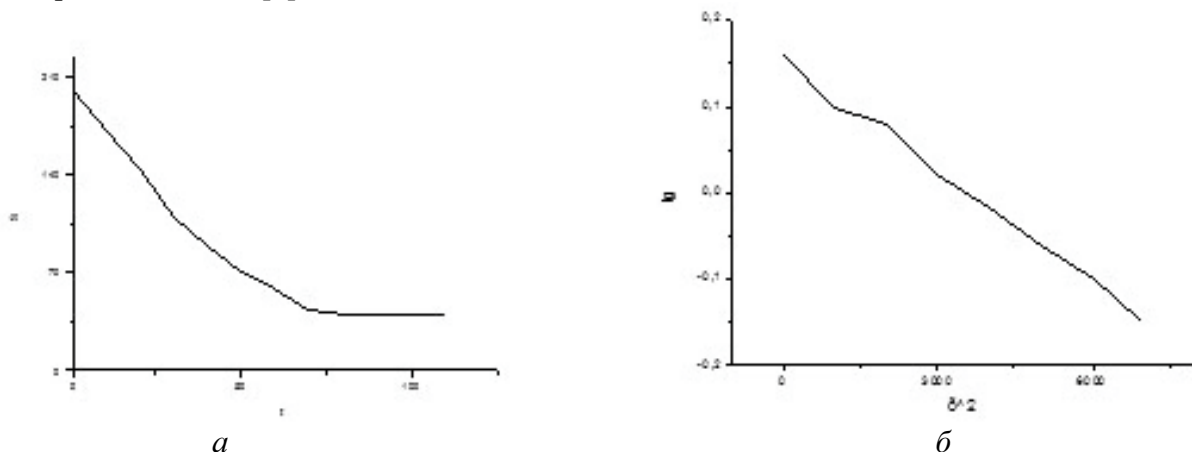


Рис. 1 – Концентраційний розподіл  $^{14}\text{C}$  у сплаві AlFeNiCoCuCr після відпалу.

У табл.1 представлено дані розрахунків коефіцієнтів дифузії для міграції радіоактивного вуглецю в компонентах сплаву А1 – AlFeNiCoCuCr, знайдені в літературних джерелах [1, 2]. Дані стосовно дифузії вуглецю в алюмінії, марганці та міді в літературних джерелах не знайдені.

Як видно з таблиці, значення коефіцієнтів дифузії для розглянутих елементів знаходяться в діапазоні  $(1.04-4.6) \cdot 10^{-8} \text{ см}^2/\text{с}$ .

Величини коефіцієнтів дифузії радіоактивного вуглецю у високоентропійних сплавах надані в табл. 2. В табл. 3 представлені відношення значень коефіцієнтів дифузії у високоентропійних сплавах до значень коефіцієнтів дифузії радіоактивного вуглецю в компонентах цих сплавів.

Таблиця 1 – Величини коефіцієнтів дифузії радіоактивного вуглецю  $^{14}\text{C}$  у компонентах сплавів AlFeNiCoCuCr та FeMnNiAlCrCo.

Елемент	Co	Cr	Fe	Ni
Дифундуючий елемент	$^{14}\text{C}$	$^{14}\text{C}$	$^{14}\text{C}$	$^{14}\text{C}$
Температура відпалу, К	1223	1223	1223	1223
Тривалість відпалу, год	2	2	2	2
Коефіцієнт дифузії $D$ , $\text{cm}^2/\text{c}$	$1.04 \cdot 10^{-8}$	$2.6 \cdot 10^{-8}$	$4.6 \cdot 10^{-8}$	$3.3 \cdot 10^{-8}$
$\lg D$	-8.02	-8.41	-8.66	-8.52

Таблиця 2 – Величини коефіцієнтів дифузії  $^{14}\text{C}$  у високоентропійних сплавах.

Сплав	AlFeNiCoCuCr	FeMnNiAlCrCo
Коефіцієнт дифузії $^{14}\text{C}$ у сплаві, $\text{cm}^2/\text{c}$	$2.4 \cdot 10^{-9}$	$3.8 \cdot 10^{-9}$
$\lg D_{Al}$	-9.38	-9.58

Таблиця 3 – Відношення значень коефіцієнтів дифузії радіоактивного вуглецю у високоентропійних сплавах до величин коефіцієнтів дифузії у їх компонентах.

Сплав	AlFeNiCoCuCr	FeMnNiAlCrCo
Коефіцієнт дифузії у сплаві, $\text{cm}^2/\text{c}$	$2.4 \cdot 10^{-9}$	$3.8 \cdot 10^{-9}$

Компонент	Co	Cr	Fe	Ni	Co	Cr	Fe	Ni
Коефіцієнт дифузії, $\text{cm}^2/\text{c}$	$1.04 \cdot 10^{-8}$	$2.6 \cdot 10^{-8}$	$4.6 \cdot 10^{-8}$	$2.1 \cdot 10^{-8}$	$1.04 \cdot 10^{-8}$	$2.6 \cdot 10^{-8}$	$4.6 \cdot 10^{-8}$	$2.1 \cdot 10^{-8}$
Відношення коефіцієнтів дифузії	24	9.2	5.2	11	37.6	15	8	18

Таким чином, можна вважати встановленим, що рухливість у ВЕС атомів вуглецю, який є елементом втілення, приблизно у 5 – 40 разів нижче за їх рухливість у компонентах сплавів. Слід зауважити, даний ефект має місце також для дифузії елементів заміщення в ВЕС та компонентів сплавів.

Наявність у ВЕС марганцю замість міді спричинює рухливість у півтора рази більше, однак вона все одно залишається нижчою, ніж у компонентах сплавів. Це не стосується марганцю, для якого відсутні літературні дані. В подальшому подібні експерименти будуть проведені за інших температур.

#### Список посилань

1. Лариков, Л. Н. Диффузия в металлах и сплавах. Справочник. [Текст]/ Л. Н. Лариков, В. И. Исайчев – Киев: Наукова думка, 1987. – 512 с.
2. Федоров, Г. Б. Диффузия в реакторных материалах. [Текст]/ Г. Б. Федоров, Е. А. Смирнов – Россия: Атомиздат, 1978. – 160 с.

УДК 669.47:539.89:539.219

Мазанко В.Ф, докт. техн. наук, професор

Філатов О.В., докт. фіз.-мат. наук

Бевз В.П., канд. фіз.-мат. наук

Герцрікен Д.С., канд. фіз.-мат. наук

Богданов Є.І., канд. фіз.-мат. наук

Інститут металофізики ім. Г. В. Курдюмова НАН України, м. Київ, [vmazanko@imp.kiev.ua](mailto:vmazanko@imp.kiev.ua)

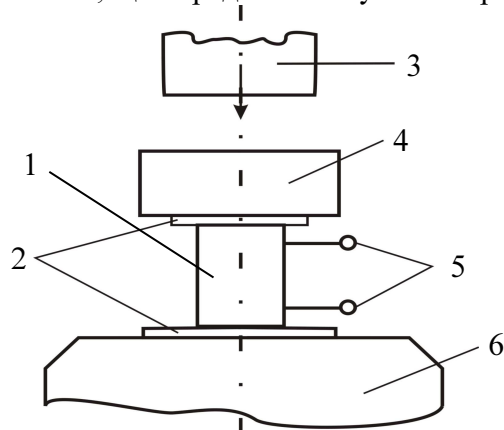
## ЕЛЕКТРИЧНІ ЯВИЩА В СИСТЕМІ Ст.3+ВЕС ПРИ УДАРНОМУ НАВАНТАЖЕННІ

В останні роки в науковій літературі з'явилися публікації, в яких описані експериментальні факти, які свідчать про появу електричного імпульсу при ударному навантаженні металів та сплавів. Величина імпульсу залежить від складу матеріалу. З порівняння представлених на ньому осцилограм видно, що величина електрорушійної сили у залізі становить 2,2 мВ, а Ст.3 - 6,0 мВ. Можна припустити, що приріст приблизно у 3 рази при переході від заліза до сталі пов'язаний з наявністю 0,12 – 0,17% вуглецю у сталі. В зв'язку з цим представляє інтерес проведення дослідження впливу покриття з ВЕС на сталі на величину імпульсу е.р.с.

Покриття з ВЕС товщиною 30 мкм на сталь 3 одержували методом ЕЛІ [1]. Ударна обробка металічної системи Ст.3 + ВЕС проводилася шляхом деформування вантажем у 10,5 кг, який падає з висоти 1 м при кімнатній температурі. Енергія деформація становить ~ 104 Дж. Ступінь деформації сягає величини 7%. Загальний вид імпульсного механічного ударного навантаження металів представлено на рис. 2.2.

Основними складовими установки є: робоча камера, до якої входять нагрівач та механізм стиску; блок живлення (20 кВ, 200 МА); пульт керування, а також вакуумна система. У випадку нагріву зразків, в процесі випробувань підтримується вакуум порядку  $1 \cdot 10^{-5}$  Па. Вимір температури проводиться за допомогою термопар, що приварені до зразка.

Вузол передачі ударного навантаження кріпиться на верхній кришці камери і складається з механічного копра з вантажем до 50 кг (висота падіння до 2 м), робочого циліндру та системи штоків, що передають імпульс на зразки (рис. 1).



1 – металевий зразок; 2 – ізолятор; 3 – падаючий вантаж; 4 – навантажувачий пристрій; 5 – контакти для зняття електричних сигналів; 6 – масивна основа

Рис. 1 – Схема імпульсного ударного деформування.

Для контролю та зміни умов експерименту (ступінь та швидкість деформації, температура та енергія навантаження) було виготовлено комплекс допоміжного оснащення. Обмежуючі обойми виготовлялись з матеріалу більш стійкого до механічних навантажень і використовувались для обмеження ступеня деформації. За умов проведення

швидкісного ударного навантаження за умов низьких температур, а саме при температурі рідкого азоту ( $\sim 77\text{K}$ ) було виготовлено термоізоляційне оснащення, що дозволило не тільки охолодити зразок але і підтримувати постійну температуру при навантаженні. Схема експерименту при температурі  $\sim 77\text{K}$ : в термоізоляційну посудину безперервно надходить рідкий азот, що охолоджує металевий зразок, що навантажується, і всі елементи устаткування, що знаходяться в контактi з ним, тим самим виключається будь-які можливі температурні зміни системи.

На рис. 2 представлені осцилограми, які демонструють форму та амплітуду електричних сигналів. Розрахунок значень е.р.с. дають величину 1,5 мВ.

Форма електричного імпульсу. Величина ЕРС: сталь 3 + покриття ВЕС  
1 удар. Ампліт 1,5 мВ.  $t$  2,3 мс.

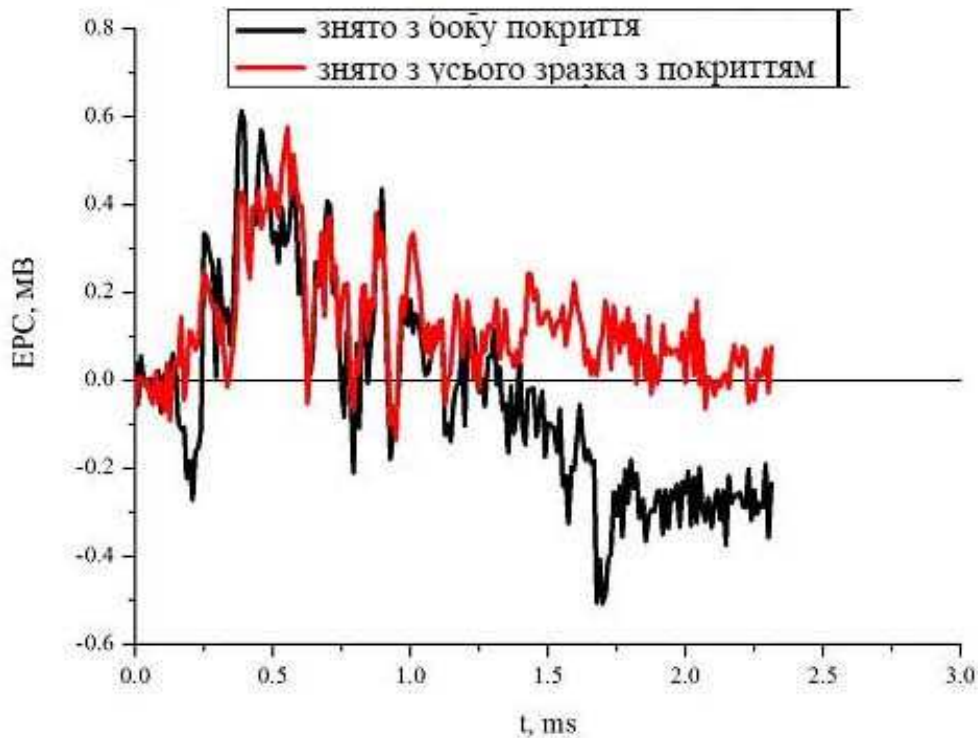


Рис. 2 – Осцилограми електричних сигналів, отриманих при навантаженні ( $\varepsilon = 7\%$ ) зразків із сталі з покриттям ВЕС.

Порівняння даного результату із значеннями для чистої сталі 3 показує, що наявність покриття із ВЕС знижує величину е.р.с. приблизно у 4 рази. Зауважимо, цей ефект стає більш помітним з зростанням товщини покриття та кількості ударів.

#### Висновки

1. Наявність ВЕС покриття зменшує ЕРС при імпульсному ударному навантаженні, при цьому цей ефект стає більш помітним зі зростанням товщини покриття та кількості ударів.
2. Представлена фізична модель природи утворення ЕРС в металах, зроблений висновок про вирішальну роль рухливих дислокацій.
3. Отримані результати можуть стати основою для розробки нових способів одержання захисних ВЕС покриттів із застосуванням ЕІЛ та ударної обробки.

#### Список посилань

1. Мазанко, В. Ф. Искровой разряд и диффузионные процессы в металлах [Текст] / В. Ф. Мазанко, Д. С. Герцрикен, В. М. Миронов, Д. В. Миронов, С. А. Бобырь. – Киев: Наукова думка, 2014. – 192 с.



УДК 621.791.14

Зяхор І.В., канд. техн. наук  
 Завертаний М.С.  
 Левчук А.М.  
 Шило Ю.А.

Інститут електрозварювання ім. Є.О.Патона НАН України, м. Київ, [zavertannyi@gmail.com](mailto:zavertannyi@gmail.com)

### ОСОБЛИВОСТІ ДЕФОРМАЦІЇ ПРИ ЗВАРЮВАННІ ТЕРТЯМ ЖАРОМІЦНИХ НІКЕЛЕВИХ СПЛАВІВ У РІЗНОЙМЕННОМУ СПОЛУЧЕННІ

Елементи турбін авіаційних газотурбінних двигунів (ГТД) виготовляють із різнойменних жароміцних нікелевих сплавів (ЖНС) та з'єднуються між собою механічним кріпленням, що обумовлює збільшення ваги турбіни та двигуна в цілому. Тому актуальним завданням при розробці нових конструкцій ГТД є заміна механічних кріплень елементів турбіни нерозр'ємними з'єднаннями [1-2], зокрема виконаними зварюванням тертям (ЗТ) у різних технологічних модифікаціях – ЗТ обертанням і лінійним ЗТ [3-5].

При ЗТ одержання якісних з'єднань можливо за умови забезпечення певної величини тиску і потужності тепловиділення в процесі нагрівання, достатніх для деформації металу в зоні з'єднання на задану величину. Тому при ЗТ контролюється процес осадки заготовок і фіксується величина загальної осадки, при якій забезпечується формування якісного (бездефектного) зварного з'єднання. Мета роботи – встановити особливості деформації різнойменних ЖНС, які використовуються у конструкції вітчизняних ГТД, в залежності від значень параметрів режиму зварювання і на цій основі удосконалити технологію ЗТ, для забезпечення формування бездефектних з'єднань.

Досліджували деформацію (осадку) заготовок при формуванні з'єднань різнойменних ЖНС – гранульного сплаву ЕП741НП із деформованим сплавом ЕІ698ВД і ливарним сплавом ВЖЛ12У. Встановлено, що у першому випадку осадка відбувається переважно за рахунок сплаву ЕІ698ВД – осадка заготовки із сплаву ЕП741НП не перевищує 20% від величини загальної осадки при ЗТ. За результатами експериментів побудовано залежність швидкості осадки від тиску при нагріванні (рис. 1,а). Залежність можна виразити лінійною функцією, в якій зі збільшенням тиску пропорційно зростає швидкість осадки. Встановлено, що мінімальне значення тиску, при якому спостерігається осадка заготовок, становить  $P_{\min}=80$  МПа (окружна швидкість  $V=1,2$  м/с).

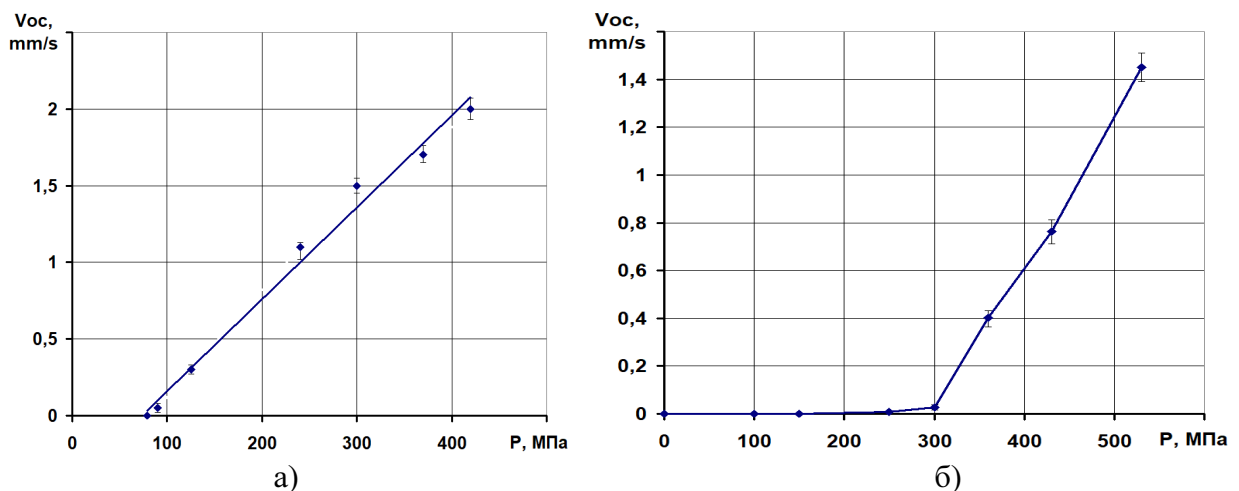


Рис. 1 – Залежність швидкості осадки від тиску при ЗТ сплавів ЕП741НП із ЕІ698ВД (а) та ЕП741НП із ВЖЛ12У (б)

При ЗТ гранульного сплаву ЕП741НП із ливарним ВЖЛ12У осадка заготовок при значенні тиску менше  $P_H=300$  МПа (окружна швидкість  $V=1$  м/с) практично не спостерігається (рис. 1, б). В діапазоні значень тиску 300...530 МПа відбувається осадка заготовок, при цьому залежність її швидкості  $V_{oc}$  від тиску при нагріванні апроксимується лінійною функцією.

На рис. 2,а приведено дані реєстрації параметрів процесу ЗТ сплаву ЕП741НП із сплавом ВЖЛ12У. Виявлено аномальний ступінчастий характер осадки при перевищенні певного критичного значення тиску  $P_{крит}$ . Зокрема для окружної швидкості  $V=1$  м/с, деформація заготовки з боку сплаву ЕП741НП при  $P_{крит} > 550$  МПа характеризується почерговою зміною швидкості укорочення: ділянки із низькою швидкістю осадки  $V_{oc}=0,4...0,8$  мм/с змінюються на стрибкоподібну високошвидкісну осадку ( $V_{oc}=5$  мм/с), під час якої спостерігались викиди із зони контакту часток нагрітого металу, що, імовірно, перебував у твердо-рідкому стані. При цьому, спостерігається формування ґрату з боку сплаву ВЖЛ12У (рис. 2, б) та його відсутність з боку ЕП741НП.

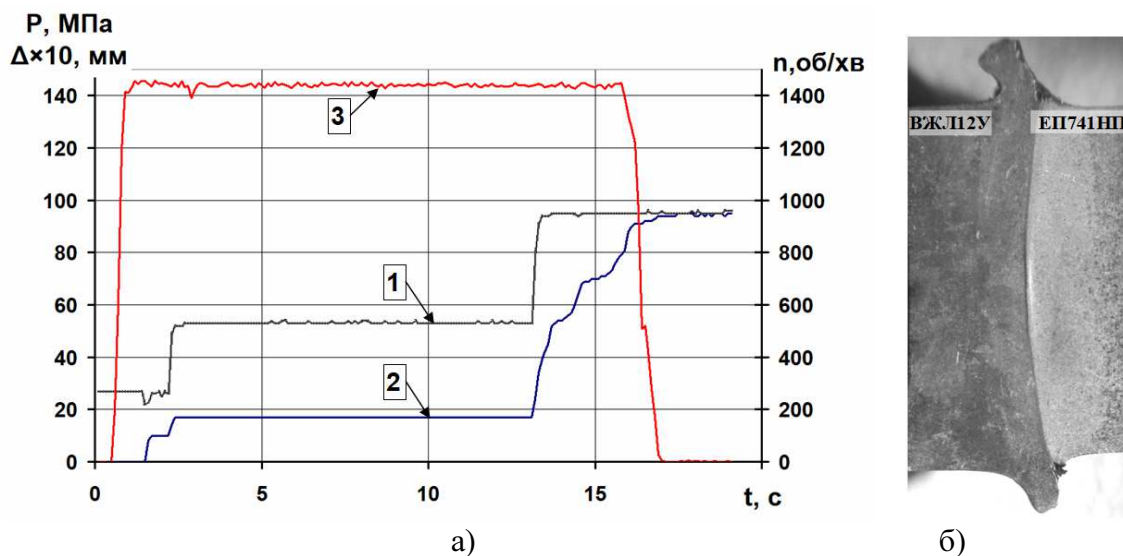


Рис. 2 – Результати реєстрації параметрів процесу ЗТ сплавів ВЖЛ12У і ЕП741НП (1 – тиск зварювання  $P$ ; 2 – осадка (укорочення) заготовок  $\Delta$ ; 3 – частота обертання  $n$ ) та макрошліф з'єднання (б)

На основі отриманих даних визначено діапазон зміни параметрів процесу ЗТ різнойменних ЖНС – гранульного ЕП741НП із деформованим ЕІ698ВД і ливарним ВЖЛ12У. Удосконалено технологію комбінованого ЗТ, яка за рахунок прикладення підвищеного зусилля проковки на етапі програмованого зниження швидкості обертання заготовок, забезпечує відсутність аномальних явищ у процесі осадки та формування бездефектних з'єднань при ЗТ різнойменних високолегованих ЖНС.

#### Список посилань

1. Технология создания неразъемных соединений при производстве газотурбинных двигателей [Текст] / Ю.С. Елисеев, С.Б. Масленков, В.А. Гейкин, В.А. Поклад – М.: Наука и технологии, 2001. – 544 с.
2. Изготовление конструкции типа «блиск» из разноименного сочетания материалов (обзор) [Текст] / О.Г. Оспенникова, В.И. Лукин, А.Н. Афанасьев-Ходыкин, И.А. Галушка // Труды ВИАМ. – 2018. – № 10. – С. 10-16.
3. Linear and rotary friction welding review [Текст] / W. Li, A. Vairis, M. Preuss, T. Ma // International Materials Reviews. – 2016. – Vol. 61. – Issue 2. – pp. 71-100.
4. Inertia friction welding of dissimilar superalloys Mar-M247 and LSHR [Текст] / O.N. Senkov, D.W. Mahaffey, S.L. Semiatin, C. Woodward // Metallurgical and materials transactions A. – 2014. – Vol. 45A. – pp. 5545-5561.

5. Analysis of microstructural changes induced by linear friction welding in a nickel-base superalloy [Текст] / O.T. Ola, O.A. Ojo, P. Wanjara, M.C. Chaturvedi // Metallurgical and materials transactions A. – 2011. – Vol. 42A. – pp. 3761-3777.

УДК 539.219.3

**Мазанко В.Ф., докт. техн. наук, професор  
Герцикен Д.С., канд. фіз-мат. наук**

Інститут металофізики ім. Г. В. Курдюмова НАН України, м. Київ, [vmazanko@imp.kiev.ua](mailto:vmazanko@imp.kiev.ua)

### **ДИFUЗИЯ В ТВЕРДОМУ СТАНІ МЕТАЛІВ ЗА РІВНОВАЖНИХ УМОВ ТА ПРИ ІМПУЛЬСНИХ НАВАНТАЖЕННЯХ**

Слово «дифузія» походить від латинського *diffusio* – розповсюдження, поширення, розтікання, взаємне проникнення атомів (молекул) речовин, які знаходяться у контакті, внаслідок теплового руху часток речовини: молекул, атомів, іонів, і вона відбувається в напрямку зменшення концентрації речовини й веде до його рівномірного розподілу по об'ємі. Як відомо, дифузія буває в газах, рідинах і твердих тілах. В основі різноманітних дифузійних явищ лежить єдиний механізм атомарного (молекулярного) переносу маси.

За рівноважних умов, тобто постійній температурі відпалу та інших незмінних параметрах, найбільш швидко дифузія відбувається в газах, повільніше в рідинах, ще повільніше - у твердих тілах. Траєкторія руху кожної частки газу являє собою ламану лінію, тому що при зіткненнях вона міняє напрямок і швидкість руху. Тому величина зсуву частки, обмірювана по прямій між початковою й кінцевою крапками, набагато менше шляху, фактично пройденому часткою. Отже швидкість дифузійного проникнення менше швидкості самих молекул. Число зіткнень росте пропорційно часу, збільшується з ростом температури, зменшується зі зменшенням тиску й молекулярної маси. Дифузія великих часток (наприклад, диму або суспензії) здійснюється завдяки броунівському руху. У рідинах дифузія здійснюється перескоком молекул з одного стійкого положення в інше. Кожний стрибок відбувається при наданні молекулі енергії, достатньої для розриву її зв'язків із сусідніми молекулами й переходу в оточення інших молекул у нове енергетично вигідне положення. Переміщення при такому стрибку не перевищує міжмолекулярної відстані. З ростом температури збільшується швидкість. У твердому тілі можуть діяти кілька механізмів: обмін місцями атомів з вакансіями, переміщення атомів по міжвузлях, одночасне циклічне переміщення декількох атомів за краудіонним механізмом, міграція атомів по дефектах кристалічної ґратки: границь зерен та фаз, вздовж дислокацій, в тонкому поверхневому шарі та ін. Збільшення числа дефектів, що виникають при нагріванні, гартуванні, статичних та імпульсних деформаціях, бомбардуванні іонами та електронами та інших впливах на метал полегшує переміщення атомів у твердому тілі, тому їх рухливість підвищується.

Дифузійні процеси у твердій фазі лежать в основі спікання порошків, хіміко-термічної обробки металів, створення нероз'ємного з'єднання без розплавлення шляхом дифузійного зварювання, створення покриттів з потрібними властивостями або модифікування приповерхневих шарів металічних матеріалів та ін. Дифузійна металізація полягає в насиченні поверхневих шарів металевих виробів різними металами, і саме покриття може формуватися із твердої, рідкої парової або газової фаз, але його адгезію з основним матеріалом забезпечує взаємна дифузія, яка відбувається між покриттям та масивним матеріалом (виробом).

Вивчення дифузії в твердому стані розпочалось з 1896 р., коли шотландський вчений В. Ч. Робертс-Остин на металічній парі золото-свинець експериментально довів існування дифузії в твердій фазі [1]. В його честь російський вчений Д. К. Чернов одну із фазових

складових сталі (твердий розчин вуглецю у високотемпературній фазі заліза  $\gamma$ -Fe) назвав аустенітом.

В 50-х рр. С. Д. Герцрикен та його співробітники в Інституті металофізики АН УРСР здійснюють систематичні дослідження процесів дифузії в металевих системах і впливу різних чинників на особливості та механізм переносу речовини, розпочинають вивчення виникнення та рухливості дефектів кристалічної будови металів та сплавів, зв'язку дифузійних процесів, дефектності структури та жароміцності конструкційних матеріалів [2]. Одним з важливих чинників виявилася температура відпалу.

В 1974 р. в Інституті металофізики спільно з Інститутом електрозварювання ім. Є.О. Патона при дослідженні механізму і кінетики дифузійних процесів у твердій фазі під час зварювання було відкрите нове явище - аномальне масоперенесення при імпульсному навантаженні. Воно полягає в тому, що за умов імпульсного навантаження спостерігається міграція атомів у твердій фазі зі швидкістю, що перевищує у  $10^9 - 10^{15}$  разів рухливість атомів, одержану в ізотермічних умовах, і у  $10^3$  разів – рухливість у рідкому металі [3].

На відміну від класичної дифузії зменшується роль температури та індивідуальних характеристик металу і дифундуючого атому у перебігу процесу перенесення, виникає можливість здійснювати процес міграції атомів на макроскопічні відстані взагалі без нагріву та при криогенних температурах, причому починаючи з деякої граничної температури, спостерігається зростання рухливості атомів із зменшенням температури [3]. Однак з'явилися нові чинники, зокрема, швидкість та в меншій мірі ступінь пластичної деформації, кількість імпульсних впливів, одночасної дії двох або більшого числа впливів. Слід зазначити, що залежність рухливості атомів від швидкості деформації має нелінійний характер з двома максимумами, але в цілому є надзвичайно великий приріст швидкості міграції, що перевищує дифузію в газовій фазі ( $1 - 50 \text{ см}^2/\text{с}$ ). При цьому зі зростанням швидкості пластичної деформації зменшується різниця в значеннях коефіцієнтів масоперенесення (дифузії) не лише в металах та сплавах на їх основі, а й в різних металах:

$\sim \dot{\epsilon}, \text{ с}^{-1}$	1	10	$10^2$	$10^3$	$10^4$	$10^5$	$10^6$
$D_M^{Zn} / D_M^{Nb}$	10070	4150	610	15	11	4	1,5

В подальшому виявилось, що ініціювати надзвичайно прискорену дифузію також за міжвузельним механізмом можуть різноманітні імпульсні впливи, такі як вибухове навантаження, лазерне опромінювання, прокатка, деформування в імпульсних електромагнітних полях, ультразвукова ударна обробка, газові розряди [4-6].

Такі великі швидкості міграції атомів призводять до аномального фазоутворення, взаємного розчинення будь-яких елементів, виникнення нових фаз. В свою чергу це дає можливість створювати нові технології зварювання без розплавлення, хіміко-термічної обробки матеріалів, самі нові матеріали.

#### Список посилань

1. Roberts-Austin W.C. Phil. Trans. Roy. Soc., London. – 1896, A187, 353.
2. Герцрикен С.Д. Диффузия в металах и сплавах в твердой фазе. / Герцрикен С.Д., Дехтяр И.Я. М.: Физматгиз, 1961. – 256 с.
3. Герцрикен Д.С. Импульсная обработка и массоперенос в металах при низких температурах. / Герцрикен Д.С., Мазанко В.Ф., Фальченко Ф.М. – К.: Наукова Думка, 1991 –. 208 с.
4. Диффузионные процессы в металах под действием магнитных полей и импульсных деформаций, в 2-х т. / [Мазанко В.Ф. и др.], М.: Машиностроение, 2006. – Т.1. – 346 с.; Т.2. – 320 с.
5. Искровой разряд и диффузионные процессы в металах. / В.Ф. Мазанко [и др.]; Нац. акад. наук Украины, Ин-т металофізики ім. Г.В. Курдюмова. – К.: Наукова думка, 2014. – 190 с.
6. Влияние тлеющих и дуговых разрядов на диффузионные процессы / [А. М. Штеренберг, В.Ф.Мазанко, Д. С. Герцрикен и др.]. – Москва : Инновационное машиностроение, 2018. – 378 с.

УДК 621.791

Лебедев В.А., докт. техн. наук, профессор  
Жук Г.В.

Институт электросварки им. Е. О. Патона НАН Украины, г. Киев, valpaton@ukr.net

**АНАЛИЗ НЕКОТОРЫХ ВОЗМОЖНОСТЕЙ ИМПУЛЬСНОЙ ПОДАЧИ  
ЭЛЕКТРОДНОЙ ПРОВОЛОКИ ПРИ ДУГОВОЙ СВАРКЕ И НАПЛАВКЕ**

Автоматическая и механизированная электродуговая сварка и наплавка с применением различных видов электродных проволок имеют очень широкое распространение практически во всех отраслях промышленности, строительства и др., включая специальные задачи, с применением в различных условиях, в том числе сварка под водой мокрым способом.

Разработано большое число различных конструкций сварочного оборудования, в том числе на основе цифровых технологий, позволяющих в той или иной мере осуществить управление различными элементами дугового процесса. Это, в частности, относится к использованию инверторных источников тока, на основе которых реализуются различные импульсные алгоритмы управления переносом электродного металла – наиболее эффективного способа организации сварочного процесса с уменьшением разбрызгивания, повышением качества сварного соединения и др.

В настоящее время появилась альтернатива применению инверторных источников – механизмы подачи с импульсным перемещением электродной проволоки, в том числе с управляемыми характеристиками. Такое оборудование может решать большинство проблем сварки – наплавки, включая значительное повышение эксплуатационных свойств сварного соединения и наплавленного слоя при снижении материальных и энергетических ресурсов.

Исследование особенностей управляемых импульсных алгоритмов подачи проволоки, включая новую разработку дозированной подачи, позволили выявить ряд возможностей этих систем, которые ранее подробно не рассматривались. Приведем ряд примеров.

На фотографии рис.1 представлены кадры переноса электродного металла при наплавке обычным процессом и процессом с импульсной подачей электродной проволоки Св08Г2с диаметром 1, 2 мм при сварке в защитных газах. На фотографиях видно, что колебания жидкого металла при импульсе более значимы, чем при обычной подаче. Это особенно заметно в момент короткого замыкания (кадры 2, 3).

Известно, что вибрационные воздействия на жидкий металл ванны, оказывают существенное влияние на кристаллизацию этого металла и позволяет существенно уменьшить рост кристаллитов, способствовать их дезориентации, повысить вероятность дегазации ванны, обеспечивать выход неметаллических соединений и повышение прочности сварного шва и наплавленного валика. Этим и рядом других явлений объясняется необходимость более детального изучения сварочной ванны при использовании импульсной подачи проволоки.

Получение математического описания явлений в сварочной ванне - очень сложная задача. При экспериментальных исследованиях движение ванны расплавленного металла изучали по результатам скоростной видеосъемки во время переноса электродного

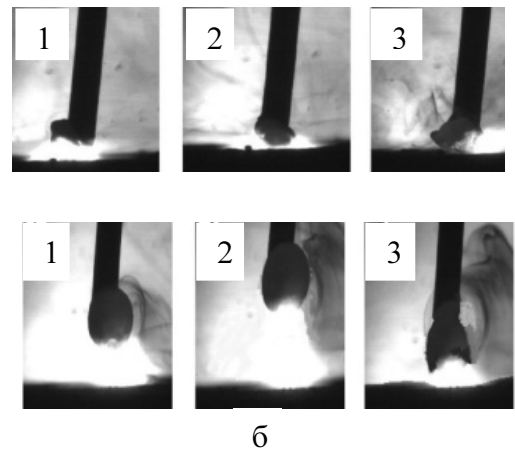


Рис.1 – Перенос электродного металла: а - обычная подача; б- импульсная подача

металла. Использовалась камера скоростной видеосъемки *Mikrotron MC – 1310* с частотой до 1 кГц, лампа подсветки столба дуги *LSB 640 Hg*.

По характерным результатам видеосъемки всего участка ванны определялась зависимость

$$h = f(l), \tag{1}$$

где  $h$  – высота ванны;

$l$  – расстояние по длине ванны.

Точки измерения  $h, l$  отсчитывались от оси подачи электродной проволоки на уровне наплавляемого металла.

На рис. 2 представлена зависимость (1) для ряда временных промежутков от 0 до 3 мс.

Если выполнить комплекс измерений колебаний сварочной ванны для ряда импульсов подачи электродной проволоки с анализом полученных микрошлифов то можно найти зависимости влияния параметров импульсной подачи на структуру металла шва, в частности на измеряемую характеристику – величину кристаллитов.

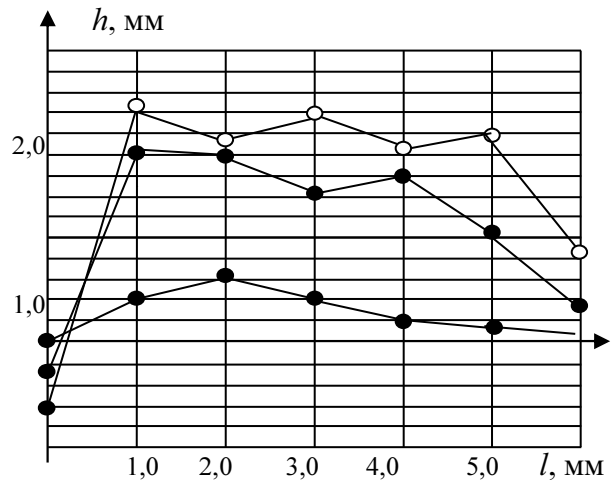


Рис.2 – Перемещение поверхности ванны относительно начала измерений

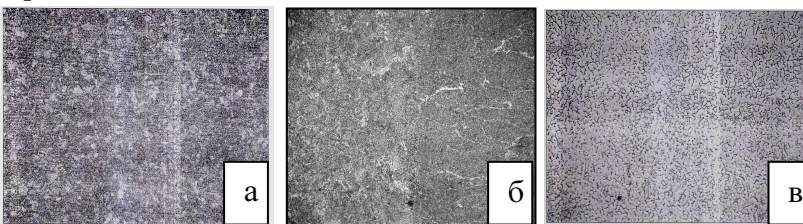


Рис.3 – Микрошлифы сечений наплавленного в среде  $CO_2$  электродной проволокой диаметром 1,2 мм с 200 кратным увеличением при сварке: а) с плавной подачей проволоки; б) с импульсной подачей; в) с дозированной подачей

На фотографии приведенной на рис. 3 представлены оценки микроструктуры наплавленного металла при разных подачах электродной проволоки. Анализ массива микрошлифов, полученных в результате наплавки, в том числе с импульсными алгоритмами воздействия электродной проволоки на ванну расплавленного металла показывает, что в случае действия импульса движения происходит дробление кристаллитов и их дезориентация.

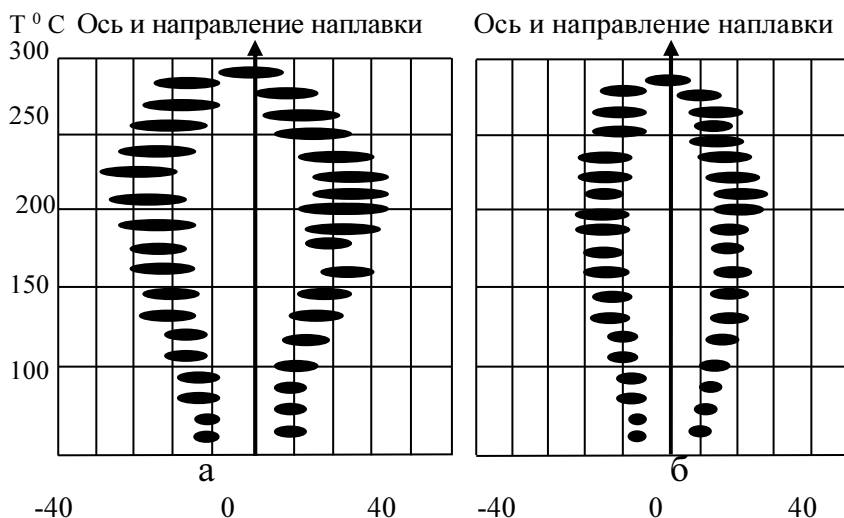


Рис.4 – Распределение температур при сварке а) с импульсной подачей проволоки, б) с постоянной подачей проволоки

Изучение этого эффекта проводилась на образцах путём измерения твёрдости наплавленных слоев и определения размеров кристаллитов на оптическом микроскопе НЕОРНОТ 32 с использованием методик,

регламентированных ГОСТ 5639 – 82.

Сравнение приведено в табл.1. при наплавке легированных сталей в средней части наплавленного валика. При сварке – наплавке с дозированной подачей электродной проволоки, используя специальные целенаправленные настройки системы управления, можно ещё более снизить геометрические размеры кристаллитов.

Таблица 1

Подача электродной проволоки	Ширина кристаллитов, мкм	Коэффициент формы кристаллитов
Плавная	97,5	6,8
Импульсная	70,0	4,56
Дозированная с целенаправленной настройкой	52	3,12

Показатели твёрдости были получены с помощью твёрдомера LECO M – 400 по методикам ДСТУ ISO 6507-1:2007 при нагрузке индентора на образец 1 кГ. Некоторые усреднённые результаты измерений в его центре наплавки и в зоне термического влияния даны в табл. 2

Таблица 2

Способ подачи проволоки	Твёрдость наплавленного металла $B \times 10^7$ Па	Твёрдость металла зоны термического влияния ЗТВ $B_{ЗТВ} \times 10^7$ Па
Плавный	165	161
Импульсный	198	212
Дозированный	202	218...225

При сварке – наплавке с дозированной подачей электродной проволоки, используя специальные целенаправленные настройки системы управления, можно ещё более снизить геометрические размеры кристаллитов и повысить твёрдость наплавленного слоя.

УДК 621.791

**Лебедев В.А., докт. техн. наук, профессор  
Жук Г.В.**

Институт электросварки им. Е. О. Патона НАН Украины, г. Киев, valpaton@ukr.net

### **ПЕРСПЕКТИВНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ СИСТЕМ ИМПУЛЬСНОЙ ПОДАЧИ ОБОРУДОВАНИЯ ДЛЯ ЭЛЕКТРОДУГОВОЙ СВАРКИ И НАПЛАВКИ**

В последнее время технико-технологическое совершенствование автоматов и полуавтоматов для электродуговой сварки и наплавки связано с разработкой и конструированием одной из основных систем – системы подачи электродной проволоки с базовым узлом – механизмом подачи. Основные разработки в этом направлении направлены на применение импульсной подачи электродной проволоки. При этом имеются разработки как простых систем с практическим отсутствием регулирования параметров импульсов, так и с достаточно совершенными механизмами. Применение механизма подачи, обеспечивающего импульсное движение электродной проволоки, позволяет при правильно выбранных параметрах реализовать управление переносом капель электродного металла, что, в свою очередь, позволяет (в основном):

- существенно снизить потери электродного металла на угар и разбрызгивание;
- изменять геометрические размеры сварного шва и наплавленного валика, а также околошовной зоны;

- влиять на структуру сварного шва, улучшая его эксплуатационные свойства.

Системы подачи электродной проволоки разрабатываются с применением достижений элементной базы, технических решений, базирующихся на них.

Последние разработки механизмов с импульсными алгоритмами функционирования основываются на применении безредукторных электроприводов вентильными и шаговыми электродвигателями и микропроцессорным управлением частотой вращения их валов, а, следовательно, и движением электродной проволоки.

Такие системы постоянно совершенствуются в разных направлениях и в разных системах автоматического сварочно-наплавочного оборудования. Одно из них развивается достаточно интенсивно в системе подачи электродной проволоки и связано с введением в регулятор электропривода обратных связей по параметрам дугового процесса – то току или по напряжению. Такое решение позволило реализовать новый вид дугового процесса – сварка – наплавка с дозированной подачей электродной проволоки.

Рассмотрим для примера несколько перспективных направлений совершенствования таких систем и сфер их применения.

Одновременное использование автоматического и механизированного электросварочного оборудования с несколькими системами импульсного воздействия, например импульсная подача электродной проволоки и импульсный алгоритм работы инверторного источника; импульсная подача и импульсная подача защитных газов; импульсная подача проволоки и модулированный режим работы систем оборудования, применение управляющих электромагнитных полей и др. Такие сочетания импульсных воздействий уже частично исследовались с выявлением очевидных положительных эффектов, но для дальнейшего применения требуют более детального анализа с выявлением наиболее действенных алгоритмов функционирования;

Применение импульсной подачи, в том числе и дозированной для сварки особых видов сталей, например, дуплексных нержавеющей сталей, которые имеют низкое содержание углерода и поэтому устойчивы к межкристаллитной коррозии. Эти и другие свойства, например, прочностные характеристики дуплексных сталей требуют особого подхода к их сварке с сохранением мелкозернистой структуры и необходимости сохранения в зоне сварки фазового состава аустенита и феррита близкого к составу свариваемого металла. Кроме этого, существуют рекомендации касающиеся ограничения тепловложений в сварочную ванну, при этом тепловложения  $Q$  отнесённые к скорости выполнения шва  $v$  должны составлять:

$$Q = k \frac{UI}{v} \leq 2,5 \text{ кДж / мм} \quad (1)$$

где  $U, I$  – напряжение и ток сварочного процесса,

$k$  – коэффициент, учитывающий отличия величин от системы СИ.

Коэффициент  $k$ , с ограничениями по тепловложениям  $Q \leq 2,5 \text{ кДж / мм}$ , отмеченным в рекомендательной литературе по сварке дуплексных сталей, имеет размерность  $k = 0,06$

С учётом указанного, выражение (1) примет вид:

$$Q = \frac{0,06 UI}{v} \leq 2,5 \text{ кДж / мм} \quad (2)$$

Исходя из (2) можно выбрать режим сварки, при котором равновесная структура дуплексных сталей сохраняется. Однако выбранные параметры  $U, I$  и  $v$  с соблюдением условия (2) более характерны для аргонодуговой сварки, производительность которой может быть недостаточной.

Применение механизированной сварки дуплексных сталей может быть эффективным при применении оборудования с управляемыми импульсными характеристиками



импульсов подачи электродной проволоки, в частности с использованием дозированной подачи, т.к. обеспечивают существенно меньшие затраты электроэнергии и, соответственно тепловложения  $Q$ .

Важно отметить, что снижение тепловложений в сварочную ванну уменьшает коробление свариваемого и или наплавляемого материала.

Исследование действия импульсной подачи на характеристики металла дуплексной стали в сравнение с результатами, полученными при сварке с плавной подачей электродной проволоки стали 12Х21Н5Т.

Пробные сравнительные процедуры сварки выполнялись в нижнем положении на режимах, формирующих одинаковые сечения швов и расход электродной проволоки даны в таблице 1.

Таблица 1. – Состав металла шва дуплексной стали, при различных способах подачи электродной проволоки

Зона сварного соединения	Способ подачи электродной проволоки			
	Плавная		Дозированная	
	Содержание фазовых составляющих, %			
	Феррит	Аустенит	Феррит	Аустенит
Основной металл	68,9	31,1	56,3	43,7
Середина шва	61,2	38,8	53,9	46,1
Корень шва	60,8	39,2	52,6	47,4

Применение систем импульсной подачи для существенного снижения энергетических затрат - отдельная задача при необходимости достижения максимального результата. Теоретические исследования в этом направлении, подтверждённые измерениями, показывают специально разработанным регистрационным устройством, что не только режимы сварки, частота и скважность импульсной импульсного движения, но форма генерируемых импульсов оказывает влияние на энергетические затраты. Разработаны математические модели, с применением операционного исчисления, позволяющие при изыскании наиболее значимого результата учитывать все составляющие процессов сварки и наплавки с импульсной подачей электродной проволоки.

Следует отметить, что снижение тепловложений при сварке-наплавке с импульсной подачей электродной проволоки хорошо коррелируется с результатами параллельных замеров расхода электроэнергии.

В настоящее время проводятся масштабные теоретические и практические исследования систем импульсной подачи с определением ранее не применяемых алгоритмов их работы, что определённо еще более повысит эффективность этого способа сварки и наплавки.

УДК 621.791

**Лебедев В.А., докт. техн. наук, профессор**

Институт электросварки им. Е. О. Патона НАН Украины, г. Киев, valpaton@ukr.net

## **МЕХАНИЗИРОВАННАЯ ЭЛЕКТРОДУГОВАЯ СИНЕРГЕТИЧЕСКАЯ СВАРКА НА ОСНОВЕ ДОЗИРОВАННОЙ ПОДАЧИ ЭЛЕКТРОДНОЙ ПРОВОЛОКИ**

Уже достаточно продолжительное время в механизированном и автоматическом сварочном оборудовании используются различные способы реализации импульсно-дуговых процессов, от достаточно простых с жёсткой программой генерирования импульсов до тех, которые дают возможность вести сварку с синергетическими алгоритмами, разнообразие которых достаточно велико и базируется на применении инверторных источников питания дуги. Это не единственный способ влияния на

сварочную дугу, перенос электродного металла, формирование сварного шва, валика наплавленного металла их качество и др.

В тоже время достаточно интенсивно развиваются импульсные способы подачи электродной проволоки, которые при рационально выбранных параметрах обеспечивают те же возможности, что и инверторные источники с синергетическими алгоритмами управления. Они позволят решать более широкий круг проблем, которые возникают при сварке-наплавке, предоставляют ещё большие возможности по упорядочиванию процесса переноса электродного металла, осуществлению управления геометрическими размерами сварного соединения, зоны термического влияния, улучшению структуры металла шва, снижению расхода электроэнергии и непроизводительных материальных потерь [1].

Система подачи электродной проволоки для решения вышеуказанных задач должна иметь, по крайней мере, те же возможности, что и существующие синергетические системы на основе современных инверторных источников сварочного тока.

Можно предложить несколько вариантов организации синергетического управления сварочным процессом на основе системы подачи импульсного типа с управляемыми алгоритмами формирования импульсного движения. Приведём несколько примеров организации синергетического процесса:  $=-0=-0-0=-0=0=-0=-0=-0=-0=-0=-0=-0=-0$

**Первый способ синергетического управления сваркой с импульсной подачей электродной проволоки** Поскольку в рассматриваемом процессе действующим параметром является напряжение сварки, то воздействовать на среднюю скорость подачи, а, следовательно, среднего тока сварки можно, осуществляя микропроцессорное формирование импульсов в зависимости от напряжения процесса. Дополнительное формирование средней скорости подачи можно осуществить, регулируя, в соответствии с выражением (5) времена действия различных фаз импульсного воздействия.

Выбор наиболее “важного” параметра импульсного воздействия, определяющего среднюю скорость подачи при синергетическом управлении, осуществлялся с помощью системных экспериментальных исследований на основе разработанной нейросетевой модели. Исследования показали, что в большинстве случаев наиболее эффективным является управление по шагу импульсной подачи или частоте подачи электродной проволоки и воздействие на среднюю скорость подачи электродной скорости, а, следовательно, ток дугового процесса. Реализовать этот способ синергетического управления возможно путём введения в регулятор системы управления подачей электродной проволоки определённых структур обратных связей.

Синергетический режим работы механизма подачи снижает сложность выполнения сварки, что даже сварщик с достаточно низкой начальной квалификацией может уверенно осуществлять большинство операций, управляя процессом с помощью одной рукоятки при заранее определённых характеристиках формирования импульсного движения.

**Второй способ синергетического управления сваркой с импульсной подачей электродной проволоки**

Используя все преимущества первого способа управления, предлагается комбинированный способ, сочетающий в себе возможности импульсно – дугового процесса и импульсной подачи электропривода с регулируемыми параметрами. Задача комбинированного управления переносом электродного металла с использованием импульсных воздействий от источника сварочного тока и механизма подачи уже решалась с получением эффективного воздействия, что детально описано в работе. Недостатками этой разработки явилось наличие временных зависимостей между генерированием импульсов источника и механизма подачи с целью их синхронизации при различных инерционностях генераторов, что создавало трудности в выборе, как параметров импульсов, так и установке времён.

Решить задачу синхронизации позволяет введение обратных связей по параметрам процесса сварки. При этом использовались обратные связи, как по току, так и по напряжению сварки, а также их комбинации. Следует отметить, что в данном случае, как показало исследование, рациональным является первоначальное генерирование механического импульса, а затем с некоторым запаздыванием – импульс источника сварочного тока.

Использование обратных связей при разработке способа комбинированного импульсного воздействия, уже само по себе является способом синергетического управления сварочным процессом. Кроме этого, как и в предыдущем способе, здесь организуется обратные связи, управляющие параметрами обоих генераторов импульсов с очень широкими возможностями по выбору параметров регулирования: величины импульсов, скважности, соотношение величин в импульсе подачи и в паузе, частота, шаг подачи для механизма подачи практически в любой их комбинации со стабилизацией одних параметров и регулированием других.

Реализовать эти способы сварки в настоящее время позволяют безредукторные механизмы подачи на основе компьютеризованных вентильных электроприводов и специальной системы управления [2].

Разработана универсальная система управления подачей

электродной проволоки и циклом сварки дуговой механизированной и автоматической сварки в защитных газах. Её внешний вид представлен на рис. 1.

Система позволяет реализовывать практически любой алгоритм движения электродной проволоки, включая импульсный и синергетический в виде дозированной подачи по заданным значениям тока дугового процесса [3], а также выполнять стандартные циклы сварочно-наплавочного процесса.

Уместным будет отметить, что все разработки, входящие в эту систему, включая быстродействующий вентильный электродвигатель, выполнены в Украине.

#### Список ссылок

1. Патон Б.Е. Использование механических импульсов для управления процессами автоматической и механизированной сварки плавящимся электродом / Патон Б.Е., Лебедев В.А., Полосков С.И., Лендел И.В. // Сварка и диагностика. – 2013. – №6. – С.16 – 20.
2. Лебедев В.А. Быстродействующий вентильный электропривод для оборудования механизированной дуговой сварки / Лебедев В.А., Гулый М В. // Мехатроника. Автоматизация, Управление. – 2014. – №6. – С.47-51.
3. Лебедев В.А. Управление переносом электродного металла на основе импульсных алгоритмов функционирования систем с дозированием подачи электродной проволоки при механизированной дуговой сварке / Лебедев В.А., Жук Г.В. // Тяжёлое Машиностроение №6. – 2017 – С. 27 – 32.

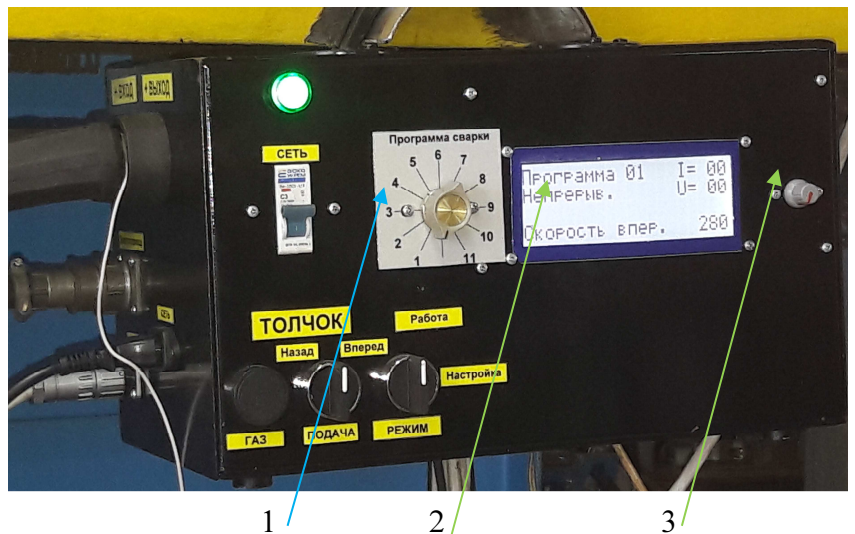


Рис.1 – Универсальный блок управления подачей электродной проволоки и циклом сварки: 1 – переключатель выбора и установки выбранных способов подачи; 2 – дисплей; 3 – регулятор установки параметров

УДК 621.791

Брикков М.М.  
Лебедев В.О., докт. техн. наук, професор  
Новіков С. В.

Інститут електрозварювання ім. Є.О. Патона НАН України, м. Київ, valpaton@ukr.net

## ПЕРСПЕКТИВИ ВИКОРИСТАННЯ НАПЛАВЛЕННЯ З МЕХАНІЧНИМИ КОЛИВАННЯМИ ДЛЯ ОТРИМАННЯ ЗНОСОСТІЙКИХ ШАРІВ З ГРАДІЄНТНОЮ СТРУКТУРОЮ

Наплавлення з механічними коливаннями зварювальної ванни є перспективним методом підвищення властивостей наплавленого металу. Наприклад, в роботі [1] показано можливість значно змінювати твердість наплавленого шару під час напівавтоматичного наплавлення низьковуглецевим дротом СВ 08Г2С з коливаннями зварювальної ванни з частотою 2,5-4,5 Гц і амплітудою 3-7 мм. Результати роботи наводять на думку щодо використання наплавлення з механічними коливаннями для отримання шарів не тільки для низьковуглецевих, а також і для високовуглецевих композицій. Це може бути корисним для виготовлення або відновлення деталей, які експлуатуються в умовах інтенсивного механічного зношування.

Можливість впливати на форму та орієнтацію твердої фази в зносостійкому наплавленні є перспективним напрямом досліджень. В результаті може з'явитися можливість отримувати наплавлені деталі зі зносостійкістю на рівні твердого сплаву за собівартістю білого високохромистого чавуну. Підстави для очікування такого результату надає явище анізотропії карбіду хрому типу  $Me_7C_3$  [2].

Карбід зазначеного типу утворюється в залізвуглецевих сплавах при підвищеному вмісті хрому. Якщо вміст вуглецю перевищує евтектичну концентрацію (заевтектичні білі високохромисті чавуни), під час кристалізації утворюються довгі первинні карбіди  $Fe(Cr)_7C_3$ . Їх мікротвердість в різних напрямках дуже відрізняється: близько 12 ГПа в одному напрямку і  $> 20$  ГПа в перпендикулярному напрямку. Якщо за допомогою лиття або наплавлення отримати направлену кристалізацію первинних карбідів у потрібному напрямку, буде отримано зносостійку поверхню з твердістю  $> 20$  ГПа.

Більшість природних абразивів мають твердість нижчу за 20 ГПа. Через це зносостійкість матеріалу з твердістю більше 20 ГПа під час зношування такими абразивами виявиться не менш, ніж на порядок вищою, ніж для таких ширококовжливаних матеріалів, як загартовані на мартенсит високовуглецеві сталі і білі чавуни [3]. Але цей результат, ймовірно, можна отримати за таких умов кристалізації, коли тепловідведення є достатньо швидким для виникнення направленої кристалізації, але також і достатньо повільним для утворення первинних карбідів рівноважної структури з проявленою анізотропією.

Забезпечити такі жорсткі умови кристалізації достатньо складно. Необхідно застосовувати засоби тонкого керування швидкістю тепловідводу. Саме тут наплавлення з механічними коливаннями зварювальної ванни може призвести до отримання позитивного результату.

### Список посилань

1. Лебедев, В. А. Определение твёрдости наплавленного металла и металла зоны термического влияния (ЗТВ) принизкочастотных колебаниях сварочной ванны [Текст] / В. А. Лебедев, С. В. Новиков, Т. Г. Соломийчук // Нові матеріали і технології в металургії та машинобудуванні. – 2019. - № 2. – С. 54-61.
2. Dogan O. N. Effect of carbide orientation on abrasion of high Cr white cast iron / O. N. Dogan, J. A. Hawk // Wear. - 1995. - V. 189, № 1. - P. 136-142.
3. Долговечность оборудования огнеупорного производства / [Попов В. С., Брыков Н. Н., Дмитриченко Н. С., Приступа П. Г.]. – М.: Металлургия, 1978. - 232 с.

УДК 621.79

Лебедев В.А., докт. техн. наук, профессор  
Новиков С. В.

Институт электросварки им. Е. О. Патона НАН Украины, г. Киев, valpaton@ukr.net

**МОДЕЛИРОВАНИЕ ВЕЛИЧИН ТВЁРДОСТИ НАПЛАВЛЕННОГО МЕТАЛЛА И МЕТАЛЛА ЗТВ ПРИ НИЗКОЧАСТОТНЫХ КОЛЕБАНИЯХ СВАРОЧНОЙ ВАННЫ**

Одним из способов повышения технологической прочности сварных конструкций является управление кристаллизацией сварочной ванны посредством наложения на расплав сварочной ванны или сварочный инструмент периодического механического воздействия, что способствует формированию мелкозернистой структуры металла сварного шва и направленного роста кристаллов, обуславливающих получение высоких механических свойств [1-3].

Большинство исследований данной тематики касается частотного диапазона превышающего 10 Гц, однако, характерные изменения микроструктуры наблюдаются уже при частоте 2,5 Гц [3].

Целью данных исследований является изучение влияния амплитудно – частотных характеристик низкочастотных механических колебаний сварочной ванны на значение твёрдости наплавленного металла и ЗТВ как интегрального критерия прочности [4].

Обработка экспериментальных результатов производилась методом регрессионного анализа, что подразумевает построение полиномов с эмпирически определёнными коэффициентами. Это было осуществлено при помощи программного пакета STATISTICA.

Эксперименты, на основе которых были получены регрессионные модели, проводились на технологических режимах наплавки и амплитудно – частотных характеристиках колебания сварочной ванны, разработанных в соответствии с методикой планирования эксперимента по методу «латинского квадрата» [5]. Функцией отклика является величина твёрдости наплавленного металла и ЗТВ, а независимыми факторами - сила тока дуги  $I_n$ , скорость наплавки  $V_n$ , амплитуда  $A$  и частота внешних колебаний  $\nu$ . Выражения для твёрдости  $B$  наплавленного металла и  $B_{ЗТВ}$  [Па] имеют вид:

$$\begin{aligned}
 B = & 0,0025115325976854 + 11490,9078052973 \cdot A \cdot V_n^2 - 1,4548155487319 \cdot I_n \cdot A^2 + \\
 & + 0,082027586432854 \cdot V_n \cdot \nu^2 + 0,501025022483833 \cdot I_n \cdot V_n^2 + 0,0000416672416763302 \cdot A \cdot I_n^2 - \\
 & - 0,00000642951116417346 \cdot V_n \cdot I_n^2 - 44,3442907498056 \cdot A \cdot \nu \cdot V_n + 0,00105829634213171 \cdot A \cdot \nu \cdot I_n - \\
 & - 0,00241590 \cdot I_n \cdot \nu \cdot V_n + 16,6016450907408 \cdot A \cdot V_n - 0,000000227768144422142 \cdot I_n^2 - \\
 & - 106,349123766147 \cdot V_n^2 - 0,000335306391843706 \cdot \nu^2 + 41,8181782549147 \cdot A^2 + \\
 & 7752,10268876331 \cdot A^3 + 0,0058759267308144 \cdot I_n \cdot V_n + 0,0000103364256894232 \cdot I_n \cdot \nu
 \end{aligned} \quad (1)$$

$$\begin{aligned}
 B_{ЗТВ} = & 1,384384 \cdot 10^9 - 1,394832 \cdot 10^{12} \cdot I_n \cdot A^2 + 1,607340 \cdot V_n \cdot \nu^2 - \\
 & - 1,310467 \cdot 10^{11} \cdot A \cdot \nu^2 + 5,471284 \cdot 10^{11} \cdot I_n \cdot V_n^2 + 4,611754 \cdot 10^7 \cdot A \cdot I_n^2 - \\
 & - 2,478328 \cdot 10^7 \cdot V_n \cdot I_n^2 + 2,139833 \cdot 10^9 \cdot A \cdot \nu \cdot I_n - 1,789068 \cdot 10^{11} \cdot A \cdot I_n \cdot V_n - \\
 & - 3,220541 \cdot 10^9 \cdot I_n \cdot \nu \cdot V_n - 7,239987 \cdot 10^{11} \cdot \nu \cdot V_n + 5,285688 \cdot 10^{11} \cdot A \cdot \nu + \\
 & + 4,762790 \cdot 10^6 \cdot I_n \cdot \nu + 1,489510 \cdot 10^{10} \cdot I_n \cdot V_n - 5,900029 \cdot 10^9 \cdot I_n \cdot A - \\
 & - 1,567035 \cdot 10^5 \cdot I_n^2 + 8,676576 \cdot 10^{15} \cdot A^3
 \end{aligned} \quad (2)$$

Данные уравнения имеют коэффициенты детерминации 85 и 88 соответственно.

Применяя данные регрессионные модели (1), (2), было установлено, что максимальное значение твердости металла валика на режиме  $I_n = 125$  А,  $V_n = 0,0039$  м/с,  $A = 0,007$ , м  $\nu =$

3 Гц, превышает на 31,7 % твёрдость металла сварного шва и на 25,3 % твёрдость металла ЗТВ, полученных наплавкой без колебаний.

Экспериментальная часть исследований представляет собой механизированную наплавку плавящимся электродом в среде углекислого газа на установке, схема которой приведена на рисунке 1. В качестве плавящегося электрода применялась стальная омеднённая проволока типа СВ 08 Г2С диаметром 1,2 мм, подаваемая посредством полуавтомата сварочного 1 через горелку непосредственно в зону горения дуги. Ток наплавки регулируется посредством скорости подачи электродной проволоки. Скорость подачи проволоки осуществляется как плавно, так и дискретно через соответствующие тумблеры на панели полуавтомата.

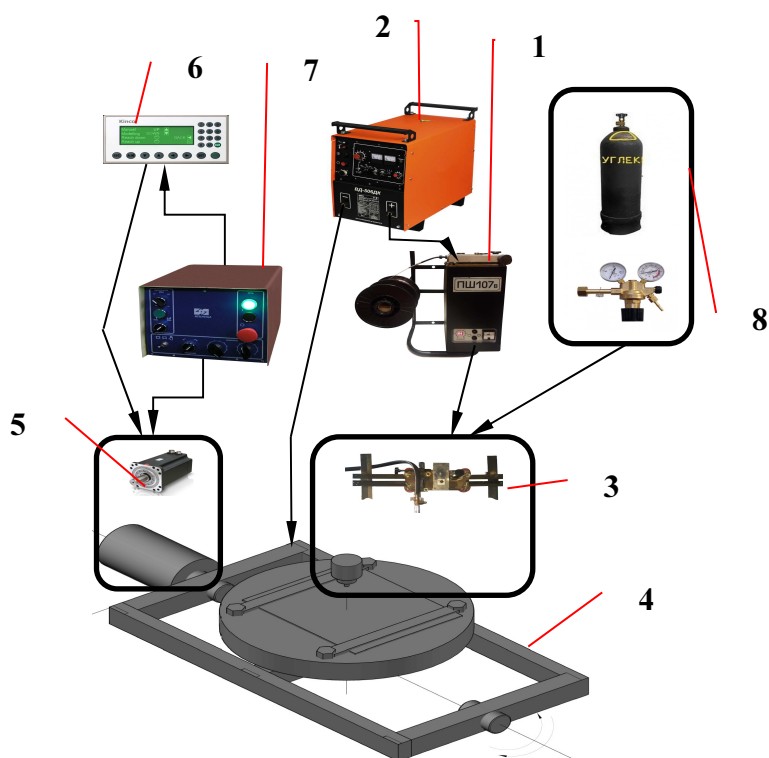


Рис. 1 – Схема установки для наплавки в среде углекислого газа с колебаниями сварочной ванны

Величина тока наплавки определялась амперметром, расположенным на лицевой части источника питания 2. Источник питания является выпрямителем для ручной и автоматической сварки, обеспечивающий максимальный ток до 400 А. Механическое прямолинейное перемещение сварочной горелки осуществляется посредством подвижной станины с тумблером 3 плавной регулировки скорости перемещения. Свариваемая заготовка закрепляется на подвижном столе 4, который перемещается по дуге окружности в направлении перпендикулярном направлению наплавки. Колебания стола генерируются посредством шагового двигателя 5. Амплитуда и частота колебаний задаются непосредственно через пульт управления двигателем 6. Максимальная частота, при которой двигатель работает в стабильном режиме, составляет 4,5 Гц. Амплитуда, при которой возможно устойчивое формирование наплавленного валика, не превышает 7 мм. Стол приводился в колебательное состояние после 5 – 7 сек. от момента начала горения дуги посредством блока управления 7. Подача и регулировка углекислого газа подаётся из газового баллона 8 посредством редуктора. В качестве заготовки для наплавки были использованы прямоугольные пластины из низкоуглеродистой стали типа Ст3. Углекислый газ, используемый в экспериментах, представлял собой технический углекислый газ – 99,5 % CO<sub>2</sub>. Расход газа лежал в пределах 9-12 л/мин.

#### Список ссылок

1. Che-wei Kuo, Sheng-Min Yang, Jie-Hao Chen, Gen-Huey Lai, Yu-Che Chen, Yung-Tse Chang, Weite Wu. Preferred Orientation of Inconel 690 after Vibration Arc Oscillation Welding. *Materials Transactions*, Vol. 49, (2008) Issue 3, pp. 688 – 690. DOI:10.2320/matertransmep2007305

2. M. J. Jose, S. S. Kumar, A. Sharma. Vibration assisted welding processes and their influence on quality of welds. *Science and Technology of Welding & Joining*. Volume 21, 2016 - Issue 4. DOI: 10.1179/1362171815y.0000000088

3. Agni Arumugam Selvi. Effect of linear direction oscillation on grain refinement. Thesis. 2014, Master of Science, Ohio State University, Mechanical Engineering, 45 p.

4. Шевельков В.В. Твёрдость – критерий упрочнения металлических материалов / В.В.Шевельков // Вестник ПсковГУ. Серия «Экономические и технические науки». – 2014. – №5 – С. 125 – 134.

5. Протоdjяконов М. М. Методика рационального планирования эксперимента. / М.М.Протоdjяконов, Р. И. Тедер. – Москва, «Наука», 1970, – 76 с.

УДК 621.79:669.15

**Берднікова О.М., канд. техн. наук, старший наук. співробітник**  
**Алексєнко Т.О. канд. техн. наук**  
**Половецький Є.В., канд. техн. наук., старший наук. співробітник**  
 Інститут електрозварювання ім. Є.О. Патона, [poloveckiy@gmail.com](mailto:poloveckiy@gmail.com)

**Гурнік О.О., викладач**  
 Фаховий коледж інженерії та зв'язку Національного авіаційного університету,  
[olga.gurnick@gmail.com](mailto:olga.gurnick@gmail.com)

### СТРУКТУРА ТА ХАРАКТЕР РУЙНУВАННЯ ЛЕГОВАНОЇ СТАЛІ З ВМІСТОМ ВУГЛЕЦЮ 0,31%

При виготовленні відповідальних зварних вузлів і корпусів колісної броньової техніки спеціального призначення використовують леговані термозміцненні високоміцні сталі. Основними проблемами при їх зварюванні є забезпечення достатнього рівня міцності при забезпеченні тріщиностійкості [1-3].

Дослідження проводили на модельних зразках середньовуглецевої легованої сталі (0,31%С; 93,3% Fe; 1,16% Si; 0,74% Mn; 1,16% Cr; 2,26% Ni; 0,2% V; 0,04% Al; 0,024% Ti; 0,01% S; 0,016% P), що отримані за термічними циклами зварювання (ТЦЗ) в інтервалі температур 600-500°C з різними швидкостями охолодження ( $W_{6/5}=3,8$  °C/c, 12,5 °C/c та 21 °C/c) з використанням комплексу методів досліджень: світлової металографії (Versamet-2, Neophot-32) та аналітичної растрової мікроскопії (СЭМ-515, фірми «PHILIPS», Нідерланди).

Металографічними дослідженнями встановлено, що при збільшенні швидкості охолодження до  $W_{6/5}=21$ °C/c в металі ЗТВ формується переважно мартенситна структура (95...98%), розмір пакетів зменшується в 2 рази (від 35...80 мкм до 15...50 мкм), а мікротвердість збільшується в середньому на 13 % (від 4420...5600 МПа до 4800...6810 МПа).

Для оцінки в'язкості руйнування ( $K_{1C}$ ) та тріщиностійкості металу зразків броньової сталі проводили фрактографічні дослідження впливу структурних факторів на характер тріщиноутворення в умовах випробувань при зовнішньому навантаженні вигином. Механічними випробуваннями показано, що найбільший показник в'язкості руйнування  $K_{1C} = 110$  МПа $\times$ м<sup>1/2</sup> металу отримано при швидкості охолодження  $W_{6/5} = 3,8$  °C/c, табл.1. При збільшенні швидкості охолодження до  $W_{6/5}=12,5$  °C/c та  $W_{6/5}=21$  °C/c значення  $K_{1C}$  знижується, що пов'язано зі зменшенням кількості нижнього бейніту (до ~ 2...5%) та збільшенням кількості мартенситної складової.

Таблиця 1. Результати механічних випробувань на вигин броньової сталі 71 після імітації ТЦЗ при різних швидкостях охолодження ( $W_{6/5}$ )

	Швидкість охолодження ( $W_{6/5}$ )		
	$W_{6/5}=3,8$ °C/c	$W_{6/5}=12,5$ °C/c	$W_{6/5}=21$ °C/c
$K_{1C}$ , МПа $\times$ м <sup>1/2</sup>	110	85	70

Після випробувань на вигин було проведено детальний фрактографічний аналіз структури зламів зразків сталі з урахуванням типів руйнування та параметрів елементів мікрорельєфу поверхні руйнування за характерними зонами зламів: зона втомної тріщини (біля надрізу); зона магістрального руйнування (рис. 1); зона долому.

В результаті, фрактографічними дослідженнями встановлено, що оптимальна структура броньової сталі з точки зору фазового складу, мінімальних параметрів елементів рельєфу поверхні руйнування, відсутності вторинних тріщин при максимальній об'ємній частці в'язкої складової (90%) формується при охолодженні металу зі швидкістю  $W_{6/5}=3,8$  °C. Це пов'язано зі збільшенням кількості нижнього бейніту до 10...12%

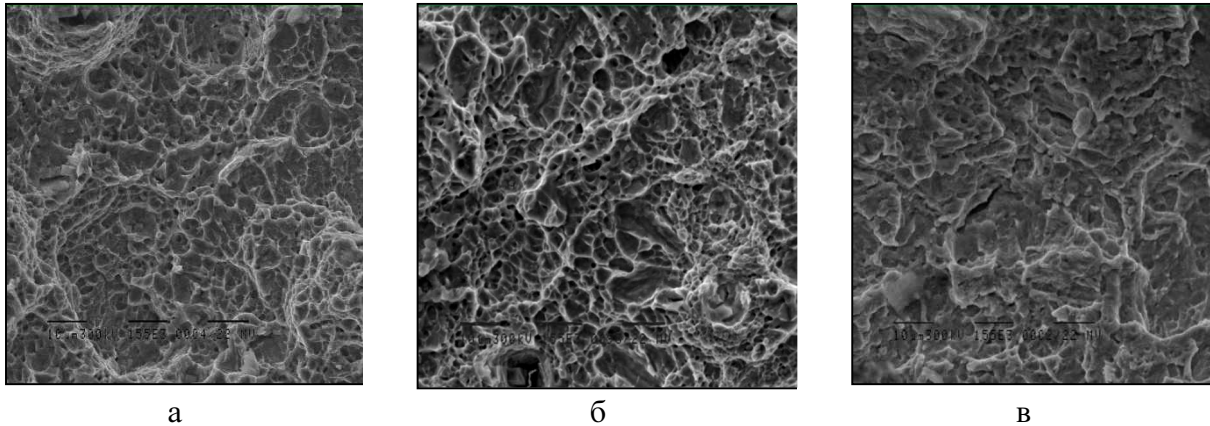


Рис. 1. – Характер руйнування в зоні магістрального розвитку тріщини броньової сталі (а -  $W_{6/5}=3,8$ °C/c; б -  $W_{6/5}=12$ °C/c; в -  $W_{6/5}=21$ °C/c)  $\times 1550$ .

#### Список посилань

1. Скульский В.Ю. Особенности кинетики замедленного разрушения сварных соединений закаливающихся сталей (2009) Автоматическая сварка, 7, 14–20.
2. Гайворонский А.А., Саржевский В.А., Гордонный В.Г. (1997). Свариваемость среднеуглеродистой легированной стали 38Х2МЮА. Автоматическая сварка, 4, 20–24.
3. Костин В. А., Григоренко Г. М., Позняков В. Д.(2019) Особенности формирования структуры металла ЗТВ сварных соединений зарубежных специальных сталей. Сварочное производство, 12, 50-56.

УДК 621.791.72

Кушнарева О.С. канд. техн. наук  
Бердникова Е.Н., канд. техн. наук, старший научн. сотрудник  
Бернацкий А.В. канд. техн. наук  
Кушнарева Т.Н. млад. научн. сотрудник  
Алексеев И.И. млад. научн. сотрудник  
Институт электросварки им. Е.О. Патона, [olgakus@meta.ua](mailto:olgakus@meta.ua)

#### СТРУКТУРНЫЕ ОСОБЕННОСТИ ПОВЕРХНОСТНЫХ СЛОЕВ, ПОЛУЧЕННЫХ ЛАЗЕРНЫМ И ЛАЗЕРНО-ПЛАЗМЕННЫМ ЛЕГИРОВАНИЕМ

Одной из главных задач при изготовлении деталей машин и механизмов является обеспечение их служебных характеристик, что, как правило, зависит от условий их эксплуатации и от соответствующих свойств материалов, из которых эти детали изготовлены [1, 2]. Для конструкций с особыми свойствами их поверхностей, работоспособность и увеличение срока службы могут быть обеспечены за счет технологий упрочнения поверхностных слоев, к которым относятся современные лазерные и лазерно-плазменные способы их обработки [3]. Следует отметить, что в условиях использования этих технологий возникают проблемы, в значительной степени связанные с накоплением



локальных внутренних напряжений в обработанных поверхностях. Это является основной причиной снижения их трещиностойкости и, соответственно, служебных свойств всей конструкции [4].

В данной работе с помощью лазерного и лазерно-плазменного способов выполнено поверхностное легирование образцов, изготовленных из конструкционной стали 38ХНЗМФА на глубину до 2 мм. Для легирования были использованы смеси порошков, содержащие рэлит, хром, алюминий и кремний в определенных пропорциях.

Комплексные исследования, включающие в себя световую микроскопию (Versamet-2), аналитическую растровую электронную (СЭМ-515, фирмы PHILIPS, Ниделанды) и микродифракционную просвечивающую электронную микроскопию (JEM-200СХ, фирма JEOL, Япония), показали следующее. Легированные слои имеют четко выраженную кристаллическую структуру, направленную перпендикулярно линии сплавления. В случае лазерно-плазменной обработки кристаллиты имеют более протяженный ячеистый вид меньших размеров по сравнению с лазерным легированием. При сравнении образцов, полученных обоими способами поверхностного легирования установлено, что в случае лазерно-плазменного легирования структура и карбидные фазы диспергируются, при снижении плотности дислокаций от  $\rho \sim 4 \times 10^9 \dots 1 \times 10^{12} \text{ см}^{-2}$  (лазерное легирование, рис. 1, а) до  $\rho \sim 8 \times 10^8 \dots 1 \times 10^9 \text{ см}^{-2}$  (рис. 1, б).

Выполненный комплекс экспериментальных исследований позволил провести аналитические оценки дифференцированного вклада различных структурно-фазовых составляющих и их параметров, формирующихся в исследуемых поверхностных слоях при различных режимах легирования, а также концентраций легирующих элементов в изменение наиболее значимых эксплуатационных характеристик обработанных поверхностей – прочности и трещиностойкости.

Установлено, что режимы лазерно-плазменного легирования способствуют увеличению прочностных характеристик (в среднем на 20 %) по сравнению с лазерным легированием. Наибольший вклад в упрочнение при оптимальном режиме обработки вносят фазовые выделения (27 %) и субструктура (25 %).

Режимами лазерно-плазменного легирования обеспечивается трещиностойкость обработанных легированных слоев, чему способствует равномерное и безградиентное распределение плотности дислокаций при отсутствии структурных условий формирования концентраторов внутренних напряжений - зон зарождения и распространения трещин.

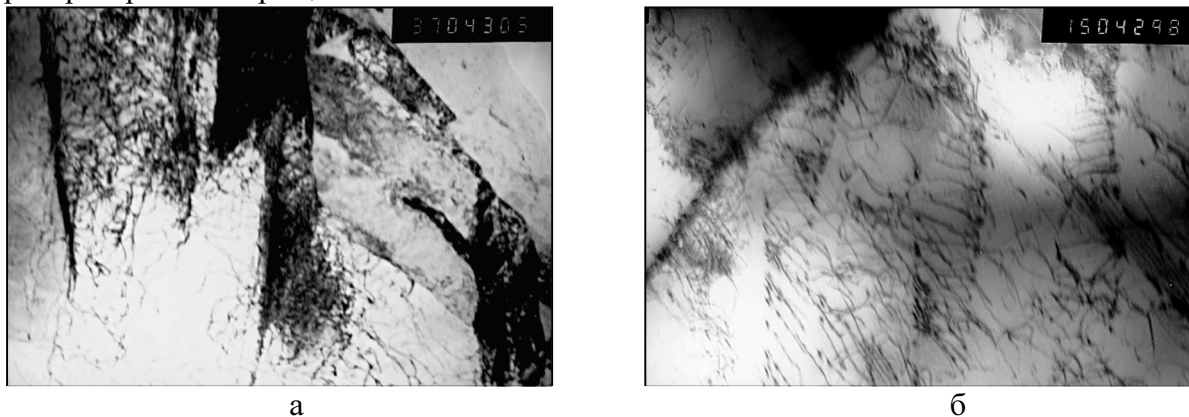


Рис. 1 – Тонкая структура легированных слоев: а - градиентное распределение дислокаций во внутренних объемах кристаллитов при лазерном легировании ( $\times 37000$ ); б - равномерное распределение плотности дислокаций и фазовых выделений при лазерно-плазменном легировании ( $\times 15000$ )

### Список ссылок

1. Курдюмов В.Я. Ремонт строительных машин методами сварки и наплавки / В.Я.Курдюмов, В.П. Рязанов - М.: Стройиздат, 1973. – 231 с.
2. Терегулов Н.Г. Лазерные технологии на машиностроительном заводе / Н.Г. Терегулов, Б.К. Соколов, Г. Варбанов, Б.С. Малышев, М.И. Неганов, Е.Ю. Ерофеев– Уфа, 1993. – 264 с.
3. Шелягин В.Д. Лазерно-микроплазменное легирование и нанесение покрытий на стали / В.Д. Шелягин, В.Ю. Хаскин, Ю.Н. Переверзев. // Автомат. сварка. – 2006. – № 2 – С. 3–6.
4. Маркашова Л.И. Сварные соединения сложнолегированных алюминий-литиевых сплавов. Структура и эксплуатационные свойства / Л.И. Маркашова, О. С. Кушнарера // Строительство. Материаловедение. Машиностроение. Сб. научн. тр. № 64, – Днепропетровск, ПГАСА, 2012. – С. 75 – 80.

УДК 621.81:621.337

**Бердникова Е.Н., канд. техн. наук, старший научн. сотрудник**  
**Кушнарера О.С. канд. техн. наук**  
**Половецкий Е.В. канд. техн. наук, старший научн. сотрудник**  
**Титков Е.П. млад. науч. сотрудник**  
**Еремеева Л. Т. ведущ. инж-техн.**

Институт электросварки им. Е.О. Патона, г. Киев, omberdnikova@gmail.com

### СТРУКТУРА И СВОЙСТВА КОМПОЗИЦИОННЫХ ПОКРЫТИЙ ПРИ ДЕТОНАЦИОННОМ НАПЫЛЕНИИ

Актуальной задачей является повышение надежности и долговечности изделий, эксплуатационные характеристики, которых определяются свойствами их рабочих поверхностей и позволяют использовать их для работы в экстремальных условиях (высокие температура и давление, интенсивный износ трением, знакопеременные нагрузки и т.д.).

В работе проведены исследования структуры и свойств целого ряда композиционных покрытий ( $Al_2O_3-Al$ ;  $ZrSiO_4$ ;  $Ni-Cr-Si$ ;  $WC-Co-Cr$ ;  $Cr_3C_2-NiCr$ ;  $Cr_3C_2-TaC-NiCr$ ;  $Al_2O_3-Ti$ ), нанесенных на различные материалы подложек (сталь, медь, алюминий, титан), полученных на различных режимах детонационного напыления [1 - 4].

Исследования структуры полученных покрытий (микротвердости, объемной доли пор, фазового состава, распределения дисперсных фаз, характера зеренной, субзеренной, дислокационной структур и др.) проводили на всех структурных уровнях (от зеренного до дислокационного) с применением комплексного методического подхода, включающего световую микроскопию (Versamet-2, Япония; Leco-M400, США), аналитическую растровую электронную микроскопию (Philips SEM-515, Нидерланды), рентгеноструктурный фазовый анализ (ДРОН-УМ1), а также просвечивающую микродифракционную электронную микроскопию (JEM-200CX, фирмы «JEOL» с ускоряющим напряжением 200кВ, Япония).

В результате исследования влияния используемых технологических режимов на структурно-фазовые изменения обрабатываемых поверхностей, показано следующее.

При различных режимах поверхностной обработки установлены существенные изменения:

- на 20...30% микротвёрдости обрабатываемых поверхностных слоев;
- состава, объемной доли (изменение в 1,5...2 раза), измельчения (от 0,2...1,1 мкм до 0,01...0,5 мкм) и распределения упрочняющих фаз;
- степени диспергирования (в 1,2...3 раза) зеренной и субзеренной структуры матричной основы;

- характера распределения плотности дислокаций (градиенты по плотности дислокаций (в 1,8...2 раза)  $\Delta\rho$ : от  $\rho \sim (7...8) \times 10^{10} \text{ см}^{-2}$  до  $\rho \sim (3...4) \times 10^{10} \text{ см}^{-2}$ ).

Аналитическими оценками свойств формирующихся поверхностей установлен конкретный вклад всех структурных параметров в изменение прочности и трещиностойкости исследуемых покрытий. Показано, что наибольший вклад в интегральное упрочнение покрытий вносят: дисперсные частицы фазовых выделений (дисперсионное упрочнение по Оровану до 60%) в матрице покрытий; формирование субструктуры (субзеренное упрочнение до 20%) при равномерном распределении плотности дислокаций (дислокационное упрочнение до 15%).

Установлено, что высокий уровень механических свойств и трещиностойкость новых покрытий обеспечиваются за счет оптимального структурно-фазового состава: мелкозернистой зеренной и субзеренной структуры при равномерном распределении упрочняющих фаз и дислокационной плотности. При этом повышению трещиностойкости покрытий способствует отсутствие протяженных структурных зон дислокационных скоплений - концентраторов локальных внутренних напряжений.

#### Список ссылок

1. Влияние структуры на свойства покрытий из механических смесей порошков  $\text{Al}_2\text{O}_3$  и Al (или Ti), полученных методом многокамерного детонационного напыления / Маркашова Л.И., Тюрин Ю.Н., Колисниченко О.В., Бердникова Е.Н., Кушнарева О.С., Е.В. Половецкий, Титков Е.П. // Автоматическая сварка. – 2017. – №9. – С.33-39. DOI: 10.15407/as2017.09.05
2. Влияние структуры на трещиностойкость металлокерамических покрытий при детонационном напылении / Л.И. Маркашова, Ю.Н. Тюрин, О.В. Колисниченко, Е.Н. Бердникова, Е.В. Половецкий, Е.П. Титков // Строительство. Материаловедение. Машиностроение. Серия: Стародубовские чтения. – 2018. – Вып. 104. – С.188-193.
3. Effect of Nano-Structured Factors on the Properties of the Coatings Produced by Detonation Spraying Method / L. Markashova, Yu. Tyurin, O. Berdnikova, O. Kolisnichenko, I. Polovetskyi, Ye. Titkov. // Advances in Thin Films, Nanostructured Materials, and Coatings. A.D. Pogrebnyak, V. Novosad (Eds.). – Singapore: Springer, 2019. – P. 109-117. DOI: 10.1007/978-981-13-6133-3\_11.
4. Berdnikova O. Effect of Structures on the Strength, Fracture Toughness, Crack Resistance of Welded Joints of High-Strength Steels and Composite Coatings / O. Berdnikova // International Institute of Welding. –2018. Doc. X-1921-18. – 10P.

UDK 621.793.6

**Kruglyak I. V. associate professor, PhD in technical sciences**  
Dniprovsky State Technical University, Kamyanskoe, seredabp@ukr.net

## TECHNOLOGY FOR THE PRODUCTION OF CHROME DIFFUSION COATINGS IN COMPOSITE MEDIA

**Introduction** The operational characteristics of many products - wear resistance, corrosion resistance, reflectivity, heat resistance and others - are determined by the surface properties. To obtain high structural strength characteristics of surface layers, various coating methods are often used to protect the base material from external influences, increase the service life of parts and reduce the cost of repairing worn equipment. The chromium plating process is an effective method of increasing the reliability and durability of machine parts, tools and technological equipment due to the creation of chrome layers on the surface of the machined parts having a unique set of physicochemical properties.

In this paper, we consider the technology of the formation of functional coatings on structural materials using composite saturating media.

However, all known powder methods are energy intensive and time consuming. In this regard, the development of new composite saturating media is an urgent development of new

technologies that allow you to adjust the composition and structure of coatings, provide the necessary performance characteristics with a minimum time of their formation.

**The aim of this work** is to obtain diffusion coatings from composite powders based on chromium and refractory metals with high saturation ability.

**Research materials.** Chemical-thermal treatment of carbon steels was carried out in an open type reactor in the operating temperature range of 950 – 1050 °C with an isothermal exposure time of 30 – 60 minutes.

The thickness of the hardened layers was studied using a Neophot – 21 and Neophot – 32 light microscope with an increase of  $\times 150$  –  $\times 500$ . The microstructure was detected by etching in a 3 % alcoholic solution of picric acid (TU 6-09-08-317-80). To identify the grain boundaries of ferrite, a 4% alcohol solution of nitric acid was used.

The elemental composition was studied by X-ray microanalysis using a JEOL Superprob-733 microanalyzer. To calculate the equilibrium composition of the system products, the applied software packages “ASTRA 4” and “TERRA” were used [1].

**Research results and discussion.** During diffusion chromium plating using ammonium chloride, a layer of carbonitrides of the composition  $Fe_2(N,C)$  and  $Fe_4(N,C)$  is also formed on the surface [2]. On medium-carbon steels, mainly, complex coatings are formed with a carbide phase, under which there is a layer of a solid solution of chromium in iron with inclusions of chromium carbides and a decarburized zone (a zone with a low concentration of chromium and carbon). On low-carbon steels, a coating is formed, which is a solution of chromium in iron, under which there is a carbon-free zone [3].

The dimensions of coatings on steels, their structure and phase composition are determined by the conditions for the formation of coatings under the influence of constantly changing factors. In this case, the decisive role is played by the ratio of the counter mass fluxes of chromium (from the outside) and carbon and iron (from the saturated matrix) to strictly specific temperature-time intervals of the diffusion chromium plating process. The characteristics of the counter mass flows of carbon and chromium in the matrix are their diffusion coefficients, and in the near-surface zone, mass transfer coefficients.

The formation of coatings on low carbon steel in composite saturating media including chromium provides the implementation of the chromium plating process, which allows to obtain chromium carbide.

Coatings obtained under non-stationary temperature conditions consist of a diffusion zone [4–5]. It has been established that on the surface of steels, when silicon is introduced into the charge  $(Fe, Al)_5Si_3$ , silicide is formed, under which  $\alpha$  -is a solid solution of titanium, chromium and silicon in iron, a columnar structure.

On steels 45 and U8A, carbide  $Cr_{23}C_6$  и  $Cr_7C_3$  are observed on the surface. The tests of coatings for corrosion resistance showed an increase in this indicator by 1,5 – 1,7 times in comparison with diffusion coatings obtained in isothermal conditions.

**Conclusions.** The use of composite saturating media increases the chemical potential of the carbon saturating medium, which leads to the production of carbides  $Cr_{23}C_6$  and  $Cr_7C_3$ .

The tests of coatings for corrosion resistance in 20% aqueous solutions of  $HNO_3$ ,  $H_2SO_4$ ,  $HCl$  showed an increase in this indicator by 1,5 – 1,7 times, compared with diffusion coatings obtained under isothermal conditions.

#### List of references

1. Sereda B.P., Palekhova I.V., Belokon Yu.A., Sereda D.B. Obtaining intermetallic compounds and coatings under non-stationary temperature conditions./New materials and technologies in metallurgy and mechanical engineering: Scientific journal No. 2, 2014. ZNTU, Zaporizhia, S. 67–71
2. Pokhmursky, V. I. Increasing the durability of machine parts using diffusion coatings [Text] / V. I. Pokhmursky, V. B. Dalisov, V. M. Golubets. - Kiev: Naukova Dumka, 1980. – 187 p.

3. Dubinin, G. N. Diffusion chromium plating of alloys [Text] / G. N. Dubinin. - M.: Mechanical Engineering, 1964. – 451 p.

4. Sereda B., Kryglyak I., Sereda D. Production of highly effective SHS coatings operating in oxidizing and corrosive environments // Material science and technology – 2017. Pittsburgh. Pennsylvania USA. 2017. – P.424–429.

5. Sereda, B., Belokon, Y., Kryglyak, I., Sereda, D. Modeling of processes for the production of based alloys and alloys in the conditions of SHS for aerospace applications. MS and T 2019 – Materials Science and Technology 2019. P. 137–142.

UDK 621.793.6

**Korobochka O.M., Doctor of technical sciences, Professor  
Babko I.O., post graduate student**

Dniprovsky State Technical University, Kamyanskoe, [seredabp@ukr.net](mailto:seredabp@ukr.net)

### **OBTAINING CHROMO-TITANIUM COATINGS UNDER CONDITIONS OF SELF-PROPAGATING HIGH-TEMPERATURE SYNTHESIS**

**Introduction** The development of modern technology requires the creation of new structural materials with a set of properties such as high strength, corrosion resistance, wear resistance, etc. However, the use of expensive metals and alloys with such properties is not always economically feasible. Given this, one of the urgent problems is to improve the physicochemical properties of chromium-based materials. The chromo-titanium process is an effective method of increasing the reliability and durability of machine parts, tools and process equipment by creating chromium layers on the surface of machined parts that have a unique set of physicochemical properties. [1-2]

In this work the technology of chemical-thermal processing of steels in the conditions of high-temperature synthesis (SHS), combined with chemical gas transport reactions is considered. SHS is a high-intensity exothermic interaction of chemical elements in the condensed phase, capable of involuntary propagation in the form of a combustion wave.

**The aim of this work** was to develop compositions of powder SHS mixtures for the application of multicomponent coatings based on titanium in thermal spontaneous combustion, study of physicochemical processes of coating formation, determination of optimal technological parameters of SHS process at complex saturation, study of their influence on layer growth kinetics and evaluation quality.

**Research materials.** Chemical-thermal treatment of carbon steels was carried out in an open type reactor in the operating temperature range of 950 – 1050 °C with an isothermal exposure time of 30 – 60 minutes.

The thickness of the hardened layers was studied using a Neophot – 21 and Neophot – 32 light microscope with an increase of  $\times 150$  –  $\times 500$ . The microstructure was detected by etching in a 3 % alcoholic solution of picric acid (TU 6-09-08-317-80). To identify the grain boundaries of ferrite, a 4% alcohol solution of nitric acid was used.

The elemental composition was studied by X-ray microanalysis using a JEOL Superprob-733 microanalyzer. To calculate the equilibrium composition of the system products, the applied software packages “ASTRA 4” and “TERRA” were used [3].

**Research results and discussion.** Analysis of the reactions occurring during thermal spontaneous combustion of SHS-charges, the results of metallographic studies of the phase composition of the layers allowed to determine the scheme of formation of coatings. The process can be divided into several stages: inert heating of the reaction mixture to the ignition temperature; thermal spontaneous combustion; heating of products; isothermal exposure; cooling. Obtaining coatings under conditions of high-temperature synthesis occurs under non-stationary conditions, when neither thermal nor chemical equilibrium until the complete

completion of the process and cooling of the products is impossible. The rates of chemical processes are determined by kinetic laws that depend on temperature and diffusion factors.

The processing efficiency is determined by the time parameters of the processing process and the thermophysical characteristics of the charge. It has been experimentally established that with increasing saturation temperature and increasing the duration of isothermal exposure, the thickness of the diffusion layer increases.

**Conclusions.** Tests of SHS coatings for corrosion resistance showed an increase of 1.6-1.8 times this indicator, compared with diffusion coatings obtained under isothermal conditions.

#### List of references

1. Voroshnin LG Anticorrosive diffusion coatings – Minsk: Nauka i tehnika, 1981 – 296 p.
2. Sereda B.P. Surface hardening of materials: Monograph / Sereda B.P., Kalinina N.E., Kruglyak I.V. – Zaporozhye: RVV ZDIA, – 2004. – 230 p.
3. Sereda, B., Belokon, Y., Kryglyak, I., Sereda, D. Modeling of processes for the production of based alloys tial and nial in the conditions of SHS for aerospace applications. MS and T 2019 – Materials Science and Technology 2019. P. 137–142.

UDK 621.793.6

**Belozor I.V., post graduate student**

**Sereda B.P., Doctor of technical sciences, Professor**

Dniprovsky State Technical University, Kamyanskoe, [seredabp@ukr.net](mailto:seredabp@ukr.net)

### FORMATION OF DOPED MOLYBDENUM COATINGS IN THE SHS

**Introduction** One of the main, widely known and most promising ways to strengthen the surface of steel products is chemical heat treatment (CHT). Currently, the technology of strengthening the surfaces of parts working in conditions of constant friction and high temperatures due to coatings of solid chromium, iron, nickel, copper, zinc and other metals and alloys, while the most promising method of increasing heat resistance and corrosion resistance of parts is molybdenum coatings. The introduction of molybdenum in the composition of steels significantly increases their corrosion resistance and, more importantly, resistance to the most dangerous local types of corrosion.

To obtain wear-resistant molybdenum coatings for parts which operating in aggressive environments with high temperatures and in conditions of self-propagating high-temperature synthesis (SHS) [1,2]. SHS is a high-intensity exothermic interaction of chemical elements in the condensed phase, capable of involuntary propagation in the form of a combustion wave.

**The aim of this work** The main purpose of the work is to obtain legovapnyh molybdenum coatings in the SHS.

#### Research materials.

For the application of molybdenum coatings used samples of iron of technical purity and steel for mass use (steel 20, steel 45, U8).

Chemical-thermal treatment of carbon steels was carried out in an open type reactor in the operating temperature range of 1100 – 1200 °C with an isothermal exposure time of 30 – 60 minutes.

The thickness of the hardened layers was studied using a Neophot – 21 and Neophot – 32 light microscope with an increase of  $\times 150$  –  $\times 500$ . The microstructure was detected by etching in a 3 % alcoholic solution of picric acid (TU 6-09-08-317-80). To identify the grain boundaries of ferrite, a 4% alcohol solution of nitric acid was used.

The elemental composition was studied by X-ray microanalysis using a JEOL Superprob-733 microanalyzer. To calculate the equilibrium composition of the system products, the applied software packages “ASTRA 4” and “TERRA” were used [3].

**Research results and discussion.** Molybdenosilication was performed in the combustion mode in the optimal SHS mixture containing Mo, cholesterol, i2. Increasing the cooling rate of the reactor greater than  $Bi = 3$  does not allow to obtain a protective layer, due to the low diffusion mobility of molybdenum and silicon, as well as the short period of time during which the surface is saturated with molybdenum and silicon.

The introduction into the mixture of more than 3% of the gas transport agent leads to a strong etching of the sample surface. The study of the microstructure of molybdenosilized coatings showed that a homogeneous layer is formed, which is a solid solution of molybdenum in iron. As a result of X-ray spectral microanalysis, it was found that the content of molybdenum on the surface is 56.4-57.9% and silicon 5.2-5.9%.

Obtaining chromo-titanium coatings under conditions of self-propagating high-temperature synthesis.

**Conclusions.** Analysis of coatings for corrosion resistance in 30% aqueous solutions of  $HNO_3$ ,  $H_2SO_4$ ,  $HCl$  showed an increase in this indicator by 1.5-1.8 times compared to diffusion coatings obtained under isothermal conditions.

#### List of references

1. Merzhanov A.G. Combustion Processes and Synthesis of Materials. / A.G. Merzhanov – Chernogolovka: ISMAN, 1998. – 512 p.
2. Kogan Ya.D. High-intensity method of obtaining coatings in SHS conditions / Kogan Ya.D., Sereda B.P., Shtessel E.A. // Metallurgy and heat treatment of metals, 1991, No. 6. – p. 39 – 40.
3. Sereda B.P. Obtaining intermetallic compounds and coatings under non-stationary temperature conditions. / Sereda B.P., Palekhova I.V., Belokon Yu.A., Sereda D.B. //New materials and technologies in metallurgy and mechanical engineering: Scientific journal No. 2, 2014. ZNTU, Zaporizhia, S. 67–71.

UDK 621.793.6

**Prolomov A.A., post graduate student**

**Sereda B.P., Doctor of technical sciences, Professor**

Dniprovsky State Technical University, Kamyanskoe, [seredabp@ukr.net](mailto:seredabp@ukr.net)

### OBTAINING DOPED MOLYBDENUM COATINGS UNDER CONDITIONS OF SELF-PROPAGATING HIGH-TEMPERATURE SYNTHESIS

**Introduction** An effective method for increasing the durability of various parts, as a result of which the chemical composition, structure and properties of the surface layers of the metal change, is diffusion siliconizing. The production of siliconized coatings under conditions of self-propagating high-temperature synthesis (SHS) is not well understood. Siliconized coatings of steels and alloys obtained by the method of self-propagating high-temperature synthesis can significantly increase wear resistance, corrosion resistance, and heat resistance, and, often, obtain the required combinations. [1, 2].

**The aim of this work** The aim of this work is to obtain silicified diffusion coatings under conditions of self-propagating high-temperature synthesis

#### Research materials.

The thickness of the hardened layers was studied using a Neophot – 21 and Neophot – 32 light microscope with an increase of  $\times 150 - \times 500$ . The microstructure was detected by etching in a 3 % alcoholic solution of picric acid (TU 6-09-08-317-80). To identify the grain boundaries of ferrite, a 4% alcohol solution of nitric acid was used.

The elemental composition was studied by X-ray microanalysis using a JEOL Superprob-733 microanalyzer. To calculate the equilibrium composition of the system products, the applied software packages “ASTRA 4” and “TERRA” were used [3].

**Research results and discussion.** Titanochromoaluminosilication in the combustion mode was carried out in the optimal SHS - a mixture containing XC, Ti, Si, I2. An increase in the

cooling rate of the reactor greater than  $Bi = 3$  did not allow the formation of a protective layer, which is explained by the low diffusion mobility of titanium, as well as the short time during which saturation with titanium, silicon, aluminum and chromium occurs. The introduction of more than 2% of a gas transport agent into the mixture leads to strong etching of the sample surface. Investigation of the microstructure of titanium-chromium-alumosilicated coatings showed that a uniform layer is formed, under which a pearlite layer and the following carbon-depleted zone are located. The protective layer consists of silicide (Ti, Fe)  $5Si_3$  and  $\alpha$  - a solid solution of titanium, silicon, aluminum and chromium. As a result of X-ray spectral microanalysis, it was found that the content of titanium on the surface is 47.3 - 49.2% and silicon 8.4 - 9.6%

**Conclusions.** The tests of coatings for corrosion resistance in 10% aqueous solutions of  $HNO_3$ ,  $H_2SO_4$ ,  $HCl$  showed an increase in this indicator by 1,8 – 1,2 times, compared with diffusion coatings obtained under isothermal conditions.

#### List of references

1. Sereda B. Production of highly effective SHS coatings operating in oxidizing and corrosive environments / Sereda B., Kryglyak I., Sereda D. // Material science and technology – 2017. Pittsburgh. Pennsylvania USA. 2017. – P.424–429.
2. Sereda, B., Belokon, Y., Kryglyak, I., Sereda, D. Modeling of processes for the production of based alloys tial and nial in the conditions of SHS for aerospace applications. MS and T 2019 – Materials Science and Technology 2019. P. 137–142.
3. Sereda B.P. Obtaining intermetallic compounds and coatings under non-stationary temperature conditions. / Sereda B.P., Palekhova I.V., Belokon Yu.A., Sereda D.B. // New materials and technologies in metallurgy and mechanical engineering: Scientific journal No. 2, 2014. ZNTU, Zaporizhia, S. 67–71.



## СЕКЦІЯ 7

### РАЦІОНАЛЬНЕ ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ. ЕНЕРГЕТИКА, ЕНЕРГОЕФЕКТИВНІСТЬ ТА РЕСУРСОЗБЕРЕЖЕННЯ

УДК 629.7.01

Федорова К.В., студентка

Полукаров Ю.О., канд. техн. наук, доцент

Національний технічний університет України «КПІ ім. І.Сікорського», [polukarov@ukr.net](mailto:polukarov@ukr.net)

#### СПЕЦИФІКА ВОДОВІДШТОВХУЮЧОГО ПОКРИТТЯ ДЛЯ БЕЗПІЛОТНИХ ЛІТАЮЧИХ АПАРАТІВ

Безпілотні літальні апарати або дрони (надалі БПЛА) існують не так давно, але вже встигли знайти своє застосування у різних сферах діяльності. Зокрема, сьогодні деякі компанії вже планують використовувати їх для доставки їжі. Постає завдання забезпечення надійного захисту дрону від різних факторів навколишнього середовища та збою системи.

Тефлон є продуктом полімеризації тетрафторетилену [1]. Його покриття забезпечить захист дрону не тільки від механічних пошкоджень, а й несприятливих погодних умов, адже він володіє дуже низьким поверхневим натягом і не змочується водою [2]. В основі ланцюгу знаходиться високомодульний карбон, який з'єднаний із двома атомами фтору, при чому сила зв'язку складає 116-120 ккал на моль. Бокові атоми фтору блокують доступ різних речовин до зв'язку С-С.

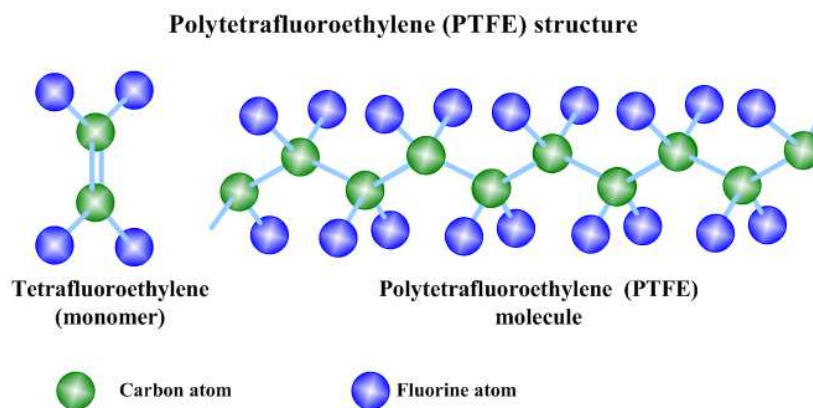


Рис.1 – Молекулярна структура ПТФЕ

Висока тепло- та морозостійкість полімеру дозволить використовувати БПЛА за будь-яких температур, оскільки тефлон має здатність зберігати міцність в інтервалі температур від «+» 269 до «-» 260<sup>0</sup>С [3]. Завдяки своїм унікальним фізичним властивостям, нині полімер використовується у різних сферах. Таким чином можна збільшити тривалість роботи безпілотних літальних апаратів, захистивши їх поверхню тонким тефлоновим покриттям.

#### Список посилань

1. Гетьманчук Ю.П. Хімія та технологія полімерів [Текст] / Гетьманчук Ю.П., Братичак М.М. – Львів: Бескид Біт, 2006. – 496 с.
2. Процанюк М.Ю. Сфери застосування політетрафлуоретилену – «органічної платини» [Текст] / М.Ю. Процанюк, О.І. Майборода // Наукові здобутки молоді – вирішенню проблем харчування людства у XXI столітті /, 2014 – Ч.2 – (НУХТ). – С. 667–668.
3. Политетрафторетилен: свойства и применение [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <https://polimerinfo.net/politetraftoretillen-svoystva/>

**СЕКЦІЯ 8**  
**ІНФОРМАЦІЙНІ ТА КОМУНІКАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ.**  
**ІНФОРМАЦІЙНА БЕЗПЕКА. ІНФОРМАЦІЙНО-ВИМІРЮВАЛЬНІ**  
**СИСТЕМИ. ЕЛЕКТРОНІКА**

УДК.004.942

**Ербосынова А.С., докторант PhD**

НАО «Казахский национальный исследовательский технический университет  
имени К.И. Сатпаева», barne2003@mail.ru

**Павленко П.Н., докт. техн. наук, профессор**

**Власенко Ю.В., науч. сотрудн.**

**Захарчук Т.Н., млад. науч. сотрудн.**

Национальный авиационный университет, г. Киев, [petrpav@nau.edu.ua](mailto:petrpav@nau.edu.ua)

**ПРОЕКТИРОВАНИЕ, МОДЕЛИРОВАНИЕ И РАСЧЕТ ПАРАМЕТРОВ**  
**МАНИПУЛЯЦИОННЫХ РОБОТОВ**

Одним из основных путей сокращения доли ручного труда в металлургической, химической и других отраслях промышленности является применение промышленных роботов и построение роботизированных технологических комплексов, состоящих из отдельных роботизированных технологических ячеек (РТЯ).

Для построения РТЯ необходимо выполнить этапы выбора модели серийно-выпускаемых промышленных роботов, провести анализ их компоновочных решений, определить наиболее оптимальный для последующей модернизации и адаптации код условия конкретных специфических производственных задач.

В данной работе исследуются задачи построения и компьютерного моделирования кинематической схемы семизвенного манипуляционного робота путем решения обратной задачи кинематики с применением R-функций. Разработана кинематическая схема семизвенного манипуляционного робота, предназначенная для решения проблемных задач, представленная на рисунке.

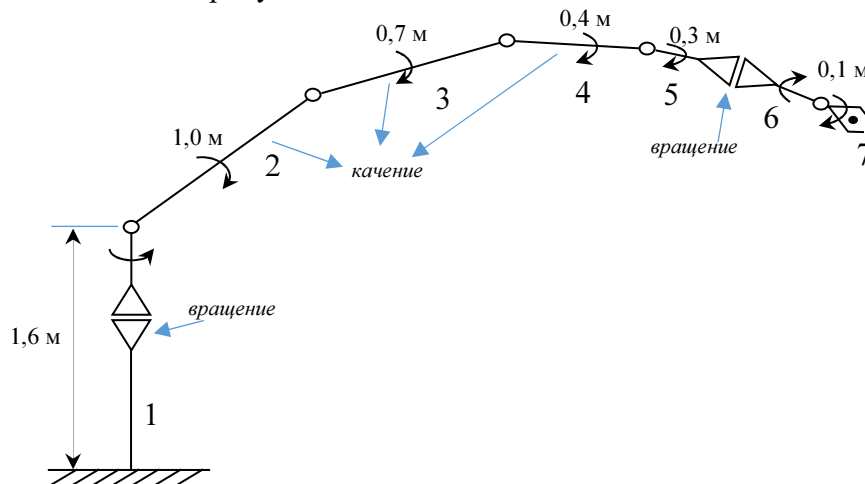


Рис. 1 – Кинематическая схема для семизвенного манипуляционного робота

Разработаны формализованные модели и алгоритмы выбора типа серийно-выпускаемых промышленных роботов с учетом ограничений, накладываемых техническим оборудованием, требований выполнения технологических операций и требований к рабочему пространству. Выполнена задача кинематического анализа движений РТЯ на основе выбранного серийного промышленного робота.

Установлена связь кинематической схемы манипуляционного робота с геометрическими параметрами рабочего пространства. Разработан алгоритм описания рабочего пространства семизвеного манипуляционного робота с применением математического аппарата R-функций и его программная реализация с учетом ограничений по скорости и ускорению приводов промышленных роботов.

Получена матрица преобразования для семизвеного манипулятора в виде:

$$A_{1,7}=A_{0,1}\cdot A_{1,2}\cdot A_{2,3}\cdot A_{3,4}\cdot A_{4,5}\cdot A_{5,6}\cdot A_{6,7};$$

где  $A_{i,i+1}$  – соответствующие матрицы преобразования отдельных звеньев,  $i=0\dots 6$ .

Матрица преобразования также может быть представлена в виде:

$$\begin{bmatrix} n_x & o_x & a_x & P_x \\ n_y & o_y & a_y & P_y \\ n_z & o_z & a_z & P_z \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} = A_{1,7}$$

где  $n$  – вектор нормали к схвату,

$o$  – касательный вектор схвата,

$a$  – вектор подхода схвата,

$P$  – вектор положения схвата.

Ниже представлены компоненты вектора  $n$  – вектора нормали к схвату, которые были вычислены на основе кинематической модели матрицы преобразования:

$$\begin{aligned} n_x = & \cos\theta_6 \cdot \cos\theta_7 \cdot (\cos\theta_4 \cdot \sin\theta_5 \cdot (-\cos\theta_1 \cdot \cos\theta_2 \cdot \sin\theta_3 - \cos\theta_1 \cdot \cos\theta_3 \cdot \sin\theta_2 - \sin\theta_4 \cdot (\cos\theta_1 \cdot \cos\theta_2 \cdot \cos\theta_3 - \\ & - \cos\theta_1 \cdot \sin\theta_2 \cdot \sin\theta_3)) + \cos\theta_5 \cdot (\cos\theta_4 \cdot (\cos\theta_1 \cdot \cos\theta_2 \cdot \cos\theta_3 - \cos\theta_1 \cdot \sin\theta_2 \cdot \sin\theta_3) + \\ & + \sin\theta_4 \cdot (-\cos\theta_1 \cdot \cos\theta_2 \cdot \sin\theta_3 - \cos\theta_1 \cdot \cos\theta_3 \cdot \sin\theta_2)) + \sin\theta_1 \cdot \sin\theta_6) + \\ & + \sin\theta_7 \cdot (\cos\theta_5 \cdot (\cos\theta_4 \cdot (-\cos\theta_1 \cdot \cos\theta_2 \cdot \sin\theta_3 - \cos\theta_1 \cdot \cos\theta_3 \cdot \sin\theta_2) - \sin\theta_4 \cdot (\cos\theta_1 \cdot \cos\theta_2 \cdot \cos\theta_3 - \\ & - \cos\theta_1 \cdot \sin\theta_2 \cdot \sin\theta_3)) - \sin\theta_5 \cdot (\cos\theta_4 \cdot (\cos\theta_1 \cdot \cos\theta_2 \cdot \cos\theta_3 - \cos\theta_1 \cdot \sin\theta_2 \cdot \sin\theta_3) + \\ & + \sin\theta_4 \cdot (-\cos\theta_1 \cdot \cos\theta_2 \cdot \sin\theta_3 - \cos\theta_1 \cdot \cos\theta_3 \cdot \sin\theta_2))) ); \\ n_y = & \cos\theta_7 \cdot (-\cos\theta_1 \cdot \sin\theta_6 + \cos\theta_6 \cdot (\cos\theta_5 \cdot (\cos\theta_4 \cdot (\cos\theta_2 \cdot \cos\theta_3 \cdot \sin\theta_1 - \sin\theta_1 \cdot \sin\theta_2 \cdot \sin\theta_3) + \\ & + \sin\theta_4 \cdot (-\cos\theta_2 \cdot \sin\theta_1 \cdot \sin\theta_3 - \cos\theta_3 \cdot \sin\theta_1 \cdot \sin\theta_2)) + \sin\theta_5 \cdot (\cos\theta_4 \cdot (-\cos\theta_2 \cdot \sin\theta_1 \cdot \sin\theta_3 - \\ & - \cos\theta_3 \cdot \sin\theta_1 \cdot \sin\theta_2) - \sin\theta_4 \cdot (\cos\theta_2 \cdot \cos\theta_3 \cdot \sin\theta_1 - \sin\theta_1 \cdot \sin\theta_2 \cdot \sin\theta_3))) + \\ & + \sin\theta_7 \cdot (\cos\theta_5 \cdot (\cos\theta_4 \cdot (-\cos\theta_2 \cdot \sin\theta_1 \cdot \sin\theta_3 - \cos\theta_3 \cdot \sin\theta_1 \cdot \sin\theta_2) - \sin\theta_4 \cdot (\cos\theta_2 \cdot \cos\theta_3 \cdot \sin\theta_1 - \\ & - \sin\theta_1 \cdot \sin\theta_2 \cdot \sin\theta_3)) - \sin\theta_5 \cdot (\cos\theta_4 \cdot (\cos\theta_2 \cdot \cos\theta_3 \cdot \sin\theta_1 - \sin\theta_1 \cdot \sin\theta_2 \cdot \sin\theta_3) + \\ & + \sin\theta_4 \cdot (-\cos\theta_2 \cdot \sin\theta_1 \cdot \sin\theta_3 - \cos\theta_3 \cdot \sin\theta_1 \cdot \sin\theta_2))) ); \\ n_z = & \cos\theta_6 \cdot \cos\theta_7 \cdot (\cos\theta_5 \cdot (\cos\theta_4 \cdot (-\cos\theta_2 \cdot \sin\theta_3 - \cos\theta_3 \cdot \sin\theta_2) + \sin\theta_4 \cdot (-\cos\theta_2 \cdot \cos\theta_3 + \sin\theta_2 \cdot \sin\theta_3)) + \\ & + \sin\theta_5 \cdot (\cos\theta_4 \cdot (-\cos\theta_2 \cdot \cos\theta_3 + \sin\theta_2 \cdot \sin\theta_3) - \sin\theta_4 \cdot (-\cos\theta_2 \cdot \sin\theta_3 - \cos\theta_3 \cdot \sin\theta_2))) + \\ & + \sin\theta_7 \cdot (\cos\theta_5 \cdot (\cos\theta_4 \cdot (-\cos\theta_2 \cdot \cos\theta_3 + \sin\theta_2 \cdot \sin\theta_3) - \sin\theta_4 \cdot (-\cos\theta_2 \cdot \sin\theta_3 - \cos\theta_3 \cdot \sin\theta_2)) - \\ & - \sin\theta_5 \cdot (\cos\theta_4 \cdot (-\cos\theta_2 \cdot \sin\theta_3 - \cos\theta_3 \cdot \sin\theta_2) + \sin\theta_4 \cdot (-\cos\theta_2 \cdot \cos\theta_3 + \sin\theta_2 \cdot \sin\theta_3))) ). \end{aligned}$$

В данное время реализуется экспериментальное моделирование цифрового пространства DELMIA (Dassault Systemes, Франция). Полученные результаты могут быть использованы для конструирования и моделирования рабочей зоны сложных по кинематике роботизированных комплексов их структурных РТЯ и собственно манипуляционных роботов.

#### Список ссылок

1. Бейсембаев А.А. Метод определения пространственных положений манипуляционного робота / Бейсембаев А.А., Павленко П.Н., Власенко Ю.В., Ербосынова А.С. // XII Международная научно-практическая конференция “Компьютерные системы и сетевые технологии”, Киев, Украина, 28-30 марта 2019 г.
2. Simulation of robot arm positions using R-functions / A.A. Beysembaev, A.S.Erbosynova, KazNRTU n.a. K.I. Satpayev, Kazakhstan, P.M. Pavlenko, Y.V. Vlasenko // The Fourteenth International Scientific Conference "AVIA-2019", National Aviation University, Ukraine – April 25–26, 2019.

УДК.004.942

Тетерін С.О., аспірант PhD

Національний авіаційний університет, м. Київ, uia2001@ukr.net

## МЕТОД ОЦІНКИ ЕФЕКТИВНОСТІ КОМЕРЦІАЛІЗАЦІЇ ІННОВАЦІЙ

Сучасні проблеми і виклики диджиталізації та інтелектуалізації технологій прийняття рішень з оцінки ефективності науково-технічних розробок вимагають розробки відповідних інструментальних засобів.

Разом з тим, нестача власних коштів, відсутність інформації для отримання даних про наявність і динаміку попиту та пропозицій на інноваційні продукти стали чинниками, що стримують інноваційну та інвестиційну активність підприємств та організацій України. Існуючі на сьогоднішній день в Україні інформаційні технології комерціалізації інновацій не дозволяють в повній мірі враховувати специфічні особливості інноваційних проектів та їх впровадження. Тому, в Національному авіаційному університеті проводять дослідження існуючих інформаційних процесів, методів і технологій оцінки з метою їх використання на всіх етапах життєвого циклу інноваційного продукту.

Аналіз інноваційних технологій та інструментів оцінки ефективності інтелектуальної власності, необхідної для комерціалізації інновацій, ґрунтувався на системі оцінки якості інноваційних проектів. Відпрацювання методу оцінки рівня інноваційного потенціалу дозволило здійснити ефективний моніторинг інноваційних процесів через їх кількісне та якісне вимірювання. Вибірковий аналіз існуючих в університеті інноваційних проектів визначив їх специфічну особливість, а саме: високу невизначеність, наявність ризиків інвестицій в інновації, багатокритеріальну сутність технології комерціалізації інновацій.

Встановлено, що тільки частина інновацій трансформується у інноваційну продукцію та успішно комерціалізується шляхом її просування до зацікавлених груп споживачів. В таких умовах виникла необхідність сформувати ефективну технологію оцінки комерціалізації інноваційної продукції з використанням найбільш дієвих форм та методів з урахуванням потреб ринкового середовища.

Базуючись на аналізі виробничих процесів, існуючих програмно-технічних засобів, об'єднаних з метою вдосконалення технології комерціалізації рентабельності інноваційної діяльності (R<sub>ід</sub>) за базовий розрахунок ефективності був прийнятий прибуток, який підприємство отримує з першої вкладеної гривні в інновації за формулою:

$$R_{ід} = \frac{Під}{Від} \times 100, \quad (1)$$

де Під – прибуток від інноваційної діяльності;

Від – витрати на інноваційну діяльність.

Об'єкт інтелектуальної власності, що є основним елементом комерціалізації, за своєю суттю дуже складний. Кожна з його складових вимагає серйозного інформаційно-технологічного забезпечення, яке і лежить в основі процесу комерціалізації.

Важливою складовою розрахунків процесу комерціалізації є врахування інноваційного потенціалу підприємства, економічна складова якого, враховує інноваційний розвиток та розраховується наступним чином:

$$IC = IP + IR, \quad (2)$$

де IC – інноваційний потенціал;

IP – інноваційна можливість;

IR – інноваційний резерв.

Базуючись на проведеному аналізі формуються вхідні дані для оцінки ефективності комерціалізації:

- а) збір додаткової інформації;
- б) попереднє опрацювання можливості комерціалізації;
- в) узгодження умов комерціалізації з автором;
- г) підписання юридичних документів;
- д) рівень підготовки технології до комерціалізації.

Їх використання покладено в основу розробленого методу, послідовність реалізації якого представлено на рисунку.

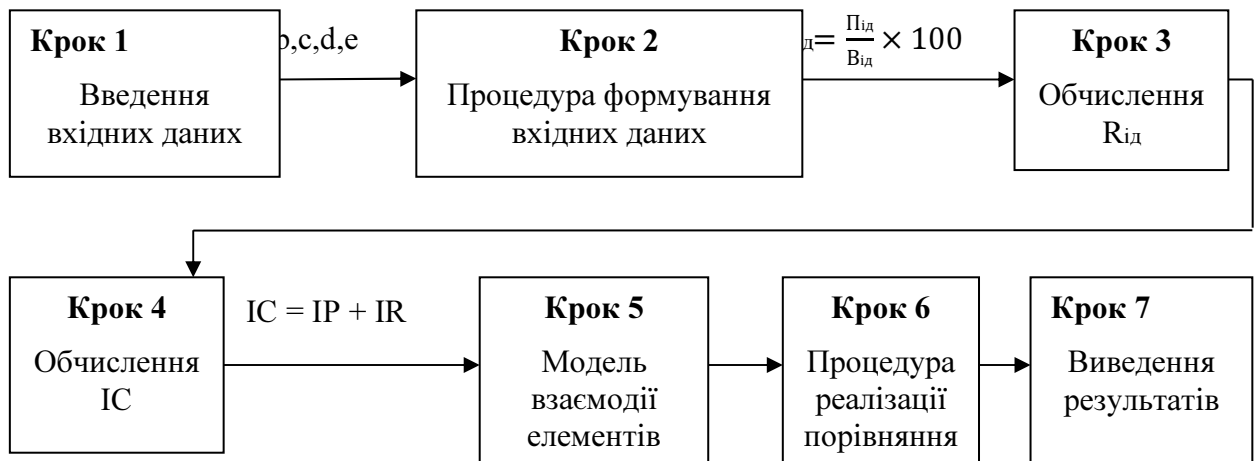


Рис.1 – Відображення методу оцінки ефективності комерціалізації інновацій

Реалізація розробленого методу можлива виключно в комплексі і саме в поданій послідовності, щоб уникнути помилок. В якості критерію оцінки ефективності комерціалізації інноваційної продукції запропоновано використовувати: коефіцієнт ( $R_{id}$ ), який забезпечить оцінювання ефективності комерціалізації НТП та коефіцієнт ( $IC$ ), який забезпечить оцінювання інноваційного потенціалу підприємства на етапах життєвого циклу комерціалізації інновацій. Отримані результати дозволять попередньо оцінювати ефективність подальшої комерціалізації інноваційної продукції.

#### Список посилань

1. Зянько В. В. Визначення інноваційного потенціалу на основі інтегральних порівняльних оцінок / В. В. Зянько, С. В. Крива // Вісник Вінницького політехнічного інституту. – 2012. – № 3. – С.56 – 59.
2. Кочетков С.В. Новая экономика: инновационная платформа построения / С.В. Кочетков // Вестник Белгородского университета кооперации, экономики права, 2011.– №2. – С. 221–225.

УДК 004.94

Богданова Л.М., канд. техн. наук, доцент  
Аносов В.Л., старший викладач

Донбаська державна машинобудівна академія, valeryanosov68@gmail.com

### ВИКОРИСТАННЯ ІНФОРМАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ ДЛЯ ПРОЕКТУВАННЯ МЕТАЛОРІЗАЛЬНОГО ІНСТРУМЕНТУ

Складність конструкції збірної інструменту, різноманіття його видів викликають проблеми із забезпеченням ефективності його роботи. Один із методів розв'язання цього завдання – визначення зон найбільш ефективного використання конкретної конструкції інструменту, тобто виділення технологічних ніш (ТН), що вимагає широкого аналізу багатовимірних виробничих даних про експлуатацію інструменту.

Одним з методів аналізу багатовимірних даних є використання кластеризації на основі карт Кохонена, які самоорганізуються [1]. Вони забезпечують не тільки ефективний алгоритм кластеризації, а й дозволяють представляти її результати у вигляді двовимірних карт, де відстані між об'єктами відповідають відстані між векторами в багатовимірному просторі.

Вивчення комплексу технологічних завдань підприємств-споживачів, функцій інструменту, визначає потребу у кількості інструменту конкретних типорозмірів. На кожному рівні конструювання інструменту значимими для аналізу є різні групи чинників. Вказаний комплекс завдань це  $n$ -мірний технологічний простір, що характеризується набором функціональних показників.

Мета дослідження – автоматизація пошуку ТН для фрез з використанням методів кластеризації даних. Досліджується вплив розмірів поверхні яка оброблюється, фізико-механічних властивостей матеріалу деталі і різальної частини інструменту, а також режимів різання на вибір конструкції фрези методом кластеризації даних.

Інструментальний засіб аналізу даних умов експлуатації фрез – аналітична платформа Deductor Studio 5.0 версії Academic. Вона має можливості побудови самоорганізаційних карт Кохонена за алгоритмом: завдання початкових векторів, навчання нейронної мережі, обчислення помилки віднесення до класу, візуалізація результатів кластеризації [2].

При цьому кожен нейрон являє собою  $n$ -мірний вектор-стовпець  $w=[w_1, w_2, \dots, w_n]^T$ , де  $n$  визначається розмірністю вхідних векторів. При подачі на вхід мережі вектору перемагає той нейрон, вектор якого менше відрізняється від вхідного. Для нейрона-переможця виконується наступне співвідношення:  $d(x, w_j) = \min d(x, w_i)$ ,  $1 < i \leq n$ , де  $n$  – кількість нейронів,  $j$  - номер нейрону переможця,  $d(x, w)$  – відстань між векторами  $x$  та  $w$ . Після пред'явлення достатнього числа вхідних векторів синаптичні ваги мережі Кохонена стають здатні визначити кластери. В нашому випадку на виході формуються кластери, тобто технологічні ніші, що дозволяють визначитися з типом конструкції фрези і її типорозміром на основі розмірів різальної пластини. Всі дані були розділені на 26 кластерів, які після аналізу за подібністю характеристик об'єднано в 5 груп і надано рекомендації з вибору конструкцій, які сформував експерт, на основі результатів розподілу.

Таким чином, ґрунтуючись на властивості карт Кохонена проектування багатовимірного простору в простір з нижчою розмірністю, вирішуємо дві задачі: формування технологічних ніш для визначення ефективного використання відповідних типів конструкції фрези і обґрунтування типорозмірів її пластини. Отриману навчену карту Кохонена можна використовувати для пошуку ТН в масивах даних експлуатації інструменту для інших матеріалів оброблюваних деталей, для яких є тотожний набір вхідних даних. Змістовний аналіз отриманих кластерів дозволяє виявити закономірності і аномалії. Відносячи новий об'єкт до одного з кластерів, можна прогнозувати поведінку або властивості цього об'єкту.

#### Список посилань

1. Хайкин С. Нейронные сети: полный курс, 2-е изд. :Пер. с англ.– М.: Издательский дом «Вильямс», 2016. – 1104 с.
2. BaseGroup Labs. Tekhnologii analiza dannykh [BaseGroup Labs. Data analysis technologies]. Available at: URL: <http://basegroup.ru/>

**СЕКЦІЯ 9**  
**ЕКОНОМІЧНІ, ПРАВОВІ ТА СОЦІАЛЬНО-ПСИХОЛОГІЧНІ**  
**АСПЕКТИ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ЯКОСТІ ТА ЕФЕКТИВНОСТІ**  
**ПРОЦЕСІВ ТА СИСТЕМ**

*УДК 69.003*

**Савенко В.І., канд. техн. наук, д.т.н.(РФ)професор**  
**Нестеренко І.С., канд. техн. наук, доцент**  
**Пальчик П.П. канд. техн. наук, доцент**

Київський національний університет будівництва і архітектури, [savenkoknuba@gmail.com](mailto:savenkoknuba@gmail.com)

**УПРАВЛІННЯ КОНКУРЕНТОСПРОМОЖНІСТЮ ПІДПРИЄМСТВА В**  
**СУЧАСНИХ УМОВАХ ГОСПОДАРЮВАННЯ**

Необхідність управління конкурентоспроможністю підприємства обумовлюється, насамперед, триваючими швидкими змінами зовнішнього середовища, виникненням непередбачуваних економічних і фінансових ситуацій. Ефективна система управління конкурентоспроможністю підприємства забезпечує стійкий стан підприємства на ринку, створюючи стабільне підвищення його конкурентних переваг у швидко мінливих умовах зовнішнього середовища. Мета і результат ніколи не співпадають абсолютно точно в силу мінливості природи і світу.

Метою роботи є: теоретичне обґрунтування і розробка основ методичного забезпечення формування системи стратегічного управління конкурентоспроможністю будівельних підприємств, що дозволить досягти, з одного боку, конкурентних переваг у вигляді стану низьковитратного підприємства, а з іншого – більш ефективної реалізації будівельних проектів на основі оптимізації управління і фінансування будівельно – монтажних робіт.

Протягом останнього десятиліття ринкові перетворення в Україні зумовлюють зміни в системі управління підприємствами, адекватні зовнішньому конкурентному середовищу. Конкурентоспроможність підприємства, як об'єкт управління, є сукупністю взаємопов'язаних елементів, спрямованою на забезпечення сильних конкурентних позицій, підтримання існуючих і створення нових конкурентних переваг. В сучасних умовах в Україні відбувається посилення конкуренції, внаслідок чого керівники підприємств знаходяться в постійному пошуку нових (адекватних умовам конкуренції) інструментів управління конкурентоспроможністю підприємства, що і зумовлює актуальність вивчення цієї проблематики.

Досягнення високого рівня конкурентоспроможності є стратегічною ціллю діяльності підприємства в умовах ринку, для досягнення якої необхідна консолідація всіх підрозділів і ланок системи управління підприємства. Однак, управління конкурентоспроможністю не еквівалентне всій діяльності підприємства з досягнення кінцевих цілей, а включає в себе ті функції, що пов'язані з розробкою і реалізацією стратегії конкуренції, стимулюванням до реалізації стратегії, цільовою орієнтацією різних видів діяльності. Конкурентоспроможність підприємства в загальній класифікації об'єктів управління можна віднести до функціональних (на відміну від виробничих і структурних), які вимагають розробки спеціального механізму управління.

За своїм предметним змістом управління конкурентоспроможністю стосується діяльності підприємства на ринку, приділяючи увагу не стільки наявним ресурсам і процесам, скільки можливостям нарощування свого ресурсного потенціалу. Тобто основною особливістю управління конкурентоспроможністю підприємства є його орієнтація на майбутнє. Необхідність управління конкурентоспроможністю підприємства обумовлюється, насамперед, триваючими швидкими змінами зовнішнього середовища, виникненням важко передбачуваних економічних і фінансових ситуацій. Без сумніву,

сама ефективна система управління конкурентоспроможністю підприємством забезпечить стійке положення підприємства на ринку створюючи стабільне підвищення його конкурентних переваг у швидко мінливих умовах зовнішнього середовища.

#### **Висновки.**

1. Конкурентоспроможність будь-якої організації, зокрема будівельної, має життєво важливе значення для безпеки і ефективного функціонування.

2. Успішність діяльності будівельної організації є функцією від внутрішніх і зовнішніх факторів і визначається ступенем тотожності поставленої мети і досягнутого результату. При цьому керована конкурентоздатність організації відіграє провідну роль гармонізатора внутрішнього та зовнішнього середовища і забезпечує необхідні умови для досягнення успіху. У створенні сприятливих умов роботи будь-якої організації, в тому числі і будівельної, головну роль відіграє держава.

#### **Список посилань**

1. Цибульська Е.І. Конкурентоспроможність підприємства : навч. посіб. для студентів, які навчаються за спец. 051 – Економіка / Е. І. Цибульська ; Нар. укр. акад. – Харків : Вид-во НУА, 2018. – 320 с.

2. Шевчук К.І. Економічні інструменти управління ефективністю і конкурентоспроможністю виробництва (підприємства) / Крикун К.В., Оліферук С.Л., Шевчук К.І., Сердюченко Н.Б. // Міжвідомчий наук.-тех. зб. «Будівельне виробництво». – Вип.63. – К.:БП НДБП, 2018

3. Забезпечення корозійної та функціональної стійкості металомістких комплексів і критичної інфраструктури за допомогою інноваційних науковомістких екоресурсозберігаючих технологій / [В.І.Савенко, Л.М.Высоцька, А.А.Плугін, П.П.Пальчик та ін.] – Київ, Центр уч.літ. 2019 – 306 с.

4. Росинський А.В. Впровадження CRM-системи як засіб підвищення конкурентоспроможності девелоперської компанії. / Росинський А.В. // Ефективні технології в будівництві: IV Міжнародна науково-технічна конференція, 27-28 березня 2019 р.: програма та тези доп. – К., 2019. – С. 132-133

5. Савенко В.І. Організаційні виробничі системи в світлі загальної організаційної науки та сучасного кадрового менеджменту [Текст] / В.І. Савенко, С.П. Пальчик, І.С. Нестеренко, М.О.Терещук, В.В. Ключова – УРСС 2018 – № 34.

УДК 681.3. 621.3

**Петренко Л.М., здобувач**

Національний технічний університет України «КПІ ім. І.Сікорського», 8petrenko@gmail.com

### **РОЗРОБКА ІНФОРМАЦІЙНОЇ ТЕХНОЛОГІЇ ДЛЯ ПРОГНОЗУВАННЯ ФІНАНСОВОГО СТАНУ ПІДПРИЄМСТВА**

Вся діяльність підприємств як суб'єктів ринкових відносин протікає в умовах жорсткої конкуренції, що вимагає від них постійного пошуку нових технологій, засобів чи методів аналізу та прогнозування фінансового стану. Одним з ефективних напрямків удосконалення систем управління підприємством є розробка та впровадження сучасних інформаційних систем (ІС) і технологій.

Розглянемо загальні принципи функціонування ІС. Система реалізована на основі клієнт-серверної архітектури [1]. Доступ до системи здійснюється через мережу Інтернет. Користувачами можуть бути як користувачі графічного інтерфейсу системи, так і інші системи. Обробку запитів, що надходять до системи, здійснює веб-сервер системи. Веб-сервер функціонує наступним чином: приймає запити від користувачів; формує запити до бази даних та знань, відправляє запити на проведення обчислень до сервера застосувань; отримує від сервера застосувань результати обчислень; формує звіт та надсилає його користувачеві.

Структура системи управління підприємством є частиною організаційної структури, її необхідним, системоорганізуючим компонентом, що має власну будову. Під інформаційно-управлінською архітектурою будемо розуміти структуру системи



управління підприємством, що включає узгоджуючі й направляючі елементи в їх взаємозв'язку і взаємодії. Поняття структури (і, відповідно, архітектури) явно чи неявно пов'язують із сукупністю правил, приписів, регламентуючих діяльність організації та її членів [2]. Мілнер Б. З. підкреслює, що «організаційна структура, яка становить собою певну упорядкованість задач, ролей, повноважень і відповідальності, створює умови для здійснення підприємством своєї діяльності й досягнення поставлених цілей» [3]. Ця впорядкована сукупність визначає собою сутність посадових обов'язків чи функцій.

В розроблюваній системі за об'єкт дослідження обрано фінансові процеси на виробничому підприємстві. Фінансова діяльність підприємства пов'язана з використанням коштів, матеріальних і нематеріальних засобів, які постійно перебувають у безперервному русі. Значення фінансових даних оновлюється щомісячно, щоквартально, кожні півроку та щорічно. Для коректної реалізації процедури оцінювання стану підприємства необхідна вибірка достатнього об'єму, тому значення фінансових даних, що надходять від сторонніх ресурсів, необхідно зберігати в базі знань і даних. Для побудови графіків також необхідно зберігати відповідні дані. Значення, що надаються у форматі документу XML, потребують парсингу. Тому необхідно створити модуль, який отримуватиме значення поточних фінансових показників та виконуватиме аналіз документу та зберігатиме значення у БЗД.

При використанні системи через наявний інтерфейс необхідно надати користувачу можливість перегляду поточної інформації про фінансові дані, а також перегляд історії розрахунку фінансових показників за бажанням. Дані мають бути представлені у вигляді таблиці, в якій вказується період, код показника, значення показника на кінець і початок звітного періоду.

Нижче представлена розроблена модульно-структурна архітектура ІС (рис. 1).

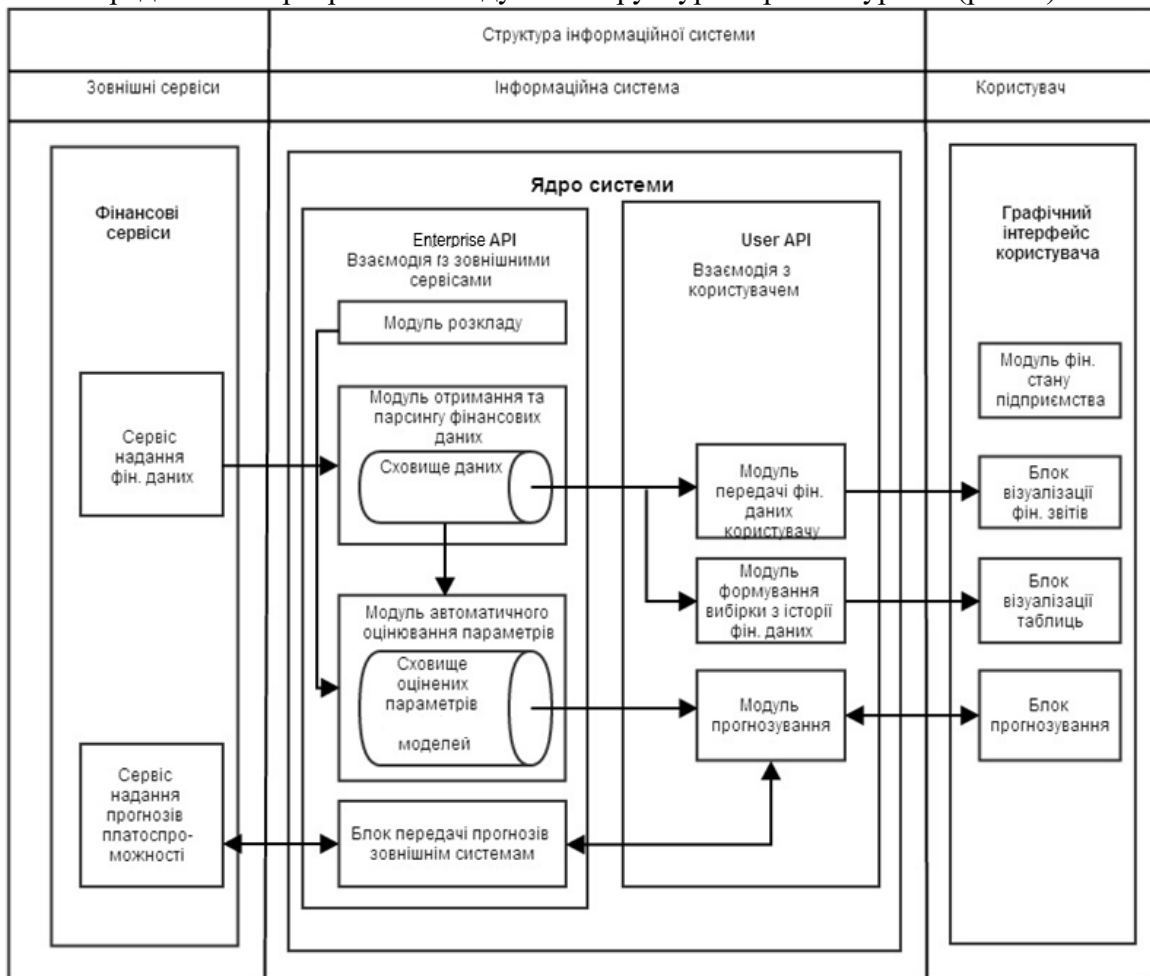


Рис. 1 – Модульно-структурна архітектура ІС

У наведеній модульно-структурній архітектурі не деталізовано функціонал модулів, зокрема «модуля автоматичного оцінювання параметрів» та «модуля прогнозування». Функція прогнозування в «модулі прогнозування» виконується на основі МБ, нечіткої логіки та регресійних моделей.

Нижче показано для яких моделей та на основі яких алгоритмів відбувається оцінювання в «модулі автоматичного оцінювання параметрів» (рис. 2).



Рис. 2 – Модуль автоматичного оцінювання параметрів

#### Список посилань

1. Камер Д. Разработка приложений типа клиент/сервер/Д. Камер, Л. Стивенс. – Киев: Издательский дом «Вильямс», – 2002. – 592с.
2. Теория систем и системный анализ в управлении организациями : справочник : учеб. пособие// Под ред. В. Н. Волковой, А. А. Емельянова. – М. : Финансы и статистика, 2006. – 848 с.
3. Милнер Б. З. Теория организаций / Б. З. Милнер. – М.:ИНФРА-М, 1998. – 336 с.



## **НАУКОВЕ ВИДАННЯ**

**X Міжнародна науково–практична конференція**

**«Комплексне забезпечення якості технологічних процесів та систем»**

**23 – 25 вересня 2020 року**

**Том 3**

**Чернігів, НУ «Чернігівська політехніка»**

Відповідальний за видання  
Редактор

А. М. Єрошенко  
С. П. Сапон

Прийнято 29.09.2020. Формат 60×84/16. Ум. друк. арк. – 3,49.

Тираж 100 пр. Замовлення № 537/20.

---

Редакційно-видавничий відділ Національного університету «Чернігівська політехніка»  
14035, Україна, м. Чернігів, вул. Шевченка, 95.

Свідоцтво про внесення суб'єкта видавничої справи до Державного реєстру видавців,  
виготовлювачів і розповсюджувачів видавничої продукції  
серія ДК № 7128 від 18.08.2020 р.