

Удосконалення технології виготовлення прокатних твердосплавних валків

Доведена доцільність використання способу розмірної обробки електричною дугою для високопродуктивної обробки твердосплавних прокатних валків сучасних дротяних станів. **електрична дуга, твердий сплав ТС-15, міжелектродний зазор, гідродинамічний потік, технологічна схема формоутворення, технологічні характеристики процесу**

В процесі прокатування гарячого металу робочі валки прокатних станів сприймають одночасно в різних комбінаціях динамічні і статичні теплові навантаження, механічні удари, тертя, хімічний вплив мастильних матеріалів та води, що охолоджує. Поверхня валка (калібру) підлягає абразивному зносу, корозійному та термоциклічному впливу. На поверхні виникають значні контактні напруження, які мають пульсуючий характер, що приводить до розвитку процесів механічної утомленості, контактного викришування і локальної пластичної течії матеріалу. Спостерігається адгезійна взаємодія матеріалу валка та металу, який прокатується. Для валків діаметром 215 мм, які працюють на чорнових і проміжних клітках, типовим механічним зносом поверхні є формування інтенсивної сітки тріщин розпау. В чистових валках (шайби діаметром 170 мм) спостерігається розвиток утомленого викришування, виривання за рахунок адгезійної взаємодії з прокатним металом, налипання металу і навіть слідів мікропластичної деформації. При цьому знос розподіляється нерівномірно по поперечному перерізу валка та спостерігаються різні типи пошкоджень поверхні. Умови роботи валків чистових прокатних блоків сучасних дротяних станів, що працюють при високих швидкостях (до 120 м/с), стають ще більш жорсткими. Саме тому в останній час на перший план висувуються питання якості прокату, що виготовляється, та його собівартості. Сукупність цих і інших факторів визначає необхідність висувати все більш високі вимоги щодо експлуатаційних характеристик основного технологічного інструмента – прокатних валків.

Протягом декілька років в мировій практиці виробництва металопрокату для отримання високоякісної катанки і періодичного профілю в бунтах використовують валки із твердих сплавів, які отримані методом порошкової металургії. Характерною особливістю порошкової металургії, як промислового метода виготовлення різного роду матеріалів, є використання вихідної сировини у вигляді порошків, які формують у виріб заданих розмірів і піддають термічній обробці (спіканню) при температурі нижче температури плавлення основного компонента шихти. Ця технологія дає широкі можливості для створення матеріалів з особливими спеціальними властивостями, які не можливо отримати іншими відомими в промисловості методами. Таким чином, методи порошкової металургії мають найбільшу перевагу серед методів, що використовуються для виготовлення прокатних валків як виробів, що мають просту форму і достатньо велику масу, з підвищеним рівнем фізико-механічних властивостей.

Спечені тверді сплави мають ряд цінних властивостей, основною із яких є висока твердість (86...92 HRA), при високому опорі на тертя. Тверді сплави володіють здібністю зберігати вказані властивості при підвищених температурах. Крім того, тверді сплави не зазнають помітної пластичної деформації при низьких температурах і

взагалі не підлягають пружній деформації: величина модуля пружності складає 500...700 кН/мм², що вище чим в усіх відомих матеріалів.

В сучасному прокатному виробництві прокатні валки для чистових клітей дротяних станів виготовляють із твердого сплаву ТС-15 на основі карбиду вольфраму з регламентованою гранулометриєю, з добавкою 15 % кобальто-нікелевій зв'язки (табл. 1). Жорсткі вимоги до точності розмірів і шорсткості поверхні твердосплавного прокатного валка забезпечуються шліфуванням алмазним інструментом. Інтенсифікація режимів алмазного чорнового шліфування приведе до появи тріщин глибиною до 4 мм. При оптимальному режимі шліфування час обробки одного валка складає до 8 - 10 змін, що не задовольняє вимоги підприємств і вимагає пошуку альтернативних, більш продуктивних та економічних методів їх обробки. Сьогодні собівартість валків дуже велика і складає 1...3 % від собівартості прокатної продукції. Проблема попередньої чорнової обробки твердосплавного прокатного валка ще більш загострюється при використанні технології його виготовлення із відпрацьованих твердосплавних валків, коли виникає потреба знімання великого об'єму матеріалу.

Таблиця 1 – Фізико-механічні властивості твердого сплаву марки ТС-15

Властивості	Номінальне значення	Допустиме відхилення
Міцність на вигин, МПа	2950	±100
Твердість, НРА	87	±1
Густина, г/см ³	14,05	±0,05
Модуль пружності, ГПа	580	±5

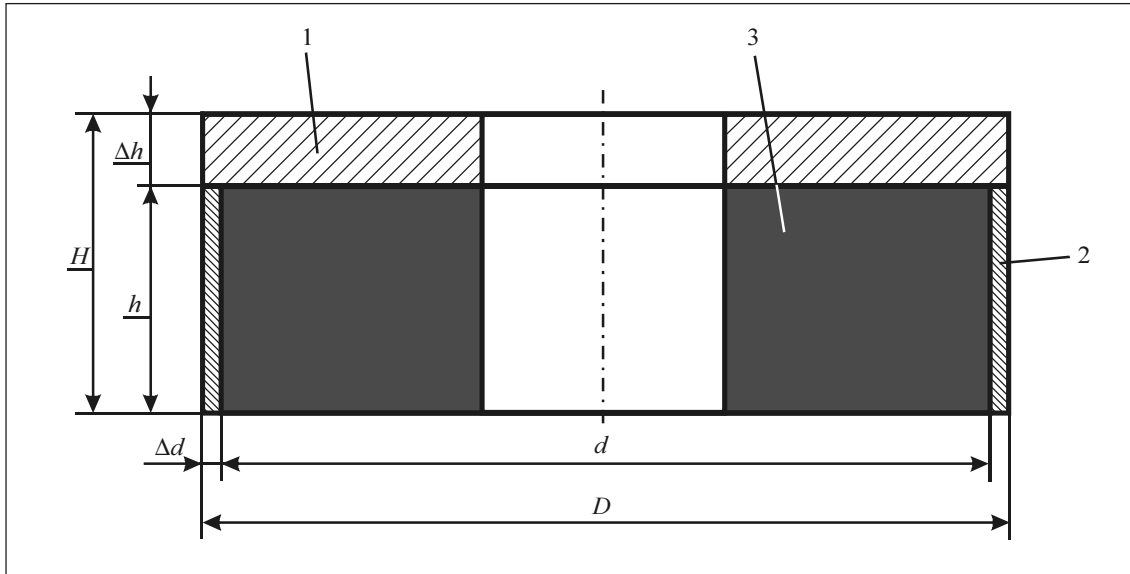
Відомо, що для обробки важкооброблюваних матеріалів, до яких має пряме відношення і твердий сплав ТС-15, застосовуються електроерозійні методи [1]. Одним із самих високопродуктивним із них є спосіб розмірної обробки металів електричною дугою (РОД), який відомий за роботами [2, 3]. Спосіб заснований на використанні електричної дуги в потужному гідродинамічному потоці робочої рідини як інструмента для розмірного формоутворення поверхонь. Однак даний спосіб до теперішній статті не застосовувався для обробки твердосплавних валків в зв'язку з тим, що технологічні характеристики процесу не були об'єктом дослідження. Таким чином, метою роботи є моделювання та дослідження технологічних характеристик процесу РОД твердого сплаву ТС-15.

Чорнова розмірна обробка дугою твердосплавного (сплаву ТС-15) прокатного валка складається із двох етапів (рис. 1):

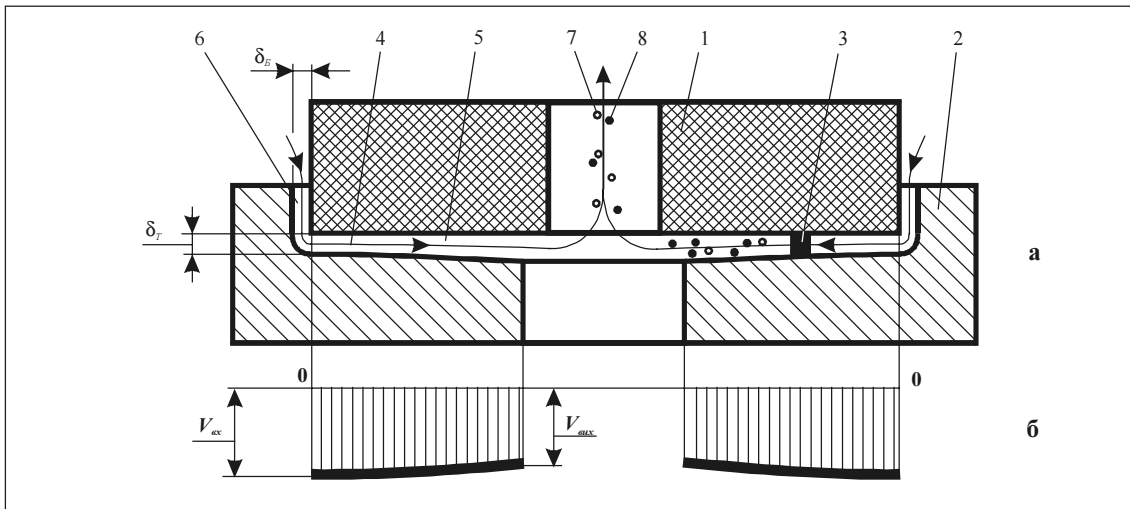
- вилучення торцевого припуску, який найбільший за об'ємом та за товщиною (величина $\Delta h \approx 15$ мм);
- вилучення бічного припуску, який значно менший за об'ємом торцевого припуску та за його товщиною (величина $\Delta d \approx 3$ мм).

Дана робота присвячена вивченню технологічних характеристик процесу РОД торцевого припуску твердосплавного прокатного валка. Однак для моделювання процесу РОД торцевого припуску в якості технологічної схеми формоутворення вибрана схема за принципом прошивання (рис. 2.), яка володіє більш широкими технологічними можливостями, ніж це потрібно для обробки торцевого припуску, і дозволяє:

- формувати торцеву поверхню заготовки;
- формувати бічну поверхню заготовки;



1 - торцевий припуск; 2 - бічний припуск; 3 - заготовка після обробки
 Рисунок 1 - Схема розподілу припусків на чернову РОД твердосплавного прокатного валка



а - схема; б - епюра швидкостей потоку в торцевому міжелектродному зазору;
 1 - електрод-інструмент; 2 - електрод-заготовка (твердий сплав); 3 - електрична дуга;
 4 - гідродинамічний потік; 5 - торцевий міжелектродний зазор; 6 - бічний міжелектродний зазор;
 7 - газоподібні продукти ерозії; 8 - тверді продукти ерозії (металевий порошок)

Рисунок 2 - Технологічна схема формоутворення поверхонь для виконання досліджень технологічних характеристик процесу РОД твердого сплаву ТС-15

- контролювати після обробки величину торцевого міжелектродного зазору δ_T на периферії електрода-інструмента за результатами виміру бічного міжелектродного зазору δ_B , беручи до уваги, що $\delta_B \approx \delta_T$;

- підтримувати співвідношення швидкостей потоку на вході та виході із торцевого міжелектродного зазору приблизно на одному рівні, коли $V_{вх} \geq V_{вих}$, що забезпечується геометрією торцевого міжелектродного зазору, який утворюється після обробки.

Предметом дослідження були такі технологічні характеристики, як продуктивність обробки M , питома продуктивність M_a , питома витрата електроенергії a , шорсткість обробленої поверхні Ra , бічний міжелектродний зазор δ та відносний лінійний знос електрода-інструмента γ . Будування математичних моделей технологічних характеристик процесу РОД твердого сплаву ТС-15 здійснювали з застосуванням математичних методів планування експериментів, зокрема плану 2^4 , тобто повного чотирьох факторного експерименту. На підставі апріорної інформації були відібрані фактори, що визначають режим обробки (сила технологічного струму I , А; статичний тиск робочої рідини на вході в міжелектродний зазор P , МПа) та фактори, що визначають геометричні параметри обробки (площа обробки F , мм²; глибина обробки h , мм). Усі фактори задовольняють умові керованості, операціональності та однозначності. Інші параметри процесу РОД були зафіксовані на постійному рівні: робоча рідина – органічне середовище; полярність обробки – пряма; матеріал електрода-інструмента – електроерозійний графіт марки МПГ-7. Значення факторів на основному, верхньому та нижньому рівнях, а також інтервали варіювання наведено в таблиці 2. В даному випадку значення факторів в кодованому (x) та натуральному (X) масштабах зв'язані співвідношеннями (1-4):

$$x_1 = \frac{X_1 - 250}{150}, \quad (1) \quad x_2 = \frac{X_2 - 1,0}{0,2}, \quad (2)$$

$$x_3 = \frac{X_3 - 560}{161}, \quad (3) \quad x_4 = \frac{X_4 - 2,5}{1,5}. \quad (4)$$

Таблиця 2 – Матриця планування експерименту (план 2^4)

Фактори		I , А	$P_{ст}$, МПа	F , мм ²	h , мм	Технологічні характеристики							
Основний рівень (X_{i0})		250	1,0	560	2,5	M , мм ³ /хв	M_a , мм ³ /А·хв	a , кВт·год/кг	Ra , мкм	δ , мм	γ , %		
Інтервали варіювання (ΔX_i)		150	0,2	161	1,5								
Верхній рівень ($x_i = +1$)		400	1,2	721	4								
Нижній рівень ($x_i = -1$)		100	0,8	400	1								
Код		x_1	x_2	x_3	x_4	y_1	y_2	y_3	y_4	y_5	y_6		
Номер досліду	1	Порядок реалізації	9	+	+	+	+	1694	4,24	8,28	60	0,075	5,68
	2		2	-	+	+	+	253	2,53	13,88	19	0,05	4,74
	3		7	+	-	+	+	1734	4,34	8,09	60	0,10	5,23
	4		1	-	-	+	+	351	3,51	9,99	23	0,075	4,16
	5		13	+	+	-	+	1500	3,75	9,36	60	0,05	4,39
	6		14	-	+	-	+	252	2,92	12,02	31	0,05	3,90
	7		3	+	-	-	+	1697	4,24	8,27	60	0,075	4,94
	8		6	-	-	-	+	223	2,23	15,76	19	0,075	3,79
	9		11	+	+	+	-	1801	4,50	7,79	60	0,075	12,72
	10		16	-	+	+	-	186	1,86	18,9	16	0,05	3,64
	11		10	+	-	+	-	2239	5,60	6,26	60	0,075	6,00
	12		12	-	-	+	-	239	2,40	14,7	31	0,05	3,00
	13		8	+	+	-	-	1570	3,92	8,94	60	0,05	5,00
	14		4	-	+	-	-	256	2,56	1,37	16	0,05	1,78
	15		5	+	-	-	-	2132	5,33	6,60	60	0,075	3,48
	16		15	-	-	-	-	212	2,12	16,5	19	0,05	6,96
Досліди у центрі плану	1	0	0	0	0	1048	4,19	8,37	40	0,10	6,07		
	2	0	0	0	0	1010	4,04	8,68	38	0,06	5,00		
	3	0	0	0	0	1040	4,16	8,43	43	0,06	4,90		
	4	0	0	0	0	1020	4,08	8,60	37	0,05	5,10		

В результаті експериментальних досліджень отримано математичні моделі зазначених вище технологічних характеристик процесу РОД твердого сплаву ТС-15, зокрема модель продуктивності обробки (5):

$$y_1 = 1028 + 842x_1 - 87,2x_2 + 45,8x_3 - 63,1x_4. \quad (5)$$

Гіпотеза про адекватність моделі, що перевірялася за t -критерієм Стьюдента, не відхиляється.

Із аналізу моделі (рис. 3) випливає, що на продуктивність обробки M найбільш впливає сила технологічного струму, із підвищенням якої продуктивність збільшується. Отже силу струму слід визнати головним керуючим фактором. Даний факт свідчить про теплову природу процесу РОД.

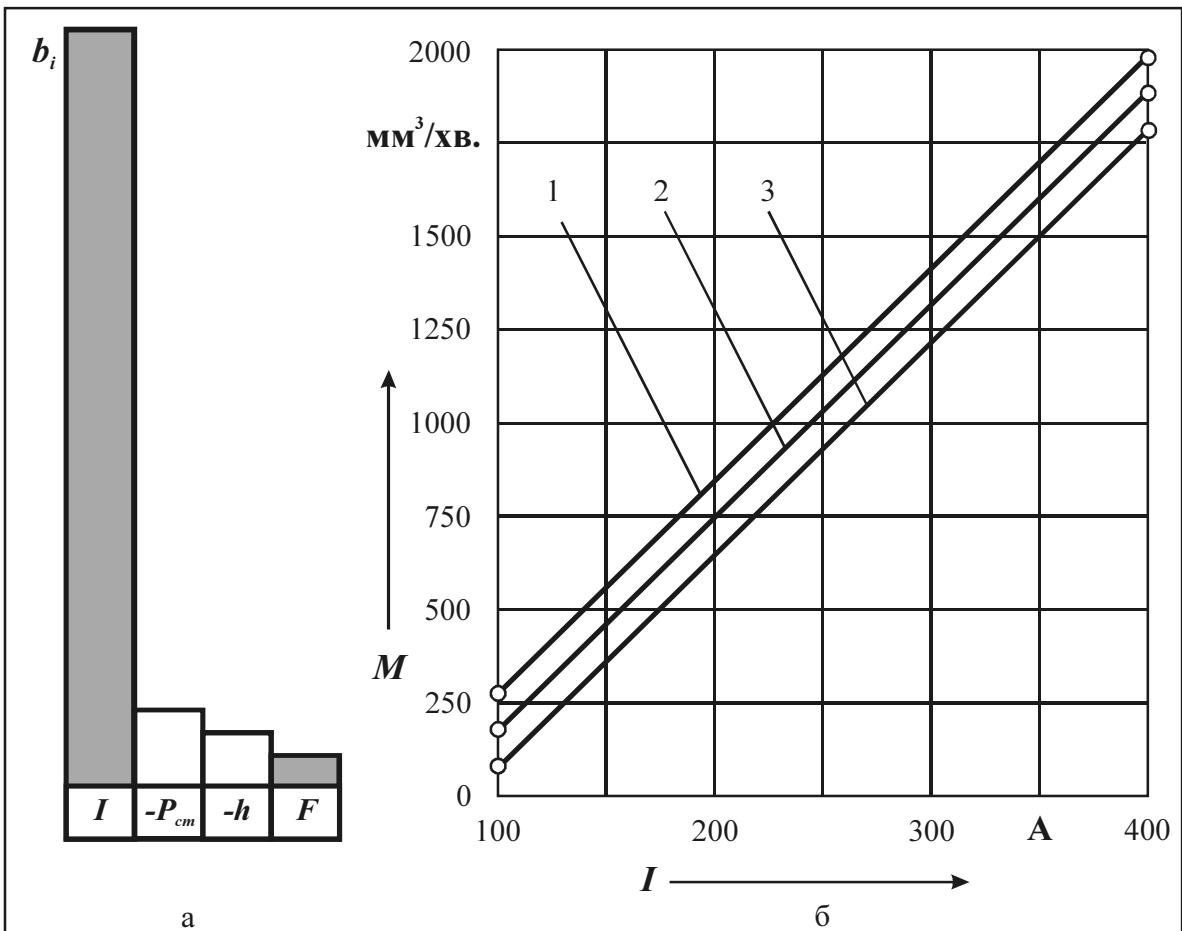
Вплив статичного тиску P_{cm} на M приблизно на порядок менший, але з його підвищенням продуктивність зменшується. Останнє пов'язано з тим, що при цьому, як правило, підвищується динамічний тиск потоку в міжелектродному зазорі, який більш інтенсивно взаємодіє з дугою. Наслідком такої взаємодії є фізичне та енергетичне стиснення дуги, підвищення її температури, а отже підвищення в процентному відношенні частки об'єму металу, що видаляється із одиничної лунки в газовому стані (за рахунок випаровування) та зменшення частки металу, що видаляється в рідкому стані, як менш енергетично витратної.

Вплив глибини h та площі F обробки на продуктивність обробки значно менший (відповідно, в 15 - 20 разів). Це дозволяє застосовувати спосіб РОД для обробки великогабаритних твердосплавних заготовок.

В рамках експерименту: продуктивність процесу РОД твердого сплаву ТС-15 M змінювалася в межах від 186 до 2240 мм³/хв.; питома продуктивність обробки M_a – від 2,12 до 5,33 мм³/А·хв.; питома витрата електроенергії a – від 6,6 до 16,6 кВт·год/кг; шорсткість обробленої поверхні Ra – від 16 до 60 мкм; бічний міжелектродний зазор δ_b – від 0,05 до 0,10 мм; відносний лінійний знос графітового електрода-інструмента γ_n – від – 1,78 до 12,72 %.

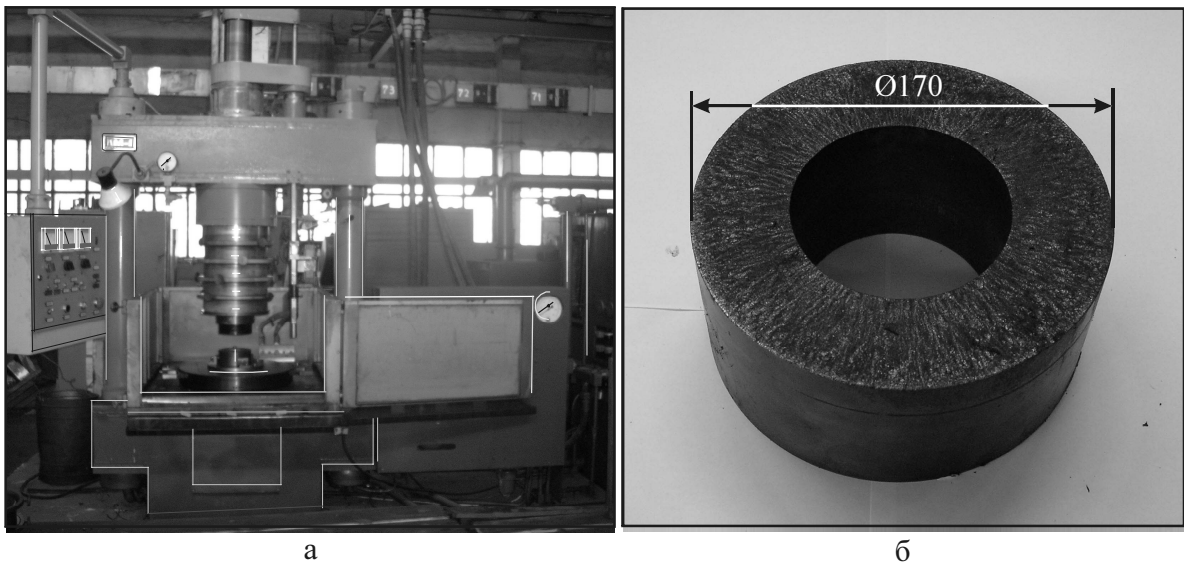
Для промислового випробування способу розмірної обробки електричною дугою твердосплавних прокатних валків розроблено та виготовлено електроерозійний копіювально-прошивний верстат АМ-1, що реалізує процес РОД (рис. 4, а). Обробку торцевої поверхні твердосплавного валка (рис. 4, б) здійснювали графітовим електродом-інструментом марки МПГ-7 при наступному режимі обробки: сила технологічного струму $I = 700$ А, напруга на дузі $U = 25...27$ В, статичний тиск органічної робочої рідини на вході потоку в міжелектродний зазор $P_{cm} = 1,2$ МПа, полярність обробки – пряма (заготовка – «плюс»), спосіб прокачування рідини крізь торцевий міжелектродний зазор – зворотний (від периферії до центру електрода-інструмента).

В результаті промислового випробування була зафіксована продуктивність чорнової обробки прокатного валка із твердого сплаву ТС-15 на рівні $M = 3100$ мм³/хв., що в 17...20 разів перевищує продуктивність чорнового шліфування алмазними тарілчастими кругами діаметром 250 мм. Таким чином, експериментально доведена доцільність використання способу розмірної обробки електричною дугою для високопродуктивної обробки твердосплавних прокатних валків сучасних дротяних станів.



а - ступінь впливу факторів на M ; б - графік залежності $M = f(I, P_{cm})$ при $F = 560 \text{ мм}^2$, $h = 2,5 \text{ мм}$ (1 - $P_{cm} = 0,8 \text{ МПа}$; 2 - $P_{cm} = 1,0 \text{ МПа}$; 3 - $P_{cm} = 1,2 \text{ МПа}$)

Рисунок 3 - Залежність продуктивності РОД твердого сплаву ТС-15 M від I та P_{cm}



а - електроерозійний верстат моделі АМ-13 технологічним пристроєм;
б - прокатний валок після РОД

Рисунок 4 - Промислове випробування способу РОД твердосплавних прокатних валків

Список літератури

1. Фотеев Н. К. Технология электроэрозионной обработки. – М.: Машиностроение, 1980. – 184 с.
2. Носуленко В. И., Мещеряков Г. Н. Размерная обработка металлов электрической дугой // Электронная обработка материалов. – 1981. – № 1. – С. 19-23.
3. Боков В. М. Розмірне формоутворення поверхонь електричною дугою. – Кіровоград: Поліграфічно-видавничий центр ТОВ «Імекс ЛТД», 2002. – 300 с.

Доказана целесообразность использования способа размерной обработки электрической дугой для высокопроизводительной обработки твердосплавных прокатных валков современных проволочных станов.

It is shown the expediency of using the dimensional arc treatment method for highly productive treatment of hardalloyed forming rolls of modern wire mills.