

- при обробці методом традиційного черв'ячного зубофрезерування має місце перемінність сили різання по напрямку дії на привод верстату, тобто силове розмикання ділильної пари верстату, що вносить похибки у оброблювану деталь;
- при обробці методом черв'ячно-контурного фрезерування, черв'ячне ділильне колесо працює правими та лівими профілями послідовно, що підвищує ресурс роботоспроможності кінематичних ланцюгів верстата.

Список літератури

1. Колев К.С. Точность обработки и режимы резания. Изд. 2-е, перераб. и доп. / Колев К.С. Горчаков Л.М. - М.: «Машиностроение», 1976. – 144 с.
2. Бушуев В.В. Тяжелые зубообрабатывающие станки / Бушуев В.В., Налетов С.П. - М.: «Машиностроение», 1976. – 274 с.
3. Петраков Ю.В. Автоматичне управління процесами обробки матеріалів різанням: Навчальний посібник / Петраков Ю.В. – Київ: УкрНДІАТ, 2003. – 383 с.

Mikhail Pidgaetsiy, Andrei Kirichenko, Anton Aparakin

Kirovograd national technical university

Comparative analysis of the traditional gear hobbing kinematic and kinematic of the contour gear hobbing used in agricultural machinery

The article is devoted to the processes occurring traditional gear hobbing and contour gear hobbing and attempts to improve the conditions of the machine.

In many cases, processing errors, which arise as a result of cutting power to the machine tool kinematic chain, deformations of the technological system and its elements are dominant in the total level of accuracy of machining parts.

Important role, given the impact of cutting forces on kinematic pairs of the machine plays the direction and cutting force variability and moment acting on the drive gear machine table during processing.

The authors conducted a theoretical justification to a problem of the origin of the power transfer in a separating machine tool which can significantly appear on machined parts accuracy. The results of experimental studies indicate better gears accuracy processed by the contour gear hobbing that works in the power circuit.

As a result, the authors concluded the need for a method of gear cutting, in which processing will be conducted in a power circuit.

gear cutting, cutting force, power circuit

Одержано 14.07.14

УДК 621.9.048.4

О. Ф. Сіса, канд. техн. наук

Кіровоградський національний технічний університет

Розмірна обробка електричною дугою бічної поверхні твёрдосплавного прокатного валка

Виконано обґрунтування технологічної схеми формоутворення бічної поверхні твёрдосплавного валка способом розмірної обробки електричною дугою з урахуванням особливостей фізичних механізмів їх утворення та гідродинамічних явищ в міжелектродному проміжку. Встановлені аналітичні зв'язки технологічних характеристик процесу чорнової розмірної обробки електричною дугою сплаву ТС-15 з режимами обробки і геометричними параметрами.

електрична дуга, твёрдосплавний валок, технологія, технологічні характеристики, обладнання

О. Ф. Сиса, канд. техн. наук

Кировоградский национальный технический университет

Размерная обработка электрической дугой боковой поверхности твердосплавного прокатного валка

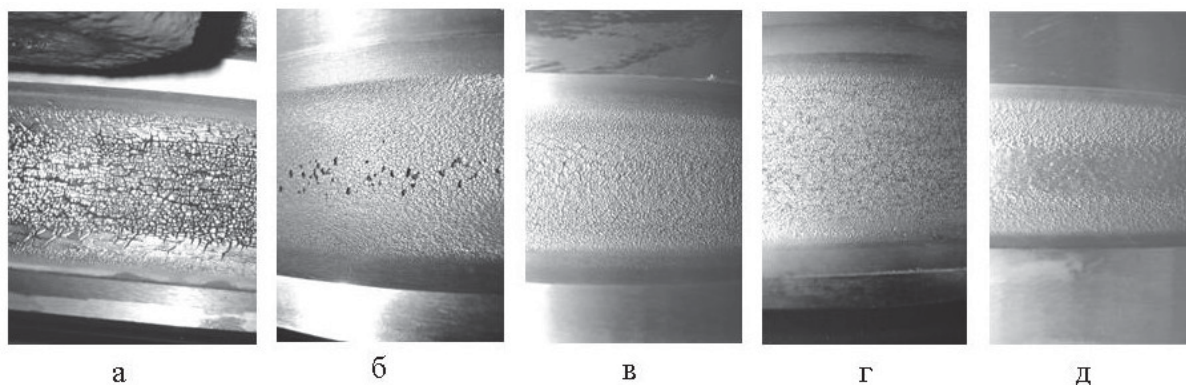
Выполнено обоснование технологической схемы формообразования боковой поверхности твердосплавного валка способом размерной обработки электрической дугой с учетом особенностей физического механизма образования и гидродинамических явлений в межэлектродном промежутке. Установлены аналитические связи технологических характеристик процесса черновой размерной обработки электрической дугой сплава ТС-15 с режимами обработки и геометрическими параметрами.

електрическая дуга, твердосплавний валок, технологія, технологические характеристики, оборудование

Постановка проблеми. На сьогоднішній день ніяка галузь машинобудування, а особливо сільськогосподарська техніка, не може виготовлятися без застосування дроту. Широко застосовується дріт, який виготовляється з вуглецевих і легованих сталей. Виходячи з умов експлуатації до катаного дроту висуваються вимоги по точності отриманого розміру і міцності на розрив. Його поверхня повинна бути чистою і гладкою, без тріщин, розшарувань, раковин, забоїн, окалин, ржи та забруднень. Точність виготовлення дроту і якість обробки залежить від точності профілювання прокатних валків, через які протягується вихідний дріт, а також умов протікання процесу профілювання.

В металургійній промисловості використовують прокатні валки (шайби), які виготовляють з твердого сплаву ВК-15 (WC 85%, Co 15%), та ТС-15 (WC 85%, Co 7%, Ni 7%, Cr 1%). Працездатність калібруючої частини твердосплавного прокатного валка залежить від зміни розмірів і шорсткості робочої частини – при збільшенні розміру калібру на 0,06 мм, після 600...700 тон катаного дроту, твердосплавні валки замінюються і ремонтуються.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. У Донецькому національному технічному університеті В.В. Пашинським проведений цикл досліджень з виявлення структурних факторів, що визначають робочі характеристики твердих сплавів для виробництва прокатних валків та методів їх підвищення [1- 5]. На першому етапі досліджено структурні особливості процесу пошкодження поверхні калібрів прокатних валків при експлуатації. Показано, що пошкодження поверхні калібрів валків з твердих сплавів визначається протіканням двох конкурентних процесів: утворення зародків зносу і зростання крихких тріщин. У матеріалах з карбідними часточками розміром більше 4...5 мкм розвиток сітки розпалу відбувається шляхом виникнення осередків руйнування з подальшим зростанням цих ділянок. Крихкі тріщини ростуть у цьому випадку між зародками, об'єднуючись в замкнену сітку розпалу. У сплавах із зерном менш 1...2 мкм ділянки первинного походження індукують зростання тріщин за механізмом крихкого руйнування. Ширина тріщини швидко стає значно більше типового розміру карбіду та ділянок зв'язки і вони не можуть грати роль ефективного гальма тріщини. Працездатність матеріалу визначається в цьому випадку його опором розповсюдження крихкої тріщини, а тому оптимальне співвідношення між карбідною і зв'язуючою фазами для певних умов експлуатації залежатиме від розміру карбідної фази.



а – глибока сітка розпалу; б – локальне викришування; в – комбінація сітки розпалу і рівномірного зносу; г – рівномірний знос; д – знос з витиранням

Рисунок 1 – Морфологія зносу валків робочої поверхні калібрів

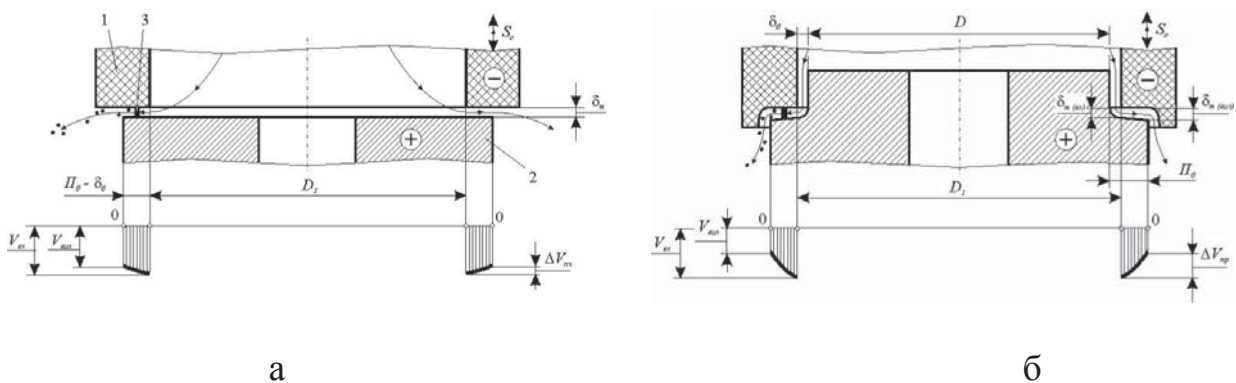
В сучасному прокатному виробництві відновлення твердосплавних прокатних валків для чистових клітей дротяних станів виконується за двома технологіями: точіння різцями, оснащеними пластинами з полікристалічного кубічного нітрида бора (ПКНБ), з продуктивністю до 2058 мм³/хв., але даний метод багатокоштовний із-за великої вартості ріжучого інструмента; шліфуванням алмазним інструментом з продуктивністю обробки до 137 мм³/хв. Жорсткі вимоги до точності розмірів і шорсткості поверхні твердосплавного прокатного валка забезпечуються виключно низькопродуктивним шліфуванням алмазним інструментом. Інтенсифікація режимів алмазного шліфування на стадіях чорнової обробки при збільшенні питомого навантаження інструмента на твердосплавну заготовку приводе до появи тріщин глибиною до 4 мм. При оптимальному режимі шліфування час чорнової обробки торцевої поверхні одного валка складає до 1...2 змін, що не задовольняє вимоги підприємств і вимагає пошук альтернативних, більш продуктивних та економічних методів їх обробки. Сьогодні собівартість валка складає 1...3 % від собівартості прокатної продукції. Проблема чорнової обробки твердосплавного прокатного валка ще більш загострюється при використанні технології його виготовлення з відпрацьованих твердосплавних валків, коли виникає потреба знімання великого об'єму матеріалу (припуск до 25 мм). Застосування відомих електроерозійних методів (електроіскрового, електроімпульсного), для обробки твердосплавних валків суттєво обмежена продуктивністю обробки, так як енергія при їх реалізації підводиться в зону обробки з паузами.

Для обробки важкооброблюваних матеріалів застосовуються електроерозійні методи. Одним із самих високопродуктивних є спосіб розмірної обробки металів електричною дугою (РОД), який відомий за роботами [6, 7]. Спосіб заснований на використанні електричної дуги в потужному гідродинамічному потоці робочої рідини, як інструмента для розмірного формоутворення поверхонь. Він дозволяє простими засобами вводити в зону обробки великі потужності технологічного струму і забезпечує продуктивність обробки твердого сплаву графітовим електродом 2844 мм³/хв., що значно більше усіх відомих методів обробки.

Постановка завдання. Таким чином, метою досліджень – розробка технології та обладнання способу чорнової РОД твердосплавних валків, як вискоефективної альтернативи традиційним способам їх чорнової обробки.

Виклад основного матеріалу. В якості технологічної схеми формоутворення вибрана схема за принципом прошивання. Обробку здійснювали з використанням графітового електрода-інструмента (ЕІ, марка МПГ-7) при вибраній технологічній схемі

формоутворення з прокачуванням органічного середовища в торцевому міжелектродному зазорі під технологічним тиском, за напрямком від центру до периферії електрода-інструмента (рис.2). Предметом дослідження були такі технологічні характеристики: продуктивність обробки M , мм³/хв; питома продуктивність обробки M_a , мм³/А·хв; питома витрата електроенергії a , кВт·год/кг; бічний зовнішній МЕЗ δ , мм; відносний лінійний знос ЕІ γ , %; шорсткість обробленої поверхні Ra , мкм. Будівництво математичних моделей технологічних характеристик процесу РОД твердого сплаву ТС-15 здійснювалось з застосуванням математичних методів планування експериментів, зокрема плану 2⁴. На підставі апріорної інформації були відібрані фактори, що визначають режими обробки (сила технологічного струму I , А; статичний тиск робочої рідини на вході в міжелектродний зазор P_{cm} , МПа) та фактори, що визначають геометричні параметри обробки (площа обробки F , мм²; висота калібруючого пояса на електроді-інструменті s , мм).



а –початкова фаза обробки; 1 – графітовий ЕІ; 2 – твердосплавна заготовка;
3 – електрична дуга; б – проміжна фаза обробки

Рисунок 2 – Технологічна схема формоутворення та епюри швидкостей потоку в торцевому МЕЗ

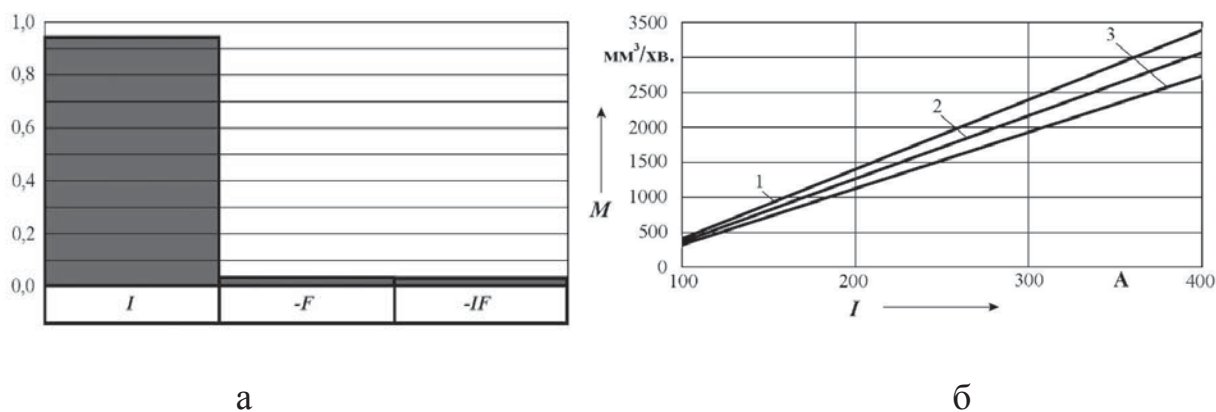
Усі фактори задовольняють умови керованості, операціональності та однозначності. Інші параметри процесу РОД були зафіксовані на постійному рівні: робоча рідина – органічне середовище; полярність обробки – пряма (заготовка – «+»), як більш продуктивна; напруга на електродах $U = 30$ В; матеріал електрода-інструмента – електроерозійний графіт марки МПГ-7; спосіб прокачування робочої рідини через графітовий ЕІ – пряме.

В рамках експерименту: продуктивність процесу РОД твердого сплаву ТС-15 M – змінювалась в межах від 290 до 3720 мм³/хв.; питома продуктивність обробки M_a – від 2,90 до 8,16 мм³/А·хв.; питома витрата електроенергії a – 3,66 до 12,10 кВт·год/кг; бічний зовнішній МЕЗ δ – 0,020 до 0,075мм; відносний лінійний знос ЕІ γ – 5,01 до 11,00 %; шорсткість обробленої поверхні Ra – 10 до 20 мкм.

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 визначити головним керуючим фактором, а даний факт свідчить про теплову природу процесу РОД. Вплив площі обробки F на продуктивність не значний (не перебільшує 3 %). Інші фактори на продуктивність уніполярної РОД бічної поверхні твердого сплаву ТС-15 графітовим ЕІ не впливають. Це дозволяє прогнозувати високопродуктивну РОД реальних твердосплавних валків значно більшої площі поверхні F у плані і застосовувати спосіб РОД для чорнової обробки твердосплавних валків.

Таблиця 1 – Поліноміальні математичні моделі технологічних характеристик процесу чорноточування РОД зразків із твердого сплаву ТС-15

Математична модель	Масштабні співвідношення факторів
Уніполярна РОД бічної поверхні зразка за формулою «графітовий ЕІ – твердий сплав» з використанням способу прямого прокачування	
$M = 1688 + 1335x_1 - 241x_3 - 199x_1x_3$	$x_1 = 0,00667(X_1 - 250)$ $x_2 = 5(X_2 - 1)$ $x_3 = 0,00364(X_3 - 608,5)$ $x_4 = 0,286(X_4 - 6,5)$
$M_a = 5,65 + 1,96x_1 - 0,76x_3 + 0,35x_4 - 0,34x_1x_3$	
$a = 7,18 - 2,48x_1 + 0,90x_3 - 0,42x_4 - 0,24x_1x_3$	
$R_a = 31,9 + 17,3x_1 - 2,3x_3 + 2,0x_4 - 1,1x_2 - 0,8x_1x_2$	
$\delta_b = 0,046 + 0,0162x_3 - 0,0112x_2$	
$\gamma_{\lambda} = 7,34 - 0,72x_1x_3 + 0,34x_3x_4 - 0,92x_1 - 0,83x_2x_3 + 0,81x_1x_2x_3x_4 - 0,4x_4 + 0,33x_1x_2x_4$	
де $X_1 \rightarrow I, A$; $X_2 \rightarrow P_{cm}, MPa$; $X_3 \rightarrow F, mm^2$; $X_4 \rightarrow c, mm$	

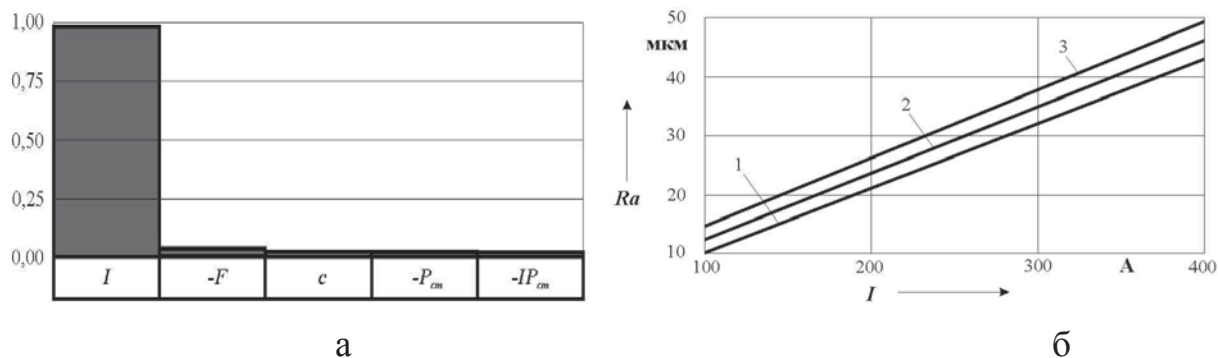


а – ступінь впливу змінних факторів; б – залежність M від I ; 1 – $F = 883 \text{ мм}^2$; 2 – $F = 608,5 \text{ мм}^2$; 3 – $F = 334 \text{ мм}^2$

Рисунок 3 – Продуктивність M чорноточування РОД бічної поверхні зразка за формулою «графітовий ЕІ – твердий сплав» з використанням способу прямого прокачування

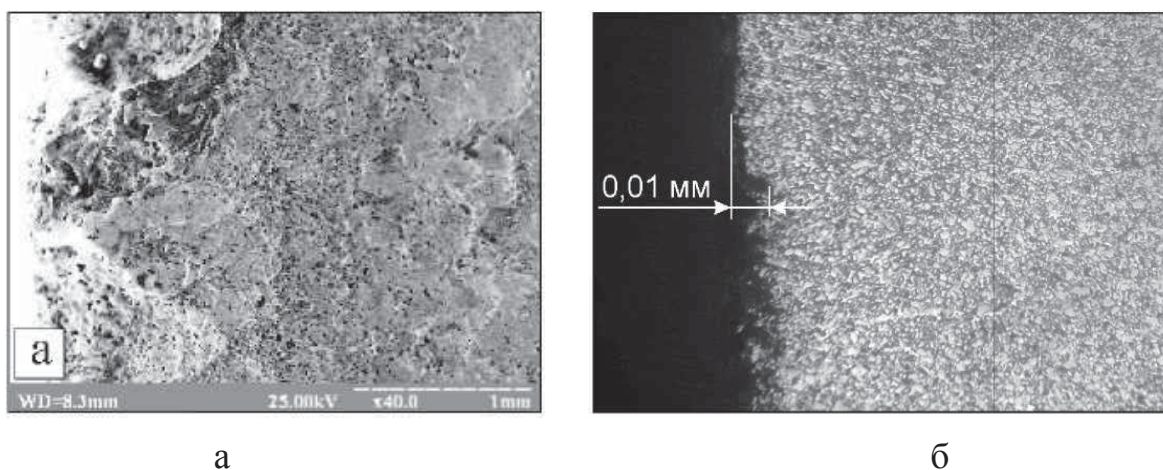
Із моделі (табл.1) та рис. 4, видно, що шорсткість обробленої поверхні R_a в повній мірі визначається силою технологічного струму I (ступінь впливу – 95,4 %) та майже не залежить від інших факторів. Із підвищенням I шорсткість поверхні підвищується. Отже, сила технологічного струму I по відношенні до шорсткості обробленої поверхні R_a є головним керуючим фактором. Встановлено, що шорсткість бічної поверхні в умовах РОД представляє сукупність накладення великої кількості лунок (рис. 5, а), діаметр яких, та глибина визначаються силою технологічного струму, з підвищенням якого вони зростають. Причому, чим менша сила технологічного струму, тим більша імовірність утворення лунок. При виконанні експериментальних досліджень шорсткість вимірювалася на периферійній частині торцевої поверхні зразка. В умовах експерименту вона змінювалася у межах від $Ra10$ до $Ra20$ мкм. За результатами металографічних досліджень (рис. 5, б) мікротріщин у поверхневому шарі твердосплавного зразка після РОД не виявлено. Встановлено, що при силі технологічного струму 400 А продуктивність зростає, порівняно з чорновим алмазним шліфуванням, в 28 разів;

порівняно з чорновим точінням різцями, які оснащені пластинами із полікристалічного кубічного нітриду бора (кібориту) – в 1,9 рази.



а – ступінь впливу змінних факторів; б – залежність Ra від I ;
 1 – $F = 883 \text{ мм}^2$; 2 – $F = 608,5 \text{ мм}^2$; 3 – $F = 334 \text{ мм}^2$

Рисунок 4 – Шорсткість обробленої поверхні Ra чорнкової РОД бічної поверхні зразка за формулою “графітовий ЕІ- твердий сплав” з використанням способу прямого прокачування



а – фрактографія (x40) бічної поверхні зразка із сплаву ТС-15 після РОД графітовим ЕІ з використанням способу прямого прокачування робочої рідини ($I = 100 \text{ А}$, $P_{cm} = 1,2 \text{ МПа}$, $F = 400 \text{ мм}^2$, $c = 10 \text{ мм}$);
 б – мікроструктура (x500) поверхневого шару сплаву ТС-15 після РОД бічної поверхні зразка графітовим ЕІ ($I = 100 \text{ А}$, $P_{cm} = 1,2 \text{ МПа}$, $F = 400 \text{ мм}^2$, $c = 10 \text{ мм}$)

Рисунок 5 – Випробування способу РОД при обробці твердосплавних заготовок

Висновки. Таким чином, експериментально доведена доцільність використання способу РОД для високопродуктивної обробки бічної поверхні твердосплавних валків, що вимагає відповідно невеликих капіталовкладень в обладнання і технологію, забезпечить швидку окупність за рахунок значного збільшення строку служби валка, призведе до помітної економії коштів при будь-якому виробництві дроту.

Список літератури

1. Пашинський В.В. Взаимосвязь структуры и свойств материалов для твердосплавных прокатных валков дискового типа // Металл и литье Украины. – 2002. – № 12. – С. 33–36.
2. Пашинський В.В. Аналіз основних факторів, що впливають на стійкість прокатних валків чистової, та другої проміжної групи клітей високошвидкісних дротових станів / В.В. Пашинський, Д.Г. Сидоренко, В.В. Горбатенко // Строительство, материаловедение, машиностроение: Сб. науч. Тр. – Днепропетровск: ПГСА, 2004. – С. 50–56.

3. Труханов С.В. Прокатные валки дискового типа для чистовых прокатных блоков проволочных станов. Особенности производства / С.В. Труханов, Д.Г. Сидоренко, В. В. Пашинский // *Металл и литье Украины*. – 2001. – № 7– 9. – С. 64–67.
4. Маншлин А.Г. Производство твердосплавных прокатных валков дискового типа и факторы, влияющие на их эксплуатационную стойкость / А.Г. Маншлин, Д.П. Кукуй, В.В. Пашинский [и др.] // *Металл и литье Украины*. – 2004. – № 3– 4. – С. 17–18.
5. Бабенко М.А. Анализ опыта эксплуатации и повышение эффективности использования твердосплавных прокатных валков дискового типа / М.А. Бабенко, А.Г. Маншлин, В.В. Пашинский [и др.] // *Металл и литье Украины*. – 2004. – № 8 - 10. – С. 68–70.
6. Носуленко В. И. Размерная обработка металлов электрической дугой / В.И. Носуленко, Г.М. Мещеряков // *Электронная обработка материалов*. – 1981. – № 1. – С.19–23.
7. Боков В. М. Розмірне формоутворення поверхонь електричною дугою. – Кіровоград: Поліграфічно-видавничий центр ТОВ «Імекс-ЛТД», 2002. – 300 с.

Oleg Sisa

Kirovograd National Technical University

The dimensional processing of hard-alloy forming roll side surface by the electric arc

The article is dedicated to development of technology and equipment of rough machining method by electric arc of hard-alloy forming roll side surface, as high performance alternative to traditional methods of rough machining.

During operation, the damage to the surface of the hard alloys roll caliber occurs by abrasion and chipping of carbide particles. The development of net shaped roll marks occurs by the occurrence of hotbeds of accelerated cluster abrasion and chipping of smaller particles with subsequent growth of these areas and unification in a closed net shaped roll marks. The turned out particles of hard alloy leave the machining marks on the wire, in such a worn the hard alloy roll does not meet the specified dimensions and it is reground to a smaller diameter by grinding of diamond tool on the rough machining stage.

It is proposed on the stage of rough machining to remove the worn-out profile of hard alloy roll side surface with help of dimensional electric arc, which allows you to remove big allowances of material at the lowest treatment costs. In this case, the processing cycle of hard alloy side surface decreased of 1,9 times.

The justification of technical scheme of forming the hard alloy roll side surface by electric arc sizing method is done taking into account features of physical formatting mechanism and hydrodynamic phenomena in the electrode gap. The analytical communication of technological characteristics of rough machining process by electric arc alloy TS-15, with the modes of processing and geometric parameters are established.

the electric arc, hard alloy roller, technology, technological characteristics, equipment

Одержано 14.11.14

УДК 681.518

В.В. Смирнов, доц., канд. техн. наук, Н.В. Смирнова, канд.техн. наук

Кировоградский национальный технический университет

Реализация вариативного изменения состояний конечного автомата в управляющих программах

Приведено решение задачи вариативного изменения состояний конечного автомата при создании управляющих программных систем. Изменена структурная схема управляющего конечного автомата путем добавления в его структуру блока принятия статистических гипотез. Данное решение позволило учитывать предысторию развития изменений значения параметра регулирования в объекте управления при переходе в следующее состояние.

конечный автомат, состояние, переход, вариативность, объект управления

© В.В. Смирнов, Н.В. Смирнова, 2014