

УДК 621.922.34

М. М. ШЕЙКО, д-р техн. наук,
В. М. СКОК, Київ, Україна

ФОРМУВАННЯ АЛМАЗНО-ГАЛЬВАНІЧНОГО ПОКРИТТЯ З ПРОТЕКЦІЄЮ АЛМАЗНИМ МІКРОПОРОШКОМ В ПРАВЛЯЧОМУ ІНСТРУМЕНТІ

Запропоновано спосіб протекції алмазно-гальванічного покриття (АГП) в правлячому інструменті, що полягає у використанні алмазного мікропорошку, який міститься в поверхневому шарі нікелевого зв'язуючого АГП і що захищає поверхню зв'язуючого від гідроабразивного зносу. Розрахунок режиму формування АГП передбачає обчислення швидкості і часу зарощування, а також кінцевої товщини АГП і його захисного підшару.

Ключові слова: протекція алмазно-гальванічного покриття, алмазний мікропорошок

Предложен способ протекции алмазно-гальванического покрытия (АГП) в правящем инструменте, заключающийся в использовании алмазного микропорошка, содержащегося в поверхностном слое никелевой связки АГП и защищающего поверхность связки от гидроабразивного износа. Расчет режима формирования АГП предполагает вычисление скорости и времени зарощивания, а также конечной толщины АГП и его защитного подслоя.

Ключевые слова: протекция алмазно-гальванического покрытия, алмазный микропорошок

This paper proposes a method of a protection of diamond-galvanic covering (DGC) in dress tool. The method is to use a diamond micro-powder contained in the surface layer of nickel ligament DGC and protect the ligaments from hydroabrasive wear. The calculation of the formative mode AGP includes the calculation of speed, time of overgrowth and finite thickness DGC and protective sublayer.

Keywords: protection of diamond-galvanic covering, diamond micro-powder

Якщо до недавнього для алмазного правлячого інструменту, що працює по абразивному матеріалу шліфувальних кругів, були доступні лише марки АС32 [1, 2], то зараз в практиці виготовлення і застосування правлячого інструменту – перш за все алмазних роликів і брусків, виготовлених методом гальванопластики, – використовуються синтетичні алмази марок АС100...АС200Т і вище. У зв'язку з цим баланс витрати алмазів перерозподіляється від абразивного зносу алмазів в бік збільшення відносного обсягу ще не зношених алмазних зерен, що вириваються зі зв'язуючого. Цей феномен детально досліджено в роботах [3, 4] і пояснюється гідроабразивним зносом нікелевого зв'язуючого правлячого інструменту шламом диспергованого матеріалу абразивних шліфувальних кругів, ослабленням закладення алмазних зерен. Закон гідроабразивного зносу відображає зміну об'єму кишень в міжзеренному просторі робочого шару інструменту від обсягу диспергованого матеріалу кругів. З аналізу відповідних формул випливає, що питомий об'єм кишень ω зростає і асимптотично наближається до граничного значення ω_{\max} . Часто це граничне

значення ω_{\max} , залежне від режимів правки і характеристик одношарового алмазно-гальванічного покриття (АГП), настільки велике, що відповідне йому закладення зерен не здатне утримати їх від викидання. На практиці це відбувається на виступаючих вершинах робочого профілю правлячого інструменту, наприклад, вершинах різьбового профілю. Внаслідок цього інструмент з невикористаним в цілому ресурсом знімається з операції в аварійному порядку.

Для забезпечення високих алмазоутримуючих властивостей осаджуваного нікелю і протистояння гідроабразивному зносу раніше було вжито заходів, націлених на зміну фізико-механічних властивостей цього електроосадженого зв'язуючого. Перш за все, це додавання в сульфамінові електродліти кобальту [2]. Поліпшення алмазоутримання нікель-кобальтових сплавів в порівнянні з нікелем пояснювалося істотним збільшенням його твердості – від 1,9 до 4,6 ГПа. При цьому значно знижувався знос таких осаджень, що носить гідроабразивний характер. Зворотний бік такого підходу – значне (в кілька разів) збільшення внутрішніх напружень осаду і спотворення робочого профілю, що для прецизійного правлячого інструменту неприпустимо.

Другий метод, що практикується для зміни фізико-механічних властивостей електроосадженого нікелю, – це застосування ультрадисперсних алмазів (УДА) розміром 4...6 нм, промислове виробництво яких налагоджено на НВО «Сінта» [5]. Принцип дії УДА полягав у спільному осадженні з нікелем. Це сприяло утворенню дрібнокристалічної, міцної, ізометричної структури гальванічного осаду. Рівномірний розподіл в об'ємі металеві матриці забезпечувало зниження напружень і зменшення дефектів гальванічного покриття. За твердженням авторів [5], також підвищувалася твердість і зносостійкість. Необхідно підкреслити – ефект застосування УДА був пов'язаний зі зміною фізико-механічних властивостей гальванічного шару зарощування, але ніяк не з його механічної протекцією. Доказом того, що УДА не могли мати ефекту механічного захисту гальванічного шару зарощування, є вельми мала об'ємна концентрація ультрадисперсних алмазів в шарі. Вона становить не більше $2,79 \cdot 10^{-2}$, що відповідає умовній концентрації алмазів в багатошаровому інструменті всього 11,2%.

Третій метод підвищення стійкості АГП до гідроабразивного зносу – іонно-плазмові покриття робочої поверхні правлячого інструменту [6, 7]. Цей метод спрямовано не на зміну фізико-механічних властивостей гальванічного шару зарощування, як в перших двох методах, а, скоріше, на протекцію (захист) цього шару тонким (до 15 мкм) шаром нітриду титану або карбиду титану. Ці покриття – дрібнозернисте TiC/Co і крупнозернисте TiN/Co – наносилися на модернізованій установці ВУ2МБС-М. Практичний ефект уповільнення гідроабразивного зносу зв'язуючого алмазного правлячого інструменту спостерігався тільки при її покритті TiN/Co, а покриття TiC/Co

виявилось неефективним, ймовірно, в силу меншої адгезії до підкладки. Крім того, цим методом притаманні інші недоліки – обмежені габарити інструменту для розміщення в камері, необхідність зміцнення оболонки конструкції інструменту, що виключає заливку сплаву Вуда, температура плавлення якого нижче технологічної температури нанесення іонно-плазмового покриття. На практиці метод нанесення іонно-плазмового покриття для алмазних правлячих роликів неприйнятний.

Щоб захистити нікелеве зв'язуюче від потоку шламу диспергованого матеріалу круга, що заправляється, авторами в даній роботі пропонується захисний алмазно-нікелевий підшар, що представляє собою алмазний мікропорошок максимально можливої об'ємної концентрації, закріплений гальванічно осадженим нікелем. На відміну від покриття нітридом титану, що має товщину кілька мікрометрів, алмазно-нікелевий захисний підшар формується товстим, порівняним з величиною алмазного зерна основної фракції. При цьому захисна дія підшару стійке і не схильне до випадкового руйнування, як тонке покриття.

Залишаючи розгляд робочих характеристик правлячого інструменту з протекцією до наступного огляду, зупинимося на конструкційному і технологічному рішенню створення такого підшару. Для правлячого інструменту, виготовленого методом гальванопластики, – алмазних роликів – захисний підшар з алмазного мікропорошку формується після попереднього закріплення алмазних зерен основної фракції на поверхні графітової форми, зворотної до робочої поверхні інструменту [1, 2]. Графітова форма, що закрита з двох сторін іонообмінними мембранами, поміщається в камеру, забезпечену приводом обертання, і монтується таким чином, щоб забезпечити вільний доступ електроліту до поверхні нікелю, що осаджується, і контакт технологічного запасу мікропорошку як сипучого матеріалу з тією ж поверхнею. Ступінь занурення графітової форми в електроліт (рис. 1) повинна гарантувати виконання умови, згідно з якою номінальна площа осадження нікелю не повинна перевищувати поточну номінальну площу контакту алмазного мікропорошку з графітової формою. В іншому випадку об'ємна концентрація мікропорошку в алмазно-нікелевому підшарі буде примусово знижуватися, що нівелює захисні властивості цього підшару.

Номінальну площу осадження нікелю, а також навіску алмазного мікропорошку з відомою точністю можна розрахувати з урахуванням деяких спрощень. Так, висота профілю робочої поверхні правлячого ролика (a , отже, і графітової форми) набагато менше радіуса R , тому шукану номінальну площу можна розрахувати як частку φ/π (рис. 1) від площі периферійної поверхні тіла обертання.

Оцінка маси мікропорошку проводиться вважаючи, що при обертанні графітової форми навколо горизонтальної осі мікропорошок – як сипучий матеріал – пересипається від дільниці до дільниці внутрішнього об'єму

форми, зберігаючи в динаміці форму прямої криволінійної призми висотою b , а в основі якої лежить кругової сегмент радіусом R , висотою H і центральним кутом 2φ . Її об'єм обчислюється елементарно, а об'ємна щільність мікропорошку оцінюється як $0,62\gamma_a$ [8], де γ_a – щільність алмаза.

Тоді технологічний запас навіски алмазного мікропорошку $m_a \geq 0,62\gamma_a V_{\text{приз}}$.

Площа внутрішньої периферійної поверхні графітової форми – величина індивідуальна для кожного типорозміру правлячого інструменту. Основна фракція алмазного порошку – в серії експериментів з відпрацювання технології нанесення АГП з протекцією – представлена маркою АС200Т і зернистістю 400/315, а захисний підшар алмазного мікропорошку – АСН 40/28. Виходячи з обраного типорозміру (рис. 2), були задані і обчислені наступні параметри занурення внутрішнього об'єму графітової форми в електроліт: $R = 62$ мм, $H = 31$ мм, $b = 16$ мм, $\varphi = \pi/3$, $V_{\text{приз}} = 37775$ мм³, $m_a = 82$ г = 410 ct.

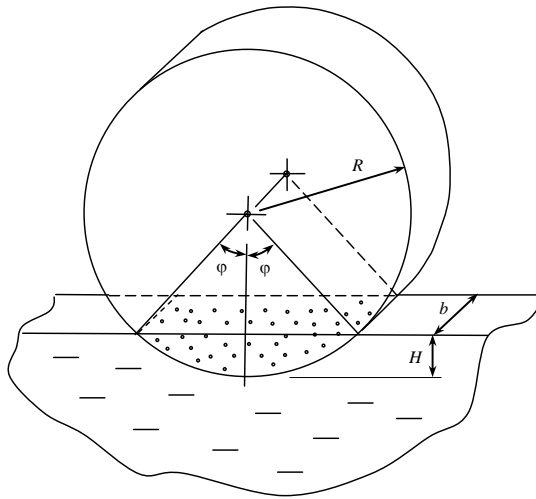


Рисунок 1 – Внутрішній об'єм графітової форми, – у вигляді тіла обертання максимального радіусу R і висотою b , – занурений на глибину H в електроліт і частково заповнений технологічним запасом алмазного мікропорошку

Для розрахунку режимів осадження нікелю, по-перше, необхідні значення загальної площі S_0 поверхні графітової форми, що знаходиться під

електролітом, і площі S_1 поверхні під основною фракцією алмазного порошку (400/315) і зануреної в електроліт. Вони відповідно дорівнюють:

$$S_0 = 8017 \frac{\pi/3}{\pi} = 2672 \text{ (мм}^2\text{)}, \quad S_1 = 5492 \frac{\pi/3}{\pi} = 1831 \text{ (мм}^2\text{)}.$$

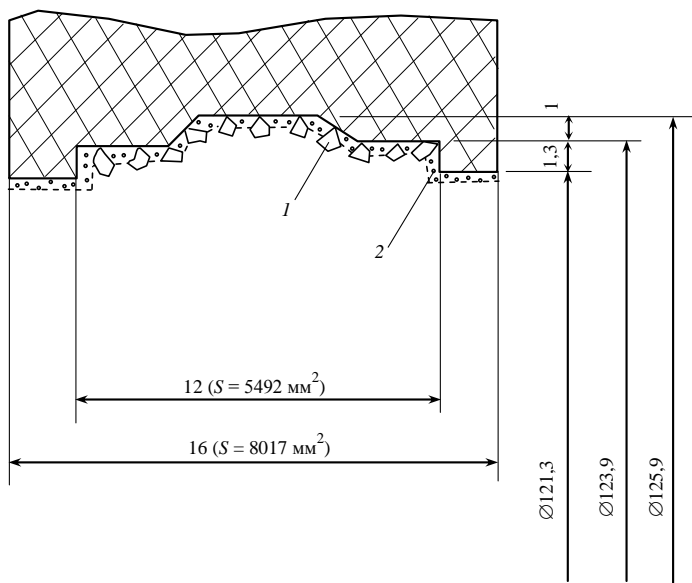


Рисунок 2 – Фрагмент графітової форми (в радіальному перетині) і її внутрішньої периферійної поверхні як поверхні, зворотної до робочій поверхні алмазного правлячого ролика:
1 – зерна алмазного порошку основної фракції,
2 – захисний підшар алмазного мікропорошку

По-друге, для розрахунку режимів осадження нікелю необхідна наступна група даних – інформація про структуру формуємого АГП в ортогональному до робочій поверхні напрямку, тобто по глибині. На рис. 3 перший – спряжений з графітової формою – це захисний підшар товщиною h_1 , що складається з алмазного мікропорошку АСН 40/28, закріпленого гальванічно осадженим нікелем. Одночасно цей подшар є частиною матриці, що утримує зерна основної фракції АС200Т 400/315. Другий підшар – лежить в інтервалі від h_1 до h'_2 – це нікелева, без включення мікропорошку, матриця, що утримує зерна основної фракції. Третій – що лежить в інтервалі

глибин від h'_2 до h_2 – це частина нікелевої матриці, що залишилася без алмазних зерен. Загальна товщина АГП призначається як $h_2 = 1,5$ мм, що, як показує досвід, забезпечує достатню жорсткість покриття при даній зернистості основної фракції. Товщина алмазного шару d_t основної фракції детально експериментально [9, 10] і теоретично [11] досліджено авторами цієї роботи. Для алмазного порошку АС200Т 400/315 вона дорівнює $d_t = 0,413$ мм. Глибина h_1 захисного алмазно-нікелевого підшару приймається як $1/2$ товщини d_t алмазного шару, що становить $h_1 = 0,207$ мм. Це створює достатній запас часу захисної дії при можливому зносі підшару і не послаблює закладення зерен основної фракції в однорідній нікелевій матриці.

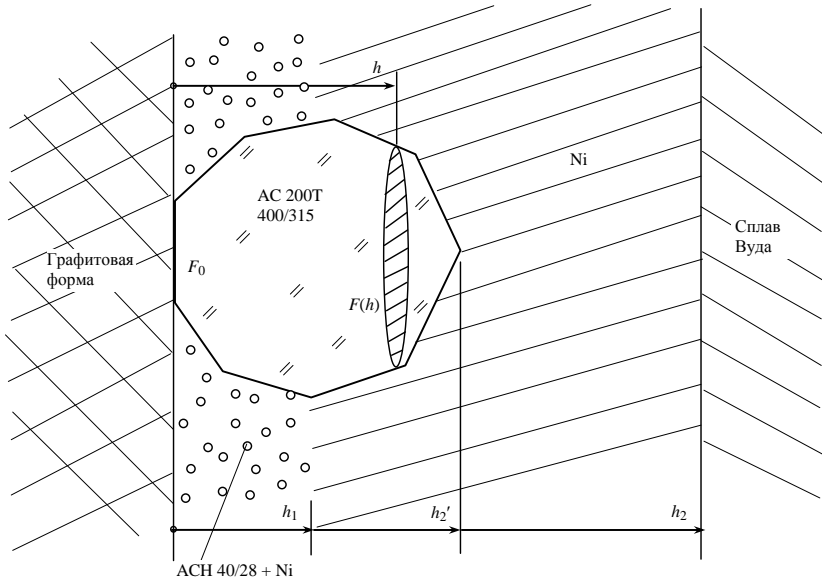


Рисунок 3 – Структура алмазно-гальванічного покриття

Третя група вихідних даних стосується характеру зміни фактичної площі вільної поверхні осадження нікелю по мірі зарощування. Номінальна площа S_0 спочатку зменшується – як показано в [11] – за рахунок сумарної площі контакту зерен основної фракції з графітовою формою, потім – за рахунок сумарної площі поперечних перерізів алмазних зерен поверхнею, що

еквідистантна поверхні форми з величиною еквідистанти h , тобто в момент, коли товщина осадженого нікелю досягає величини h . Крім того, в інтервалі глибин $h \in [0, h_1]$ слід враховувати алмазний мікропорошок, що також зменшує фактичну площу осадження. Загальний вираз фактичної площі осадження нікелю на глибині h від поверхні графітової форми наступне:

$$S(h) = S_0(1 - K_V) \left(1 - \frac{S_1}{S_0} n_c F(h) \right), \quad (1)$$

де K_V – об'ємна концентрація мікропорошку у відповідному підшарі, n_c – питоме число алмазних зерен основної фракції на робочій поверхні, $F(h)$ – площа поперечного перерізу зерна основної фракції на глибині h і усереднена по всьому масиву зерен на робочій поверхні. В інтервалі глибин від 0 до h_1 величина K_V приймає значення 0,62 – як максимально можлива об'ємна концентрація [6]. На більшій глибині мікропорошок відсутній; тому формально приймається $K_V = 0$. Аналогічно питоме число n_c поза інтервалу $h \in [0, h_2]$ дорівнює 0. Умовна концентрація K алмазного порошку в правлячому інструменті згідно [8] дорівнює приблизно 180%, а питоме число для зернистості 400/315 в зазначеному інтервалі глибин $n_c = 5,43 \text{ мм}^{-2}$. Поперечний переріз $F(h)$ як функція глибини виведена в [11].

Нарешті четверта група даних стосується швидкості осадження нікелю. Відповідно до першого закону Фарадея [12] маса речовини, осадженого на електроді під час електролізу, пропорційна кількості електрики Q , що пройшла через електроліт:

$$m = k \cdot Q, \quad (2)$$

де k – електрохімічний еквівалент речовини, що осаджується. Останній знаходиться у відповідності з другим законом Фарадея:

$$k = \frac{A}{F \cdot Z}, \quad (3)$$

де A – атомна вага елемента, Z – його валентність, A/Z , $z/z - \text{екв}$ – хімічний еквівалент, F – число Фарадея ($F = 96500 \text{ к/з - екв}$). Поділивши обидві частини рівності (2) на щільність речовини, що осаджується, і на площу осадження, а потім про диференціювати рівність за

часом, отримуємо вираз для швидкості осадження в перпендикулярному поверхні осадження напрямку:

$$\frac{dh}{dt} = \frac{k}{\gamma} j, \quad (4)$$

де j – щільність струму на поверхні катода, тобто на неізольованій поверхні графітової форми. Тут для зручності швидкість осадження позначена як похідна товщини шару h , що осаджується, за часом в формі Лагранжа. Електрохімічний еквівалент нікелю відповідно до (3) дорівнює

$$k = \frac{1}{96500} \frac{z - \text{екв}}{k/z - \text{екв}} \left(\frac{58,71}{2} \right) \frac{z}{z - \text{екв}} = 3,04 \frac{z}{k},$$

а щільність

$$\gamma = 8,9 \cdot 10^{-3} \text{ г/мм}^3.$$

Тоді (4) можна переписати у вигляді

$$\frac{dh}{dt} = 3,4 \cdot 10^{-2} \cdot j, \frac{\text{мм}}{\text{с}} \quad (5)$$

де щільність j підставляється в А/мм^2 , а розмірність множника при ній – $\text{мм}^3/(\text{А} \cdot \text{с})$.

Тепер, на підставі вищенаведеної інформації, можна розрахувати режим осадження нікелю. Одним з визначальних параметрів є щільність струму осадження. Для нормального протікання процесу рекомендується [13, 14] значення $j_{\text{опт}} = 10^{-4} \text{ А/мм}^2$. Як зазначалося вище, вільна площа осадження нікелю менше номінальної і змінюється з ростом товщини шару, що осаджується. Внаслідок цього при постійній силі струму в ланцюзі щільність струму змінна і її варіація значна. В ідеальному випадку слід підібрати програму зміни в часі сили струму так, щоб щільність була постійна і дорівнювала $j_{\text{опт}}$. На практиці АГП розбивається по глибині на кілька ділянок і в межах кожної з них забезпечується своє постійне значення струму. При цьому варіація щільності струму не повинна виходити за допустимі межі.

Сила струму I_i на ділянці АГП в межах глибини, скажімо, від h_{i-1} до h_i знаходиться з умови того, що середня на ділянці щільність струму дорівнює оптимальній рекомендованій:

$$j \equiv I_i \left(\overline{\frac{1}{S(h)}} \right) = j_{\text{опт}}, \quad (6)$$

де усереднення зворотної площі $S(h)$ проводиться по h . З (6) шукана сила струму на i -тій ділянці обчислюється як

$$I_i = \frac{j_{\text{опт}} S_0 (1 - K_V) (h_i - h_{i-1})}{\int_{h_{i-1}}^{h_i} \frac{dx}{1 - \frac{S_1}{S_0} n_c F(x)}}. \quad (7)$$

Тоді поточна щільність – як функція товщини осадженого шару – дорівнює

$$j(h) = \frac{I_i}{S_0 (1 - K_V) \left(1 - \frac{S_1}{S_0} n_c F(h) \right)}, \quad (8)$$

де параметри K_V і n_c , як зазначено в коментарях до (1), отримують значення в залежності від розглянутого інтервалу. Якщо варіація щільності (8) не перевищує граничних значень, інтервал глибин h і струм I_i обрані правильно. Другий найважливіший параметр процесу осадження нікелю – це час осадження t . Для i -тої ділянки:

$$t_i = \int_{h_{i-1}}^{h_i} \frac{dx}{\frac{dh}{dt}(x)} = \frac{S_0 (1 - K_V)}{3,4 \cdot 10^{-2} I_i} \int_{h_{i-1}}^{h_i} \left(1 - \frac{S_1}{S_0} n_c F(x) \right) dx. \quad (9)$$

Слід врахувати, що осадження нікелю відбувається на занурену в електроліт частку φ/π довжини направляючої внутрішньої поверхні графітової форми. Отже, час знаходження в гальванічній ванні збільшується в π/φ рази.

Авторами було експериментально підібрано інтервали глибин нікелю, що осаджується, і на яких призначені постійні значення струму осадження, а отже, – призначено наступні етапи зарощування. Перший етап – це етап, на

якому здійснюється осадження нікелю спільно з алмазним мікропорошком на графітову форму з попередньо закріпленим алмазним порошком основної фракції (400/315). Інтервал глибин – від 0 до h_1 . Другий етап починається з вилучення з внутрішнього об'єму графітової форми залишку технологічного запасу навіски алмазного мікропорошку – того залишку, що не закріпився на першому етапі нікелем, що осаджується. На другому етапі призначається сила струму, постійна до повного формування АГП, тобто до глибини h_2 . Другий етап поділяється на два підетапи: протягом першого – зерна основної фракції зарощуються до повної висоти (питоме число n_c тут нульове), а протягом другого, найтривалішого, – відбувається формування однорідного нікелевого шару по всій номінальній площі S_0 . Підсумкові розрахункові дані схематично представлені на рис. 4. Вони дають повну інформацію для призначення режимів зарощування нікелю при формуванні АГП з протекцією для правлячих роликів (гальванопластика).

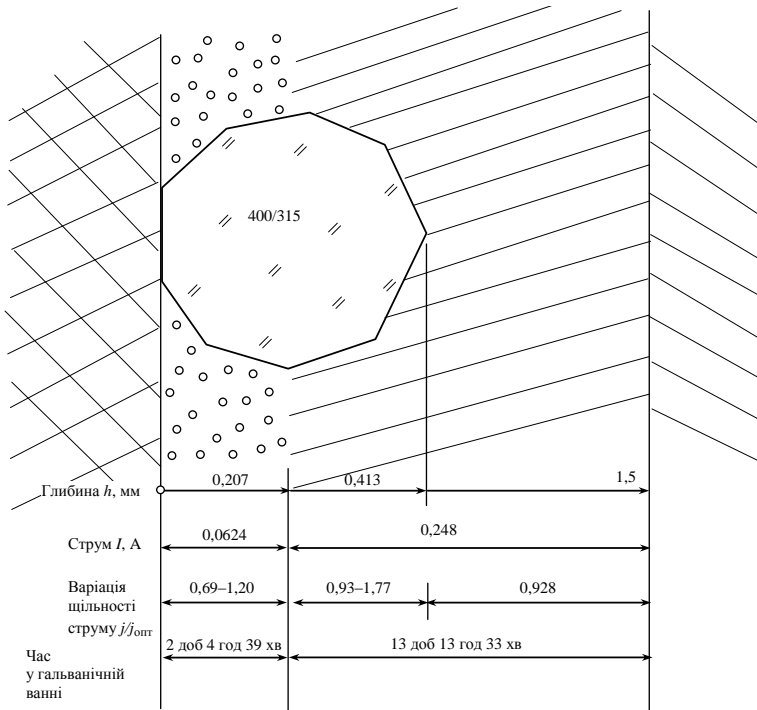


Рисунок 4 – Результати розрахунку параметрів режиму зарощування нікелю при формуванні АГП з протекцією

Результати реалізації цієї схеми і працездатність модернізованого правлячого інструменту мають позитивне значення, що буде висвітлено в наступній роботі.

Список використаних джерел: 1. *Коломиец В. В., Полупан Б. И.* Алмазные правящие ролики при врезном шлифовании деталей машин. – Киев: Наук. думка, 1983. – 144 с. 2. *Коломиец В.В., Полупан Б. И., Химач О. В.* Алмазный инструмент фасонного профиля. – К.: Наук. думка, 1992. – 176 с. 3. *Шейко М. Н., Мацкевич В. П. и др.* Эволюция рабочей поверхности алмазных брусков в процессе врезной правки // Сучасні процеси механічної обробки інструментами с НТМ и якість поверхні деталей машин: Зб. наук. робот (Серія Г "Процеси механічної обробки, верстати та інструменти") НАН України. INM ім. В. М. Бакуля. – Київ, 2006. – С. 118–125. 4. *Шейко М. Н., Бородавко Д. Н., Скок В. Н.* Эволюция рабочей поверхности алмазных правящих брусков на стадии, предшествующей ее разрушению // Сверхтвердые материалы. – 2007. – № 2. – С. 65–72. 5. *Губаревич Т. М., Чернухо Е. Л., Роценя А.И.* Алмазно-гальванический инструмент на никелевой связке, упрочненный ультрадисперсными алмазами // Инструментальный світ. – 2002. №1(13). – С. 18–20. 6. *Лавриненко В.И., Шейко М. Н. и др.* Влияние ионно-плазменных покрытий на эксплуатационные свойства алмазного правящего инструмента // Сверхтвердые материалы. – 2008. – № 6. – С. 73–80. 7. *Шейко М. Н., Бондарь И. В.* Кинетика гидроабразивного износа связки однослойного алмазного правящего инструмента с протекцией ионно-плазменными покрытиями // Высокие технологии в машиностроении и нормативно-техническое регулирование: Сб. XX международный научно-технический семинар ИНТЕРПАРТНЕР – 2012 – Алушта, 2012. – С. 316–323. 8. *Шейко М. Н., Скок В. Н., Лубнин А. Г.* Основные характеристики абразивно-алмазного слоя правящих инструментов // Сверхтвердые материалы. – 2007. – № 4. – С. 75–78. 9. *Шейко М. Н., Скок В. Н.* Форма зерен как фактор, определяющий параметры алмазно-гальванического покрытия правящего инструмента. Сообщение 1. Величина занижения корпуса инструмента под нанесение алмазно-гальванического покрытия методом гальваностегии // Сверхтвердые материалы. – 2015. – № 6. – С. 86–88. 10. *Шейко М. Н., Скок В. Н., Пасичный О. О.* Форма зерен как фактор, определяющий параметры алмазно-гальванического покрытия правящего инструмента. Сообщение 2. Фактическая площадь контакта зерен с графитовой формой и смежные характеристики как исходные для расчета режимов нанесения алмазно-гальванического покрытия методом гальванопластики // Сверхтвердые материалы. – 2016. – № 1. – С. 61–66. 11. *Шейко М. Н.* Форма зерен как фактор, определяющий параметры алмазно-гальванического покрытия правящего инструмента. Сообщение 3. Пространственная модель алмазного зерна – «бочка параболической и круговой клепки» // Сверхтвердые материалы. – 2016. – № 3. – С. 77–81. 12. *Кошкин Н. И., Ширкевич М. Г.* Справочник по элементарной физике. – М.: Наука, 1975. – 256 с. 13. *Лобанов С. А.* Практические советы гальванику. – Л: Машиностроение, 1983. – 248 с. 14. *Ямпольский А. М., Ильин В. А.* Краткий справочник гальванотехника. – Л: Машиностроение, 1981. – 269 с.

Bibliography (transliterated): 1. *Kolomiec V. V., Polupan B. I.* Almaznye pravjashhie roliki pri vreznom shlifovanii detalej mashin. – Kiev: Nauk. dumka, 1983. – 144 s. 2. *Kolomiec V.V., Polupan B. I., Himach O. V.* Almaznyj instrument fasonnogo profilja. – K.: Nauk. dumka, 1992. – 176 s. 3. *Shejko M. N., Mackevich V. P. i dr.* Jevoljucija rabochej poverhnosti almaznyh bruskov v processe vreznoj pravki // Suchasni procesi mehanichnoï obrabotki instrumentami s NTM i jakist' poverhni detalej mashin: Zb. nauk. robot (Serija G "Procesi mehanichnoï obrabotki, verstaty ta instrumenty") NAN Ukraini. INM im. V. M. Bakulja. – Kiiv, 2006. – S. 118–125. 4. *Shejko M. N., Borodavko D. N., Skok V. N.* Jevoljucija rabochej poverhnosti almaznyh pravjashhih bruskov na stadii, predshestvujushhej ee razrusheniju // Sverhtverdyje materialy. – 2007. – № 2. – S. 65–72. 5. *Gubarovich T. M., Chernuh E. L., Roshhenja A.I.* Almazno-gal'vanicheskij instrument na nikel'evoj svjazke, uprochnennyj ul'tradispersnymi almazami // Instrumental'nij svet. – 2002. №1(13). – S. 18–20. 6. *Lavrinenko V.I., Shejko M. N. i dr.* Vlijanie ionno-plazmennyh pokrytij na jekspluatacionnye svojstva almaznogo pravjashhego instrumenta

// Sverhtverdye materialy. – 2008. – № 6. – S. 73–80. **7.** Shejko M. N., Bondar' I. V. Kinetika gidroabrazivnogo iznosa svjazki odnoslojnogo almaznogo pravjashhego instrumenta s protekcijj jonno-plazmennymi pokrytijami // Vysokie tehnologii v mashinostroenii i normativno-tehnicheskoe regulirovanie: Sb. HH mezhdunarodnyj nauchno-tehnicheskij seminar INTERPARTNER – 2012 – Alushta, 2012. – S. 316–323. **8.** Shejko M. N., Skok V. N., Lubnin A. G. Osnovnye charakteristiki abrazivno-almaznogo sloja pravjashhih istrumentov // Sverhtverdye materialy. – 2007. – № 4. – S. 75–78. **9.** Shejko M. N., Skok V. N. Forma zeren kak faktor, opredel'jajushhij parametry almazno-gal'vanicheskogo pokrytija pravjashhego instrumenta. Soobshhenie 1. Velichina zanizhenija korpusa instrumenta pod nanesenie almazno-gal'vanicheskogo pokrytija metodom gal'vanostegii // Sverhtverdye materialy. – 2015. – № 6. – S. 86–88. **10.** Shejko M. N., Skok V. N., Pasichnyj O. O. Forma zeren kak faktor, opredel'jajushhij parametry almazno-gal'vanicheskogo pokrytija pravjashhego instrumenta. Soobshhenie 2. Fakticheskaja ploshhad' kontakta zeren s grafitovoj formoj i smezhnye charakteristiki kak ishodnye dlja rascheta rezhimov nanesenija almazno-gal'vanicheskogo pokrytija metodom gal'vanoplastiki // Sverhtverdye materialy. – 2016. – № 1. – S. 61–66. **11.** Shejko M. N. Forma zeren kak faktor, opredel'jajushhij parametry almazno-gal'vanicheskogo pokrytija pravjashhego instrumenta. Soobshhenie 3. Prostranstvennaja model' almaznogo zerna – «bochka parabolicheskij i krugovoj kleпки» // Sverhtverdye materialy. – 2016. – № 3. – S. 77–81. **12.** Koshkin N. I., Shirkevich M. G. Spravochnik po jelementarnoj fizike. – M.: Nauka, 1975. – 256 s. **13.** Lobanov S. A. Prakticheskie sovety gal'vaniku. – L: Mashinostroenie, 1983. – 248 s. **14.** Jampol'skij A. M., Il'in V. A. Kratkij spravochnik gal'vanotehnika. – L: Mashinostroenie, 1981. – 269 s.