

**ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ МЕТОДІВ ВІДНОВЛЕННЯ ЗНОШЕНИХ ПОВЕРХОНЬ ЧАВУННИХ ВАЛКІВ ПРОКАТНИХ СТАНІВ НА ЇХ ДОВГОВІЧНІСТЬ**

Проаналізована мікроструктура поверхневого шару чавунних валків прокатних станів на різних стадіях: зношення, відновлення зношених поверхонь та мікроплазмове зміцнення, з метою забезпечення їх довговічності.

**Проблема і її зв'язок з науковими і практичними завданнями.** За останнє десятиріччя проблема підвищення надійності машин і механізмів придбала виключно важливе значення. Найбільш актуальна ця проблема для таких галузей промисловості, як машинобудівна та металургійна, в яких устаткування працює в складних умовах дії високих температур і навантажень.

Задача зниження експлуатаційних витрат на ремонт прокатних станів може бути вирішена перш за все шляхом збільшення ресурсу найвідповідальніших деталей, які швидко зношуються. Підвищення довговічності деталі особливо важливе, якщо від неї залежить робота високопродуктивного агрегату, а її заміна пов'язана з простим. Наприклад, на станах кварто холодної прокатки тонкої жерсті зміна робочих валків проводиться через кожні 3-4 год їх роботи, причому на цю операцію потрібно 10-15 хв., протягом яких стан не працює. Зміна валків на інших станах проводиться значно рідше (через 1 зміну або навіть декілька діб), проте в цих випадках вона вимагає більшого часу, оскільки пов'язана з трудомісткими операціями (наприклад, для зміни валків блюмінга потрібно 1-1,5 год).

Підвищення строку служби чавунних валків (рис. 1) можливо за рахунок відновлення зношених робочих поверхонь. Проблема полягає в складності дотримання структури матеріалу, з якого виготовлені валки - чавунів СШХН-50 та СПХН-69 при впливі температури.

**Аналіз досліджень та публікацій.** Разом з традиційними методами зміцнення, такими як термічна, хіміко-термічна обробка, застосовуються методи нанесення покриттів напилюванням з використанням високотемпературних джерел нагріву. До їх числа відноситься напилювання плазмове, газополум'яне, детонаційне, іонно-плазмове, високочастотне і наплавлення під шаром флюсу. Для напилювання і наплавлення використовують різні порошкові і дротяні матеріали, у тому числі металеві, керамічні, металокерамічні, металополімерні композиції. Застосовуючи такі покриття, можна в більшості випадків добитися підвищення довговічності деталей, які швидко зношуються, в 2-8 разів. За останній час набули широке поширення методи, засновані на використуванні локальних високотемпературних джерел нагріву, до яких перш за все можна віднести лазерний, електронно-променевий, плазмовий і мікроплазмовий [1].

**Постановка завдання.** Валки СПН-69, СШХН-50 використовуються для чорнових клітей проволочних, дрібно- і середньосортних трубпрокатних і заготівельних станів [2]. Робота валка розрахована на роботу протягом 20 років. Але при умові безперервного стирання їх металом при прокатці, з великими динамічними навантаженнями на них, при великих швидкостях ковзання по металу, а іноді при високій і різко змінній температурі строки експлуатації скорочуються. Визначені шляхи подовження строки служби - переточування, перешліфовування при зменшенні розмірів, наплавлення при витримуванні розмірів і мікроплазмове зміцнення.

**Викладення матеріалу та результати.** Леговані чавунні валки застосовуються для сортових, рельсобалочних, товстолистових і тонколистових станів гарячої прокатки і іноді як опорні валки на станах квартохолодної прокатки. В якості легуючих домішок застосовуються хром, нікель і молібден. Ці валки мають достатню міцність і добрий опір зносу. Хімічний склад та твердість чавунних валків представлено в табл. 1.

Чавуни	Хімічний склад та твердість чавунних валків			Твердість по Шору, HSD
	Хімічний склад, %			
	C	Mn	Si	
СПХН-69	2,7-3,9	0,4-0,8	0,3-0,6	65-75
СШХН-50			1,5-2,6	50-62

Мікроструктура поверхневого шару зношеного чавунного валка має вигляд: дендритні кристали орієнтовані по нормах до робочої поверхні, що сприяє підвищенню зносостійкості. Розповсюдження тріщин термічної втомленості йде переважно по перлітових ділянках. Тріщин дуже багато, але глибина їх проникнення не перевищує 1 мм (рис. 2).

Мікротвердість визначали за допомогою приладу ПМТ-3 при навантаженні 1 Н і часу експозиції 5 с. Мікродослідження проведене на мікроскопі МИМ-7 з TUCSEN камерою 5.0 МРіх, показало, що на відстані 3,5 мм від поверхні метал має структуру перлітово-карбідну з невеликою кількістю округлих частинок графіту (велика частина вибіленого шару знята при переточуваннях і зношуванні) (рис. 3).

Біля поверхні на відстані до 1 мм в глибину, структура білого чавуну зазнає великих змін. Під впливом наклепу і нагрівання відбувається графітизація. Ділянки цементиту виявляються розділеними виділеними пластинками графіту. Графіт виділяється по поверхнях зсувів. Мікротвердість перліту - 3860 МПа, цементиту - 11000 МПа.

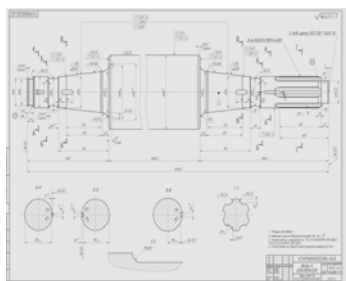


Рис. 1. Валок прокатного стану

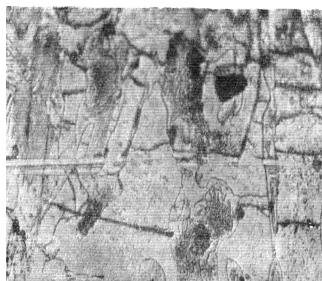


Рис. 2. Мікроструктура поверхні зношеного валка Збільшення 450

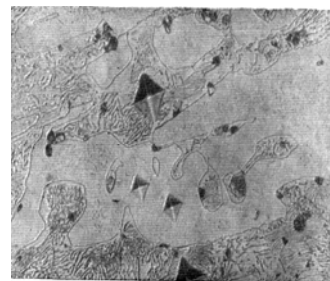


Рис. 3. Мікроструктура на відстані 3,5 мм від поверхні валка. Збільшення 450

Спостерігається схоже орієнтування графіту у всіх кристалах: пластинки його розташовуються переважно перпендикулярно осі дендритного кристалу і паралельно робочій поверхні. Виділення частини вуглецю у вигляді графіту призводить до відповідного зниження твердості сусідніх ділянок цементиту. Результати дослідження мікротвердості структурних складових чавуну СПХН-69, СШХН-50 на відстані 3,5-3,7 мм від поверхні представлені в табл. 2.

Таблиця 2

Відстань від поверхні, мм	Перліт		Цементит		Цементит поблизу пластинок графіту	
	окремі значення	середнє	окремі значення	середнє	окремі значення	середнє
3,5-3,7	3860; 3770; 3980	3850	12250; 11000; 13500	11900	–	–

Дані таблиці показують, що твердість перліту і незміненого цементиту залишається практично постійною, твердість розчину заліза в цементиті знижується майже удвічі біля робочої поверхні валка.

Пластинки графіту, що виділяється по площинах зсувів, орієнтовані уперек тріщин термічної утомленості. Це сприяє відділенню і викришуванню дрібних частинок цементиту і попереджає глибинне виривання. Після викришування на робочу поверхню потрапляє графіт, який служить мастилом та перешкоджає зчепленню при терті.

Висока зносостійкість чавунних валків обумовлена не тільки високою твердістю цементиту, але і характером структурних змін, що відбуваються в процесі зношування - своєрідної графітизації в поверхневому шарі. Перлітова складова чавуну не зазнає особливих змін.

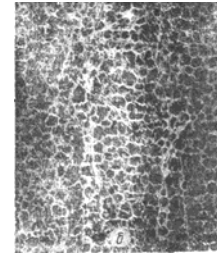
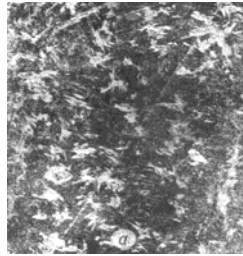
Для відновлення зношених поверхонь чавунних валків запропонований такий метод покращення експлуатаційних властивостей чавунних валків, як наплавлення під шаром флюсу.

Наплавлення валків проводилось на спеціалізованій вальценаплавлювальній установці КЖ-9704 (рис. 4). Перед наплавленням валки нагрівались газовими пальниками до температури

280-320°C. Рівномірність нагрівання забезпечувалась за рахунок обертання валка і одночасній установці чотирьох пальників, що розташовані по всій довжині відновлюваної ділянки. Нагрівання виконувалось впродовж 8-12 годин.



**Рис. 4.** Процес наплавлення валка



**Рис. 5.** Структура наплавленого чавуну: *a* - при малій швидкості охолодження, твердість 41 HRC; *б* - при більшій швидкості охолодження, твердість 49 HRC

Контроль температури нагрівання валків проводився приладом ТТ-Ц016. Температура контролювалась 2-3 рази впродовж зміни на відстані 100 мм від наплавляємої ділянки валка. Відновленню наплавленням підлягали дно і виступи калібрів, при необхідності бочка валка.

При наплавленні без підігріву твердість наплавленого чавуну досягає 49 HRC, при наплавленні з високим підігрівом вона складає близько 41 HRC.

Після закінчення наплавлення валок знову підігрівали до 390-400 °С, після чого укладали в термоізолюваний короб або піч для сповільненого охолодження до 60 °С для зняття внутрішніх напруг. Для зняття зварювальних напруг валки підлягають термообробці - відпалу. Режим наплавлення валків в залежності від діаметру дроту вибираються із табл. 3.

Таблиця 3

Режими автоматичного наплавлення валків

Діаметр дроту, мм	Режими наплавлення				
	сила струму, А	напруга, В	швидкість подачі дроту, м/год	швидкість наплавлення м/год	температура підігріву, °С
4,0	380-550	24-32	65-95	20-35	280-320

Валок, що охолонув, обробляли на вальцетокарному верстаті. Дослідженнями встановлено, що найбільша ефективність наплавлення досягається тоді, коли зносостійкість і корозійна стійкість наплавленого металу вище зносостійкості основного металу.

У результаті застосування наплавлених валків на металургійному комбінаті їх стійкість підвищена на 11 %. Стійкість наплавлених чавунних валків в 6-8 разів вище стійкості сталевих незагартованих і в 3-6 разів більше стійкості сталевих загартованих валків. Зменшені витратні коефіцієнти, збільшена продуктивність прокатних станів, одержано значний економічний ефект.

При дослідженні мікроструктури наплавленого чавунного валка було виявлено, що глибоке прогрівання призводить до порушення структури чавуна [3].

Також недоліками є:

1. Холодні тріщини звичайно розташовуються поперек наплавлення, часто поглиблюються в чавун. Причини - недостатнє нагрівання валка перед наплавленням, підстужування, швидке охолодження після наплавлення або під час термічної обробки.

2. Гарячі тріщини розташовуються вздовж наплавленого валка часто розгалужуються і знаходяться в наплавленому металі. Причини - недостатній підігрів валка перед наплавленням, велика глибина проплавлення у першому шарі, занадто великий струм при наплавленні першого шару або занадто великий крок наплавлення першого шару і в результаті підвищений перехід вуглецю із чавуна в наплавлений метал.

3. Поява пор в наплавленому металі обумовлюється попаданням в зону дуги речовин, які містять мастило, іржу, вологу, поганим захист дуги флюсом, високою напругою дуги.

4. Утворення шлакових включень, наявність у флюсі сторонніх домішок.

Для забезпечення оптимальної структури чавуна були проаналізовані такі методи:

переточування і перешліфовування;

напилювання плазмове, газополум'яне, детонаційне, іонно-плазмове;

електроерозійне зміцнення;

лазерне зміцнення;

мікроплазмове зміцнення.

Після детального аналізу цих методів був запропонований такий метод продовження експлуатаційних властивостей чавунних валків, як мікроплазмове зміцнення (рис. 6). До переваг цього методу слід віднести локальність нагрівання і високу концентрацію теплової енергії в зоні нагрівання, захист металу, який оброблюється, від окислення, а також відносну простоту і порівняно низьку початкову вартість апаратури.

Під зміцнення до валків пред'являють ряд вимог, наприклад: валки повинні бути відкалібровані на вальцетокарному верстаті, валки передчистових груп не повинні мати сітки розпалу. Перевіряється стан центрових отворів прокатного валку, так як поганий центровий отвір призводить до "радіального биття" бочки валка, що позначається на стабільності роботи плазмової дуги і якості зміцнюваного шару.

Зміцнюваний шар формується при обробці мікроплазмовою дугою з послідовним формуванням кільцевої доріжки для одного "руч'я" від його країв до середини, а для сусіднього - від середини до країв.

Стиснення дуги звичайно досягається інтенсивним її охолодженням аксіальним, радіальним або вихровим потоком газу, а також рідиною. Обжимання стовпа дуги дозволяє значно стабілізувати анодну пляму, зменшивши її переміщення по оброблюваній поверхні, значно підвищити густину енергії в анодній плямі.

При обробці мікроплазмовою дугою в режимі оплавлення можливо виділити зони (рис. 7):

перша зона - оплавлення, яка складається із структури дрібнодисперсного ледебуриду, ділянок із аустеніту, що розплавився, і мартенситу;

друга зона - перехідна, яка складається із дрібнодисперсного ледебуриду, який утворюється на місці цементиту і навколо графітових включень;

третья зона - загартування на мартенсит;

четверта зона - часткових фазових перетворень.

Геометричні розміри зон залежать від технологічних параметрів зміцнення і виконання чавуна. При зміцненні з нагріванням до температур загартування з твердо-рідкого стану поверхні в структурі присутні останні три зони. Обробка мікроплазмовою дугою, яка забезпечує зміцнення з твердого стану поверхні, обумовлює утворення двох останніх зон.

Результати дослідження структури поверхневого шару чавунного валка після мікроплазмового зміцнення показали, що зміцнюючий ефект досягається в результаті подрібнення (до розмірів 5 мкм) перлітових утворень проти вихідного 50-60 мкм, підвищеної щільності дефектів кристалічної будови, утворення дрібнодисперсного мартенситу і ледебуриду (рис. 8).

Розрахунки показують, що максимальна глибина зміцненого шару з оплавленням і без оплавлення поверхні відповідно дорівнює 1,4 і 1,0 мм. При цьому твердість оплавленої поверхні досягає 85-90 HSD, а без оплавлення 80-85 HSD.

Мікротвердість оплавлених покриттів визначали за допомогою приладу ПМТ-3 при навантаженні 1 Н і часу експозиції 5 сек.

Рентгенівський фазовий аналіз показав наявність в поверхневому зміцненому шарі  $\alpha$ -Fe,  $\gamma$ -Fe (аустеніт) і карбідів Fe<sub>3</sub>C. Найбільша кількість аустеніту спостерігається в першій зоні. В процесі експлуатування чавунних валків поверхневий шар металу розігрівається на глибину 0,2 мм до температур близько 300 °С (дрібносортні чавунні валки чистових груп) і знаходиться під дією знакоперемінних термічних і механічних навантажень. Зміни твердості зон зміцнення після відпускання від температур 300° показують, що мікротвердість першої і другої зони збільшується на 10-15%, а третьої і четвертої зменшується на 5-20%. Отже, при мікроплазмовому зміцненні утворюється структура з високим ступенем стабільності проти відпускання.

Збільшення мікротвердості корелює з збільшенням параметру решітки аустеніту.

Промислові дослідження зміцнених чавунних валків передчистових і чистових груп клітей дрібносортичних станів показали збільшення напрацювання на калібр в 1,3-1,5 рази по порівнянню з чавунними валками поточного виробництва. Збільшення напрацювання пояснюється структурними змінами, які відбуваються після мікроплазмової обробки валкових матеріалів.

Зміцнення бочки валків гарячої прокатки із матеріалу СШХН і СПХН проводиться середньо вуглецевими хромистими матеріалами з твердістю робочої поверхні 53-57HRC. Дана технологія дозволяє збільшити стійкість валків в 4,5 рази.

**Висновки та рекомендації.** Переваги, які досягаються при відновленні чавунних валків наплавленням і мікроплазмовим зміцненням:

Створюється свій парк валків з постійним максимальним діаметром, що дозволяє зберігати на весь період експлуатації оптимальні умови прокатки;

Підвищується стійкість прокатних валків, отже, скорочується кількість перевалок, покращується якість прокату (завдяки малому зносу калібрів); зносостійке наплавлення в 5-6 раз більш ефективні, ніж пряме відновлення калібрів;

Збільшується загальний строк служби прокатних валків;

З'являється можливість регулювати твердість і склад шару, що наплавляється.

Структура зміцненого шару, що характеризується високою дисперсністю, аномально великою твердістю, зниженою хімічною активністю впливає на експлуатаційні характеристики зміцнених матеріалів - зносостійкість, фрикційні властивості, механічні характеристики, теплостійкість, величину і характер розподілу залишкових напруг.

Таким чином при зміцненні з застосуванням високотемпературних джерел нагрівання зношених поверхонь чавунних валків їх строк служби за даними заводської практики підвищується в середньому на 27%.

Отже, відновлення зношених поверхонь чавунних валків наплавленням і мікроплазмовим зміцненням збільшує їх довговічність.

#### *Список літератури*

1. Мерзляков В.И. Обработка и ремонт прокатных валков. – М.: Metallurgizdat., 1957. – 224 с.
2. Технические условия ТУ У 27.5-24432974-001-2003. Валки сортопрокатные литые чугунные.
3. Мерло О.Э. Качество чугунных прокатных валков. – М.: Metallurgiya, 1966. – 246 с., ил.
4. Микроплазменная сварка/Под ред. Б.Е. Патона. – Киев: Наук. думка, 1979. – 245с.
5. Кобяков О.С., Гинзбург Е.Г. Использование микроплазменного нагрева в процессах упрочняющей технологии // Автоматическая сварка. – 1985. – № 5. – 65-67с

Рукопис подано до редакції

УДК 621.11.002 (075)

М.В. КІЯНОВСЬКИЙ, доктор техн. наук, проф., С.О. ІВАСЮК, магістрант  
ДВНЗ «Криворізький національний університет»

### **ДОСЛІДЖЕННЯ (ВИЗНАЧЕННЯ) ДОПУСТИМИХ ТЕХНОЛОГІЧНИХ НАВАНТАЖЕНЬ ПРИ ОБРОБЦІ НЕЖОРСТКИХ ДЕТАЛЕЙ**

**Проблема та її зв'язок з науковими та практичними завданнями.** До нежорстких відносять вали, відношення довжини до діаметру яких більше 10. При обробці таких валів вони прогинаються під дією ваги і сил різання, що суттєво затрудняє процес їх обробки. Основні складнощі полягають головним чином у тому, що навіть при невеликих силах різання пружна система легко деформується і при цьому виникають значні похибки обробки. Для запобігання цих шкідливих явищ на практиці застосовують різні міри. Для підвищення жорсткості оброблюваної деталі встановлюють додаткові опори у вигляді рухомих та нерухомих люнетів. Також часто виникає необхідність різко знизити режими різання за рахунок зменшення швидкості і глибини різання. Однак в багатьох випадках зазначені міри знижують продуктивність і можуть давати незадовільні результати такі, як бочкоподібність, невідповідність отриманих розмірів заданим і т.ін. Це, в свою чергу, вимагає здійснення додаткових проходів різцем з надмалими глибинами різання, а інколи навіть застосовують ручне спилування.

Величина пружних деформацій залежить також від ступеню затуплення ріжучих інструментів і їх геометрії. При затупленні ріжучого інструменту сила різання зростає, і її радіальна складова може досягати двократного підвищення. В такій же мірі підвищується величина радіальної пружної деформації і пов'язана з цим похибка. З геометричних елементів ріжучих інструментів на величину пружних деформацій найбільш суттєво впливає головний кут в плані і