

Л.А.Шевченко, В.В.Зелинська, Л.Т.Жупінська,
Л.Т.Холявченко, С.Л.Давидов

ОЧИСТКА СМУГОВОГО ПРОКАТУ ВІД ОКАЛИНИ НИЗЬКОТЕМПЕРАТУРНОЮ ПЛАЗМОЮ

*Інститут чорної металургії НАН України,
Інститут геотехнічної механіки НАН України*

Метою роботи є дослідження можливості використання низькотемпературної плазми для видалення окалини з поверхні смугового прокату. Визначено технологічні параметри плазмового очищення поверхні сталей від окалини та ефективність її використання. Показано, що плазмове очищення, на відміну від хімічної, не потребує витрат на хімічні матеріали, приготування розплавів, розчинів і знешкодження спрацьованих матеріалів. Енергоємність плазмового очищення значно нижча енергоємності хімічної очищення.

Низькотемпературна плазма, окалина, смуговий прокат, технологічні параметри, ефективність.

Сучасний стан проблеми та постановка завдання. Сучасна тенденція розвитку принципів очищення смугового і листового прокату від окалини передбачає відхід від хімічних процесів, які вимагають значних капітальних витрат на спорудження засобів для знешкодження та утилізації кислотних стоків, і застосування яких супроводжується шкідливими умовами праці та постійним погіршенням екологічної обстановки.

Сучасні критерії і вимоги до стану навколишнього середовища віддають перевагу безкислотним технологіям, серед яких привертають увагу фізичні методи видалення окалини. Фізичні методи – відносно новий напрямок у розвитку процесу очищення. Одним із фізичних методів є використання низькотемпературної плазми для очищення поверхні сталі від окалини. Механізм плазмового очищення наступний. Електричний розряд утворює на електродах джерела тепла високої енергії, розподілені в області обмеженого простору – в зоні опорної плями дуги. У цій зоні утворюється висока щільність енергії. Зона енергії високої щільності переміщується вздовж поверхні, здійснюючи очистку її від окалини.

Попередніми дослідженнями [1,2] встановлена принципова можливість і запропоновані технологічні параметри очищення катанки низькотемпературною плазмою. Дослідження проводились сумісно з Інститутом геотехнічної механіки НАН України з використанням

експериментального зразка модуля, створеного для плазмового очищення катанки.

Метою роботи є дослідження можливості використання низькотемпературної плазми для видалення окалини з поверхні смугового прокату.

Викладення основних результатів дослідження. Процес плазмового очищення від окалини катанки і плоского прокату має суттєві відмінності, які визначаються відмінностями у структурному, якісному і кількісному складі окалини на поверхні, а також – у значній мірі – геометричною формою оброблювального матеріалу. Геометрія плоского прокату потребує іншої, більш складної конструкції модуля плазмової очищення.

Принципова різниця процесів очищення смуги і катанки полягає у наступному. Схематично видалення окалини з поверхні катанки є процес очищення циліндра безкінечної довжини. Обробка при цьому відбувається обертанням плазмотрона у спеціальному режимі по колу оброблюваної катанки. Обробка плоского прокату (смуги) здійснюється поступальним проходженням дуги (скануванням дуги) вздовж поверхні смуги у напрямку, перпендикулярному її механічному переміщенню.

З урахуванням досвіду опробування експериментального стенду для очищення плазмою катанки від окалини, результатів попередніх досліджень у цьому напрямку та особливостей структурного і кількісного розподілу окалини та оксидної плівки на поверхні смугового прокату виготовлено, змонтовано і проведено випробування експериментального стенду. У конструкцію робочого органу експериментального стенду покладено концепцію, основою якої є створення за допомогою сканера коливань на поверхні смуги, що підлягає очистці, при нерухомій катодній плямі. При розробці та проектуванні експериментального стенду для очищення смугового прокату від окалини використано метод руйнування плівки окалини скануючою плазмовою дугою прямої дії, яка переміщується по поверхні металу з деякою регульованою швидкістю. За рахунок великої щільності енергії в зоні опорної плями дуги (10^5 – 10^6) Вт/см², відбувається плавлення, відшарування та часткове випарювання окалини.

Структурна схема експериментального стенду приведена на рис.1, 2. Основними чинниками плазмового руйнування окалини є фізико-хімічні, структурні і кількісні характеристики окалини: склад окалини (гематит, вюстит, магнетит), її кількість, товщина, температура плавлення. Відмінності у складі окалини, нерівномірність розподілу вздовж ширини і довжини; початку, середини і кінця смуги; залежність від марки сталі, технологічних параметрів прокату накладають свій значний відбиток на технологію обробки.

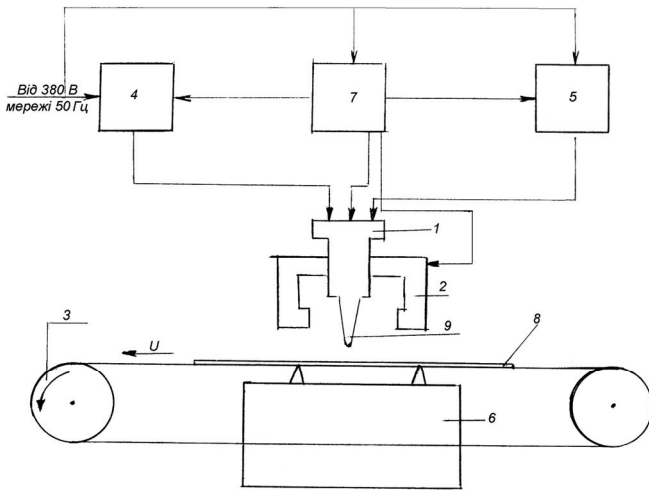


Рис.1. Структурна схема експериментального стану для плазмового очищення смугового і листового прокату від окалини. 1 – плазмотрон; 2 – сканер; 3 – транспортний пристрій для транспортування прокату; 4 – блок живлення плазмотрону; 5 – компресор; 6 – робочий стіл стану; 7 – шафа управління та контролю; 8 – смуга, лист прокату; 9 – дуга

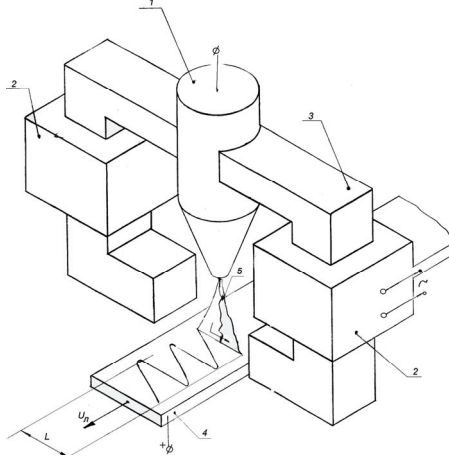


Рис.2. Схема пристрою для обробки смугового і листового прокату низькотемпературною плазмою 1 – плазмотрон; 2, 3 – котушка та магнітне залізо електромагнітного сканера; 4 – оброблювана смуга; 5 – плазмова дуга

В межах роботи досліджено і визначено характеристики окалини для сталей 08пс, 08Ю, 10сп товщиною 2,3; 2,5; 3,0; 3,5; 4,2 мм і шириною 1260; 1290; 1310 мм з температурою змотування 650; 680; 750⁰С. При проведенні цих досліджень встановлено наступні закономірності. Окалина

на поверхні окремої конкретної смуги поза залежності від марки сталі, товщини смуги і температури змотування розподіляється наступним чином. Вздовж ширини смуги: кількість окалини в середині смуги однакова до відстані від краю смуги, рівної приблизно 200 мм. На відстані, приблизно рівній 200 мм від обох країв смуги, кількість окалини збільшується на 10–50% у залежності від марки сталі, температури змотування. У середині смуги окалина складається із вюститу FeO , магнетиту Fe_3O_4 і незначної кількості металевого заліза (продукту розпаду вюститу). Переважаючою фазою є вюстит. На краях смуги окалина складається із товстого шару магнетиту Fe_3O_4 і тонкого шару гематиту Fe_2O_3 . Вздовж довжини смуги кількість окалини збільшується на 20–30% у напрямку від головної частини до хвостової. Окалина на поверхні смуги головної частини складається, в основному, із магнетиту і вюститу, з незначними домішками гематиту (кількість складових варіюється у залежності від температури змотування). Окалина середньої частини смуги складається із магнетиту, вюститу і металевого заліза, хвостової частини – із магнетиту, вюститу, гематиту і металевого заліза (кількість останнього зменшується зі зменшенням температури змотування).

Залежність розподілу окалини від товщини і ширини смуги, марки сталі, температури змотування наступна. Зі збільшенням товщини смуг кількість окалини на поверхні смуги зростає, але кількісні і структурні закономірності її розподілу вздовж ширини і довжини смуги зберігаються. Зі збільшенням температури змотування кількість окалини збільшується; збільшується відсотковий вміст гематиту. Змін у складі окалини для смуг різної ширини не встановлено.

Використання механічного зламу окалини найбільш ефективно для головної і хвостової частин смуги. Для середньої частини всіх досліджених смуг ефективність механічного руйнування окалини менша. Однією з характеристик окалини, яка є важливою для плазмового очищення є її температура плавлення. У табл.1 показано, що найбільш тугоплавкі оксиди заліза є магнетит і гематит, а температура плавлення вюститу майже на 200°C нижча. Враховуючи той факт, що в окаліні вуглецевих сталей переважає вюстит, то усереднену температуру плавлення окалини приймають близькою до $1370\text{--}1375^\circ\text{C}$.

Важливою характеристикою окалини є температура початку розм'якшення її шарів (тобто, пластичність оксидних складових). Найбільш пластичним є вюстит, найменш – гематит. Початок розм'якшення вюститу відповідає інтервалу температур $800\text{--}820^\circ\text{C}$. Чим більший вміст вюститу в окаліні, тим вона має більшу пластичність. Зростання вмісту вуглецю у сталі викликає зниження пластичності вюститу, тобто пластичність вюститу для різних марок сталі буде різною.

Принциповою характеристикою для процесу плазмового очищення є міцність зчеплення окалини з металом. Для вуглецевих сталей відрив окалини від основного металу на межі вюстит – метал здійснюється до

температури 1070–1090⁰С. Найменш міцним у більшості випадків є контакт між вюститом і магнетитом. Різні оксидні складові окалини мають також і різні механічні властивості.

Таблиця 1. Температура плавлення оксидів, які входять у склад окалини вуглецевих сталей [3]

Оксиди	Температура плавлення, ⁰ С
FeO	1368–1770
Fe ₃ O ₄	1527–1600
Fe ₂ O ₃	1562–1590

Із літератури відомо, що між опором відриву або зсуву окалини і її товщиною існує прямо пропорційна залежність (дані тільки для «товстого» шару окалини, починаючи з 0,2 м). Інтерполяцією цих даних, попередніми дослідженнями ІЧМ процесу плазмового очищення катанки та з логіки передбачуваного процесу очищення смуги можна очікувати, що і для випадку відриву окалини менших товщин для смугової сталі буде діяти та ж залежність: чим товща окалина (і більша її кількість), тим важчим буде її відрив від поверхні.

Загалом, з огляду на досліджені характеристики окалини вимальовується наступна загальна картина режимних характеристик процесу плазмового очищення поверхні смуг як кожної окремо, так і всього спектру смугового прокату, що підлягає очистці. Режимні показники очищення (сила струму плазмової дуги, напруга дуги, індукція магнітного поля соленоїда тощо) будуть різними вздовж ширини смуги, а саме: на краях смуги їх значення буде більшим, ніж всередині (через більшу кількість окалини, відсутності вюститу та наявності гематиту і більшого відсотку гематиту з більш високими температурами плавлення, ніж у вюститу).

Вздовж довжини смуги режимні показники будуть зростати у напрямку з головної частини до хвостової приблизно на 20–30% у зв'язку зі збільшенням кількості окалини. Крім того, у хвостовій частині показники процесу дещо збільшаться у зв'язку з наявністю тугоплавкого гематиту і зменшенням відсотку вюститу. Застосування механічного руйнування окалини повинно зменшити параметри плазмового очищення, особливо у хвостовій і головній частині, тому що зламування окалини є ефективним для хвостової і головної частини смуги.

Отримані експериментальні дані плазмового очищення дослідження сталей наведено в табл.2.

Таблиця 2. Експериментальні дані плазменної обробки поверхні смугового прокату

№	Напруга дуги, В	Сила струму дуги, А	Потужність плазмотрону, Р, кВт	Сила струму сканера, А	Відстань від сопла до поверхні металу, м	Величина магнітного зазору сканера, м	Діаметр сопла (вихідний) м	Швидкість переміщення модуля вздовж поверхні прокату, м/с	Ширина обробки (сканування дуги), м	Ступінь видалення окислини, %
1	100	220	22	10	0,03	0,03	0,002	0,05	0,064	100
2	105	210	22,05	10	0,03	0,03	0,003	0,05	0,06	100
3	100	220	22	10	0,03	0,03	0,003	0,07	0,06	100
4	100	220	22	10	0,03	0,03	0,003	0,1	0,06	95
5	140	110	15,4	10	0,03	0,02	0,002	0,05	0,03	30-40
6	140	100	14	10	0,03	0,02	0,002	0,03	0,04	60
7	145	90	13	10	0,035	0,02	0,003	0,02	0,04	80
8	115	190	21,8	10	0,035	0,03	0,002	0,05	0,05	90-95
9	115	190	21,8	10	0,04	0,03	0,003	0,05	0,05	50-60
10	115	190	21,8	10	0,04	0,03	0,002	0,04	0,05	80

В результаті виконаних досліджень визначені основні раціональні режимні, технологічні і енергетичні характеристики модуля і процесу плазмового очищення прокату від окалини, оксидної плівки:

потужність плазмотрону, кВт	– 20–25;
сила струму, А	– 190–220;
витрати плазموутворюючого газу, м ³ /г	– 1,5;
відстань від зрізу сопла до поверхні, м	– 0,3–0,35;
величина магнітного зазору сканера, м	– 0,3;
індукція магнітного поля сканера, Тл	– 0,05–0,08;
амплітуда коливання дуги, м	– 0,04–0,06;
швидкість переміщення смуги шириною 0,04–0,1 м, м,с	– 0,07–0,1;
енергоємність процесу обробки, кВт–г/м ²	– 0,7–1.

В межах даної роботи проведена оцінка ефективності використання низькотемпературної плазми для видалення окалини з поверхні смугового прокату. Оцінка ефективності використання кожної технології при отриманні задовільних якісних характеристик очищеної поверхні базується на оптимальному співвідношенні її продуктивності і витратних показників процесу – енергоємності, вартості використаних для реалізації процесу матеріалів та інше. Розрахунки на основі досліджень плазмового очищення на експериментальному стенді показали, що при обробці прокату товщиною 2–5 мм продуктивність плазмового очищення складе 0,3–1,4 т/год у залежності від товщини оброблювальної смуги.

Для підрахунку річної продуктивності плазмового очищення за середньорічну кількість робочих годин візьмемо величину у 6800 – 7000 годин: саме такою є річна кількість робочих годин діючих установок очищення прокату від окалини травленням. Розрахункова річна продуктивність одного модуля плазмового очищення при обробці прокату товщиною 2–5 мм складе приблизно 2,2–9,5 тис.т залежно від його товщини. Загальну продуктивність установки плазмового очищення кожне конкретне підприємство буде визначати для себе окремо. Досягнення продуктивності, потрібної даному виробництві, можна буде регулювати кількістю модулів очищення у складі агрегату (установки) плазмового очищення.

Порівняльні техніко–економічні показники плазмового і хімічного способів очищення наведені у табл.3. За попередніми підрахунками енергоємність процесу плазмового очищення становить 0,7–1,0 кВт–год/м².

При використанні плазмового очищення витрати на знешкодження відходів незначні: утилізації підлягають тільки відокремлена окалина і повітря, використане для продування камери горіння.

Пробні експерименти свідчать, що в результаті проведеного комплексу досліджень якісні показники поверхні листової сталі після очищення будуть відповідати жорстким сучасним вимогам.

Таблиця 3. Техніко–економічні показники плазмового і хімічного очищення прокату від окалини

Найменування та одиниця виміру*	Значення техніко–економічних показників	
	хімічної очищення	плазмове очищення
Матеріали:		
1. Соляна кислота, кг/т	4,2	–
2. Вода, м ³ /т	36,0	0,4
3. Інгібітор, кг/т	0,02	–
Енергетичні витрати, %	100	70
Обслуговуючий персонал, %	100	30
Екологічні показники:		
спрацьовані травильні розчини, м ³ /т	0,06	–
спрацьовані знежирювальні розчини, м ³ /т	0,07	–
спрацьовані декапірувальні (кислотні) розчини, м ³ /т	0,03	–
промивні води, м ³ /т	7,2	0,1
Витрати на регенерацію спрацьованих розчинів, %	100	–
Витрати на регенерацію і утилізацію стічних вод, %	100	–
Кошти при спорудженні нових установок очищення, витрачені на:		
1. Склади зберігання реагентів, %	100	–
2. Споруди для приготування розчинів, %	100	–
3. Споруди для регенерації спрацьованих розчинів, %	100	–
Вартість очищення 1 т прокату, %	100	70

*Окрім показників наведені у відсотках: для діючої технології їх значення умовно прийнято 100%, для нової – у відсотках по відношенню до діючої технології.

Висновки. В процесі проведення досліджень визначена принципова можливість очищення смугового прокату низькотемпературною плазмою. Встановлено основні технологічні параметри процесу, що забезпечують якісну очистку від окалини. Визначена попередня оцінка ефективності використання низькотемпературної плазми для видалення окалини.

Розрахунки показали, що продуктивність одного модуля плазмового очищення складе 20–35 м²/год (0,3–0,4 т/год, або 2,2–9,5 тис.т/рік для прокату товщиною 2–5 мм). Загальна річна продуктивність агрегату

плазмового очищення буде регулюватись кількістю модулів очищення, що входять до складу агрегату (установки) плазмового очищення.

Плазмове очищення, на відміну від хімічної, не потребує витрат на хімічні матеріали, приготування розплавів, розчинів і знешкодження спрацьованих матеріалів. Енергоємність плазмового очищення значно нижча енергоємності хімічної очищення. Вартість плазмового очищення 1 т смугового прокату складе приблизно 0,6–0,7 вартості хімічної очищення.

1. *Технологическая очистка катанки от окалины низкотемпературной плазмой / Л.А.Шевченко, Л.Т.Жупинская, В.В.Зелинская, Б.Д.Альмов, Л.Т.Холявченко. // Физико–химическая механика материалов. – 2002. – № 3. – С.582–584.*
2. *Шевченко Л.А., Жупінська Л.Т., Зелинська В.В. Видалення окалини з поверхні катанки низкотемпературною плазмою. // Фундаментальные и прикладные проблемы черной металлургии. Сб. научн. тр. ИЧМ. – Вып. 8. – 2004. – С.245–249.*
3. *Физико–химические свойства окислов. Справочник под ред. Г.В. Самсонова. – М., Металлургия, 1980. – 455 с.*

*Статья рекомендована к печати:
ответственный редактор
раздела «Прокатное производство»
докт.техн.наук И.Ю.Приходько
рецензент канд.техн.наук О.С.Касьян*

***Л.А.Шевченко, В.В.Зелинская, Л.Т.Жупинская, Л.Т.Холявченко,
С.Л.Давыдов***

Очистка полосового проката от окалины низкотемпературной плазмой

Целью работы является исследование возможности использования низкотемпературной плазмы для удаления окалины с поверхности полосового проката. Определены технологические параметры плазменной очистки поверхности металла от окалины и эффективность ее использования. Показано, что плазменная очистка, в отличие от химической, не нуждается в расходах на химические материалы, приготовления расплавов, растворов и обезвреживания сработанных материалов. Энергоемкость плазменной очистки значительно более низкая энергоемкости химической очистки.