

ЛІТЕРАТУРА

1. Лахтин Ю. М., Леонтьева В. П. Материаловедение : учебник для высших технических учебных заведений. 3-е изд., перераб. и доп. М. : Машиностроение, 1990. 528 с.
2. Попова В. В. Поверхностное пластическое деформирование и физико-химическая обработка : учебное пособие. Рубцовск : Рубцовский индустриальный институт, 2013. 99 с.
3. Повышение долговечности деталей машин пластическим деформированием / А. А. Дудников та ін. *Міжвузівський збірник «НАУКОВІ НОВАТКИ»*. 2011. № 32. С. 128-131.
4. Soady K. A., Mellor B. G., West G. D. Evaluating surface deformation and near surface strain hardening resulting from shot peening a tempered martensitic steel and application to low cycle fatigue. *International Journal of Fatigue*. 2013. Vol. 54. P. 106-117. URL: <http://dx.doi.org/10.1016/j.ijfatigue.2013.03.019>.
5. Janga D. Y., Watkins T. R., Kozaczek K. J. Surface residual stresses in machined austenitic stainless steel. *WEAR ELSEVIER Wear*. 1996. Vol. 194. P. 168-173. URL: <https://www.slideshare.net/Lepuufu/surface-residual-stresses-in-machined-austenitic-stainless-steel>
6. Research of Tool Durability in Surface Plastic Deformation Processing by Burnishing of Steel Without Metalworking Fluids / S. N. Grigoriev та ін. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. 2017. Vol. 66. P. 1-6. DOI: 10.4028 / www.scientific.net / KEM.746.120.
7. The effect of surface plastic deformation produced by shot peening on corrosion behavior of a low-alloy steel / H. Kovaci, та ін. *Surface and Coatings Technology*. 2019. Vol. 360. P. 78 – 86. URL: <https://doi.org/10.1016/j.surfcoat.2019.01.003>.
8. Dudkina N. G. Corrosion resistance of steel 45 subjected to electromechanical treatment and Surface plastic deformation. *Metal Science and Heat Treatment*. 2018. Vol. 59. P. 9-10. DOI: 10.1007/s11041-018-0194-5.
9. Effect of plastic deformation on the electrochemical and stress corrosion cracking behavior of X70 steel in near-neutral pH environment / Zhongyu cui та ін. *AUTHOR's Accepted Manuscript*. 2016. P. 69. URL: <https://doi.org/10.1016/j.msea.2016.09.033>.

Поступила в редколлегию 03.09.2020.

УДК 621. 785: 620. 193: 669. 74. 003. 12

DOI 10.31319/2519-2884.tm.2020.17

РАЗДОБРЄЄВ В.Г., к.т.н., с.н.с.

ПАЛАМАР Д.Г., м.н.с

Інститут чорної металургії ім. З.І. Некрасова НАН України, м. Дніпро, Україна

ОЦІНКА ВПЛИВУ ВМІСТУ МАРГАНЦЮ НА КОРОЗІЮ ТЕРМІЧНО ЗМІЦНЕНОГО МЕТАЛУ

Вступ. В даний час і доступному для огляду майбутньому, незважаючи на активний розвиток альтернативних неметалічних матеріалів, як-то: різного роду пластмас підвищеної та високої міцності, пластиків, виробів і деталей на базі використання кременію і ін., залізо і сталь залишаються головними конструкційними матеріалами в будівництві, енергетиці, машинобудуванні та на транспорті.

Підвищення міцності металопрокату і сталевих виробів при збереженні необхідних споживчих і технологічних властивостей: пластичності, в'язкості, зварюваності, штампувальності і ін., є разом з вдосконаленням проектування і методів розрахунку конструкцій і споруд найголовнішою умовою зниження витрат металів, оскільки дозво-

ляє зменшити вагу споживаного в конструкціях сталевого прокату за рахунок підвищення його розрахункових опорів, в першу чергу, через зростання границі плинності сталі.

Поряд з традиційними методами термічної обробки: нормалізацією, яка, в основному, підвищує в'язкість сталевого прокату [1-3], поліпшенням (гартування з окремого нагріву + високий відпуск), що веде до збільшення міцності в 1,5-2 рази і ударної в'язкості, отримують розвиток різні види і способи деформаційно-термічного зміцнення прокату з низьковуглецевих і низьколегованих конструкційних сталей з використанням тепла прокатного нагріву [4-6].

Завдяки цілеспрямованому вибору і регулюванню основних технологічних параметрів деформаційно-термічної обробки, як то: температура прокатки, ступеня і швидкості деформації, швидкості охолодження металу після чистової кліті стану, часу обробки і напруженого стану вдається в широких межах змінювати кінцевий структурний стан сталі з отриманням дрібнозернистої структури різної міцності, хорошою пластичністю і опору до крихкого руйнування [1, 2, 5, 6]. Застосування прогресивних методів деформаційно-термічної обробки, в тому числі із застосуванням способу перерваного гарту з самовідпуском, поряд з принциповим поліпшенням якості готової продукції дозволяє економити енергетичні ресурси за рахунок скорочення в ряді випадків технологічних операцій як у виробника, так і у споживача [1, 2, 4-6].

Тому в останні роки деформаційно-термічна обробка з прокатного нагріву набуває все більш стійке застосування при виробництві різних груп сталей, що включають термічно покращувані, арматурні, аустенітно-твердіючі ферито-перлітні, цементуючі, пружинні і аустенітні [7].

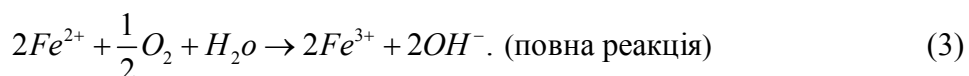
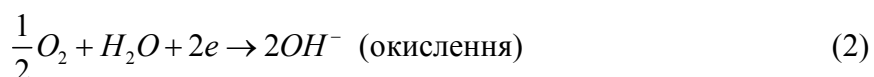
Однак ефективність і обсяг використання термічно зміцненого прокату, як якісно нового прогресивного виду матеріалу з підвищеними характеристиками міцності, пластичності, в'язкості, в значній мірі буде визначатися його працездатністю і довговічністю в реальних умовах експлуатації при впливі оточуючих корозійно-активних середовищ, тобто його опірності корозії. Такий прокат через підвищену його енергетичної та структурної метастабільності, може виявитися більш схильним до корозії, ніж гарячекатаний. Відзначимо, що з усіх видів корозії найбільшої шкоди завдає атмосферна корозія (особливо виразкова) в паливно-енергетичному комплексі (ПЕК) від впливу на обладнання і трубопроводи нафти, нафтопродуктів, газів і вугілля [8].

Атмосферна корозія відбувається при впливі плівок вологи, що потрапляє на поверхню виробу в результаті атмосферних опадів, або конденсації вологи на поверхні металу на повітрі. Ця волога містить розчинені гази, солі, аерозолі і тому є більш-менш сильним електролітом, що викликає електрохімічну корозію. Як відомо, електроліт - це речовина, яка в розчиненому вигляді або в розплавленому стані має іонний зв'язок і проводить електричний струм [9].

Метал і розчин електроліту є системами електричне заряджених частинок і між ними виникає електрохімічна взаємодія, що викликає корозію. Першопричиною цього процесу є термодинамічна нестійкість металу, що пов'язана як з його структурним і напруженим станом, так і з особливостями конкретних оточуючих корозійних умов.

Процеси корозії металів в розчинах електролітів є результатом одночасно протікають на поверхні металу двох незалежних електродних реакцій: анодного окислення атомів металу і катодного відновлення окисного компонента розчину, які зазвичай представляють у вигляді редокс реакції [9]. Електрохімічна корозія лежить в основі всіх відомих корозійних процесів, починаючи від атмосферної корозії, закінчуючи корозією у виробках, які піддані корозії розтріскування під напругою.

При найбільш поширеній атмосферній корозії, впливу якої піддається 80 % всього металофонду в умовах природної атмосфери [10], реалізуються такі реакції:



Як видно, при атмосферній корозії, як і при інших її видах (грунтова, морська, виразкова, щілинна та ін.) головним окислювачем (деполяризатором) є кисень (O_2).

Крім кисню активними окислювачами можуть бути діоксид сірки (SO_2), HCl , NH_3 та інші речовини, що знаходяться в повітрі індустриальних і житлових районів [10-13].

В останні десятиліття, через підвищені викиди в атмосферу промислових районів SO_2 , яка, взаємодіючи з вологою повітря, утворює H_2SO_4 , посилено зростає процес атмосферної кислотної корозії металофонду, зумовленої «кислотними дощами».

При такому корозійному процесі, поряд з киснем, окислювачем (акцептором електронів) виступають іони водню (H^+) і в цьому випадку говорять про корозії з водневою деполяризацією.

Постановка задачі. Метою роботи є дослідження впливу марганцю, особливостей структурного стану прокату на його корозійну поведінку в гарячекатаному і термічно зміцненому станах для вибору оптимальних умов його термічної обробки для отримання задовільного поєднання міцності і корозійної стійкості при розвитку процесів загальної корозії з водневою деполяризацією.

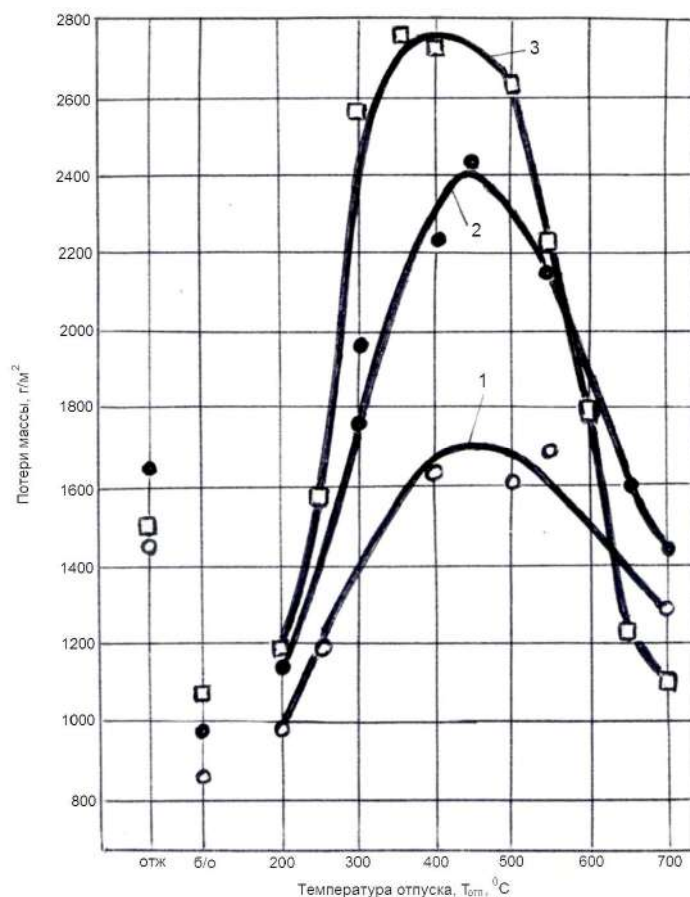
Результати роботи. Досліджували метал лабораторних плавок з різним вмістом марганцю (табл. 1), які виплавляли в 150-ти кілограмовій індукційній печі. Розкислення і легування лабораторних сталей до заданого хімічного складу проводили феромарганцем, а також алюмінієм з розрахунку 500 г/т. Кожну плавку розливали на дві-три фракції масою 40-50 кг. Після видалення прибутковою частини злитки всіх плавок піддавали гомогенізованій відпалу по режиму: нагрів $1250^{\circ}C$, витримка 2 год., охолодження з піччю. Злитки кожного складу проковували на прутки розміром 14×14 мм. Для вирівнювання вихідного структурного стану заготовки (прутки) піддавали відпалу при температурі $900^{\circ}C$. Далі прутки прокатували на зразки розмірами $70 \times 10 \times 2$ мм. Ці зразки з марганцевистих сталей гартували у воді від температури відповідно $880-900^{\circ}C$ (витримка 15 хв.), а потім проводили відпустку в інтервалі температур $200-700^{\circ}C$ через кожні $25-50^{\circ}C$ протягом 1 год. з подальшим охолодженням на спокійному повітрі.

Корозійні випробування проводили на шліфованих і знежирених зразках в 1 Н розчині H_2SO_4 кімнатної температури протягом 72 год.

Таблиця 1 – Хімічний склад досліджених сталей

Умовний номер сталі	Вміст елементів, % по масі					
	<i>C</i>	<i>Mn</i>	<i>Si</i>	<i>S</i>	<i>P</i>	<i>Cu</i>
1	0,19	0,66	0,34	0,030	0,020	0,10
2	0,20	1,00	0,32	0,028	0,018	0,12
3	0,19	1,68	0,32	0,028	0,019	0,13

Корозійне поведінку термічно зміцнених марганцевистих низьковуглецевих сталей наведено на рис. 1.



1 – 0,66 % Mn; 2 – 1,00 % Mn; 3 – 1,68 % Mn

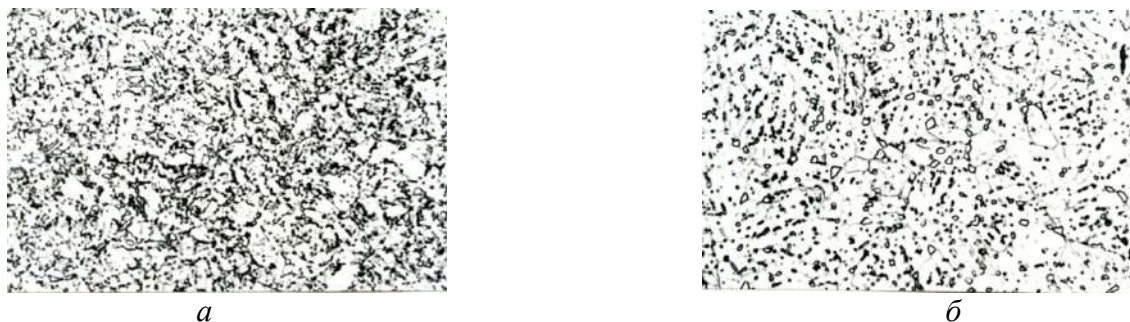
Рисунок 1 – Вплив марганцю на корозію в 1 Н розчині H_2SO_4 (72 год.) низьковуглецевої сталі після термічного зміцнення по різним режимам

В загартованому стані без відпуски (б/о) спостерігаються найнижчі корозійні втрати, однак зі зростанням вмісту марганцю вони зростають. Видно також, що залежність корозійних втрат (швидкості корозії) від температури відпуски має максимум, положення і висота яких залежить від вмісту марганцю. Дійсно, з підвищенням вмісту марганцю від 0,66 до 1,68 % максимум корозійної активності зміщується в напрямку меншої температури (від 475 до 375°C), а висота його збільшується від 1700 до 2700 g/m^2 . Оскільки підвищення корозійної активності загартованої сталі при відпусці пов'язано з утворенням фази карбиду різного ступеня дисперсності [3], то спостерігається зміщення піку корозійних втрат (швидкості корозії) в сторону більш низьких температур відпуски можна пояснити зниженням стійкості пересиченого твердого розчину α -заліза (мартенситу) під впливом марганцю, тобто більш інтенсивним виділенням вуглецю з нього [14].

Крім того, за даними [1] марганець знижує вуглецевий пік внутрішнього тертя фериту, зменшує величину його електричного опору і ефект скорочення довжини зразка при штучному старінні.

При температурах відпуску вище 500°C корозійні втрати знижуються і при 700°C стають нижче, ніж в стані відпалу (рис. 2).

Це пов'язано з більш інтенсивною коагуляцією карбідних частинок, зниженням пружних макро- і мікронапруг, рекристалізацією і зменшенням недосконалості кристалічної ґратки матриці.



a – 0,66 % Mn; *б* – 1,68 % Mn

Рисунок 2 – Вплив марганцю на структуру загартованої низьковуглецевої сталі після відпуску 700°C, 1 год. x1000

Не можна не відзначити, що в сталі з підвищеним (1,68%) вмісту марганцю при температурах відпуску вище 600°C спостерігається досить інтенсивний спад корозійних втрат (див. рис. 1, крива 3). При 700°C, наприклад, корозійні втрати (швидкість корозії) виявляються на 28% нижче, ніж в стані відпалу (б/о). Такий ефект пов'язаний зі зростанням швидкості коагуляції карбідних частинок в загартованій низьковуглецевій сталі при високому (> 650°C) відпустці під впливом підвищеного (> 1,6%) вмісту марганцю (рис. 2).

Висновки. Легування низьковуглецевої сталі марганцем (до 2%) призводить до підвищення корозійної активності металу в термічно зміцненому стані, зміщує пік корозійної активності при відпустці в бік меншої температури (від 475 про до 375°C) і збільшує корозійні втрати в районі піку в 1, 6 рази (від 1700 до 2700 г/м²). Після гарту і високого відпуску (при температурах > 600°C), навпаки, в сталі з підвищеним вмістом марганцю корозійні втрати, наприклад, в кислому середовищі істотно знижуються через те, що марганець прискорює процеси коагуляції карбідних частинок. Таким чином можна рекомендувати: якщо потрібно проводити термічну зміцнюючу обробку конструкційної сталі з підвищеним (1,5%) вмістом марганцю при задоволенні технічним вимогам поєднання міцності і задовільною корозійної довговічності, доцільно при термічному зміцненні призначати відпуску (самовідпуск) не менше 600°C. В цьому випадку при істотному виграші в міцності (підвищення на 20-25%) можна досягти і більш високої корозійної стійкості металу в порівнянні з гарячекатаним (незміцненим) станом.

ЛІТЕРАТУРА

1. Узлов И. Г., Савенков В. Я., Поляков С. Н. Термическая обработка проката. К. : Техника, 1981. 159 с.
2. Новиков И. И. Теория термической обработки металлов. М. : Металлургия, 1986. 480 с.
3. Курдюмов Г. В., Утевский Л. М., Энтин Р. И. Превращения в железе и стали. М. : Наука, 1977. 238 с.
4. Термическое упрочнение проката / К.Ф. Стародубов и др. М.: Металлургия, 1970. 368 с.
5. Высокопрочная арматурная сталь / А.А. Кугушин и др. М.: Металлургия, 1986. 272 с.
6. Tempcore: the New Generation of High Strength Concrete Reinforcing Steels. *Metallurgical Reports CRM*. Benelux, 1982. № 60. P. 23-27.
7. Бигус К., Эверц Т., Даль В. Термомеханическая обработка конструкционных сталей. *Черные металлы*. 1994. № 1. С. 29-35.
8. Шехтер Ю.Н., Ребров И.Ю. Проблемы коррозиологии, трибологии и химмотологии в топливно-энергетическом комплексе России. *Защита металлов*. 1995. Т. 31, № 5. С. 552-556.
9. Маттсон Э. Электрохимическая коррозия / перв. со шведск. под. ред. Колотыркина Я. М. М. : Металлургия, 1991. 157 с.

10. Берукштис Г. К., Кларк Г. Б. Коррозионная устойчивость металлов и металлических покрытий в атмосферных условиях. М. : Наука, 1971. 159 с.
11. Розенфельд И. Л. Коррозия и защита металлов. М. : Металлургия, 1969. 448 с.
12. Кеше Г. Коррозия металлов. Физико-химические принципы и актуальные проблемы: пер. нем. М. : Металлургия, 1984. 406 с.
13. Фишман Б. П., Фрисман И. А., Сержантов В. А., Монархов В. В. Защита от коррозии конструкций и оборудования металлургических цехов. К. : Техника, 1983. 216 с.
14. Курдюмов Г. В. Явление закалки и отпуска стали. М. : Металлургия, 1960. 64 с.

Надійшла до редколегії 09.09.2020.

УДК 621.876.212

DOI 10.31319/2519-2884.tm.2020.18

БЕЛЬМАС І.В., д.т.н., професор,
КОЛОСОВ Д.Л*, д.т.н., доцент,
БІЛОУС О.І., к.т.н., доцент,
ТАНЦУРА Г.І., к.т.н., доцент
БОБИЛЬОВА І.Т., асистент

Дніпровський державний технічний університет
*Дніпровська політехніка

АЛГОРИТМ РОЗРАХУНКУ НА МІЦНІСТЬ КОНВЕЄРНОЇ СТРІЧКИ З ОТВОРАМИ

Вступ. Конвеєрні стрічки широко застосовують в транспортному машинобудуванні. Вони сприймають зусилля розтягу та мають систему паралельних стрічці регулярно розташованих тягових елементів. Останні з'єднані в єдину конструкцію – стрічку еластичною оболонкою (матрицею). Конвеєрні стрічки можуть бути використані в машинах для просіювання матеріалів. На конвеєрах можливе поєднання технологічних операцій. Прикладом може бути стрічка транспортування та паралельного часткового відведення води зі зволоженої грудкуватої маси. Для цього в стрічці достатньо виконати отвори.

Утворення отворів змінює її побудову. Змінюється механізм взаємодії тягових елементів. Змінюється розподіл внутрішніх сил поміж ними. Виникають дотичні напруження в оболонці стрічки. Зменшується тягова спроможність стрічки. Різноманітність технологічних вимог призводить до різноманітності схем армування стрічки, розривів їх неперервності і вимагає Дослідження напружено-деформованого стану (НДС) стрічки, армованої подовжніми тяговими елементами з розривами неперервності та розробки алгоритму розрахунку на міцність конвеєрної стрічки з отворами.

Постановка задачі. До технологічних процесів пристосовані спеціальні конвеєри: крутопохилі [1], з підвісною стрічкою [2, 3], трубчаті [4]. Вони обладнані композитними стрічками. Розриви суцільності елементів армування призводять до зменшення міцності стикових з'єднань стрічок [5]. Властивості стикових з'єднань вживаних стрічок досліджені в роботі [6]. В них не досліджувалася взаємодія елементів армування з періодичними частковими видаленнями окремих з них і відомі алгоритми визначення НДС плоскої конвеєрної стрічки не можуть бути застосовані для визначення тягової спроможності стрічки з систематично розташованими отворами.

Стрічки мають систему паралельних, розташованих вздовж стрічки тягових елементів. По ширині стрічки вони укладені з незмінним кроком та з'єднані в єдину конс-