

УДК 621.785.616:539.377

Канд. техн. наук Чейлях Я. О.¹, д-р техн. наук Чейлях О. П.²¹ ТОВ «МЕТИНВЕСТ-БІЗНЕС СЕРВІС»,² ДВНЗ «Приазовський державний технічний університет»; м. Маріуполь

ВПЛИВ ТЕМПЕРАТУРИ ГАРТУВАННЯ НА СТРУКТУРУ, МЕТАСТАБІЛЬНІСТЬ АУСТЕНІТУ ТА ВЛАСТИВОСТІ НАПЛАВЛЕНИХ Fe-Cr-Mn СТАЛЕЙ

Актуальність. У практиці відновлення деталей електродувомим наплавленням основна увага приділяється хімічному складу наплавленого металу, який зазвичай використовується без термічної обробки, або після високого відпуску, а роль структурних факторів, що впливають на ступінь метастабільності аустеніту та його деформаційні перетворення поки не застосовується. Тому дуже актуальна та перспективна розробка нових способів і технологій термічної обробки, що дозволяють регулювати метастабільність аустенітної складової та ефективно покращувати властивості наплавленого металу.

Метою роботи є оптимізація режимів гартування, що забезпечують регулювання фазового складу, мікроструктури, метастабільності аустеніту задля підвищення механічних та експлуатаційних властивостей наплавленої екномнолегованої Fe-Cr-Mn сталі.

Методи досліджень та випробувань. В роботі використовувалися металографічний, рентгеноструктурний, дюриметричний методи досліджень, випробування твердості, мікротвердості, механічних властивостей, зносостійкості в умовах сухого тертя-ковзання, ударно-абразивного зношування.

Результати досліджень. Досліджено вплив температури гартування в інтервалі нагріву від 850 °C до 1150 °C на мікроструктуру, фазовий склад, метастабільність аустеніту та властивості наплавленої сталі 20X8Г6СТАФ. Встановлено, що з підвищенням температури нагріву під гартування в структурі верхнього наплавленого шару вміст мартенситу гартування зменшується, а аустеніту, навпаки, зростає. Після кожної температури гартування фазовий склад і мікроструктура наплавленого металу по наплавлених шарах закономірно змінюється згідно ступінчасто-пошаровому характеру зміни хімічного складу шарів в залежності від наплавлювально-технологічних параметрів наплавлення (зварювального току, напруги, швидкості наплавлення, частки участі основного металу в наплавленому). Про це свідчить панорама зміни мікроструктури та мікротвердості по шарах наплавленого металу. В результаті такі закономірні зміни структури та фазового складу наплавленого металу в залежності від температури гартування відзначають ступінь метастабільності аустенітної складової до розвитку деформаційного мартенситного $\gamma \rightarrow \alpha$ перетворення при зношуванні (ДМПЗ) в поверхневому шарі, що характеризують наукову новизну отриманих результатів. Все це є основними факторами формування зносостійкості наплавленого металу за рахунок ефектів самозміцнення, саморелаксації мікронапруг, самоадаптації до умов зношування. Відзначені оптимальні температури гартування для підвищення зносостійкості наплавленого металу для різних умов зношування. Отримані результати мають практичне значення для розробки технологій пошарового наплавлення та термічної обробки метастабільного Fe-Cr-Mn металу для підвищення його зносостійкості для різних умов експлуатації.

Ключові слова: наплавлення, сталь, гартування, мартенсит, метастабільний аустеніт, мартенситні перетворення, зносостійкість.

Номенклатура

Позначення, скорочення	Визначення
ДМПЗ	деформаційне мартенситне $\gamma \rightarrow \alpha$ перетворення при зношуванні
t	температура гартування, °C
HRC	твердість по Роквеллу за шкалою C
KCU	ударна в'язкість зразків з U-образним надрізом, МДж/м ²
$H_{\gamma, 1,98}$	мікротвердість при вдавлюванні діамантової чотирьохграної пірамідки під навантаженням 1,98 Н, МПа
ϵ	відносна зносостійкість в умовах сухого тертя-ковзання метал по металу
$\epsilon_{y.a.}$	відносна зносостійкість в умовах ударно-абразивного зношування

Вступ

Відновлення деталей машин, що швидко зношуються електродуговим наплавленням є дуже актуальною задачею сучасного матеріалознавства, зварювання та споріднених технологій. При цьому важливо одночасно з відновленням досягати підвищення механічних і експлуатаційних властивостей наплавленого металу. Це можливо завдяки формуванню необхідної мікроструктури за допомогою режимів термічної обробки. Однак для наплавленого металу термічна обробка використовується обмежено проведенням високого відпуску, ріже – нормалізації. Новим напрямом сучасних досліджень є формування в структурі наплавленого металу метастабільного аустеніту, який схилено до деформаційного мартенситного $\gamma \rightarrow \alpha$ перетворення при зношуванні (ДМПЗ), що супроводжується утворенням мартенситу деформації, ефектами самозміцнення та саморелаксації мікронапруг. Для цього необхідно регулювати кількість та ступінь метастабільності аустенітної складової структури за допомогою режимів термічної обробки.

Метою роботи є оптимізація режимів гартування, що забезпечують регулювання фазового складу, мікроструктури, метастабільності аустеніту задля підвищення механічних та експлуатаційних властивостей наплавленої економнолегованої Fe-Cr-Mn сталі.

Об'єктом дослідження є трьохшарово наплавлена економнолегована Fe-Cr-Mn сталь марки 20X8Г6СТАФ після наплавлення та гартування з різних температур нагріву. **Предметом дослідження** є закономірності пошарового формування мікроструктури, фазового складу, метастабільності аустеніту, механічних та експлуатаційних властивостей наплавленої сталі 20X8Г6СТАФ після гартування з різних температур. Для вирішення поставленої мети необхідно дослідити та виявити закономірності пошарового фазово-структуроутворення наплавленого металу під впливом температури гартування, особливості формування механічних та експлуатаційних властивостей.

Постановка задачі

Відповідно поставленої мети задачею даної роботи є дослідити закономірності впливу режиму гартування в межах від 850 до 1150 °С на фазовий склад, структуроутворення в трьохшарово наплавленому металі марки 20X8Г6СТАФ, метастабільність аустенітної складової, механічні властивості (твердість, мікротвердість, ударну в'язкість тощо), експлуатаційні властивості (відносну зносостійкість в різних умовах зношування – сухого тертя метал по металу, ударно-абразивного зношування). Встановити закономірності формування фазово-структурного стану наплавленого металу, метастабільність аустеніту та фазових перетворень під впливом гартування при різних температурах, та в процесі випробувань на зношування в різних умовах. Виявити оптимальні режими гартування, які забезпечують підвищення експлуатаційних та механічних властивостей наплавленої сталі марки 20X8Г6СТАФ для вибраних умов зношування.

Огляд літератури

Для відновлення багатьох деталей машин, що швидко зношуються вельми важливо не тільки відновлювати геометричну форму та розміри, а отримувати підвищений рівень механічних і експлуатаційних властивостей. В практиці відновлення деталей, що швидко зношуються, за допомогою електродугового наплавлення звичайно основна увага приділяється хімічному складу наплавленого металу, який зазвичай використовується без термічної обробки, або після високого відпуску для зняття напружень, рідше після гартування або нормалізації [1, 2]. Тим часом, ряд робіт, присвячених дослідженню метастабільних сталей і чавунів [3–5 та ін.], свідчать про важливу роль структурних факторів, що впливають на ступінь метастабільності аустеніту, кінетику $\gamma \rightarrow \alpha$ ДМПЗ і властивості, які можна задавати режимами термічної обробки. Однак стосовно наплавленого металу, ці можливості, нажаль поки не застосовуються, дані про них в літературі нечисленні [6, 7].

Зокрема, фазовий склад, мікроструктуру, ступінь метастабільності аустеніту і властивості високоміцних і зносостійких сталей можна ефективно регулювати способами і параметрами гартування, наприклад, температурою нагріву (900–1200 °С) і часом витримки, температурою відпуску (200–700 °С) [3, 8, 9]. Лише в небагатьох роботах [6, 9] вказується, що температурою відпуску можна регулювати ступінь метастабільності аустеніту в Fe-Mn-C наплавленого металу, що дозволяє підвищувати зносостійкість. Однак стосовно використанню гартування для наплавлених деталей літературні дані обмежені [10], а їх накопичення має науковий та практичний інтерес.

Таким чином, дуже перспективною є розробка нових способів і технологій гартування, оскільки це дозволить ефективно покращувати властивості наплавленого металу. З цієї метою досліджувався вплив параметрів гартування на структуру і властивості розробленого економнолегованого наплавленого металу системи легування Fe-Cr-Mn.

Матеріал і методи досліджень

В якості матеріалу дослідження використовувалася наплавлена в три шари економнолегована зносостійка сталь марки 20X8Г6СТАФ. Наплавлення здійснювалося розробленим порошковим дротом ПП-Нп-20X8Г6СТАФ діаметром 4,0 мм на зварювальному автоматі А1401 з джерелом живлення ВДУ 1200 під флюсом АН-348 на підкладку зі сталі Ст. 3 при наступних режимах – зварювальний струм 320–480 А, напруга дуги 28–32 В, швидкість наплавлення становила $V_{\text{напл.}} = 22\text{--}32$ м/ч. З наплавленого металу вирізалися анодно-дуговою різкою заготовки розміром 11×11×60 мм, з яких потім виготовлялися зразки для досліджень і випробувань властивостей. Аналіз хімічного складу виробляли на вакуумному квантометрі «СпектроМАХх» спектральним методом. Фазовий аналіз наплавленого металу проводився на рентгенівському дифрактометрі ДРОН-3 в залізньо-

му $K\alpha$ - випромінюванні, в інтервалі кутів 2θ 54–58 град. Вивчення мікроструктури здійснювали на металографічних мікроскопах ММР-2 і «Neophot-21» при збільшеннях від 50 до 500 крат, мікротвердість структурних складових вимірювалася на мікротвердомірі ПМТ-3 вдавненням алмазної чотиригранної піраміди під навантаженням 1,96 Н, а твердість наплавленого металу – на приладі ТК (Роквелла) з навантаженням 1500 Н (HRC). Динамічні випробування проводили на маятниковому копру ІО5003 на зразках перетином $10 \times 10 \times 55$ мм з U- подібним надрізом.

Випробування на зношування при сухому терті метал по металу проводилися на машині МІ-1М на зразках розміри $10 \times 10 \times 27$ мм за схемою колодка (випробуваний зразок) – ролик (контрольне тіло), що обертається зі швидкістю 500 хв^{-1} (лінійна швидкість в зоні тертя – 1,31 м/с, шлях тертя – 1965 м). Час зношування становив: між двома зважуваннями – 5 хв, що забезпечувало розігрів поверхні контакту (подібно розігріву деталей обладнання в реальних умовах зношування), загальний – 25 хв. Зважування проводилося з погрішністю до $\pm 0,0001$ г. Відносна зносостійкість визначалася за формулою:

$$\varepsilon = \frac{\Delta m_{\text{э}}}{\Delta m_{\text{обр}}}, \quad (1)$$

де $\Delta m_{\text{э}}$, $\Delta m_{\text{обр}}$ – втрати маси еталона і зразка наплавленого металу за однаковий час зношування. Як еталон використовувалася сталь 45 твердістю НВ180–190. Випробування при ударно-абразивному зношуванні проводилися на установці [11] в середовищі литого чавунного дробу (фракції 0,5–1,5 мм) зі швидкістю обертання зразків 2800 хв^{-1} . Відносна ударно-абразивна зносостійкість ($\varepsilon_{\text{y.a.}}$) також визначалася за формулою (1).

Експерименти

Електродугове наплавлення проводили в лабораторії наплавлення, після охолодження наплавленого металу до кімнатної температури, анодно-дуговим різанням вирізалися заготовки та приготувалися зразки для випробувань та досліджень. Зразки після маркування підвергалися термічній обробці – гартуванню з нагрівом в камерній електропечі при температурах 850, 950, 1050 і 1150 °С (витримка 20 хв), охолодження в мастилі індустріальному до кімнатної температури. Після гартування проводили відпуск при температурі 200 °С, 1 год. для зменшення термічних напруг. Проводилися дослідження мікроструктури наплавлених та загартованих зразків сталі 20Х8Г6СТАФ, фотографування панорами її зміни по трьох шарах наплавлення з вимірюванням мікротвердості структурних складових. Проводилися заміри твердості по Роквеллу, динамічні випробування на вигин на маятниковому копру, зносостійкості в двох умовах: тертя-ковзання на машині МІ-1М та спеціальній установці та методиці, що наведено в роботі [11]. На основі отриманих експериментальних результатів будувалися графіки залежностей, аналізувалися та виявлялися закономірності впливу температури гартуван-

ня на мікроструктуру, фазовий склад та властивості наплавленої сталі 20Х8Г6СТАФ.

Результати та їх обговорення

В наплавленому стані мікроструктура наплавленої сталі в поверхневому шарі представлено переважно мартенситом гартування та невеликою кількістю (20–25 %) аустеніту. В структурі першого та другого шарів переважає мартенсит гартування що пояснюється меншим змістом легуючих елементів у зв'язку з визначеною часткою участі основного металу та наступних шарів в наплавленому шарі.

Мікроструктури наплавленої сталі 20Х8Г6СТАФ після гартування з різних температур наведені на рис. 1. Мікроструктура поверхневого шару наплавленої сталі 20Х8Г6СТАФ після гартування при 850–950 °С – мартенситно-аустенітна з переважанням пакетного мартенситу (рис. 1).

Після гартування з 1050 °С переважної фазою поверхневого шару стає аустеніт, а кількість мартенситу зменшується до 35 % (див. рис. 1). На глибині ближче до зони основного металу в мікроструктурі переважає мартенсит гартування з невеликою кількістю $A_{\text{зал}}$. Зі збільшенням температури гартування до 1150 °С структура стає практично аустенітною в поверхневому та середньому наплавлених шарах з ознаками $\Delta\varepsilon$ – мартенситу у вигляді пересічних ліній ковзання і двійників (рис. 1а, б). Це пояснюється розчиненням карбонітридів в аустеніті при аустенітизації, завдяки чому знижується точка $M_{\text{п}}$ аналогічно тому як це спостерігається в Fe-Cr-Mn сталях с різним змістом мартенситу гартування та метастабільного аустеніту [5]. В результаті збільшення вмісту аустеніту практично до 100 % твердість наплавленого металу зменшується з HRC42 (гартування при 850 °С) до HRC32 (гартування при 1150 °С) (рис. 2).

Зміна мікротвердості по глибині НМ після гартування (рис. 3) підтверджує формування мікроструктури.

Найбільша мікротвердість поверхневого шару ($H_{\phi 1,98} = 4000\text{--}4500$ МПа) відповідає переважно мартенситній структурі (гартування 850 °С, рис. 3а), а з підвищенням температури нагрівання під гартування вона знижується до $H_{\phi 1,98} = 3000\text{--}3500$ МПа (гартування 1050–1150 °С, рис. 3б, в).

В нижніх шарах наплавленого металу структура стає переважно мартенситною (див. рис. 1), про що свідчить підйом мікротвердості до $H_{\phi 1,98} = 5000\text{--}6000$ МПа (рис. 3). Найбільша протяжність аустенітної зони (мікротвердістю $H_{\phi 1,98} = 3200\text{--}3700$ МПа), виявляється після гартування з підвищених температур 1050–1150 °С (рис. 1в), а найменша – після гартування при 850 °С. При цьому найбільш різкий перехід і відносно стабільні показники мікротвердості характерні для наплавленого металу після гартування з 850 °С, а більш плавний перехід – після гартування при 950 °С і 1050 °С.

Істотно змінюючи мікроструктуру, гартування має важливий вплив на механічні властивості наплавленого металу (табл. 1).

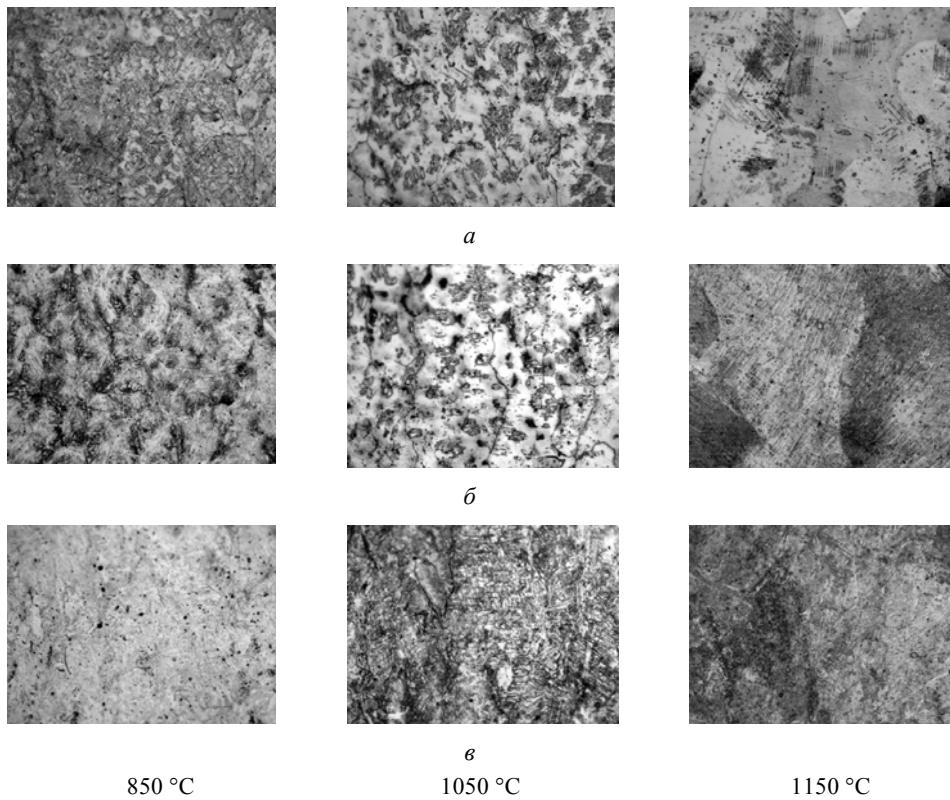


Рис. 1. Мікроструктура наплавленого металу марки 20X8Г6СТАФ після гартування з різних температур (відпуск 220 °С), $\times 500$:
а – поверхневий шар; б – середній шар; в – нижній шар

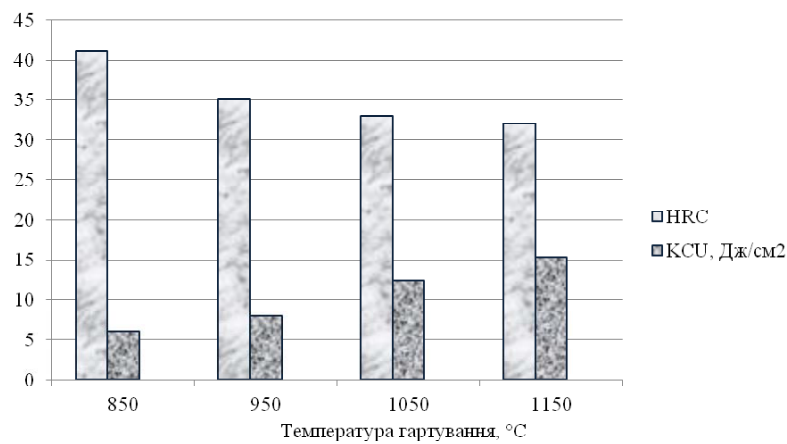


Рис. 2. Вплив температури гартування на механічні властивості наплавленого металу 20X8Г6СТАФ

Таблиця 1 – Властивості наплавленої сталі 20X8Г6СТАФ після гартування з різних температур (відпуск при 220 °С, 1,5 години)

$t, ^\circ\text{C}$	HRC	KCU, Дж/см ²	ϵ	$\epsilon_{y.a.}$
850	41	6,1	3,6	22,6
950	35	8,1	4,2	6,4
1050	33	12,5	2,3	2,0
1150	32	15,4	1,5	9,8

Зі збільшенням температури гартування ударна в'язкість (KCU) зростає суттєво з 6 Дж/см² (гартування при 850 °С) до 15,4 Дж/см² (гартування при 1150 °С) (рис. 2). Це можна пояснити збільшенням кількості аустеніту – більш пластичної і в'язкої фази в наплавленому металі (див. рис. 1). Характерно для всіх температур гартування, що верхні шари мають меншу твердість ($H_{01,98} = 3500\text{--}4000$ МПа), ніж шари, прилеглі до основного металу ($H_{01,98} = 5500\text{--}6500$ МПа). Зміна мікротвер-

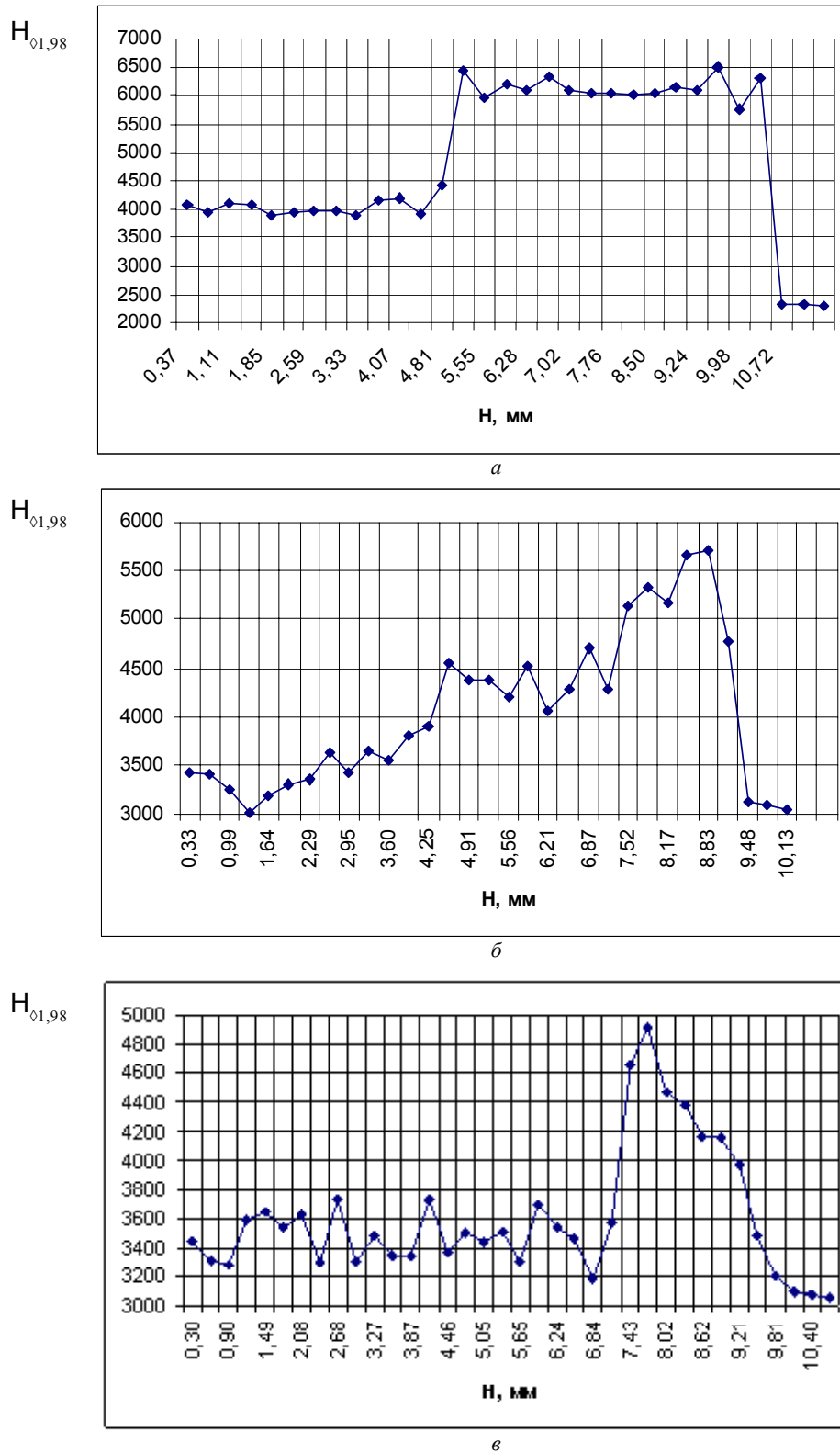


Рис. 3. Розподіл мікротвердості по вертикалі в наплавлених зразках наплавленого металу марки 20X8Г6СТАФ після гартування з різних температур: а – 850 °С; б – 950 °С; в – 1050 °С (відпуск при 220 °С, витримка 1,5 години)

дості по товщині наплавленого металу через наплавлені шари має переважно ступінчастий характер, що пояснюється пошарово-ступінчастою закономірністю формування наплавленого металу, яка встановлена в роботі [12] та великим вмістом основних легуючих еле-

ментів у верхньому шарі, що обумовлює більший вміст аустеніту і фактором повторного гартування в зоні термічного впливу (ЗТВ).

Закономірності зміни зносостійкості від температури гартування при різних схемах зношування різні. При

ударно-абразивному зношуванні найбільша відносна зносостійкість ($\varepsilon_{y.a.}$) отримана після гартування з відносно невисокої температури 850 °С (рис. 4б), чому відповідає мартенситно-аустенітна структура з великою кількістю мартенситу гартування та присутністю 18–25 % метастабільного аустеніту. Зі збільшенням температури гартування з 850 °С до 1050 °С знижується $\varepsilon_{y.a.}$, що можна пояснити підвищенням стабільності аустеніту, який в меншій мірі здатний до перетворення в мартенсит і, відповідно, меншим ефектом самозміцнення в процесі зношування.

При підвищенні температури гартування до 1150 °С відносна зносостійкість $\varepsilon_{y.a.}$ зростає з 2,0 до 9,8 (див. табл. 1), що пояснюється збільшенням повноти $\gamma \rightarrow \alpha'$ ДМПЗ. На відміну від отриманих нами результатів, в роботах [13, 14] відзначається монотонне підвищення абразивної зносостійкості від температур гартування (в діапазоні 900–1150 °С), що автори [13] також пояснюють збільшенням кількості мартенситу деформації з 10 до 50 % при протіканні ДМПЗ в поверхневому шарі наплавленого металу. Ці розбіжності пояснюються іншими умовами зношування і кількома іншим складом метастабільного аустеніту, що істотно впливає на ступінь його метастабільності і здатності до $\gamma \rightarrow \alpha'$ ДМПЗ.

Інша закономірність зміни зносостійкості спостерігається в умовах сухого тертя ковзання метал по металу. Залежність зміни відносної зносостійкості в умовах сухого тертя ковзання метал по металу (ε) має екстремальний характер з максимумом при температурі гартування 950 °С (рис. 4а), чому відповідає аустенітно-мартенситна структура верхнього шару наплавленого металу з плавним зростанням змісту мартенситу гартування від поверхні до металу основи. Це пояснюється оптимальним фазовим складом і кінетикою $\gamma \rightarrow \alpha'$ ДМПЗ в поверхневому шарі в зоні контакту з контртілом.

При підвищенні температури гартування з 950 °С до 1150 °С спостерігається зниження відносної зносостійкості (рис. 4а), що можна пояснити надмірною стабільністю аустеніту, який в меншій мірі схильний до $\gamma \rightarrow \alpha'$ ДМПЗ і, відповідно, в результаті чого ефект деформаційного самозміцнення реалізується в меншому ступеню.

Рентгеноструктурні дослідження фазового складу вихідної структури (після гартування) та після випробувань на зношування показав, що під дією середи що зношує та в результаті протікання $\gamma \rightarrow \alpha'$ ДМПЗ в зоні зносу зразків утримується від 17 до 57 % мартенситу деформації. В загальному вигляді при ударно-абразивних випробуваннях чим більш утримується мартенситу деформації, тим вище зносостійкість (гартування при 850 та 1150 °С). При випробуваннях в умовах сухого тертя-ковзання найбільша зносостійкість досягається після гартування при 950 °С, коли утримується 28–33 % мартенситу деформації в результаті ДМПЗ. Ефект де-

формаційного самозміцнення в процесі зношування в тонких поверхневих (робочих) шарах пояснюється утриманням мартенситу деформації як більш твердої фази, з більшою величиною мікроспотворень, щільністю дислокацій, чим мартенсит гартування [4]. Крім того, $\gamma \rightarrow \alpha'$ ДМПЗ супроводжується релаксацією мікронапружень та поглинанням зовнішньої механічної енергії що підводиться до зразка або деталі, тому менша її частка залишається на зародження мікротріщин та руйнування поверхні [15]. Все це в сукупності забезпечує підвищення зносостійкості наплавлювального матеріалу з метастабільним аустенітом.

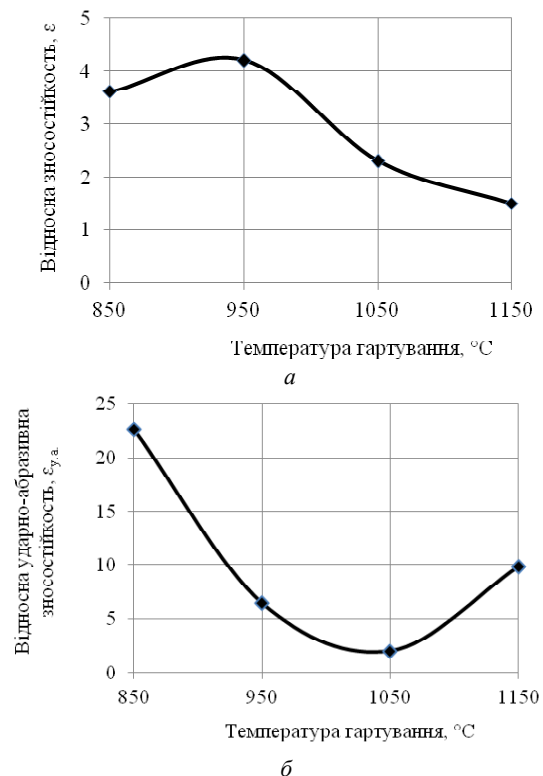


Рис. 4. Залежність відносної зносостійкості наплавленого металу 20X8Г6СТАФ при сухому терті ковзанні метал по металу (а) і ударно – абразивному зношуванні (б) від температури гартування (відпуск при 220 °С, витримка 1,5 години)

Висновки

1. Фазовий склад (співвідношення між мартенситом гартування та аустенітом) та метастабільність γ - фази після гартування закономірно змінюється по шарах наплавленого металу 20X8Г6СТАФ з превалюванням в поверхневому шарі переважно аустеніту, а в першому шарі навпаки – мартенситу гартування.

2. Температура гартування змінює фазове співвідношення між мартенситом гартування та аустенітом в наплавлених шарах згідно пошарово-ступінчастого характеру зміни хімічного складу, що суттєво впливає на метастабільність аустеніту, розвиток деформаційного мартенситного перетворення при зношуванні та формування властивостей.

3. Максимальна ударна в'язкість наплавленого металу при достатньо високій зносостійкості досягається після гартування при 1050–1150 °С, підвищена ударно-абразивна зносостійкість – при 850 °С, а зносостійкість в умовах сухого тертя – при 950 °С, що необхідно враховувати виходячи з умов експлуатації.

4. Для різних умов зношування потрібен диференційований підхід до підбору температури нагріву під гартування, що забезпечує формування оптимального фазового складу, структури та метастабільності аустеніту, якій дає найбільше вкладення в ефект самозміцнення за рахунок оптимального розвитку $\gamma \rightarrow \alpha$ ДМПЗ.

5. Розроблений наплавлювальний економнолегований матеріал та технологія гартування з оптимальної температури може бути рекомендовано для відновлення та зміцнення деталей машин що швидко зношуються.

Список літератури

1. Шехтер С. Я. Наплавка деталей металлургического оборудования / С. Я. Шехтер, Я. А. Шварцер. – М. : Металлургия, 1981. – 160 с.
2. Рябцев И. А. Наплавка деталей машин и механизмов / И. А. Рябцев. – К. : Екотехнологія, 2004. – 160 с.
3. Чейлях А. П. Экономнолегированные метастабильные сплавы и упрочняющие технологии / А. П. Чейлях. – Мариуполь : ПГТУ. – 2009. – 483 с.
4. Филиппов М. А. Стали с метастабильным аустенитом / М. А. Филиппов, В. С. Литвинов, Ю. Р. Немировский. – М. : Металлургия, 1988. – 256 с.
5. Малинов Л. С. Ресурсосберегающие экономнолегированные сплавы и упрочняющие технологии, обеспечивающие эффект самозакалки / Л. С. Малинов, В. Л. Малинов. – Мариуполь : изд-во «Рената», 2009. – 568 с.
6. Малинов В. Л. Влияние химического состава металла, наплавленного хромомарганцевыми порошковыми лентами, на структуру и износостойкость при сухом трении / В. Л. Малинов // Оборудование и технология термической обработки металлов и сплавов : сб. докл. 8–го междунар. конгресса. – Харьков : ННЦ «ХФТИ», 2007. – С. 108–111.
7. Малинов Л. С. Марганецсодержащие наплавочные материалы / Л. С. Малинов, В. Л. Малинов // Автоматическая сварка. – 2001. – № 8. – С. 34–36.
8. Герасьев М. А. Влияние температуры закалки на фазовый состав и износостойкость валковых сталей с 5 % хрома / М. А. Герасьев, Ю. В. Худорожкова, М. А. Филиппов // Металловедение и термическая обработка металлов. – 2010. – № 10. – С. 16–20.
9. Филиппов М. А. Износостойкость наплавочного сплава с метастабильным аустенитом / М. А. Филиппов, Б. А. Кулишенко, Е. В. Вальков // Металловедение и термическая обработка металлов. – 2005. – № 1. – С. 9–11.
10. Чейлях Я. О. Розробка наплавлювального матеріалу і технології поверхневого зміцнення з формуванням зносостійкого метастабільного сплаву : автореф. дис. на здобуття наук. ступеня канд. техн. наук : 05.03.06 / Я. О. Чейлях Я. – Краматорськ, ДДМА, 2013. – 22 с.
11. Установка для испытаний на ударно-абразивное изнашивание : А.с. № 1820300 СССР. МКИ G01N 3/56 / А. П. Чейлях, И. М. Олейник (СССР). – № 4936016/28 ; заявлено 12.05.91; опубл. 07.06.93 ; Бюл. № 21. – 4 с.
12. Чейлях Я. А., Чейлях А. П. Физико-математическое моделирование процесса формирования наплавленного метастабильного Fe-Cr-Mn металла // Нові матеріали і технології в металургії та машинобудуванні. – 2015. – № 2. – С. 84–91.
13. Кулишенко Б. А. Электроды для износостойкой наплавки деталей, подверженных абразивному и ударно-абразивному воздействию / Б. А. Кулишенко, А. Н. Балин // Сварочное производство. – 2004. – № 11. – С. 28–32.
14. Износостойкость наплавленного металла системы легирования Fe-C-St-Ni-Mo / [И. А. Рябцев, И. А. Кондратьев, В. Г. Васильев, Л. К. Дорошенко] // Автоматическая сварка. – 2002. – № 4. – С. 48–51.
15. Восстановление и повышение износостойкости и срока службы деталей машин / Под общей ред. В. С. Попова. – Запорожье : Изд-во ОАО «Мотор Сич», 2000. – 394 с.

Одержано 19.10.2020

Чейлях Я. А., Чейлях А. П. Влияние температуры закалки на структуру, метастабильность аустенита и свойства наплавленных Fe-Cr-Mn сталей

Актуальность. В практике восстановления деталей электродуговой наплавкой основное внимание уделяется химическому составу наплавленного металла, который обычно используется без термической обработки или после высокого отпуска, а роль структурных факторов, влияющих на степень метастабильности аустенита и его деформационные превращения пока не используются. Поэтому очень актуальна и перспективна разработка новых способов и технологий термической обработки, позволяющих регулировать метастабильность аустенитной составляющей и эффективно улучшать свойства наплавленного металла.

Целью работы является оптимизация режимов закалки, обеспечивающих регулирование фазового состава, микроструктуры, метастабильности аустенита для повышения механических и эксплуатационных свойств наплавленной экономнолегированной Fe-Cr-Mn стали.

Методы исследований и испытаний. В работе использовались металлографический, рентгеноструктурный, дюротрический методы исследований, испытания твердости, микротвердости, механических свойств, износостойкости в условиях сухого трения-скольжения, ударно-абразивного изнашивания.

Результаты исследований. Исследовано влияние температуры закалки в интервале нагрева от 850 °С до 1150 °С на микроструктуру, фазовый состав, метастабильность аустенита и свойства наплавленной стали

20Х8Г6СТАФ. Установлено, что с повышением температуры нагрева под закалку в структуре верхнего наплавленного слоя содержание мартенсита закалки уменьшается, а аустенита, напротив, возрастает. После каждой температуры закалки фазовый состав и микроструктура наплавленного металла по сечению наплавленных слоев закономерно меняется в соответствии ступенчато-послойным характером изменения химического состава слоев в зависимости от наплавочно-технологических параметров наплавки (сварочного тока, напряжения, скорости наплавки, доли участия основного металла в наплавленном). Об этом свидетельствует панорама изменения микроструктуры и микротвердости по слоям наплавленного металла. В результате же закономерные изменения структуры и фазового состава наплавленного металла в зависимости от температуры закалки определяют степень метастабильности аустенитной составляющей в развитии деформационного мартенситного $\gamma \rightarrow \alpha$ превращения при изнашивании (ДМПИ) в поверхностном слое, характеризуют **научную новизну полученных результатов**. Все это являются основными факторами формирования износостойкости наплавленного металла за счет эффектов самоупрочнения, саморелаксации микронапряжений, самоадаптации к условиям изнашивания. Отмечены оптимальные температуры закалки для повышения износостойкости наплавленного металла для различных условий изнашивания. Полученные результаты имеют **практическое значение** для разработки технологий послойной наплавки и термической обработки метастабильного Fe-Cr-Mn металла для повышения его износостойкости для различных условий эксплуатации.

Ключевые слова: наплавка, сталь, закалка, мартенсит, метастабильный аустенит, мартенситные превращения, износостойкость.

Cheylyakh Ya., Cheiliakh O. Effect of quenching temperature on the structure, austenite metastability and properties of Fe-Cr-Mn deposited steels

Actuality. In practice of parts renewal with electric-arc deposition main attention is paid to the chemical composition of deposited metal, which usually is applied either without any heat treatment or following high tempering, while the role of structural factors, that influence the degree of metastability of austenite is so far neglected. That is why development of new promising methods and technologies of heat treatment which will allow to adjust metastability of the austenite constituent and improve efficiently the properties of deposited metal seems to be highly urgent.

The objective of the work. The objective of the work is optimization of quenching modes for modifying the phase composition, microstructure, metastability of austenite for improvement of mechanical properties of three-layered deposited cost saving alloyed 20Cr8Mn6SiTiV steel.

Applied investigation and testing methods. Metallographic, X-ray and durometric methods of investigation, as well as testing of hardness, micro-hardness, mechanical properties and wear resistance under conditions of dry sliding friction and impact-abrasive wear were applied.

The results of the investigation. The influence of quenching within 850 °C–1150 °C heating interval upon the microstructure, phase composition, austenite meta-stability and the properties of deposited 20Cr8Mn6SiTiV steel was investigated. It was found that with an increase in heating temperature for quenching the content of quenching martensite decreases in the structure of the upper deposited layer, while austenite content raises. After each quenching temperature the phase composition and microstructure of deposited metal along deposited layers is naturally changed, according to the stepwise-layer-wise character of alternations in chemical composition of layers, depending upon deposition-process cladding parameters (welding current, voltage, deposition rate and share of the base metal in deposited metal). This was testified by the character of changes in the microstructure and microhardness along the layers of deposited metal. As a result such natural changes of microstructure and phase composition of deposited metal depending on quenching temperature determine the degree of metastability of the austenite component up to development of deformation induced $\gamma \rightarrow \alpha$ martensite transformation at wear (DIMTW) in the surface layer, it characterizing **the novelty of the results obtained**. These are the main factors of formation of wear resistance of the base metal, reached by the means of the effects of self-strengthening, self-relaxation of micro-strains and self-adaptation to conditions of wear. The obtained results are of **practical value** for development of technologies of layer wise depositing and heat treatment of metastable Fe-Cr-Mn metal in order improve its wear resistance for different exploitation conditions.

Key words: deposition, steel, quenching, martensite, metastable austenite, martensite transformations, wear resistance.