

С.Я. Шипицин¹, д-р техн. наук, ст. наук. співр., зав. відділу, e-mail: odus@ptima.kiev.ua, <https://orcid.org/0009-0004-6406-5345>

Г.Є. Федоров¹, канд. техн. наук, ст. наук. співр., e-mail: odus@ptima.kiev.ua, <https://orcid.org/0009-0006-3284-0137>

М.В. Карпець², д-р фіз.-мат. наук, проф., e-mail: mkarpets@ukr.net, <https://orcid.org/0000-0001-9528-1850>

В.А. Локтіонов-Ремізовський¹, канд. техн. наук, пров. наук. співр., e-mail: elenalokti@ukr.net, <https://orcid.org/0009-0009-6122-6410>

І.Ф. Кірчу¹, канд. техн. наук, пров. наук. співр., e-mail: odus@ptima.kiev.ua, <https://orcid.org/0009-0008-8785-9008>

Д.І. Лиховей¹, мол. наук. співр., e-mail: allmustd1e91@gmail.com, <https://orcid.org/0009-0008-3223-107X>

Т.В. Степанова¹, наук. співр., e-mail: stept@ukr.net, <https://orcid.org/0009-0002-5489-9595>

¹Фізико-технологічний інститут металів та сплавів НАН України (Київ, Україна)

²Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут ім. Ігоря Сікорського» (Київ, Україна)

Механізм підвищення зносостійкості сталі 110Г13Л модифікуванням, дисперсійним і дисперсним нітридним зміцненням

Проаналізовано сучасний стан промислового виробництва зносостійких литих деталей із високомарганцевих сталей з використанням різних технологій їх легування, мікролегування та модифікування з метою підвищення зносостійкості не тільки в умовах ударно-абразивного, але і в умовах суто абразивного зносу. Показано, що незважаючи на велику кількість технологій виробництва зносостійких деталей із цих сталей, прості й високоефективні способи відсутні. Перспективними напрямками є дисперсійне зміцнення металу модифікуванням і мікролегуванням сталей, зокрема азотом і ванадієм, дисперсне зміцнення легуванням сталей титаном, ніобієм тощо та використання оптимальних режимів термічного оброблення. Для умов інтенсивного ударно-абразивного зносу важливим є встановлення закономірностей впливу ступеня ударної деформації на формування поверхневого мартенситного шару у виробках після мікролегування та модифікування сталей азотом, дисперсійного й дисперсного нітридного зміцнення металу. Показано, що дисперсійне нітридне зміцнення металу модифікуванням сталі азотом або спільним додаванням в неї азоту й ванадію та дисперсне зміцнення металу після одночасного додавання азоту, титану та ніобію суттєво диспергують аустенітне зерно сталі як у литому стані, так і після гартування. Зміна структури сталей внаслідок зміцнення металу суттєво впливає на їх механічні властивості після різних режимів термічного оброблення. Дисперсійне нітридванадієве зміцнення підвищує на 15...17 % міцність і на 45...50 % пластичність, а дисперсне нітридне зміцнення — на 45...60 % пластичність при збереженні рівня міцності та незначному зниженні ударної в'язкості. Показано вплив ступеня ударної деформації на формування ε та α-мартенситу, встановлено чітку залежність між підвищенням ступеня ударної деформації та збільшенням кількості α-фази в zdeформованому шарі. Ударне деформування біля 16,6 % підвищує в деформованому шарі від 40 % до 98 % кількість α-мартенситу, що забезпечує підвищення твердості деформованого шару від 24 HRC до 36 HRC. Відзначено, що модифікування азотом, дисперсійне нітридне та ударно-деформаційне зміцнення високомарганцевих сталей підвищують в 1,5...2,0 рази їх зносостійкість в умовах сухого тертя ковзанням і в 1,7...2,0 рази в умовах абразивного зношування з використанням незакріпленого й закріпленого абразиву.

Ключові слова: високомарганцеві сталі, дисперсійне зміцнення, дисперсне нітридне зміцнення, ударно-деформаційне зміцнення, мартенсит, зносостійкість.

Серед численних марок сталей, які використовують для виробництва литих деталей, що працюють в екстремальних умовах, й сьогодні провідне місце посідає високомарганцева аустенітна сталь марки 110Г13Л. Сталь є найпоширенішою високолегованою сталлю серед ливар-

них матеріалів. Відсутність дефіцитних складових у цій сталі в поєднанні з високими фізико-механічними властивостями зумовило виняткову економічність і масовість її використання як ливарного матеріалу — понад 50 % заготовок або деталей спеціального призначення за масою виготовляють із цієї сталі. Проте

інтерес до неї не зменшується до сьогоднішнього дня.

Застосування високомарганцевої сталі марки 110Г13Л, як конструкційного матеріалу, обумовлено комплексом унікальних властивостей: високою в'язкістю металу, опором ударним навантаженням, наклепуваністю внаслідок деформацій від дії зовнішніх динамічних навантажень й утворення на поверхні виробу зміцненого шару, який забезпечує високу зносостійкість цієї сталі.

Основними споживачами виробів із високомарганцевих сталей є гірничо-збагачувальне, металургійне, оборонне й машинобудівне виробництва, залізничний транспорт тощо.

Найбільш важливою властивістю сталі 110Г13Л є її надвисока зносостійкість в умовах тертя ковзанням і абразивного зношування, яка залежить від інтенсивності зміцнення сталі зовнішнім ударним навантаженням.

Традиційно вважається, що основним механізмом зміцнення є реалізація процесу зсувного мартенситного перетворення нестабільного Fe-C-Mn аустеніту з утворенням ε - чи α -мартенситу [1, 3]. Встановлено, що підвищення ступеня пластичної деформації збільшує кількість ε - і α -мартенситу до 85—90 % за деформації від 20—22 %. Важливо, що розвиток на поверхні тертя $\varepsilon \rightarrow \alpha$ мартенситу перетворення знижує зносостійкість сталі, а збільшення стабільності сталі до цього перетворення — навпаки помітно знижує інтенсивність її зношування.

Інша група дослідників віддає перевагу реалізації процесу зміцнення сталі 110Г13Л за рахунок зміни дислокаційної структури аустеніту при зовнішній пластичній деформації [4, 6]. Зокрема зміні механізмів ковзання дислокацій, яка полягає в тому, що пробіг дислокацій під час навантаження обмежений не полем інших дислокацій, а перетинанням ними дефекту упаковки, або двійника, ковзання здійснюється більше розщепленням дислокацій.

Є дослідники, які вважають, що в процесі

зміцнення сталі 110Г13Л беруть участь обидва вказані механізми [7, 8].

Необхідно відмітити, що дослідження механізмів зміцнення сталі 100Г13Л у більшості випадків проводили при статичному пластичному деформуванні.

Тому метою нашого дослідження стало встановлення закономірностей впливу ступеня ударної деформації на формування поверхневого мартенситного шару у виробках із високомарганцевих сталей після мікролегування та модифікування їх азотом, дисперсійного й дисперсного нітридного зміцнення металу на фізико-механічні властивості й зносостійкість сталей в умовах сухого тертя ковзанням та абразивного зношування об незакріпленій і закріпленій абразиви.

Дослідні сталі виплавляли в лабораторній індукційній печі з основною футеровкою і місткістю тигля 3 кг, розливали у разові сухі піщано-глинисті форми на заготовки циліндричної форми $\varnothing 12$ мм х 70 мм і квадратної форми розмірами 12х12х60 мм при температурі розливання 1540 °С.

Хімічний склад дослідних сталей наведено у таблиці 1.

Співвідношення Mn/C в сталях відповідає рекомендованому фахівцями [5], тобто близькому до Mn/C ≈ 10 .

Всі сталі термооброблені за режимом: гартування у воді від температури 1000 °С в сталях № 3 і 5 для дисперсійного виділення нітридванадієвої фази проводили старіння за режимом: 600 °С протягом 2 год.

Ударну деформацію з дозованим ступенем 5,5; 11,1 і 16,6 % виконували з використанням зразків діаметром 15 мм і висотою 18 мм на пневматичному ковальському молоті одним ударом у спеціальних матрицях. Матриці забезпечували розмір деформованої частини зразка 1, 2 і 3 мм. Схему процесу деформування зразків показано на рисунку 1.

За нашою методикою, яка дає можливість здійснити ударну деформацію із різним ступенем, рентгенофазовим і рентгеноструктурним аналізами

Таблиця 1

Хімічний склад дослідних сталей

Номер плавки, марка сталі	Спосіб зміцнення	Вміст основних хімічних елементів, %мас.				
		C	Mn	Si	Al	Інші елементи, %мас. долі не менше
№ 1 110Г13Л	Стандартна сталь	1,30	11,96	0,19	—	—
№ 2 110Г13АЛ	Модифікування азотом	1,16	12,80	0,38	0,023	N > 0,020
№ 3 110Г13АФЛ	Нітридванадієве зміцнення	1,20	11,75	0,20	0,02	N > 0,030 V > 0,15
№ 4 110Г13АТБЛ	Зміцнення нітридами титану та ніобію	1,30	12,70	0,28	0,021	N > 0,020 Ti > 0,08 Nb > 0,10
№ 5 110Г13АФТБЛЦ	Зміцнення нітридами ванадію, титану та ніобію й модифікування РЗМ	1,18	12,50	0,37	0,023	N > 0,020 V > 0,015 Ti > 0,010 Nb > 0,010 РЗМ > 0,20

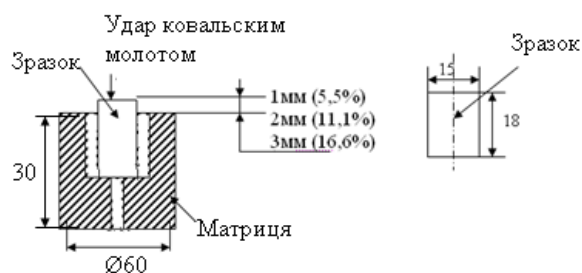


Рис. 1. Схема процесу деформування зразків з використанням спеціальної матриці

встановлено чітку залежність між підвищенням ступеня ударної деформації (5,5 %, 11,1 % і 16,6 %) та збільшенням кількості α -фази в zdeформованому шарі металу (рис. 2). Це підтверджується суттєвим підвищенням твердості на його поверхні.

Аналізом дифрактограм поверхні зразків після ударної деформації встановлено, що α -фаза має тетрагональну кристалічну ґратку із відносно низьким ступенем тетрагональності на рівні 1,01...1,02. У нелегованих вуглецевих сталях він досягає 1,04...1,06. Вірогідно, що це може бути наслідком часткового розупорядкування в процесі $\alpha \rightarrow \gamma$ -перетворення через виникнення двійників.

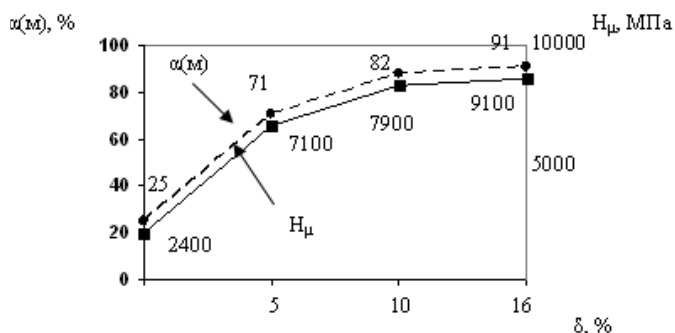


Рис. 2. Вплив ступеня ударної деформації на кількість α -мартенситу і твердість сталі 110Г13Л (№ 1). Дифрактограми одержані на рентгенівському дифрактометрі ULTIMA-IV в монохроматичному CuK_α випромінюванні

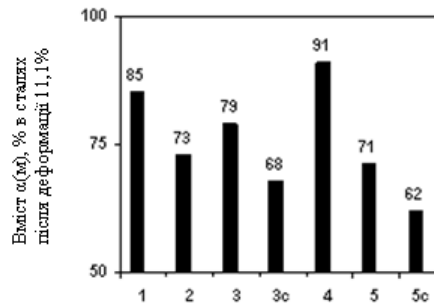
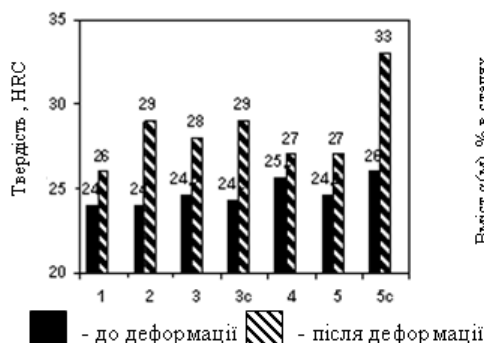


Рис. 3. Зміна твердості сталей та кількості мартенситу після ударної деформації зразків 11,1 % залежно від режимів їх термічного оброблення: 1 — сталь 110Г13Л — гартування; 2 — сталь 110Г13АЛ — гартування; 3 — сталь 110Г13АФЛ — гартування; 3с — сталь 110Г13АФЛ — гартування та старіння; 4 — 110Г13АТБЛ — гартування; 5 — 110Г13АФТБЛ_ц — гартування; 5с — 110Г13АФТБЛ_ц — гартування та старіння

Тобто структура α -фази відповідає структурі α -мартенситу. Дані за кількістю α -мартенситу і мікротвердості відповідають відомим — підвищена інтенсивність зростання кількості α -мартенситу і мікротвердості в початковий період деформації [1, 3].

Це вагомий плюс для прихильників механізму мартенситного перетворення.

Однак, подальші дослідження сталей № 2—5, які були деформовані на 11,1 %, показали, що попередні результати не можна трактувати однозначно.

Так на рис. 3 наведено дані по впливу деформації на твердість сталей і кількість α -мартенситу в них після деформації. Звертає на себе увагу протиріччя даних у 2 сталях № 3 (V+N) і № 5 (АФТБЛ_ц), які вміщують N і V. Так деформація як загартованих, так і з наступним старінням, сталей суттєво підвищує їх твердість, в той час як старіння, яке викликає дисперсійне виділення фази VN, зменшує кількість α -мартенситу в сталях після деформації. Тобто зміцнення сталей відбувається за двома механізмами — мартенситним і дислокаційним. Найбільш вірогідно, що останній пов'язаний з виникненням під час деформації великої кількості дислокацій, дефектів упакування, механічних двійників і суттєвим вмістом блочної структури за збереження аустенітної структури матриці [1, 2, 3, 7, 8].

Співставлення даних щодо твердості сталей до й після ударної деформації, інтенсивності зміцнення в процесі ударної деформації та кількості мартенситу в сталі після неї, не дають можливості однозначно пояснити результати щодо зносостійкості сталей в різних умовах зношування.

Дані щодо зносостійкості сталей наведені на рис. 4, 5, 6. Зносостійкість сталей в умовах сухого (на повітрі) тертя ковзанням визначали на машині торцевого тертя марки ТТ з контртілом із сталі У8 з твердістю 55HRC. Зносостійкість сталей в умовах ударно-абразивного зношування (незакріплений абразив) визначали за втратою маси зразків після випробувань в лабораторному галтувальному барабані з $d = 500$ мм і $l = 600$ мм, абразив — кар'єрний кварцовий пісок, ударне тіло — зірочки з білого чаву-

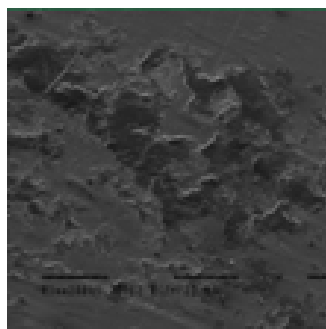
ну масою 30—50 г. Зносостійкість при абразивному зношуванні по закріпленому абразиву (наждачний папір Stridex PISO) з розмірами абразиву (Корунд Al_2O_3) 150 мкм здійснювали на машині ЛКИ-3М при параметрах: навантаження на зразок ($d = 15$ мм, $h = 18$ мм) — 2 кг, швидкість руху абразиву — 0,177 м/с, час зношування — 5 хв.

Так, за практично однакової твердості стандартної й модифікованої азотом і мікролегованої ванадієм сталей без і після ударної деформації та меншим вмістом мартенситу в другій ця сталь має максимальну зносостійкість. У той же час, сталь з комплексним обробленням N+V+Nb+Ti+Ce з максимальним ступенем деформаційного зміцнення і низьким вмістом мартенситу має мінімальну зносостійкість, нижчу ніж стандартна сталь 110Г13Л.

Однією з причин такої невідповідності може бути реалізація додаткового деформаційного зміцнення під час зношування внаслідок процесу двійникування в аустеніті. Так, у роботах [7, 8] відзначається, що за високої міцності (мікротвердість 9500—10500 МПа) та схильності до високого ступеня пластичної деформації в тонкому (1...5 мкм) шарі тертя формується стан близький до понад в'язкого, що потребує значної долі енергії тертя. Цим, вірогідно, можна пояснити підвищення в рази зносостійкості в умовах тертя ковзанням сталей з азотом і ванадієм у порівнянні із стандартною сталлю.



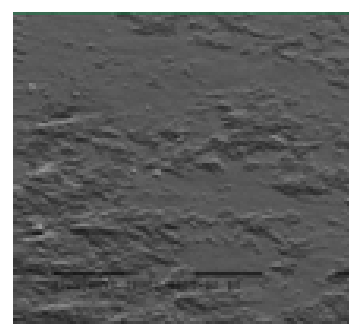
Рис. 4. Знос досліджених сталей в умовах сухого тертя ковзанням: № 1 (стандартна сталь); № 2 (N); № 3 (V+N) — після гартування; № 3 (V+N) — після гартування та старіння; № 4 (N+Ti+Nb); № 5 (N+V+Ti+Nb+Ce) — після гартування; № 5с (N+V+Ti+Nb+Ce) — після гартування та старіння



а



б



в

Рис. 7. Поверхні зношування сталей в умовах сухого тертя ковзанням після їх деформації із ступенем 11,1 % $\times 300$: а — сталь 110Г13Л після гартування; б — сталь 110Г13Л після гартування та старіння; в — сталь 110Г13АФЛ після гартування та старіння

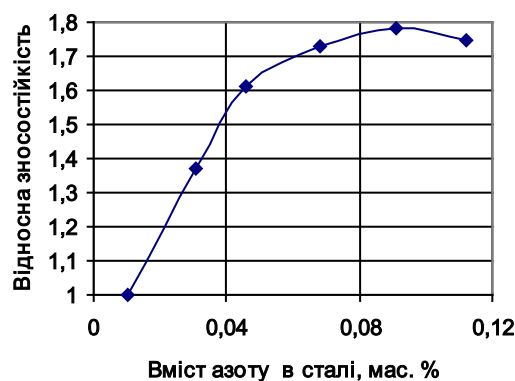


Рис. 5. Вплив модифікування сталі 110Г13Л азотом на її відносну зносостійкість при ударно-абразивному зношуванні

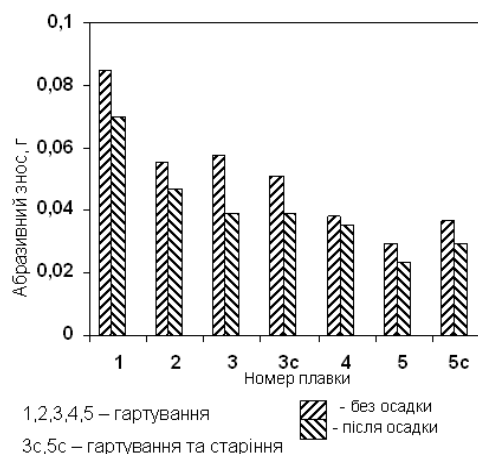


Рис. 6. Зносостійкість модифікованих і мікролегованих високомарганцевих сталей в умовах закріпленого абразиву

Підвищення пластичності металу поверхні тертя цих сталей підтверджується структурою їх поверхні тертя (рис. 7).

Зносостійкість металу в умовах ударно-абразивного зношування об незакріпленій абразив визначається, головним чином, рівнем утомної витривалості металу гару тертя. Вона зростає при підвищенні однорідності структури, диспергуванні γ -зерна, зменшенні забрудненості й диспергування неметалевих включень та одночасному підвищенні

міцності, пластичності, в'язкості металу у вихідному стані.

На рис. 5 показано зміну відносної зносостійкості сталі 110Г13Л, модифікованої різною кількістю азоту в умовах незакріпленого абразиву.

Встановлено, що модифікування азотом високомарганцевої сталі 110Г13Л одночасно позитивно впливає на всі наведені вище показники, що забезпечує майже вдвічі ударно-абразивної зносостійкості сталі з вмістом в ній біля 0,09 %мас. азоту.

На відміну від зношування з використанням незакріпленого абразиву максимальну зносостійкість сталі забезпечує модифікування азотом і мікролегування титаном і ніобієм, тобто наявність в сталі тугоплавких нітридів, а не дисперсійне зміцнення нітридами ванадію. У першому разі абразивна зносостійкість підвищується майже втричі, а в другому — в два рази. Цю різницю можна пояснити різними механізмами зношування: в першому разі — це механізм утомного руйнування металу, а в другому — механізм мікрорізання металу абразивом. Наявність відносно великих, розміром 2...8 мкм, нітридів Ti і Nb, гальмує процес мікрорізання.

Із наведених даних дослідження видно, що за рівнем зносостійкості в різних умовах зношування аналогом класичної сталі 110Г13Л є сталь 110Г13АФЛ з дисперсійним нітридванадієвим зміцненням. Вона більш ніж у два рази перевищує стандартну за зносостійкістю при сухому терті ковзанням при ударному навантаженні та в 1,7 рази при безударному

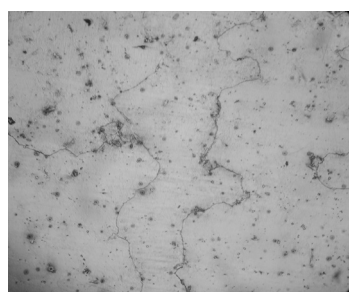
абразивному зношуванні. Крім того, вона на 15—17 % перевищує стандартну за параметрами міцності (σ_B , $\sigma_{0.2}$) і на 45—60 % за параметрами пластичності (δ , ψ) при достатньо високій ударній в'язкості (табл. 2), в тому числі за рахунок диспергування структури аустеніту (рис. 8).

Висновки

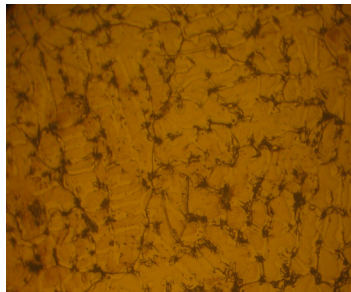
1. Експериментально доведено, що зміцнення сталі 110Г13Л ударним деформуванням відбувається за двома основними механізмами — мартенситним перетворенням $\gamma \rightarrow \alpha(\epsilon)$ М та процесами зміни дислокацій структури аустеніту.

2. З досліджених методів впливу (модифікування азотом, дисперсійне та дисперсне нітридне зміцнення) на деформаційне зміцнення і зносостійкість сталі 110Г13Л найбільш ефективно впливає дисперсійне нітридванадієве зміцнення.

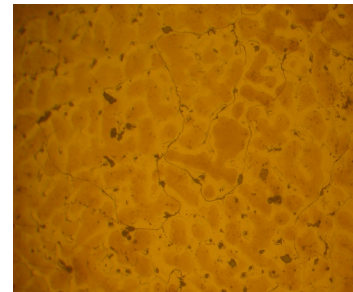
3. Розроблена сталь 110Г13АФЛ з підвищеною більш ніж у два рази зносостійкістю при ударному зношуванні тертям ковзанням у промисловому застосуванні може у разі підвищити надійність і довговічність залізничних стрілок, переводів, хрестовин.



а

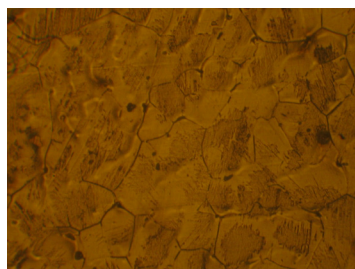


б

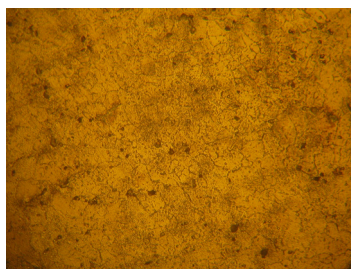


в

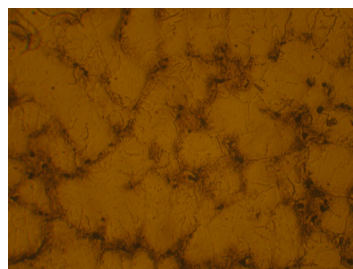
а — 110Г13Л; б — 110Г13АЛ; в — 110Г13АФЛ
Мікроструктури модифікованих і мікролегованих
високомарганцевих сталей у литому стані $\times 200$



а



б



в

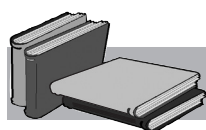
а — 110Г13Л, бал 4; б — 110Г13АЛ, бал 7; в — 110Г13АФЛ, бал 4

Рис. 8.

Мікроструктури модифікованих і мікролегованих високомарганцевих сталей та бал зерна після гартування у воду з температури 1000 °С $\times 200$

Механічні властивості термооброблених досліджених високомарганцевих сталей

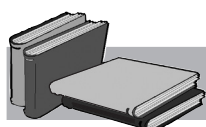
Номер, марка сталі	Термічна обробка	σ_b	$\sigma_{0,2}$	δ	ψ	КСУ, Мдж/м²
		МПа		%		
№ 1 110Г13Л	гартування	572,8	498,8	12,8	13,9	1,68
№ 2 110Г13АЛ	гартування	597	515	16,3	14,7	1,61
№ 3 110Г13АФЛ	гартування	605,5	584,4	17,2	16,7	1,16
№ 3с 110Г13АФЛ	гартування +старіння	652,9	587,4	19,6	17,6	1,25
№ 4 110Г13АТБЛ	гартування	541,6	461,1	13,3	16,3	1,36
№ 5 110Г13АФТБЛ _ц	гартування	518,8	519,1	21	22,3	1,48
№ 5с 110Г13АФТБЛ _ц	гартування +старіння	538,7	532,9	14	15	1,22



ЛІТЕРАТУРА

1. Клевцов Г.В., Клевцова Н.А., Кукушкин С.С., Кожанова Н.В. Влияние статического и циклического нагружений на мартенситные превращения аустенитной стали 110Г13Л. *Фундаментальные исследования*. 2004. № 5. С. 96.
2. Чуманов И.В., Порсев М.А. О влиянии химического состава металла на режим термической обработки отливок из стали марки 110Г13Л. *Вестник Южно-Уральского государственного университета*. 2012. № 39. С. 59—63.
3. Колокольцев В.М., Лимарев П.С. Влияние соотношения компонентов на структуру и свойства марганцовистых сталей. *Ползуновский вестник*. 2005. № 2 (ч. 2). С. 139—141.
4. Гарост А.И. Влияние технологических факторов на структуру и свойства отливок из высокомарганцевистой стали. *Литье и металлургия*. 2005. № 1. С. 126—131.
5. Гарост А.И. Влияние модифицирования на характер первичной кристаллизации и свойства отливок высокомарганцевистой стали. *Литье и металлургия*. 2005. № 3. С. 51—57.
6. Штрель М.А., Коваленко И.А. О механизме упрочнения стали Гадфильда. *Физика металлов и материаловедение*. 1987. № 1. Т. 63. С. 172—180.
7. Коршунов Л.Г. Структурные превращения при трении и износостойкость аустенитных сталей. *Физика металлов и материаловедение*. 1992. № 8. С. 3—21.
8. Коршунов Л.Г., Черненко Н.Л. Структурные превращения при трении и износостойкость сплавов системы Fe — Mn, содержащих E-мартенсит. *Физика металлов и материаловедение*. 1987. № 8. Т. 63. С. 319—328.

Надійшла 11.10.2023



REFERENCES

1. Klevtsov, G.V., Klevtsova, N.A., Kukushkin, S.S., Kozhanova, N.V. (2004). The influence of static and cyclic loading on martensitic transformations of austenitic steel 110G13L. *Fundamental Research*, 5, p. 96 [in Russian].
2. Chumanov, I.V., Porsev, M.A. (2012). On the influence of the chemical composition of the metal on the heat treatment regime of castings made of steel grade 110G13L. *Bulletin of the South Ural State University*, 39, 59-63 [in Russian].
3. Kolokoltsev, V.M., Limarev, P.S. (2005). Influence of the ratio of components on the structure and properties of manganese steels. *Polzunovskiy herald*, no. 2 (part 2), 139-141 [in Russian].
4. Garost, A.I. (2005). The influence of technological factors on the structure and properties of high-manganese steel castings. *Casting and metallurgy*, 1, 126-131 [in Russian].
5. Garost, A.I. (2005). Influence of modification on the nature of primary crystallization and properties of high-manganese steel castings. *Casting and metallurgy*, 3, 51-57 [in Russian].
6. Shtremel, M.A., Kovalenko, I.A. (1987). On the mechanism of hardening of Hadfield steel. *Physics of metals and metal science*, 1(63), 172-180 [in Russian].
7. Korshunov, L.G. (1992). Structural transformations during friction and wear resistance of austenitic steels. *Physics of metals and metal science*, 8, 3-21 [in Russian].
8. Korshunov, L.G., Chernenko, N.L. (1987). Structural transformations during friction and wear resistance of alloys of the Fe — Mn system containing E-martensite. *Physics of metals and metal science*, 8(63), 319-328 [in Russian].

Received 11.10.2023

Summary

S.Ya. Shypytsyn¹, Dr. Sci. (Engin), Senior Research Scientist, Head of the Department, e-mail: odus@ptima.kiev.ua, <https://orcid.org/0009-0004-6406-5345>

H.Ye. Fedorov¹, PhD (Engin.), Senior Researcher, e-mail: odus@ptima.kiev.ua, <https://orcid.org/0009-0006-3284-0137>

M.V. Karpets², Dr. Sci. (Phys. & Math.), Professor, e-mail: mkarpets@ukr.net, <https://orcid.org/0000-0001-9528-1850>

V.A. Loktionov-Remizovskiy¹, PhD (Engin.), Leading Researcher, e-mail: elenalokti@ukr.net, <https://orcid.org/0009-0009-6122-6410>

I.F. Kirchu¹, PhD (Engin.), Leading Researcher, e-mail: odus@ptima.kiev.ua, <https://orcid.org/0009-0008-8785-9008>

D.I. Lykhovey, Junior Researcher, e-mail: allmustd1e91@gmail.com, <https://orcid.org/0009-0008-3223-107X>

T.V. Stepanova¹, Researcher, e-mail: stept@ukr.net, <https://orcid.org/0009-0002-5489-9595>

¹*Physico-technological Institute of Metals and Alloys of the NAS of Ukraine (Kyiv, Ukraine)*

²*National Technical University of Ukraine "Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute" (Kyiv, Ukraine)*

The mechanism of increasing the wear resistance of steel 110G13L by modification, dispersion and dispersion nitride hardening

The current state of industrial production of wear-resistant cast parts from high-manganese steels using various alloying, microalloying and modification technologies is analyzed in order to increase wear resistance not only in conditions of shock-abrasive, but also in conditions of purely abrasive wear. It is shown that despite the large number of technologies for the production of wear-resistant parts from these steels, there are no simple and highly effective methods. Prospective directions are dispersion hardening of metal by modification and microalloying of steels, in particular with nitrogen and vanadium, dispersion hardening by alloying of steels with titanium, niobium, etc. and the use of optimal modes of heat treatment. For the conditions of intensive shock-abrasive wear, it is important to establish the regularities of the influence of the degree of shock deformation on the formation of the surface martensitic layer in products after microalloying and modification of steels with nitrogen, dispersion and dispersion nitride hardening of the metal. It has been shown that dispersion nitride strengthening of metal by modifying steel with nitrogen or joint addition of nitrogen and vanadium to it and dispersion strengthening of metal after simultaneous addition of nitrogen, titanium and niobium significantly disperse the austenite grain of steel both in the cast state and after quenching. The change in the structure of steels due to the strengthening of the metal significantly affects their mechanical properties after various modes of heat treatment. Dispersive vanadium nitride strengthening increases strength by 15...17 % and plasticity by 45...50 %, and dispersed nitride strengthening increases plasticity by 45...60 % while maintaining the level of strength and slightly reducing impact toughness. The influence of the degree of impact deformation on the formation of ε and α -martensite is shown, and a clear relationship between the increase in the degree of impact deformation and the increase in the amount of α -phase in the deformed layer is established. Impact deformation of about 16.6 % increases the amount of α -martensite in the deformed layer from 40 % to 98 %, which ensures an increase in the hardness of the deformed layer from 24 HRC to 36 HRC. It was noted that nitrogen modification, dispersion nitride and impact hardening of high-manganese steels increase their wear resistance by 1.5...2.0 times under conditions of dry sliding friction and 1.7...2.0 times under conditions of abrasive wear using unfixed and fixed abrasive.

Keywords

High-manganese steels, dispersion hardening, dispersion nitride hardening, shock-strain hardening, martensite, wear resistance.