



Кузнецов В.Д., Пащенко В.М., Маковей В.О., Гетманець С.М., Івановський О.А.
Національний технічний університет України "Київський політехнічний інститут". Україна, Київ

ПРОБЛЕМИ ВІДНОВЛЕННЯ ЗНОШЕНИХ ПОВЕРХОНЬ ДЕТАЛЕЙ МАШИН І КОНСТРУКЦІЙ ІЗ ВИСОКОВУГЛЕЦЕВИХ МАТЕРІАЛІВ

Анотація

Розглянуто особливості відновлення високо вуглецевих матеріалів наплавленням. Проведені випробування наплавлених композицій відповідно до існуючих рекомендацій. Підтверджена перевага використання аустенітних композицій для умов тертя метала по металу при дії ударних навантажень.

Abstract

Restoration peculiarities of the high-carbon materials by hard welding are shown. Testing of the hard welded compositions are represented. Advantage of the austenitic compositions for friction wear and strike loading is proved.

Властивості звичайної вуглецевої сталі поліпшують додаванням легуючих елементів. Леговані сталі досить поширені у сучасному машинобудуванні. Вони класифіковані за структурою, хімічним складом і призначенням.

За структурою, що отримана при охолодженні на повітрі, леговані сталі поділені на п'ять класів: перлітний, мартенситний, аустенітний, феритний і карбідний.

За призначенням сталі поділені на три групи: конструкційна, інструментальна та спеціального призначення. Сталь конструкційна відповідає у більшості випадків перлітному класу, сталь з особливими властивостями — аустенітному, мартенситному чи феритному, сталь інструментальна — перлітному і карбідному.

Вуглецева конструкційна сталь високої міцності, зносостійкості, з високими пружними властивостями марок 60, 60Г, 65, 65Г, 70, 70Г, 75, 80, 85 застосовується після загартування і відпуску для виготовлення деталей, що працюють в умовах тертя і дії високих статичних і вібраційних навантажень (диски зчеплення, ексцентрики, шпинделі, прокатні валки, бандажі трамвайних вагонів, кранові колеса, випускні клапани компресорів), а також абразивного зношування і ударних навантажень (деталі трансмісії і дробильних машин, зуб'я борін, лемеші, ножі).

Основним легуючим елементом, що визначає структуру, властивості та призначення цих сталей є вуглець. Підвищення вмісту вуглецю надає комплекс особливих властивостей матеріалам, поєд-

нуючи високу міцність, твердість та зносостійкість. Саме тому високо вуглецеві сталі (з вмістом вуглецю $\geq 0,5\%$) є найбільш поширеними у загальному та транспортному машинобудуванні, інструментальному, штамповому та інш. виробництвах.

Відновлення зношених поверхонь деталей і конструкцій з високо вуглецевих сталей стикається із значними труднощами. При термічній дії джерела нагріву у процесі відновлення поверхонь наплавленням відбуваються поліморфні перетворення з виникненням структур мартенситного типу. Утворення таких структур супроводжується об'ємними змінами у матеріалі і, як наслідок, структурними напруженнями, що сумуються з напруженнями від термічної дії джерела нагріву. Збільшений рівень напружень є основною причиною виникнення холодних тріщин в різних зонах нанесеного поверхневого шару і основи.

Основним заходом уникнення холодних тріщин вважається попередній чи супутній підігрів. У цьому випадку уповільнення швидкостей охолодження дозволяє отримати проміжні, менш тверді, структури бейніту сорбіту, троститу, перліту загартування.

Для прикладу на рис. 1 наведена термокінетична діаграма інструментальної сталі У8, з якої випливає, що при швидкостях охолодження у діапазоні $20-50^\circ\text{C}/\text{с}$. (характерних для дугового наплавлення) в сталі утворюється мартенсит з твердістю 800–900 HV. Для виходу з мартенситної області і отримання, наприклад, структури бейніту з твердістю 300–350 HV потрібна швидкість охолодження, принаймні, не більше ніж $10^\circ\text{C}/\text{с}$. Уповільнене охолодження внаслідок підігріву зменшує рівень структурних напружень і, таким чином, ймовірність виникнення холодних тріщин при відновленні поверхонь високо вуглецевих матеріалів. Наближення до таких швидкостей охолодження і надає попередній чи супутній підігрів.

Підігріву можна уникнути, якщо наплавлені композиції мають аустенітну структуру. Як правило, це композиції на основі високо марганцевого та хромомарганцевого аустеніту, схильного до деформаційного зміцнення і фазового наклепу. Між тим, рекомендації щодо застосування різних композицій і, зокрема, аустенітних мають узагальнений характер.

Так, у роботі [2] по результатам обробки документа 11-1303(11E-221-96) Міжнародного

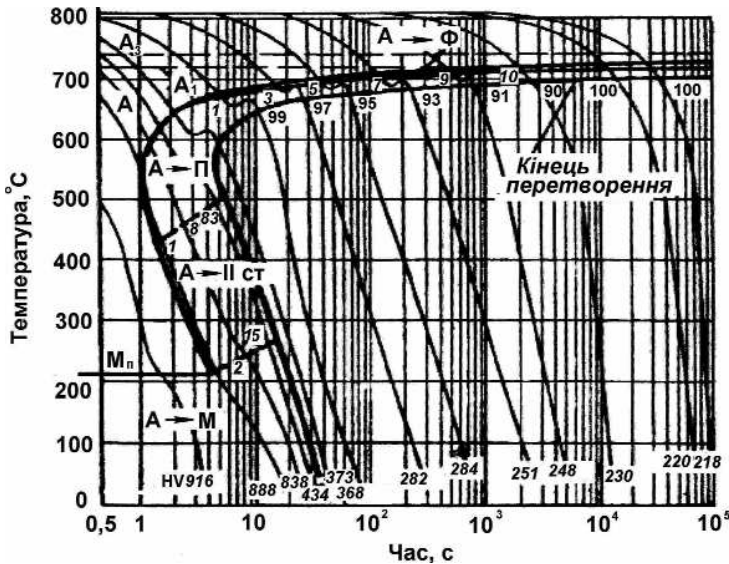


Рис. 1. Термокінетична діаграма сталі У8, що містить за мас., %: 0,76 С; 0,22 Si; 0,29 Mn [1]

інституту зварювання "Система класифікації сплавів для змичною чого наплавлення" запропоновані рекомендації по вибору матеріалів на основі поділення їх композицій і мікроструктур. Виділені основні структурні групи, а саме: ферит, змичнений вторинною фазою – **ФВг**; мартенсит типів **М1, М2, М3, М4** залежно від вмісту вуглецю і легуючих елементів; мартенсит, змичнений карбідами і евтектикою відповідно **МК1, МК2, МЕК**; аустеніт типа 1 (Сr, Ni) + аустеніт + ферит – **А1-АФ**; аустеніт марганцевий тип **А2**; аустеніт хромомарганцевий тип **А3**; аустеніт типів 2 і 3, змичнений карбідами вкорінення, основними, евтектики і суперкарбідами відповідно **А2К, А3К, АОК, АЕК, АКК**.

Для прикладу у табл. 1 наведена вибірка з характеристиками структурних груп, що рекомендовані для зносостійкого

Таблиця 1

Основні характеристики і область застосування наплавних сплавів

Показник	Структурна група наплавних матеріалів			
	МК1	А2	А3	А2К, А3К
Хімічний склад, %	(0,5-1,5)% С, Cr+W+Mo+V(Co) = 7-16%	(0,7-1,2)% С, Mn+Cr+Ni= 13-25%; звичайно 12-14% (Mn+Cr) і/або Ni	(0,5-0,7)% С, Mn+Cr=25-35%	(0,9-1,7)% С, Mn+Cr+Nb= 15-30%
Мікро структура	Мартенсит з сіткою карбідів в стані після наплавлення. Можлива невелика кількість залишкового аустеніту	Аустеніт або аустеніт, змичнений карбідами. Термічна обробка призводить до крихкості	Аустеніт. Термічна обробка не бажана	Аустеніт з дрібно-дисперсними карбідами
Твердість	55-62HRC в стані після наплавлення. Відпуск T=750°C на протязі 4,5 з знижує твердість	Приблизно 200HB в стані після наплавлення	Приблизно 200HB в стані після наплавлення	250-300HB в стані після наплавлення. В процесі роботи має місце змичнення до 45HRC
Опір ударним навантаженням	Високий	Високий	Високий	Високий
Опір при терті метала по металу	Високий	Високий	Високий	Високий
Область застосування	Інструмент для гарячої обробки метала (T≤500°C): ножі для рубки дроту, ріжучій інструмент та інш.	Наплавлення виробів, які працюють в умовах тертя метала по металу чи абразивного зношування в поєднанні з ударними навантаженнями. Важко завантажені вузли розмольного обладнання, молоти, залізничні хрестовини. Ремонт виробів з Mn-сталей, наплавлення буферних шарів	Вироби, що працюють в умовах високих ударних навантажень і тертя метала по металу. Важко завантажені елементи машин, молоти, залізничні хрестовини. Ремонт виробів з Mn-сталей, наплавлення буферних шарів	Вироби, що працюють при високих ударних навантаженнях в поєднанні з дією грубого абразивного середовища.

наплавлення поверхонь для умов ударних навантажень і тертя метала по металу, а на рис. 2 — області існування наплавних матеріалів різних структурних груп. Діаграма побудована наступним чином: по осі ординат за логарифмічною шкалою (%) відкладено вміст вуглецю в наплавленому металі, по осі абсцис (%) — сумарний вміст Cr, Mn, Si, Mo, Ni, Nb, V, W, і Ti, найбільш поширених легуючих елементів для зміцнюючого наплавлення на основі заліза.

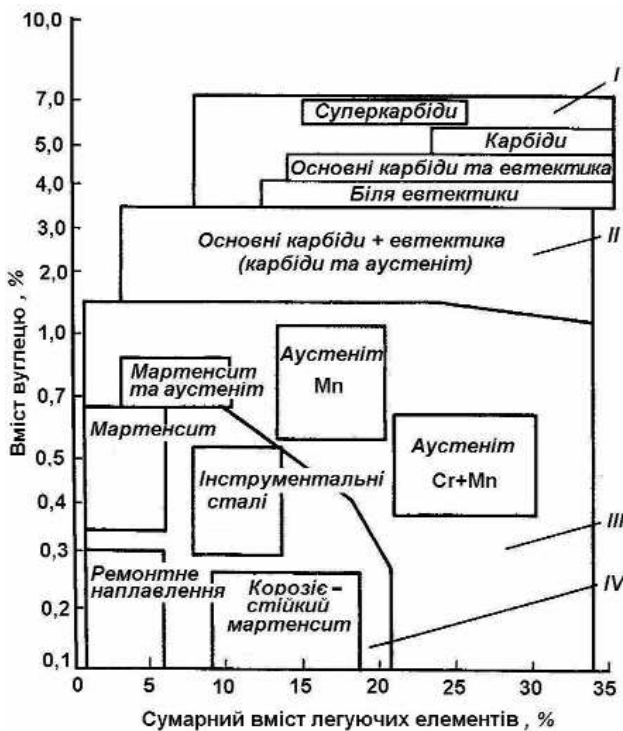


Рис. 2. Діаграма застосування наплавних матеріалів при наступних видах зношування: 1 — грубе абразивне; II — ударне абразивне; III — при вирубці, ударних навантаженнях; IV — при терті ковзання і кочення

Дані таблиці свідчать про те, що можливий хімічний склад композицій вказаних структурних груп має достатньо широкі межі і не дозволяє навіть для окремої структурної групи однозначно визначити хімічний склад.

Діаграма застосування наплавних матеріалів (рис. 2) також має орієнтовний характер, а для поєднаних умов навантаження, наприклад, тертя і дії високих статичних і вібраційних навантажень взагалі не дозволяє визначитися з рекомендованим хімічним складом.

Мета роботи — порівняльний аналіз фізико-механічних характеристик наплавних композицій матеріалів

для умов тертя та дії високих статичних і вібраційних навантажень при відновленні поверхонь високо вуглецевих матеріалів.

Досліджували композиції наплавленого металу, які відповідають структурним групам і, відповідно, хімічному складу, що рекомендовані для умов тертя метала по металу з навантаженнями. Для досліджень застосовували порошкові дроти вітчизняного виробництва, електроди ЦНИИН-4 та електроди фірми Castolin. Хімічний склад композицій наведено у табл. 2.

Проводили випробування на зношування, згин та ударний згин.

Триботехнічні випробування проводили на машині тертя типу М-22, принцип роботи якої полягає в тому, що нерухомий зразок у вигляді колодки притискається до циліндричної поверхні диска, який обертається. Використовували зразки довжиною 20 мм та шириною 10 мм з вифрезерованою циліндричною поверхнею у вигляді сегмента з радіусом R 20 мм та хордою 20 мм.

Для контртіла використовували диск Ø 40 мм, який виготовляли зі сталі Р65 твердістю НВ 300–350. Умови випробувань: тиск на зразок — $p = 0,5 \pm 0,1$ МПа; швидкість тертя — $v = 3 \pm 0,25$ м/с; температура випробувань — $t = 60 \pm 20^\circ\text{C}$; тривалість випробувань — 1 година.

Зразки зважували до і після випробувань на точних лабораторних вагах із похибкою 0,0001 г. Масове зношування визначали як різницю значень маси зразка до та після випробувань.

Випробування на згин проводили на універсальній випробувальній машині TIRAtest-2300 на зразках прямокутного перерізу. Кут згину визначали при появі першої тріщини в розтягнутій зоні зразка.

Випробування на ударний згин проводили на маятниковому копрі 2010 КМ-30 з максимальною енергією удару маятника 300 Дж і швидкістю маятника в момент удару 5,5 м/с.

Структури композицій ідентифікували по результатах металографічного аналізу. Встановлено, що структури наплавленого металу зразків 7, 9, 26 мають аустенітну структуру, аустенітна матриця

Таблиця 2

Хімічний склад наплавленого металу

№ зразка	Масова доля у відсотках								
	C	Cr	Mn	Ni	Si	Mo	V	Ti	Cu
24	0,7	0,05	0,89	0,04	0,25	-	-	-	-
30	0,5	1,1	0,8	1,7	0,43	0,5	-	0,4	-
10	0,62	20,8	9	2	0,55	0,5	-	-	0,17
23	0,27	4,5	5	-	0,2	-	-	0,08	-
26	0,5	0,2	11	0,08	0,8	0,3	-	-	-
9	0,22	13	5,8	6	0,6	1,4	0,4	-	0,9
7	0,11	11	11					1	

зразків 23 і 10 містить відповідно сорбіт загартування і дрібногочастий мартенсит, структура зразка 30 складається з мартенситно-бейнітної суміші. За встановленим хімічним складом та структурами композиції наплавленого металу поділяли відповідно до вказаних вище структурних груп.

Результати випробувань показали, що показники зносостійкості досліджених структурних груп не завжди корелюються з існуючими літературними даними, зокрема, з наведеними у табл. 1.

Структури мартенситного типу (табл. 3.) за твердістю та зносостійкістю мають вищі показники, ніж високо вуглецева трооститна основа, але дещо поступаються за значеннями ударної в'язкості (пор. зразки 24, 30). При наплавленні такої композиції у валиках з'являються тріщини, що унеможливує її застосування без попереднього підігріву.

При наплавленні аустенітних композицій не спостерігається виникнення тріщин в структурі металу валиків і при шовній зоні, що збігається з існуючими літературними даними. Аналіз показав, що підвищена зносостійкість порівняно з основою виявляється в композиціях хромомарганцевого і хромонікельмарганцевого аустеніту (пор. зразки 24, 10, 7, 9). Найбільший ефект підвищення зносостійкості спостерігається в хромомарганцевій композиції за умов підвищеного вмісту вуглецю хрому, марганцю і наявності нікелю (зразок 10).

Наведені дані свідчать про відсутність прямої залежності між зносостійкістю та твердістю аустенітних композицій. Так, хромомарганцева композиція порівняно з високо вуглецевою основою при однаковій твердості може мати у п'ять

разів підвищену зносостійкість (пор. зр. 10 і 24) і, навпаки, при більшій твердості – практично однакову з основою зносостійкість (пор. зр. 23 і 24). Хромонікельмарганцева композиція має у два рази вищу зносостійкість порівняно з високо марганцевою при практично однаковій незначній вихідній твердості (зр. 9, 26)

Виявлені особливості можуть бути результатом того, що в прийнятих умовах випробування на зносостійкість хромонікельмарганцева композиція проявляє здатність до деформаційного зміцнення та фазового наклепу, натомість марганцева і хромомарганцева композиції в цих умовах таку здатність не виявляють і наведені у табл. 3. показники відображають значення їх зносостійкості у вихідному стані після наплавлення.

При відновленні наплавленням принциповим є значення ударної в'язкості по лінії сплавлення наплавленого металу з основою. Аналіз показав, що вуглецева композиція (зр. 30) має більш низьку ударну в'язкість порівняно з аустенітними (зр. 23, 10, 7, 9, 26) і основою (зр. 24). Дані по ударній в'язкості корелюються з результатами випробувань на ударний згін. Порівняно з основою найбільші значення кута розкриття тріщини випробуваних композицій припадають на найменші значення виникаючих максимальних нормальних напружень, що свідчить про більшу в'язкість матриць наплавленого металу.

Таким чином, для умов тертя металу по металу при дії навантажень застосування аустенітних композицій є більш ефективним, але при виборі треба враховувати комплекс їх фізико-механічних характеристик і, зокрема, різну стійкість проти зношування.

Таблиця 3

Результати випробувань різних наплавних композицій

Структурна група	Зразок, №	σ_{\max} , МПа	Кут згину, °	Ударна в'язкість КС, Дж/см ²	Твердість, НРС контргіло/зразок	Зношування, Δm , г
Основа троостит	24	2590,9	158	13,32	30 / 32	0,12
Мартенсито-бейнітна	30			8,41	30 / 42	0,08
Хромомарганцевий аустеніт	23		176		30/42	0,11
	10	619,6	176	22,5	30/ 31	0,022
	7				30/28	0,05
Хромонікельмарганцевий аустеніт	9	1785,99	148	15,73	30/ 15	0,065
Високо марганцевий аустеніт	26	1564,79	158	9,96	30/13	0,11

**Литература**

1. Попов А.А., Попова Л.Е. Изотермические и термокинетические диаграммы распада переохлажденного аустенита. — М.: Металлургия, 1965. — 495 с.

2. Мазель Ю.А., Кусков Ю.В., Полищук Г.Н. Классификация сплавов на основе железа для восстановительной и упрочняющей наплавки // Сварочное производство, 1999. — № 4. — С. 35–38.