

УДК 621.774:669.296.57:669.184

**ВПЛИВ ЛАЗЕРНОГО ВИПРОМІНЕННЯ НА ЗМІНУ
КРИСТАЛІЧНОЇ СТРУКТУРИ ЗАІЗО – ХРОМИСТИХ СПЛАВІВ¹**

С. В. Жук

*Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут»*

Досліджено вплив лазерного випромінювання на зміну параметрів тонкої кристалічної структури залізо – хромистих сплавів. Встановлено, що лазерне опромінення провокує утворення інтерметалідних фаз, об'ємна частка яких залежить від вмісту хрому.

Исследовано влияние лазерного излучения на изменение параметров тонкой кристаллической структуры железохромистых сплавов. Установлено, что лазерное облучение провоцирует образование интерметаллидных фаз, объемная доля которых зависит от количественного содержания хрома

Influence of laser radiation on the change of parameters of thin crystalline structure of Fe-Cr alloys is explored. It was set, that the laser irradiation provokes formation of σ – phase, the volume quota of this phase relies on quantitative maintenance of chrome in an alloy.

Вступ

Залізо – хромисті сплави широко застосовуються в багатьох галузях промисловості. Ці сплави додатково леговані великою кількістю елементів, використовуються як високоміцні, зносостійкі і корозійностійкі конструкційні матеріали. Поряд з цим, необхідність виготовлення виробів із багатоконпонентних, багатофазових сплавів, які відповідають вимогам конструктивної необхідності, не завжди відповідає потребам більш високої поверхневої міцності, зносостійкості, корозійної стійкості деяких частин виробів (наприклад вузлів тертя). Для зміни властивостей поверхневого шару цих виробів використовують методи лазерної обробки.

Направлена зміна хімічного складу, структури, фізико–хімічних та експлуатаційних властивостей поверхневого шару під дією лазерного опромінення неможлива без виявлення та розуміння основних механізмів

¹ - роботу виконано під керівництвом доктора технічних наук В. П. Ліхошви, Фізико-технологічний інститут металів і сплавів НАН України і доктора технічних наук, професора В.С.Богушевського, Національний технічний університет України „КПІ”.

перетворення в зоні лазерної обробки. Тому напрямок досліджень є вельми актуальним.

Постановка задачі дослідження

Дослідження проводяться з метою обґрунтування основних механізмів перетворення в зоні лазерної обробки.

Методика проведення експериментів

Механізми структурних перетворень, що протікають в сплавах під дією лазерного опромінення, вивчалися в чистих залізо – хромистих сплавах з різним вмістом хрому в залізі. Використовувалися литі зразки, які отриманні з чистих заліза та хрому у вигляді сплавів з вмістом хрому 5 % (сплав № 1) і 20 % (сплав № 2) по масі, які піддавалися лазерному впливу.

Лазерне опромінення литих зразків здійснювали за допомогою CO₂ лазера при безперервній генерації випромінення в діапазоні зміни щільності потужності (P_m) від $1,3 \times 10^4$ до 2×10^5 Вт/см² при швидкостях переміщення зразка відносно лазерного променя (V) 0,1 – 1,0 м/хв.

В залежності від параметрів лазерної обробки ширина доріжки (поверхневої зони лазерної дії) змінювалися в межах 1,3 – 3,0 мм, при цьому максимальна глибина зони лазерної дії (ЗЛД) досягала 650 – 700 мкм.

Результати досліджень

Зона оплавлення (ЗО) сплаву № 1 має яскраво виражену границю розподілу, яка формується гідродинамічними потоками (рис. 1 а), з дуже вузькою без видимих границь зоною термічного впливу (ЗТВ). Висока швидкість твердіння розплаву фіксує сліди течії розплаву і признаки розвитку мікрокристалічної ліквідації (рис. 1 а, б).

Збільшення вмісту хрому (сплав № 2) не змінює стану границь ЗЛД і ЗТВ (рис. 1 в) в ЗО, ще більш яскраво виражені сліди течії розплаву (рис. 1 в, г), проглядається посилення структурних неоднорідностей.

Наявність структурних неоднорідностей і мікроскопічної ліквідації в ЗО після твердіння визначається нерівномірністю розподілення швидкостей конвективного масопереносу по перетину ванни розплаву в процесі лазерного оплавлення [1].

Основною вихідною фазою складу литого сплаву № 1 в твердому стані являється твердий розплав хрому в залізі (хромистий ферит), а в сплаві № 2 додатково присутня інтерметалідна фаза σ - FeCr (табл. 1).

Лазерне оплавлення сплавів № 1 і № 2 приводить до появи в ЗО аустеніту (γ -Fe), кількість якого залежить від параметрів лазерної обробки. При високих швидкостях переміщення і невеликій щільності потужності

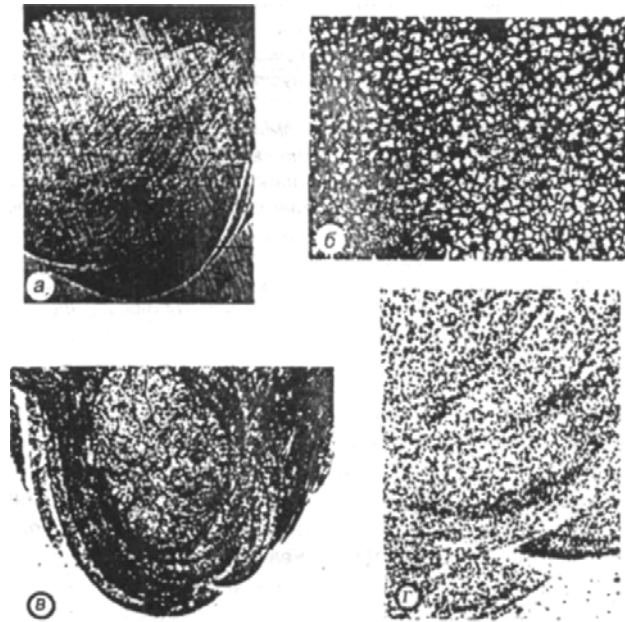


Рис. 1. Мікроструктура зони оплавлення залізо – хромистих сплавів № 1 (а, б) і № 2 (в, г); а, в – х 100, б, г – х 400

лазерного випромінення в сплаві з невисоким вмістом хрому (№ 1) аустеніт може не утворюватися (табл. 1). Тоді як із збільшенням щільності потужності випромінювання і зменшення швидкості переміщення променя, а значить із збільшенням розмірів ванни розплаву, часу перебування металу в рідкому стані і зниження швидкості твердіння, а також процес аустинізації ЗО збільшуються (табл. 1).

Таблиця 1 Кількісний склад (масова частка, %) γ -фази в основі і зоні оплавлення сплавів № 1 і № 2

Об'єкт дослідження		Параметри лазерного опромінення		
		без обробки	1.Щільність потужності, $P_M=1,3 \cdot 10^4 \text{Вт/см}^2$ 2.Швидкість переміщення променя, $V = 0,7 \text{ м/хв}$	1.Щільність потужності, $P_M=2 \cdot 10^4 \text{Вт/см}^2$ 2.Швидкість переміщення променя, $V = 0,5 \text{ м/хв}$
Сплав № 1	Вміст фази γ -Fe	0	-	-
Сплав № 2		0	-	-
ЗО сплаву № 1		-	0	0,44
ЗО сплаву № 2		-	11,4	19,3

Аналогічна тенденція утворення аустеніту в ЗО спостерігається і для високохромистого сплаву № 2, з тією ж лиш різницею, що кількісний вміст утвореного аустеніту досягає 20 % по масі (табл. 1).

Дані рентгенофазового аналізу (табл. 2) показують, що у вихідному сплаві № 1 σ – фаза не знайдена, а в сплаві № 2 вона присутня. Збільшення складу хрому сприяє утворенню σ –фази і одночасно зміщує область її існування до більш високих температур [2]. Щодо питання про утворення σ – фази в літературі не має єдиної думки, проте за експериментальними даними [3] при розпаді фериту ведучою фазою являється σ – фаза.

Лазерне оплавлення як сплаву № 1 (з невисоким вмістом хрому) так і сплаву № 2 сприяє утворенню σ – фази (табл. 2). Крім цього, в ЗО сплаву № 1 з'являються незначна кількість окилів заліза з різним складом кисню, присутність останніх пояснюється лазерним оплавленням на поверхні. В ЗО сплаву № 2 спектр неметалевих включень значно розширюється в основному на базі окилів хрому різноманітних модифікацій.

Таблиця 2 Фазовий склад основи і зон оплавлення сплавів № 1 і № 2

Об'єкт дослідження	Основні фази	Допоміжні фази	Другорядні фази
Сплав № 1	α -Fe	-	-
Сплав № 2	α -Fe	дуже слабкі лінії σ -FeCr	дуже слабкі лінії Fe_5C_2 , ϵ - Fe_2C
ЗО сплаву № 1	α -Fe, дуже слабкі лінії γ -Fe	дуже слабкі лінії σ -FeCr	дуже слабкі лінії Fe_2O_3 , α - Fe_2O_3
ЗО сплаву № 2	α -Fe, середньо слабкі лінії γ -Fe	слабкі лінії σ -FeCr	дуже слабкі лінії FeO , ξ - Fe_2O_3 , Cr_2O_5 , γ - Fe_2O_3 , CrO_2 , Cr_3O_8

Ріст частинок σ – фази і збільшення їх вмісту в ЗО, а також окиснення хрому і утворення неметалевих включень веде до об'єднання фериту хромом і δ - γ перетворенню.

Дослідження зміни мікротвердості по глибині зони оплавлення сплавів показали значне збільшення показників характеристик міцності в порівнянні з неопроміненою основою (табл. 3). Як видно з таблиці мікротвердість неопроміненого шару сплаву № 1 складає 200 – 205 кг/мм², а мікротвердість зони оплавлення 420 – 430 кг/мм², при цьому на границі зони оплавлення та зони термічного впливу мікротвердість становить 450 кг/мм². Це красномовно свідчить про те, що характеристики мікротвердості оплавленого шару в порівнянні з вихідним станом зросли в два рази. Аналогічно для сплаву № 2. Якщо мікротвердість основи складала 150 – 155 кг/мм², то в зоні оплавлення вона становить 300 – 305 кг/мм², а на границі зони оплавлення і зони термічного впливу – 345 кг/мм². Слід відзначити, що різнобій значень мікротвердості в зоні оплавлення сплаву

№ 2 в порівнянні з зоною оплавлення сплаву № 1 значно менший. Зміна мікротвердості представлена на рисунках 2 і 3.

Таблиця 3 Показники мікротвердості залізо – хромистих сплавів до і після лазерної обробки

Відстань від поверхні, мкм	Мікротвердість, МПа			
	Сплав №1		Сплав №2	
	вихідний	опромінений	вихідний	опромінений
50	2000	4200	1500	3000
100	2000	4200	1500	3005
150	2000	4000	1500	3005
200	2002	4000	1520	3005
250	2002	4000	1520	3005
300	2002	4000	1520	3005
350	2002	4000	1550	3005
400	2005	4280	1550	3005
450	2005	4300	1550	3005
500	2005	4280	1550	3005
550	2000	3500	1530	2500
600	2000	2500	1520	1200
650	1980	2300	1520	1200
700	1980	2200	1520	1200
750	1970	2200	1490	1200
800	1970	2200	1490	1200

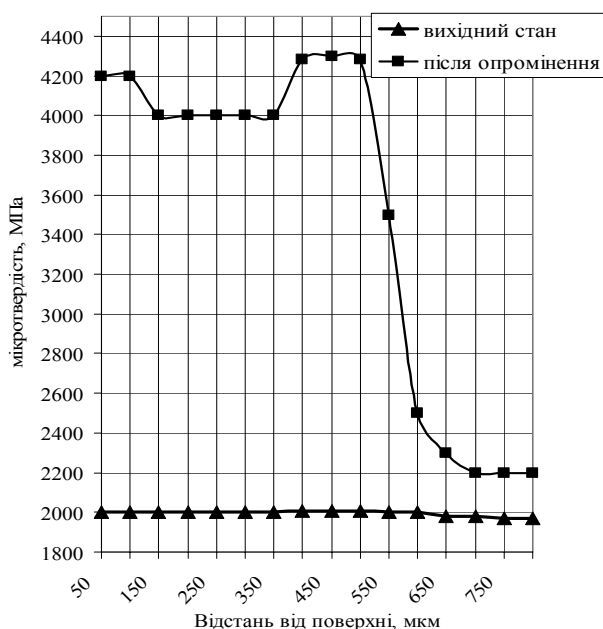


Рис. 2. Мікротвердість сплаву № 1 до і після лазерного опромінення

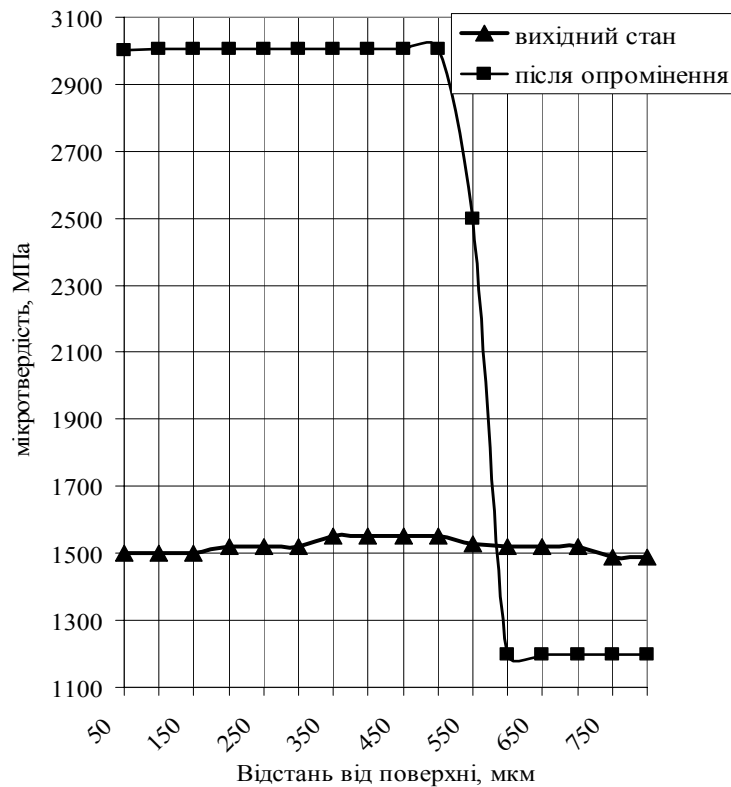


Рис. 3. Мікротвердість сплаву № 2 до і після лазерного опромінення

Висновки

В результаті досліджень встановили, що лазерне оплавлення чистих залізо – хромистих сплавів провокує утворення часток σ – фази, а їх ріст і збільшення вмісту в зоні оплавлення, а також окиснення хрому і утворення неметалевих включень ведуть до об'єднання фериту хромом, що сприяє протіканню δ - γ перетворення й утворення аустеніту. Лазерне оплавлення чистих залізо – хромистих сплавів сприяє зміні фазового складу і тонкої кристалічної структури, що приводить до часткової аустинізації зони оплавлення і, в кінцевому результаті, забезпечує дворазове підвищення характеристик міцності в опроміненому шарі.

Література

1. Лихошва В.П. Металлургические особенности лазерного оплавления чугунов // Процессы литья. – 2004. – № 2. – С. 14 – 22.
2. Гольдштейн М.И., Грачев С.В., Векслер Ю.Г. Специальные стали. – М.: Металлургия, 1985. – 408 с.
3. Банных О.А., Ковнеристый Ю.К., Зудин И.Ф. Особенности взаимодействия лазерного излучения с пленкой жидкого металла // Хромомарганцевые теплоустойчивые стали с алюминием. – М.: Наука, 1965. – 101 с.