

## ПРОГНОЗУВАННЯ СТРУКТУРНО–ФАЗОВОГО СТАНУ ЗНОСОСТІЙКИХ МАТЕРІАЛІВ ПРИ ДУГОВОМУ НАПЛАВЛЕННІ

*На основе исследований износостойких наплавленных композиций построены диаграммы, которые позволяют прогнозировать структурно-фазовое состояние наплавленных слоёв с учетом карбидной фазы и доли участия основного металла в наплавленном слое*

*The diagram is constructed on the base of studies of wear-resistant weld surfacing compositions that allow to predict the structural-phase state of the deposited layers and the carbide phase and the share of parent metal in the weld surfacing layer as well*

Значний обсяг відновлення поверхонь деталей з вуглецевих та низьколегованих сталей здійснюють зносостійким наплавленням [1, 2], переважно матеріалами, що забезпечують мартенситну чи аустенітну структури. Такі матеріали, як правило містять вуглець, що сприяє утворенню додаткових твердих складових у вигляді карбідної фази.

При наплавленні такими матеріалами структура металу визначається не тільки хімічним складом, але й технологічними умовами процесу. Дослідження сукупності цих факторів достатньо трудомісткі і потребують значних матеріальних та трудових витрат.

Для ряду композицій зносостійких матеріалів у роботі [3] прогнозування структурно - фазового стану зроблене на основі діаграми Шефлера з урахуванням кількості карбідної фази з доповненням даних щодо твердих складових структурного стану та технологічних умов наплавлення. Однак побудована діаграма має припущення, а саме відсутність перемішування основного металу з наплавленим і незалежність структурно-фазового стану від швидкості охолодження. Між тим ці фактори можуть суттєво змінювати структурно-фазовий стан матеріалів. Тому розробка методик прогнозування структурно – фазового стану матеріалів залежно від композицій і технологічних умов є актуальною.

Мета роботи–прогнозування структурно–фазового стану матеріалів залежно від хімічного складу і технологічних умов наплавлення.

В дослідженнях здійснювали як безперервне наплавлення 3-ох валиків, так і наплавлення з охолодженням кожного з них, що дозволяло відслідковувати вплив частки основного металу в наплавленому шарі, так і швидкість охолодження на структурно-фазовий стан.

*Примітка. У роботі приймала участь магістр Пірумова І.С.*

Використовували електродні матеріали, що забезпечували мартенситну структуру, аустенітну та аустенітно-цементитну. Хімічний склад наплавленого металу наведено в табл.1

Таблиця 1

Хімічний склад наплавленого шару

Електрод	Вміст елементу, %									
	C	Si	Mn	Cr	S	P	B	Ni	Ti	Mo
ЦНИИН-4	0,5 -0,8	0,8	11 -14	22 -28,5	0,035	0,04	-	2 - 3,5	-	-
T-590	2,9 -3,5	2 -2,5	1 -1,5	22 -27	0,035	0,035	0,5 - 1,5	-	-	-
ЭН – 60М	0,5 -0,9	0,8 -1,2	0,4 - 1	2,3 - 3,2	0,03	0,034	-	-	0,3	0,3-0,7

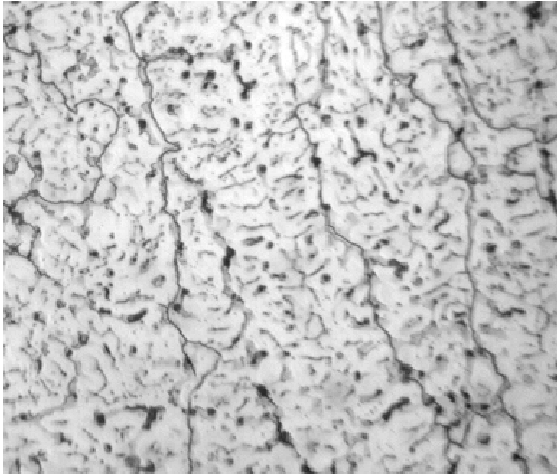


Рис. 1. Структура аустеніту із карбідними включеннями (ЦНИИ-4)

поверхневим шаром третього валика (HV=597), що пов'язано з відпалом наступними валиками попередніх та розчиненням карбиду у даній зоні.

Аустенітна структура з карбідними включеннями зберігається у кожному наплавленому валику з незначною відмінністю карбідних включень.

При наплавленні електродами Т-590 у наплавленому шарі утворюється до-евтектичний високохромистий чавун. Твердими компонентами даної структури є карбіди та бориди.

При тришаровому наплавленні, як і у випадку з електродами ЦНИИ-4 спостерігається зменшення карбідної фази у попередніх валиках, а у третьому шарі збільшується кількість карбоборидної евтектики, що також надає більшу твердість (HV=927), порівняно з попередніми двома валиками (HV=766, 841).

При наплавленні електродами ЭН-60М у наплавленому шарі утворюється структура мартенситу (Рис3). Також треба зазначити, що при наплавленні даними типами електродів підігрів суттєво впливає на твердість. При наплавленні із проміжним

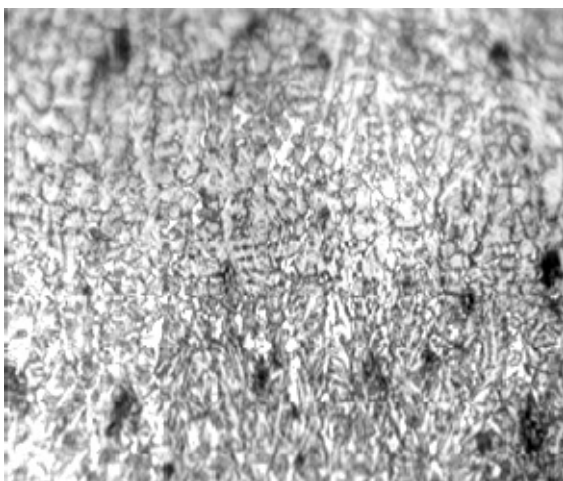


Рис. 3. Структура наплавленого шару електродом ЭН-60М, мартенсит

По результатам наплавлення були отримані мікроструктури зразків для наплавочних електродів марок ЦНИИ-4, Т-590 та ЭН-60М. При наплавленні електродом ЦНИИ-4 вже в першому шарі, в верхній частині наплавленого валика утворюється чітко виражена аустенітна структура із карбідними включеннями (Рис.1).

При двошаровому наплавленні електродами ЦНИИ-4 спостерігаються структурні зміни у зоні сплавлення першого та другого валику, так звана перехідна зона.

Структура цієї зони має дещо знижену твердість (HV=455) у порівнянні з поверхнею другого шару (HV=509). Це пояснюється впливом наплавлення наступного валику, в наслідок чого попередній валик відпалюється та частина карбідної фази розчиняється.

У тришаровому наплавленні спостерігається та ж сама тенденція, що і для двошарового наплавлення. У перехідних зонах між першим та другим валиками та між другим і третім валиком спостерігається зниження твердості (HV=483,507,543) у порівнянні з

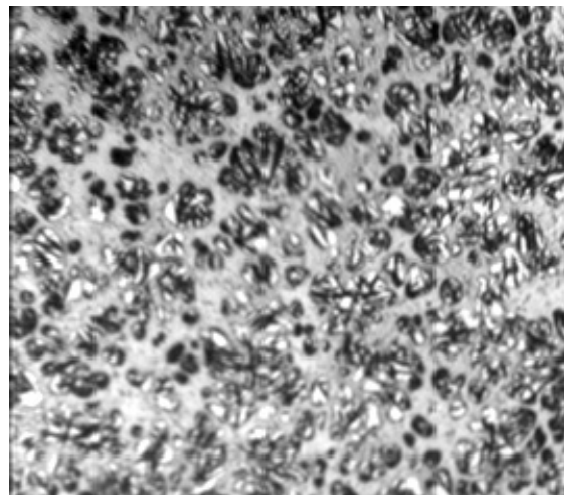


Рис. 2. Структура наплавленого металу електродом Т-590, доевтектичний чавун з карбоборидною фазою

охлаждением твердість значно вище, ніж без проміжного охолодження. Як приклад, можна привести розподіл твердості при наплавленні електродів ЭН-60М при тришаровому наплавленні із проміжним охолодженням та без нього (рис. 4 та 5).

Отже, при наплавленні даними електродами спостерігається помітне збільшення твердості у третьому шарі при багатшаровому наплавленні, що зумовлено відсутністю мартенситу відпалу в останньому шарі.

По результатам виконаних випробувань розраховували швидкості охолодження для даних електродів для одношарового, двошарового та тришарового наплавлення без проміжного охолодження.

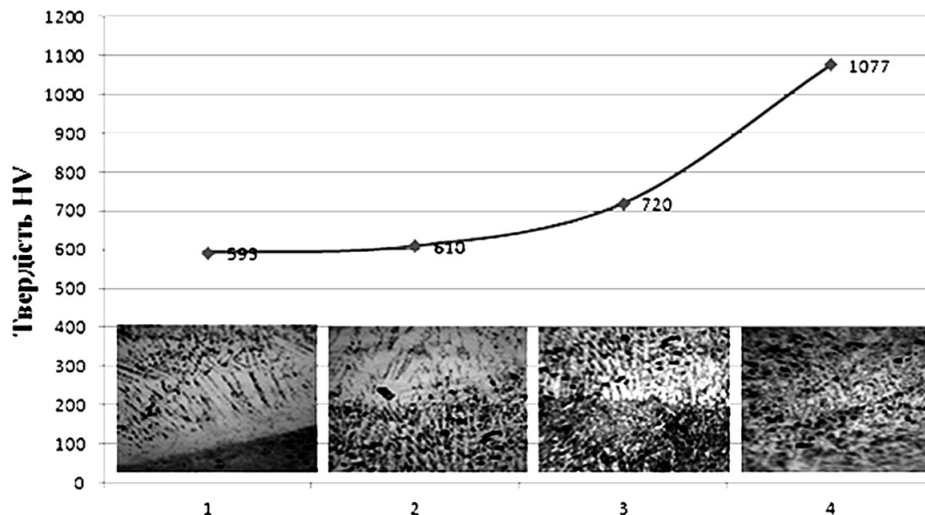


Рис. 4. Розподіл твердості по висоті валика наплавленого електродом ЭН-60М при тришаровому наплавленні із проміжним охолодженням

Так для електродів ЦНИИ-4 швидкість охолодження складає: для одношарового наплавлення  $V_{ох}=80^{\circ}\text{C}/\text{с}$ ; для двошарового наплавлення  $V_{ох}=55^{\circ}\text{C}/\text{с}$ ; для трьохшарового наплавлення  $V_{ох}=35^{\circ}\text{C}/\text{с}$ . Для електродів Т-590 швидкість охолодження складає: для одношарового наплавлення  $V_{ох}=60^{\circ}\text{C}/\text{с}$ ; для двошарового наплавлення  $V_{ох}=30^{\circ}\text{C}/\text{с}$ ; для тришарового наплавлення  $V_{ох}=20^{\circ}\text{C}/\text{с}$ . Для електродів ЭН-60М швидкість охолодження складає: для одношарового наплавлення  $V_{ох}=70^{\circ}\text{C}/\text{с}$ ; для двошарового наплавлення  $V_{ох}=60^{\circ}\text{C}/\text{с}$ ; для тришарового наплавлення  $V_{ох}=25^{\circ}\text{C}/\text{с}$ .

При наплавленні із проміжним охолодженням: для електродів ЦНИИ-4  $V_{ох}=55-85^{\circ}\text{C}/\text{с}$ ; для Т-590  $V_{ох}=50-60^{\circ}\text{C}/\text{с}$ ; для ЭН-60М  $V_{ох}=70-80^{\circ}\text{C}/\text{с}$ . Як видно з результатів швидкість охолодження без проміжного охолодження більша в порівнянні з наплавленням із проміжним охолодженням.

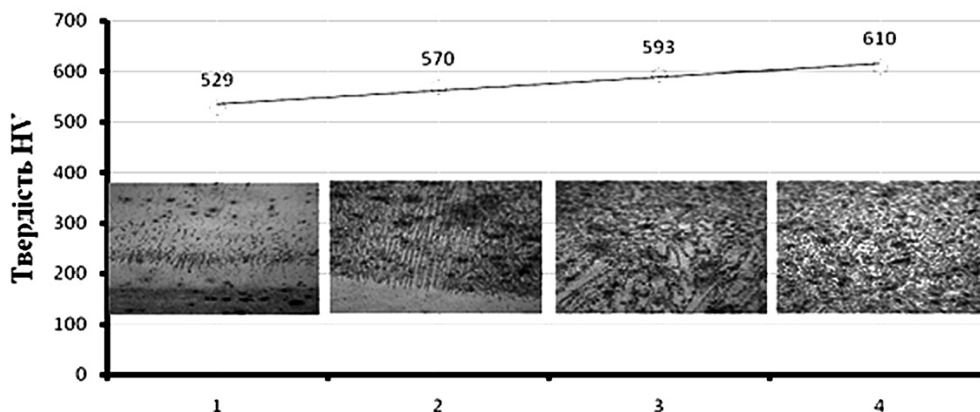


Рис. 5. Розподіл твердості по висоті валика наплавленого електродом ЭН-60М при тришаровому наплавленні без проміжного охолодження

Для побудови діаграми Шефлера розраховували еквівалент хрому та еквівалент нікелю. Кількість карбідної фази розраховували за рекомендаціями роботи [3].

$$K_{карб} = Cr_{еквкарб}^{карб} + C_{карб}$$

де:

$$Cr_{еквкарб}^{карб} = 60\% Cr_{екв}^{карб}$$

$$C_{карб} = Cr_{еквкарб}^{карб} \times 1.07 \times 30\% \times 0.22 \times 70\%$$

Результати розрахунків наведені в таблиці 2.

За результатами аналізу площ поперечного перерізу визначили частку основного металу в наплавленому для одношарового наплавлення. Ця частка для електродів ЦНИИ-4 складає 0,3, для електродів Т-590 -0,4, для електродів ЭН-60М -0,3.

Таблиця 2

## Результати розрахунків для дослідних електродів

Електрод	$Cr_{екв}^{карб}$	$Cr_{екв}^{карб в карб}$	$C_{карб}$	$K_{карб}, \%$	$Ni_{екв}$	$Cr_{екв}$
ЦНИИН-4	25,25	15,15	1,53	15,8	28,5	26,45
T-590	24,25	14,55	1,47	15,26	91,625	27,63
ЭН-60М	2,75	1,65	0,167	1,73	21,35	4,75

Отримані дані дозволяють побудувати діаграму Шефлера (рис.6), яка окрім структурного стану містить дані по його зміні з врахуванням частки основного металу в наплавленому, а також кількість карбідної фази для кожного з наплавочних електродів.

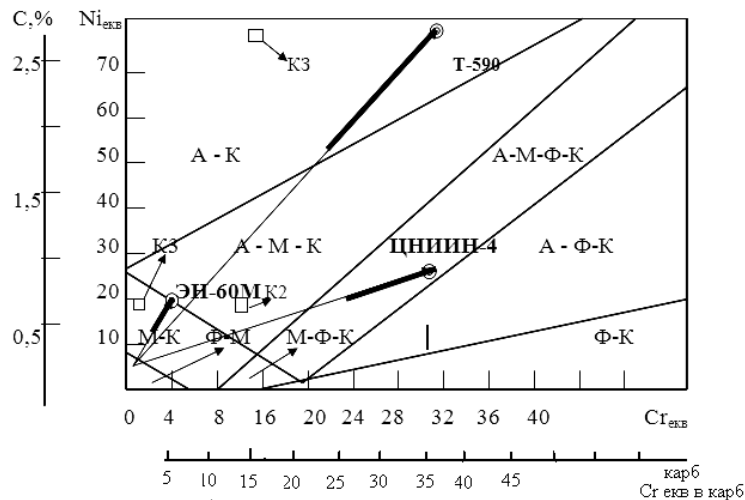


Рис.6. Діаграма Шефлера для долі участі основного металу в наплавленому шарі та кількості карбідної фази

З аналізу діаграми випливає, що вказані відсотки змішування основного металу з наплавом (товсті лінії на діаграмі) не впливають на зміну структури. Кількість карбідної фази для кожного з електродів (на діаграмі K1-кількість карбідної фази для електродів ЭН-60М, K2-кількість карбідної фази для електродів Т-590, K3-кількість карбідної фази для електродів ЦНИИН-4) корелюється з даними її оцінки по мікроструктурам. Отримані точки на діаграмі для електродів ЦНИИН-4 (А-М-Ф-К), Т-590 (А-К), ЭН-60М (М-К) підтверджуються мікроструктурним аналізом. Таким чином, прогнозування структурно-фазового стану матеріалів з урахуванням частки основного металу в наплавленому, а також кількості карбідної фази може виконуватися на базі діаграми Шефлера.

## Висновки

1. За результатами аналізу структур встановлено, що тип структур при багатошаровому наплавленні не змінюється. Але відмінною ознакою є часткове розчинення карбідної фази у попередніх шарах.

2. По результатам отриманих даних видно, що у випадку наплавлення без проміжного охолодження твердість суттєво зростає для всіх видів випробовуваних матеріалів. Отримані дані можуть бути використані для прогнозування зносостійкості другого та третього шару наплавленого металу.

3. Залучена для аналізу діаграма Шефлера адекватно відображає реальні зміни у структурно-фазовому стані матеріалів при наплавленні і може бути використана у практичних цілях для прогнозування типу структур і якості наплавленого матеріалу.

## Список літератури

1. І.А. Рябцев Наплавка деталей машин і механізмів, - К.: Екотехнологія, 2004. - 159 с.
2. І.А. Рябцев Н.А., Проценко Гармонизация стандартов на наплавочные материалы в соответствии с требованиями европейского стандарта EN 14700 "Сварочные материалы-Сварочные материалы для наплавки" // Сварщик, 2007 - №5-с.30-36
3. З.Елагина Ю.И., Ливши Л.С., Мальцева М.А., Структурная диаграмма высокоуглеродистых наплавленных слоев // Сварочное производство, 1996-№5-с.9-11