

## МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЕ

УДК 621.791.92.042

ВЛИЯНИЕ ИТТРИЯ НА СТРУКТУРНОЕ СОСТОЯНИЕ И ТРАНСФОРМАЦИЮ  
КАРБИДНОЙ ФАЗЫ В ИЗНОСОСТОЙКОМ НАПЛАВЛЕННОМ МЕТАЛЛЕ

Н.Г. Ефименко, профессор, д.т.н., УИПА, Харьков,  
И.В. Дошечкина, доцент, к.т.н., ХНАДУ

*Аннотация.* Исследовано влияние иттрия на соотношение структурных составляющих и карбидную фазу износостойкого наплавленного слоя, эксплуатирующегося в условиях ударно-абразивного износа. Показано изменение тонкой структуры металла наплавки под влиянием иттрия.

*Ключевые слова:* износостойкая наплавка, иттрий, ударно-абразивный износ, карбидная фаза, структура, дислокации.

ВПЛИВ ІТРИЮ НА СТРУКТУРНИЙ СТАН І ТРАНСФОРМАЦІЮ КАРБІДНОЇ  
ФАЗИ У ЗНОСОСТІЙКОМУ НАПЛАВЛЕНОМУ МЕТАЛІ

М.Г. Єфименко, професор, д.т.н., УИПА, Харків,  
І.В. Дошечкіна, доцент, к.т.н., ХНАДУ

*Анотація.* Досліджено вплив ітрію на співвідношення структурних складових і карбідну фазу зносостійкого наплавленого шару, який експлуатується в умовах ударно-абразивного зношування. Показано зміни тонкої структури металу наплавлення під впливом ітрію.

*Ключові слова:* зносостійке наплавлення, ітрій, ударно-абразивний знос, карбідна фаза, структура, дислокації.

INFLUENCE OF YTTRIUM ON STRUCTURAL STATE AND PHASE  
TRANSFORMATION OF CARBIDE IN RESISTIVE WELDS

N. Yefimenko, Professor, Doctor of Technical Science, UEPA, Kharkiv  
I. Doshchekina, Associate Professor, Candidate of Technical Science, KhNAHU

*Abstract.* The influence of yttrium on the structural components ratio and the carbide phase of wear resistive welds operating in conditions of impact abrasive wear is investigated. The change of thin structure of metal weld by yttrium addition is shown.

*Key words:* wear resistive weld, yttrium, impact-abrasive wear, carbide phase, structure, dislocation.

## Введение

Повышение срока службы конструкций, эксплуатирующихся в условиях интенсивного износа при ударно-абразивном нагружении, – весьма актуальная проблема. Для ее решения наиболее эффективными являются методы нанесения на рабочие поверхности изделий износостойких слоев металла, в том числе электродуговой наплавкой.

## Анализ публикаций

Имеется множество наплавочных материалов, предназначенных для повышения износостойкости изделий, подвергающихся различным видам изнашивания. Не существует универсального износостойкого материала.

Износостойкость зависит как от свойств поверхностного рабочего слоя, так и от условий его эксплуатации.

Из литературных источников [1–3] известно, что в условиях ударно-абразивного воздействия наиболее стойкой к износу является аустенитно-ледебуритная структура, содержащая ~ 30–40 % избыточной карбидной фазы. При этом значительную роль играют тип, количество, дисперсность, состав, распределение карбидов и неметаллических включений (НВ), соотношение структурных составляющих матрицы, а также связь карбидов с основой сплава [2].

Одним из наиболее действенных способов повышения износостойкости является введение в состав наплавки редкоземельных металлов (РЗМ), которые оказывают на сплав комплексное воздействие [4–6]: модифицируют структурные составляющие; нейтрализуют вредные примеси, переводя их в тугоплавкие соединения, и очищают границы зерен, тем самым повышая межзатомные связи структурных составляющих.

В работе [6] указывается, что добавка РЗМ (церия) в сталь 110Г13Л способствует очищению от НВ и формированию аустенитной структуры с весьма тонкими и чистыми границами зерен. Такой эффект приводит к повышению износостойкости.

По данным авторов [7], при введении в сталь 0,05 % церия в 2 раза измельчается аустенитное зерно, а в работе [8] указывается, что до-

бавка РЗМ в сталь снижает интенсивность коагуляции карбидов при длительном и повторном нагреве, приводит к более равномерному распределению карбидной фазы в матрице.

### Цель и постановка задачи

Целью работы явилось исследование влияния иттрия на трансформацию карбидной фазы в наплавленном металле, предназначенном для упрочнения рабочих поверхностей конструкций, эксплуатирующихся в условиях ударно-абразивного износа.

### Материалы и методика исследования

Исследовали наплавленный металл, химический состав которого приведен в табл. 1. Иттрий вводился в шихту порошковой проволоки (ПП) или в виде оксида  $Y_2O_3$ , или в составе Y-Si лигатуры марки С30Р3Э10, содержащей, % мас: Y – 15; Fe – 10; Al – 5; Ca – 3; Si – ост.

Микроструктуру изучали на растровом электронном микроскопе JSM-35SP. Для выявления карбидов образцы подвергали электрохимической полировке в хромовом ангидриде. Фольги для исследований тонкой структуры изучали, используя электронный микроскоп TEMScan JEM-200сх при силе тока 120 мА и ускоряющем напряжении 25 кВ.

Таблица 1 Химсостав и структура наплавленного металла

Вариант	Количество (%) и вид добавки	Химический состав наплавленного металла, % мас						Содержание структурных составляющих, % мас	Твердость, HRC
		C	Cr	Mn	Si	Ni	Fe		
1	Исход.	2,86	27	1,2	0,8	2	ост	карбиды избыт. – 27-30 ауст. остат. – 23-25, ледебурит	50-52
2	1,5 $Y_2O_3$	2,9	27,3	1,15	0,8	1,95	ост	карбиды избыт. – 26-32 ауст. остат. – 24 ледебурит	51-53
3	3,0 лигатуры Y-Si	2,8	27,1	1,25	0,85	1,95	ост	карбиды избыт. – 28-32 ауст. остат. – 25 ледебурит	51-54
4	5,0 лигатуры Y-Si	2,85	27,6	1,3	0,9	1,9	ост	карбиды избыт. – 30-33 ауст. остат. – 24-26 ледебурит	53-55
5	10,0 лигатуры Y-Si	2,9	27,2	1,3	1	2	ост	карбиды избыт. – 35-37 ауст. остат. – 30-35 ледебурит	48-51

Идентификацию фаз проводили по микрофракционным картинкам, рассчитывая межплоскостные расстояния исследуемых фаз [9].

Микротвердость фаз измеряли на твердомере М-400Л «Leko».

### Результаты исследований

Избыточная карбидная фаза наплавки, выполненная ПП исходного варианта, представляет собой в основном крупные вытянутые карбиды (рис. 1, а), располагающиеся в матрице, состоящей из ледебурита и остаточного аустенита. Встречаются колонии избыточных карбидов шестигранной формы (рис. 1, б). Количество карбидной фазы 27–30 %.

Содержание в ПП оксида иттрия не оказывает заметного влияния на соотношение структурных составляющих в наплавленном металле (табл. 1, вар. 2). Наблюдается лишь некоторое измельчение карбидной фазы.

Добавка в ПП 3–5 % лигатуры Y-Si (табл. 1, вар. 3, 4) также вызывает измельчение карбидной фазы и способствует ее более равномерному распределению в матрице без заметного изменения общего количества.

Дальнейшее повышение содержания лигатуры (10 %) в шихте ПП приводит к увеличению карбидной фазы до 35–37 %, но при этом возрастает количество остаточного аустенита, в результате чего твердость наплавки понижается (табл. 1, вар. 5).

Большинство карбидов, особенно крупных, имеют внутри участки, отличающиеся по строению и по внешнему виду похожие на матрицу (рис. 1, б–г). В карбидах шестигранной формы отчетливо наблюдаются контрастные параллельные слои, расположенные внутри кристалла, повторяющие внешние контуры карбида (рис. 1, г, д). Эти слои, очевидно, обусловлены наличием дефектов упаковки в структуре карбида и образуются в процессе его формирования.

Обнаруженные дефекты упаковки располагаются по трем эквивалентным плоскостям: (100), (110), (101) [10].

Повышение содержания иттрия в металле наплавки (табл. 1, вар. 5) изменяет вид дефектов и их расположение в теле карбида – наблюдается значительное количество округлых образований (рис. 1, е).

Изучался элементный состав карбида в его центральной части, по виду напоминающей металл матрицы (рис. 2). Съемки проводились в излучении Cr, Mn, Si.

Установлено, что тело карбида обогащено Cr и Mn. Участки, похожие на матрицу, также содержат Cr, но в меньшем количестве, чем карбид, а также Mn и Si. Марганец практически равномерно распределен во всех участках.

Для определения стехиометрического состава карбидов анализу подвергали экстрагированные включения металла наплавки с помощью двухступенчатых реплик.

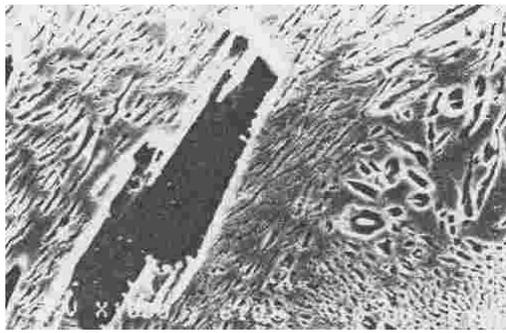
Расшифровка электронограмм показала, что избыточная карбидная фаза является карбидом типа  $Cr_7C_3$ . Его микротвердость – 1900–2000 кН/мм<sup>2</sup>, микротвердость аустенитно-ледебуритной матрицы 480–520 кН/мм<sup>2</sup>.

Известно, что важную роль в сопротивлении износу при ударно-абразивном изнашивании играет состояние границ карбид-матрица, которое изучали на фольгах, полученных утонением дисков, вырезанных из наплавленного металла.

На рис. 3 показана дислокационная структура границ. Плотность дислокаций и ширина дислокационного слоя наибольшая на границе карбид-матрица у образца без РЗМ (указано стрелками на рис. 3, а).

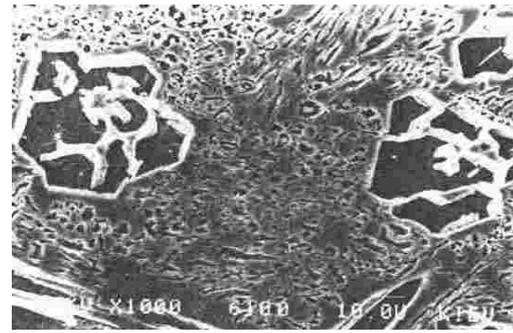
При введении иттрия в металл наплавки плотность дислокации значительно уменьшается (рис. 3, б), по сравнению с металлом, не содержащим иттрия (рис. 3, а).

Следует также обратить внимание на существенное снижение плотности дислокаций в матрице вдали от границы сопряжения карбид-матрица, что является следствием благоприятного воздействия иттрия на состояние границ зерен и структурных составляющих.

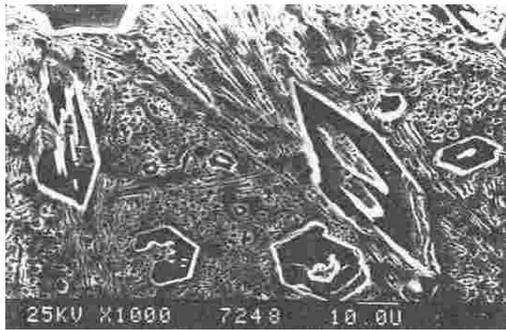


× 1000

а

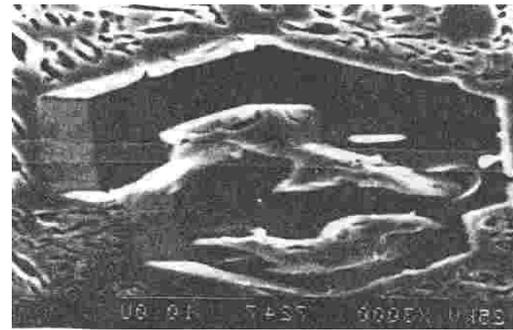


б



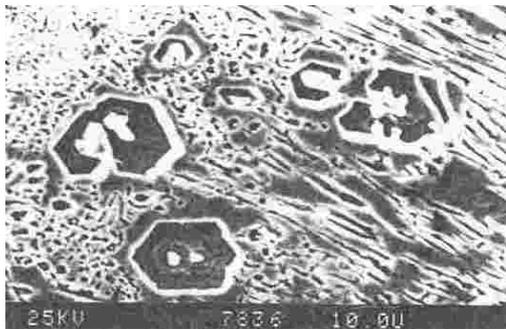
× 1000

в



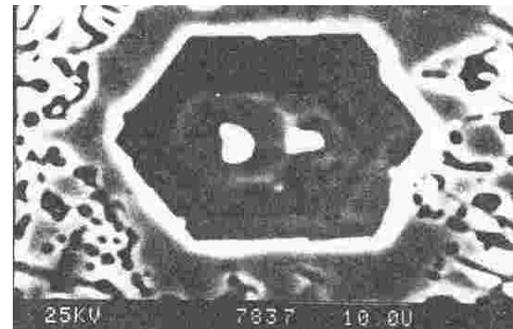
× 3000

г

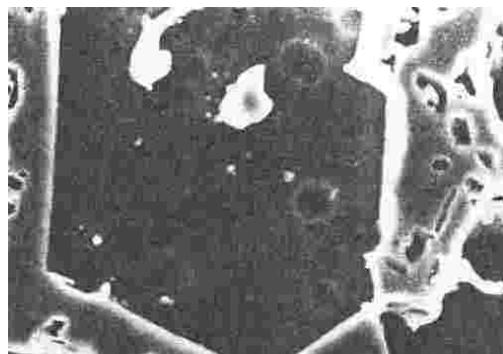


× 1000

д



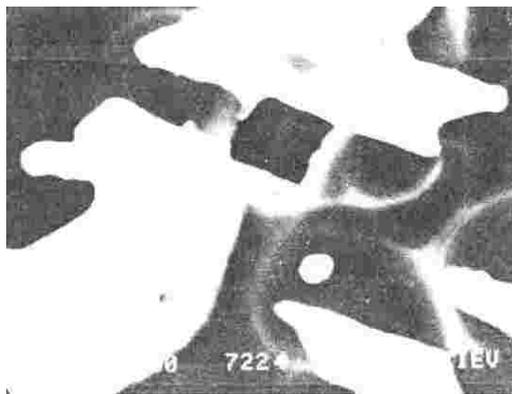
× 3000



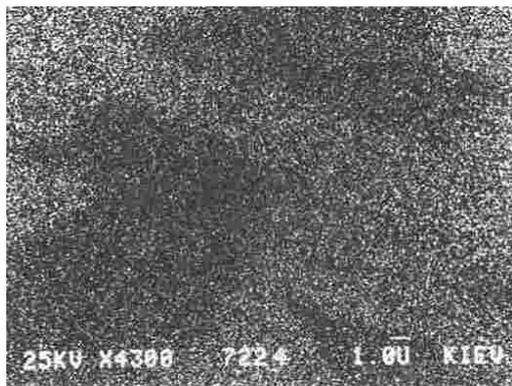
× 3000

е

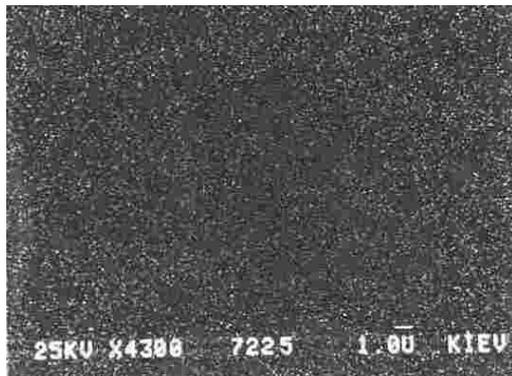
Рис. 1. Карбидная фаза в наплавленном металле: а, б – исходный вариант; содержание в ПШ: в, г, д – 3 % лигатуры; е – 10 % лигатуры



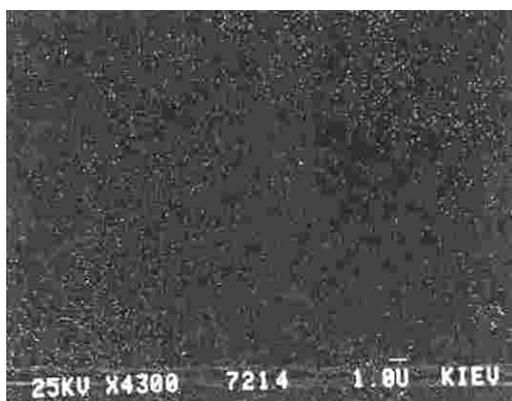
а



б

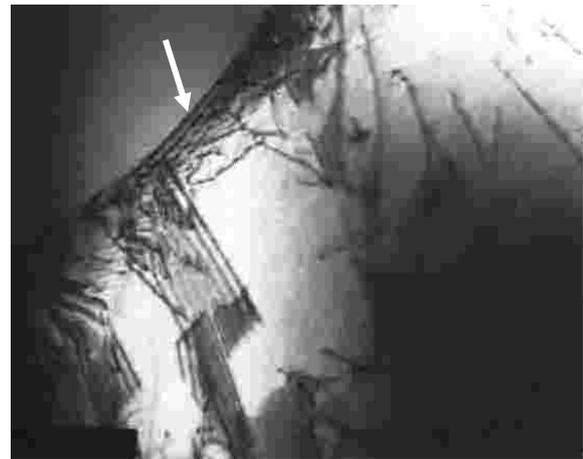


в



г

Рис. 2. Распределение химических элементов: а – в центральной части карбида; б – в излучении хрома; в – в излучении марганца; г – в излучении кремния



а



б

Рис. 3. Дислокационная структура на границе карбид-матрица: а – исходный вариант; б – наплавленный ПП, содержащий 3 % лигатуры ( $\times 30000$ )

Таким образом, уменьшение энергии границ путем очищения их от вредных примесей приводит к понижению плотности дислокаций.

Соответственно уменьшается напряженное состояние и повышается сопротивление системы выкрашиванию карбидной фазы в процессе нагружения.

Результаты исследования легли в основу разработки состава ПП, которая применяется для упрочнения бил молотковых дробилок размола угля, эксплуатирующихся в условиях ударно-абразивного износа.

### Выводы

1. Введение иттрия в металл наплавов, выполненных порошковой проволокой:
  - обеспечивает дробление избыточной карбидной фазы и равномерное ее распределение в матрице;
  - в количествах, принятых в экспериментах, не изменяет стехиометрический состав карбида, который относится к типу  $Cr_7C_3$ ;
  - приводит к значительному уменьшению плотности дислокаций на границе карбид-матрица, что является одним из основных признаков повышения износостойкости металла в условиях ударно-абразивного износа.
2. Упрочненные наплавкой с использованием ПП разработанного состава бил молотковых дробилок угля внедрены на Енакиевском и Ясиноватским коксохимических заводах.

### Литература

1. Лившиц Л.С. Основы легирования наплавленного металла / Л.С. Лившиц, Н.А. Гринбегр, Б.В. Куркумели. – М. : Машиностроение, 1989. – 188 с.
2. Износостойкость сплавов, восстановление и упрочнение деталей машин ; под общ. ред. В.С. Попова. – Запорожье : Издат. ОАО «Моторсич». – 2006. – 420 с.
3. Хрущев М.М. Износостойкость и структура твердых наплавов / М.М. Хрущев, М.А. Бабичев. – М. : Машиностроение, 1991. – 93 с.
4. Ефименко Н.Г. Комплексная оценка влияния иттрия на свойства сварных швов сталей / Н.Г. Ефименко // Автоматическая сварка. – 2003. – № 8. – С. 18–24.
5. Ефименко Н.Г. О механизме влияния РЗМ на процесс кристаллизации и формирование первичной структуры шва при сварке стали / Н.Г. Ефименко // Сварочное производство. – 1990. – № 7. – С. 32–34.
6. Парфенов Л.Н. Влияние добавок редкоземельных элементов на износостойкость ковированной стали 110Г13Л / Л.Н. Парфенов, В.М. Глазков // Металловедение и термическая обработка металлов. – 1972. – № 3. – С. 14–16.
7. Майоров В.И. Влияние РЗМ на структуру и свойства высокопрочной хромоникельмолибденовой стали / В.И. Майоров, В.Н. Гуримов // Литейное производство. – 1972. – № 5. – С. 1–2.
8. Коваленко В.С. Исследование стабильной структуры и свойств сталей с церием и иттрием // Редкоземельные металлы в сплавах : сб. научн. тр. АН УССР / В.С. Коваленко, С.Л. Зац. – К. : АНУССР, 1969. – С. 142–147.
9. Хирш П. Электронная микроскопия тонких кристаллов / П. Хирш, А. Хови, Р. Николсон. – М. : Мир, 1986. – 547 с.
10. Попов В.С. Металловедческие аспекты износостойкости сталей и сплавов / В.С. Попов, Н.Н. Брыков. – Запорожье: Изд-во ВПК, 1969. – 187 с.

Рецензент: С.С. Дьяченко, профессор, д. т. н., ХНАДУ.

Статья поступила в редакцию 30 июня 2011 г.