

ВЛИЯНИЕ ТЕМПЕРАТУРЫ НА ТВЕРДОСТЬ И ИЗНОСОСТОЙКОСТЬ НАПЛАВЛЕННЫХ ПОРОШКОВЫМИ ЛЕНТАМИ ВЫСОКОХРОМИСТЫХ ЧУГУНОВ

А.П. Ворончук, А.П. Жудра, А.В. Петров, В.О. Кочура

ИЭС им. Е.О. Патона НАН Украины. 03150, г. Киев, ул. Казимира Малевича, 11. E-mail: office@paton.kiev.ua

В работе представлена методика и результаты исследований горячей твердости наплавленных высокохромистых чугунов с различной степенью легирования типа 450X30M, 500X22B7, 500X22B7M7B2Ф, 300X25C3H2Г2, а также никель-карбидохромового сплава 500X40H40C2ГРЦ. Установлено, что горячая твердость наплавленного металла в значительной степени зависит от наличия и типов карбидов в структуре металла. Для относительно низколегированных высокохромистых чугунов твердость падает с ростом температуры и возрастает при содержании хрома до 30 % и углерода до 5 %. Сплавы, легированные хромом, ниобием, молибденом, вольфрамом и ванадием, сохраняют высокую твердость до температуры 650 °С. Для указанных сплавов важен ниобий, который выполняет роль модификатора, замедляя рост первичных карбидов хрома и образуя твердый кубический карбид ниобия. Высокую твердость до температуры 650 °С сохраняет никель-карбидохромовый сплав вследствие наличия высокой концентрации высших карбидов хрома в матрице на никелевой основе. Износостойкость наплавленных сплавов с ростом температуры падает в соответствии с падением твердости наплавленного металла. Библиогр. 12, табл. 3, рис. 3.

Ключевые слова: горячая твердость, порошковые ленты, наплавка, высокохромистые чугуны, никель-карбидохромовый сплав, износостойкость

Значительный объем деталей доменного, металлургического, энергетического и других видов оборудования работают в условиях абразивного и газоабразивного видов изнашивания при повышенных температурах. Увеличение работоспособности таких деталей достигается за счет их упрочнения наплавкой различными сплавами, обладающими высокой износостойкостью в экстремальных условиях. Среди таких сплавов ведущее место занимают высокохромистые чугуны с содержанием углерода до 5 % и хрома от 10 до 30 %. У ряда зарубежных фирм по рекламной информации имеется тенденция модификации таких сплавов за счет дополнительного легирования и увеличения содержания углерода до 6 %. Это сплавы типа «сормайт» 300X25C3H2Г2, а также типа 350X10M, 350X10Г3, 500X30M, 500X30Г2 и многие другие. При этом следует учитывать тот фактор, что с увеличением степени легирования и ростом содержания углерода свыше 5 % возникают проблемы получения наплавленных слоев больших толщин. Это связано с опасностью образования сколов наплавленного металла при наплавке более чем в два слоя [1–3].

Одним из важных факторов успешной работоспособности таких сплавов является сохранение высокой твердости при повышенных температурах. Важное значение имеют исследования взаимосвязи горячей твердости металла и системой его легирования. Правильный выбор легирующих компонентов может в значительной степени влиять на твердость наплавленного металла при повышенных температурах и в конечном счете, на

его износостойкость в реальных условиях. Ниже приведены результаты исследования горячей твердости наплавленных сплавов с различной степенью и системой легирования.

Для исследования твердости при высоких температурах были выбраны сплавы для наплавки типа высокохромистых чугунов с различной степенью легирования, которые широко применяются для упрочнения деталей, работающих в условиях абразивного и газоабразивного видов изнашивания при обычных и повышенных температурах: 300X25C3H2Г2, 450X30M, 500X22B7, 500X22B7M7B2Ф.

Также представляет интерес исследование твердости при высоких температурах никель-карбидохромового сплава 500X40H40C2ГРЦ, который традиционно получил распространение для упрочнения деталей, работающих в условиях газоабразивного изнашивания при повышенных температурах.

Исследование горячей твердости указанных сплавов проводили совместно с Институтом проблем прочности им. Г.С. Писаренко НАН Украины на установке УВТ-2 [4], которая предназначена для определения твердости материалов в интервале температур 300...3300 К в вакууме или среде защитных газов [4, 5].

Сочетание инертной среды и вакуума позволяют измерить твердость материалов различных классов: чистых металлов, сплавов и композиционных материалов.

Прибор для измерения твердости является основной частью установки УВТ-2. Прибор представляет собой стальную разъемную вакуумную камеру с охлаждаемыми стенками. В камере прибора смонтированы основные узлы: система нагрева, система индентора, устройство нагружения образца и т. д.

Для определения твердости материалов в широком диапазоне температур используется метод статического вдавливания индентора в виде правильной четырехгранной пирамиды с углом 136° между противоположными гранями [5, 6].

Значение твердости по методу статического вдавливания пирамидального индентора определяется как среднее давление на площади отпечатка. С учетом выпучивания оно приобретает смысл среднего контактного давления:

$$HV = \frac{P}{F} = \frac{2P \sin \gamma}{b^2} = 1,8544 \frac{P}{b^2}, \text{ МПа,}$$

где P — нагрузка на образец, передаваемая через пирамидальный индентор; F — площадь поверхности пирамидального отпечатка, мм^2 ; 2γ — угол между противоположными гранями пирамиды; b — среднее арифметическое длин двух диагоналей отпечатка, мм .

Отпечатки при вдавлировании пирамиды получаются геометрически подобными, поэтому при измерении твердости этим способом соблюдается условие механического подобия и результаты испытаний не зависят от величины нагрузки P .

Нагрузка на образец, передаваемая через пирамиду, принята равной 9,81 Н. Испытания осуществляли в вакууме при давлении не больше 0,7 МПа.

Значения твердости сплавов получены в диапазоне температур 290...1200 К с интервалом 50...100 К для скорости деформации материала образца под индентором 10^{-3} с^{-1} , которую определяли по методике [4]. Скорость нагрева составляла 20...40 К/мин.

Перед нанесением отпечатка образец и индентор помещали на расстояние 1...2 мм один от другого и нагревали до одинаковой температуры излучением от ленточного вольфрамового нагревателя.

Время выдержки образца при заданной температуре перед нанесением первого отпечатка составляло не менее:

- 10 мин в интервале температур от 293 до 670 К;
- 6 мин в интервале температур от 670 до 1070 К.

Продолжительность выдержки под нагрузкой была равной 60 с. Предельная температура испытания зависит от материала наконечника.

В качестве наконечника индентора для измерений твердости применен монокристалл синтетического корунда Al_2O_3 (лейкосапфир), кото-

рый хорошо работает до температуры 2033 К. Для испытаний твердости тугоплавких карбидов до 2273 К используются инденторы из карбида бора B_4C и сплавов на его основе.

В связи с трудностью механической обработки исследуемых материалов и геометрическими особенностями объектов исследования, были изменены форма и размеры образца. Образцы для изучения твердости наплавленного металла в зависимости от температуры наплавливались в два слоя. Наплавка выполнялась на пластины из стали Ст3 ГОСТ 380-88 на режимах, оптимальных для каждого типа электродного материала. Все типы наплавочных материалов были изготовлены в виде порошковых лент сечением $16,5 \times 4,0 \text{ мм}$. В качестве сердечника порошковых лент использовали механическую смесь ферросплавов и химических соединений различных элементов. Наплавка образцов выполнялась открытой дугой.

После наплавки из полученных заготовок методом механической резки вырезались образцы, размеры которых доводились шлифованием. Поверхность образца, на которой проводились замеры твердости, дополнительно подвергалась полировке.

Замеры твердости проводились на трех образцах, затем определялось среднее арифметическое значение для каждой температуры.

Проведена статистическая обработка обобщенных экспериментальных выборок для твердости. При этом для каждой температуры вычисляли среднее выборочное значение $HV_{\text{ср}}(x)$, выборочное среднеквадратичное отклонение S , коэффициент вариации w и доверительные интервалы ΔHV (Δx) для математического ожидания для уровня значимости $\alpha = 0,05$ [7].

Результаты, полученные при исследовании горячей твердости сплавов типа высокохромистых чугунов и никель-карбидохромового сплава, представлены в табл. 1. Показатели горячей твердости представлены только средними значениями по результатам испытаний нескольких образцов. На рис. 1 представлены обобщенные данные по всем исследованным сплавам.

Как видно из приведенных результатов исследований, наименьшее падение твердости с ростом температуры наблюдается у сплавов 500X22Б7, 500X22Б7М7В2Ф и 500X40Н40С2ГРЦ. Наиболее резкое падение твердости наблюдается у сплава 300X25С3Н2Г2. Сплав 450X30М занимает промежуточное положение.

Анализ полученных результатов позволил установить, что твердость наплавленного металла при повышенных температурах в значительной степени зависит от типов карбидов, получаемых

Таблица 1. Средние значения твердости (HV_{cp} , МПа) в зависимости от температуры

$T, ^\circ\text{C}$	Тип наплавленного металла				
	300X25C3H2Г2	450X30М	500X22Б7	500X22Б7М7В2Ф	500X40Н40С2ГРЦ
25	5793	7120	7561	7986	6960
100	4704	5546	5983	6145	5953
200	4143	4865	5473	5567	5250
300	3067	4506	5345	5545	5096
400	2450	3327	5054	5605	4956
500	1349	2231	4436	5134	4748
600	709	1321	3056	4789	3756
700	317	978	1243	2643	1878
800	256	346	521	1137	975
900	229	287	387	527	345

в результате кристаллизации сварочной ванны. Установлено, что в сплавах высокохромистых чугунов типа 300X25C3H2Г2 твердость наплавлен-

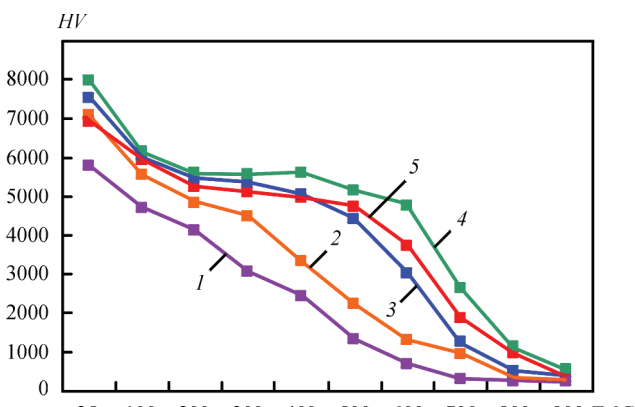


Рис. 1. Твердость сплавов типа высокохромистых чугунов (1 — 300X25C3H2Г2; 2 — 450X30М; 3 — 500X22Б7; 4 — 500X22Б7М7В2Ф; 5 — 500X40Н40С2ГРЦ)

ного металла резко падает с ростом температуры. Микроструктура такого сплава представлена на рис. 2, а. При повышении содержания хрома до 30 % и углерода до 5 % наблюдается стабилизация твердости до температур 350...400 °С. Это можно объяснить наличием в таких сплавах высших карбидов хрома типа Cr_3C_2 . Характерная микроструктура такого типа сплавов представлена на рис. 2, б. Как известно [8, 9], такие карбиды имеют более высокую температуру плавления, менее подвержены окислению и сохраняют свои механические свойства при более высоких температурах.

Еще большее увеличение горячей твердости достигается при комплексном легировании сплавов хромом, ниобием, молибденом, вольфрамом и ванадием, микроструктура которых представлена на рис. 2, в. Такие сплавы сохраняют свою твердость до температур порядка 650 °С. Сплавы, ле-

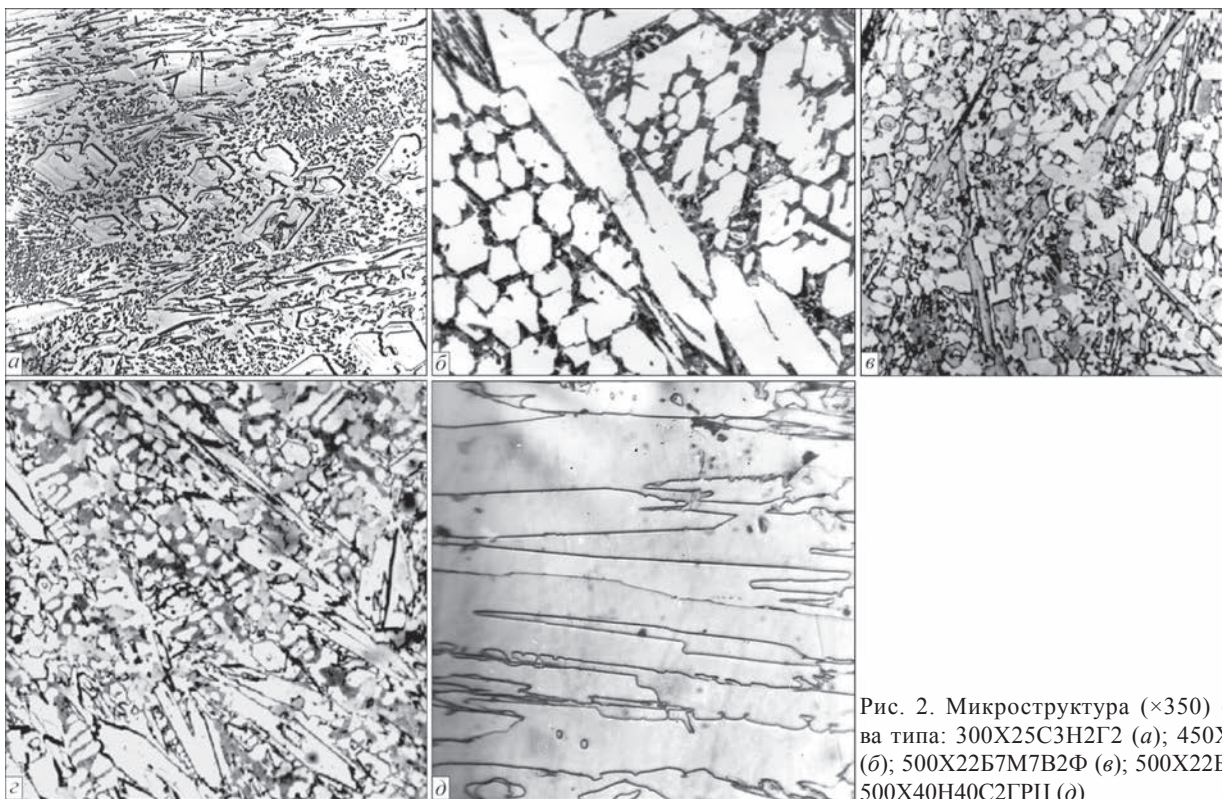


Рис. 2. Микроструктура ($\times 350$) сплава типа: 300X25C3H2Г2 (а); 450X30М (б); 500X22Б7М7В2Ф (в); 500X22Б7 (г); 500X40Н40С2ГРЦ (д)

гированные только хромом и ниобием, занимают промежуточное положение (рис. 2, з). Также высокую горячую твердость продемонстрировал никель-карбидохромовый сплав (рис. 2, д).

Сочетание высокой концентрации высших карбидов хрома с матрицей на никелевой основе также позволяет поддерживать стабильную твердость до 650 °С.

Особый интерес представляют влияние ниобия в сплавах типа 500X22Б7 и 500X22Б7М7В2Ф. Структура таких сплавов, наплавленных на малоуглеродистую сталь, представляет собой аустенит с фазами карбидов хрома и ниобия (рис. 2, в, з).

Ниобий в этом случае выполняет роль своеобразного модификатора, так как легирование высокохромистого чугуна ниобием приводит к замедлению роста первичных карбидов хрома $(Cr Fe)_7C_3$, крупные иглы которых в процессе износа дробятся на осколки и могут легко обнажаться и выкрашиваться. Авторы работы [10] приводят результаты исследований износа сплавов типа высокохромистых чугунов без ниобия, с ниобием и дополнительно легированных Nb, Mo, W.

Рентгеноструктурный анализ этих материалов показал присутствие карбидов типа Me_7C_3 и сплошных карбидов (Nb, Mo, W, V) C и $(Mo, W)_2 C$. Проведенная термообработка этих сплавов ($T = 923$ К, 1 ч, охлаждение на воздухе) и последующие испытания показали, что износостойкость сплавов типа высокохромистых чугунов, легированных Nb, Mo, W и V, увеличилась, что объясняется вторичным упрочнением, связанным с дополнительным выделением карбидов.

Исследования микроструктуры и состава карбидной фазы сплавов 500X22Б7М7В2Ф и 500X22Б7 показывают, что основное количество карбидов приходится на богатый хромом смешанный карбид Me_7C_3 , его объемная часть в приведенных сплавах практически одинакова и составляет 40...43 %. Доля более твердого кубического карбида ниобия типа NbC составляет порядка 8 и 10 % соответственно для этих сплавов.

Молибден и вольфрам собственных карбидов не образуют. Эти элементы почти полностью растворяются в матрице, что приводит к повышению жаропрочности сплавов и объясняет их высокую износостойкость при повышенных температурах. Ниобий, имеющий большее сродство к углероду, чем хром, молибден или вольфрам, способствует образованию твердых, мелких, равномерно распределенных карбидов ниобия глобулярной формы в сплавах типа 500X22Б7М7В2Ф, что объясняет повышенную вязкость и хорошее сопротивление ударным нагрузкам при эксплуатации [11].

Таким образом, в наплавочные материалы ниобий вводится для повышения ударной вязкости хромистых чугунов, увеличения износостойкости металла в условиях абразивного изнашивания с ударами и повышения горячей твердости.

Проведенные исследования твердости наплавочных высокохромистых сплавов при повышенных температурах позволяют оптимизировать выбор электродных материалов для упрочнения наплавкой широкой гаммы деталей, работающих в экстремальных условиях изнашивания при различных температурах.

Вызывает интерес исследования взаимосвязи горячей твердости и износостойкости в условиях газоабразивного изнашивания при повышенных температурах.

Для сравнительных испытаний на износостойкость с использованием соответствующих порошковых лент были изготовлены образцы наплавленного металла следующих типов: 300X22С3Н2Г2 (ПЛАН 101), 450X22Б7М7В2Ф (ПЛАН 179), 450X30М (ПЛАН 180), 5000X22Б7 (ПЛАН 185), 500X40Н40С2ГРЦ (ПЛАН 111).

Наплавку проводили на аппарате А-874Н, укомплектованном источником питания ВДУ-1201 и приставкой АД-167. Процесс выполнялся в два слоя на постоянном токе обратной полярности, при неизменной величине вылета, равной 50 мм, и жесткой внешней характеристикой источника питания. В качестве основного металла использовали пластины из стали Ст3 толщиной 30 мм и размером 300×400 мм. Из средних участков валиков анодно-механической резкой были вырезаны образцы необходимого размера. Режимы наплавки всеми приведенными лентами следующие:

Ток, А.....	750...850
Напряжение, В.....	28...34
Скорость перемещения электрода, м/ч.....	33,1
Вылет электрода, мм.....	50...60

Исследования износостойкости проводили на модернизированном стенде ОБ-876Ц [12]. Стенд обеспечивает схему испытаний по характеру воздействия абразивного потока, максимально приближена к реальным условиям эксплуатации упрочненных деталей.

На стенде разгон абразивных частиц осуществляется центробежным ускорителем в виде диска-ротора, в центре которого в приемное отверстие самотеком подается абразив (в нашем случае — кварцевый песок).

Частицы песка разгоняются по четырем внутренним каналам. Достигнув наружного диаметра ротора, абразивный поток преодолевает воздушный промежуток длиной 25 мм и ударами частиц абразива изнашивает одновременно рабочие поверхности шести образцов размером 170×70×19 мм.

Таблица 2. Относительная износостойкость при комнатной температуре

Тип наплавленного металла	Относительная износостойкость ϵ
300X22C3H2Г2	1
500X40H40C2ГРЦ	1,43
500X22Б7М7В2Ф,	1,7
450X30М	1,2
450X22Б7	1,6
250X10Б8С2Г	1,35

Таблица 3. Относительная износостойкость при температурах 450...500 °С

Тип наплавленного металла	Относительная износостойкость ϵ
300X22C3H2Г2	1
500X40H40C2ГРЦ	1,5
500X22Б7М7В2Ф,	1,42
450X30М	1,13
450X22Б7	1,27
250X10Б8С2Г	1,1

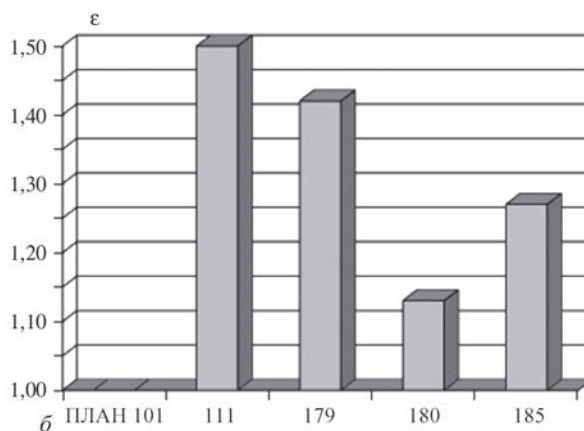
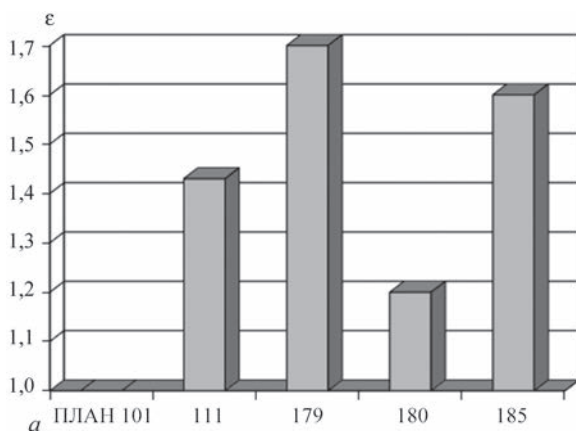


Рис. 3. Относительная износостойкость исследованных образцов при комнатной температуре (а) и при температурах 450...500 °С (б)

Кассета с образцами расположена в камере, температура в которой может регулироваться в пределах 25...450 °С.

Технические характеристики стенда ОБ-876Ц:

Диаметр ротора, мм220
 Число оборотов ротора, об/мин6000
 Угол атаки абразивного потока, град.5...70
 Температура нагрева образцов, °Сдо 450
 Продолжительность нагрева образцов до 400 °С, ч3,5
 Расход абразива, см³/с.....0,5...0,3
 Мощность электродвигателя привода ротора, кВт0,75
 Количество испытуемых образцов, шт.6

Испытания проводились при температурах 25 и 450 °С. В качестве абразива применялся кварцевый песок.

Оценка износостойкости проводилась по массовому методу. По каждому образцу определялась разница массы до испытаний и после. Для получения более достоверных результатов испытывалось по три образца каждого типа металла, после чего определялись средние значения. Оценка проводилась на основании относительной износостойкости ϵ , которая рассчитывалась по формуле

$$\epsilon = \frac{\Delta m_э}{\Delta m_n},$$

где $\Delta m_э$ — потеря массы эталона; Δm_n — потеря массы испытуемого образца.

В качестве эталона использовался сплав 300X22C3H2Г2 («сормайт-1»).

Результаты исследований образцов представлены в табл. 2, 3, а также на рис. 3.

Таким образом, сравнивая данные, полученные при разных температурных условиях, определено, что износостойкость сплавов с повышением температуры падает, что коррелирует с данными горячей твердости. Следует также отметить, что сплавы на стальной основе имеют большую тенденцию к понижению своих износостойких свойств при повышении температуры, чем никель-карбидохромовый сплав. Наиболее вероятным объяснением этого, на наш взгляд, есть то, что испытания проводились в стандартных атмосферных условиях. При этом снижение эксплуатационных характеристик происходит не только за счет снижения твердости, но вследствие окислительных процессов, которые протекают на поверхности наплавленного слоя.

Выводы

1. Для сплавов типа 300X25C3H2Г2 с относительно низким легированием карбидообразующими элементами твердость наплавленного металла резко падает с ростом температуры. Повышение содержания хрома до 30 % и углерода до 5 % позволяет стабилизировать достаточно высокую твердость до температур 350...400 °С вследствие образования высших карбидов хрома типа Cr_3C_2 .

2. Высокую твердость вплоть до температуры 650 °С сохраняет никель-карбидохромовый сплав

500X40N40C2ГРЦ за счет сочетания высокой концентрации высших карбидов хрома с матрицей на никелевой основе.

3. При комплексном легировании сплавов хромом, ниобием, молибденом, вольфрамом и ванадием сплавы типа 500X22B7M7B2Ф сохраняют высокую твердость до температуры 650 °С.

4. Для сплавов 500X22B7 и 500X22B7M7B2Ф важную роль играет ниобий, который является своеобразным модификатором, замедляя рост первичных карбидов хрома $(CrFe)_7C_3$ и образуя твердый кубический карбид ниобия типа NbC.

5. Износостойкость наплавленных сплавов с ростом температуры падает в соответствии с падением твердости наплавленного металла.

6. Падение износостойкости сплавов с ростом температуры на железной основе протекает несколько интенсивнее, чем у никель-карбидохромового сплава, что очевидно связано с окислительными процессами на поверхности упрочненного слоя.

Список литературы

1. Акулов А.И. (ред.) (1978) *Сварка в машиностроении*. Справочник в 4 т. Т. 2. Москва, Машиностроение.
2. Жудра А.П., Ворончук А.П. (2012) Наплавочные порошковые ленты (Обзор). *Автоматическая сварка*, **1**, 39–44.
3. Рябцев И.А., Сенченков И.К., Турык Е.В. (2015) *Наплавка, материалы, технологии, математическое моделирование*. Wydawnictwo politechniki slaskiej, Gliwice, ss. 362–365, 398–406.
4. Алексюк М.М., Борисенко В.А., Кращенко В.П. (1980) *Механические испытания при высоких температурах*. Киев, Наукова думка.
5. Борисенко В.О., Оксаметная О.Б. (1994) ДСТУ 2434-94 *Расчеты и испытания на прочность. Метод определения высокотемпературной твердости вдавливанием пирамидального и бицилиндрического индентора*. Киев, Госстандарт Украины.
6. Борисенко В.А. (1975) Общие закономерности изменения механических свойств тугоплавких материалов в зависимости от температуры. Сообщение 1. *Проблемы прочности*, **8**, 58–63.
7. Румшинский Л.З. (1971) *Математическая обработка результатов эксперимента*. Москва, Наука.
8. Хансен М., Андерко К. (1962) *Структуры двойных сплавов*. Т. 1, 2. Москва, Металлургиздат.
9. Иванов А.А. (1968) *Твердость*. Киев, Наукова думка.
10. Gallo C., Hubert M. (1980) *Soudage et Techniques Connexes*, 34, **11**, **2**, 371–386.
11. Schramm H. (1984) Chrom-Niob-legierte Hartlegierungen fuer das Auftragsschweissen. *Ind.-Anz.*, **86**, **75**.
12. Жудра А.П. (2014) Исследования композиционных сплавов в условиях газоабразивного износа при повышенных температурах. *Автоматическая сварка*, **11**, 31–34.

References

1. (1978) *Welding in machine-building*: Refer. book, 4 Vol. Ed. by A.I. Akulov. Moscow, Mashinostroenie, Vol. 2 [in Russian].
2. Zhudra, A.P., Voronchuk, A.P. (2012) Cladding flux-cored strips (Review). *The Paton Welding J.*, **1**, 34-38.
3. Ryabtsev, I.A., Senchenkov, I.K., Turyk, E.V. (2015) *Surfacing, materials, technologies, mathematical modeling*. Wydawnictwo politechniki slaskiej, Gliwice, 362-365, 398-406 [in Polish].
4. Aleksyuk, M.M., Borisenko, V.A., Krashchenko, V.P. (1980) *Mechanical tests at high temperatures*. Kiev, Naukova Dumka [in Russian].
5. Borisenko, V.O., Oksametnaya, O.B. (1994) DSTU 2434-94: *Calculations and tests on strength. Method of determination of high-temperature hardness by indentation of pyramidal and bicylindrical indenter*. Kiev, Gosstandart Ukrainy [in Russian].
6. Borisenko, V.A. (1975) General regularities in change of mechanical properties of refractory materials depending on temperature. Information 1. *Problemy Prochnosti*, **8**, 58-63 [in Russian].
7. Rumshinsky, L.Z. (1971) *Mathematical processing of results of experiment*. Moscow, Nauka [in Russian].
8. Khansen, M., Anderko, K. (1962) *Structures of binary alloys*. Vol. 1, 2. Moscow, Metallurgizdat [in Russian].
9. Ivanko, A.A. (1968) *Hardness*. Kiev, Naukova Dumka [in Russian].
10. Gallo, C., Hubert, M. (1980) *Soudage et Techniques Connexes*, 34(**11**, **2**), 371-386.
11. Schramm, H. (1984) Chrom-Niob-legierte Hartlegierungen fuer das Auftragschweissen. *Ind.-Anz.*, **86**, **75** [in German].
12. Zhudra, A.P. (2014) Investigation of wear resistance of composite alloys under the conditions of gas-abrasive wear at elevated temperatures. *The Paton Welding J.*, **11**, 28-31.

ВПЛИВ ТЕМПЕРАТУРИ НА ТВЕРДІСТЬ ТА ЗНОСОСТІЙКІСТЬ НАПЛАВЛЕНИХ ПОРОШКОВИМИ СТРІЧКАМИ ВИСОКОХРОМИСТИХ ЧАВУНІВ

О.П. Ворончук, О.П. Жудра, О.В. Петров, В.О. Кочура

ІЕЗ ім. Є.О. Патона НАН України. 03150, м. Київ, вул. Казимира Малевича, 11. E-mail: office@paton.kiev.ua

У роботі представлена методика і результати досліджень гарячої твердості наплавлених високохромистих чавунів з різним ступенем легування типу 450X30M, 500X22B7, 500X22B7M7B2Ф, 300X25C3N2Г2, а також нікель-карбидохромового сплаву 500X40N40C2ГРЦ. Встановлено, що гаряча твердість наплавленого металу в значній мірі залежить від наявності та типів карбідів, які утворюються в зварювальній ванні. Для низьколегованих високохромистих чавунів твердість падає з ростом температури і зростає при вмісті хрому до 30 % і вуглецю до 5 %. Сплави, леговані хромом, ніобієм, молибденом, вольфрамом і ванадієм зберігають високу твердість до температури 650 °С. Для зазначених сплавів важлив ніобій, який виконує роль модифікатора, сповільнюючи зріст первинних карбідів хрому та утворюючи твердий кубічний карбід ніобію. Високу твердість до температури 650 °С зберігає нікель-карбидохромовий сплав внаслідок наявності високої концентрації вищих карбідів хрому в матриці на нікелевій основі. Зносостійкість наплавлених сплавів з ростом температури падає у відповідності з падінням твердості наплавленого металу. Бібліогр. 12, табл. 3, рис. 3.

Ключові слова: гаряча твердість, порошкові стрічки, наплавка, високохромисті чавуни, нікель-карбидохромовий сплав, зносостійкість

EFFECT OF TEMPERATURE ON HARDNESS AND WEAR RESISTANCE OF HIGH-CHROMIUM CAST IRONS DEPOSITED WITH FLUX-CORED STRIPS

A.P. Voronchuk, A.P. Zhudra, A.V. Petrov, V.O. Kochura

E.O. Paton Electric Welding Institute of the NAS of Ukraine.
11 Kazimir Malevich Str., 03150, Kyiv, Ukraine. E-mail: office@paton.kiev.ua

The paper presents the procedure and results of investigation of hot hardness of deposited high-chromium cast irons with different level of alloying of 450Kh30M, 500Kh22B7, 500Kh22B7M7V2F, 300Kh25S3N2G2 type as well as 500Kh40NS2GRTs nickel-carbide-chromium alloy. It is determined that hot hardness of deposited metal to significant extent depends on presence and types of carbides in metal structure. With relatively low-alloy high-chromium cast irons the hardness drops at rise of temperature and increases at chromium content up to 30% and carbon to 5%. Alloys doped with chromium, niobium, molybdenum, tungsten and vanadium keep high hardness up to 650 °C temperature. Niobium is important for indicated alloys. It plays a role of modifier delaying growth of primary chromium carbides and forming solid cubic niobium carbide. Nickel-carbide-chromium alloy preserves high hardness up to 650 °C temperature due to presence of high concentration of higher chromium carbides in a nickel-based matrix. Wear resistance of deposited alloys drops with rise of temperature in accordance with drop of deposited metal hardness. 12 Ref., 3 Tabl., 3 Fig.

Keywords: hot hardness, flux-cored strips, surfacing, high-chromium cast irons, nickel-carbide-chromium alloy, wear resistance

Поступила в редакцію 12.04.2019



XVIII МІЖНАРОДНИЙ ПРОМИСЛОВИЙ ФОРУМ – 2019

19–22 листопада 2019 р.

Міжнародний виставковий центр
(Київ, Броварський просп. 15).

Міжнародний промисловий форум — найбільша промислова виставка в Україні, яка з 2005 р. входить до переліку провідних світових промислових виставок, офіційно сертифікованих та визнаних Всесвітньою асоціацією виставкової індустрії (UFI), що є найвищим рівнем світового визнання для виставки.

Організатор — ТОВ «Міжнародний виставковий центр».

Основна мета виставки: впровадження новітніх науково-технічних природоохоронних досягнень на виробництві з метою забезпечення екологічної безпеки навколишнього природного середовища.

В рамках форуму:

- металообробка (металообробні технології, обладнання);
- УкрЗварювання (технології, обладнання та матеріали);
- УкрВторТех (комісійна техніка, обладнання);
- УкрЛитво (обладнання та технології для ливарного виробництва);
- гідравліка. Пневматика;
- підшипники (підшипники котіння та ковзання, вільні деталі: шарики та ролики, втулки стягувальні, технології, обладнання та інструмент для виробництва підшипників);
- УкрПромАвтоматизація (автоматизація виробництва, автоматизовані системи управління технологічними процесами, автоматизація об'єктів промисловості);
- підйомно-транспортне, складське обладнання;
- зразки, стандарти, еталони, прилади (контрольно-вимірювальні прилади, лабораторне та випробувальне обладнання, метрологія, сертифікація);
- безпека виробництва (засоби захисту, безпека робочої зони).

У рамках виставки передбачено проведення конференцій, семінарів, «круглих столів», присвячених актуальним правовим, технічним та фінансовим питанням екологічної ситуації в Україні, міжнародному досвіду і співробітництву, а також перспективам розвитку технологій, пов'язаних з охороною навколишнього природного середовища.

Контакты:

www.iec-expo.com.ua;
lilia@iec-expo.com.ua,
alexk@iec-expo.com.ua;
тел.: (38044) 301-11-65, 201-11-58.