



ИЗНОСОСТОЙКОСТЬ НАПЛАВЛЕННОГО МЕТАЛЛА ТИПА УГЛЕРОДИСТЫХ И ХРОМОМАРГАНЦЕВЫХ СТАЛЕЙ В УСЛОВИЯХ СУХОГО ТРЕНИЯ СКОЛЬЖЕНИЯ МЕТАЛЛА ПО МЕТАЛЛУ

В. Д. КУЗНЕЦОВ¹, Д. В. СТЕПАНОВ¹, В. А. МАКОВЕЙ¹, Я. П. ЧЕРНЯК²

¹ НТУУ «Киевский политехнический институт». 03056, г. Киев, ул. Дашавская, 6/2. E-mail: v.kuznetsov@kpi.ua

² ИЭС им. Е. О. Патона НАНУ. 03680, г. Киев-150, ул. Боженко, 11. E-mail: office@paton.kiev.ua

Детали, подверженные интенсивному изнашиванию, изготавливают из средне- и высокоуглеродистых нелегированных или низколегированных конструкционных сталей. Повышенное содержание углерода обеспечивает высокую твердость и прочность материалов, однако из-за низкого легирования их износостойкость находится на относительно невысоком уровне. При этом высокое содержание углерода значительно усложняет технологию восстановления указанных деталей из-за опасности возникновения холодных трещин при дуговой наплавке. Для восстановления деталей такого типа целесообразно применять материалы, обеспечивающие получение наплавленного металла со структурой метастабильного аустенита. Подобную структуру можно получить при использовании для наплавки материалов, легированных хромом и марганцем. Предварительный наклеп или наклеп непосредственно в процессе эксплуатации приводит к распаду метастабильного аустенита и увеличению твердости и износостойкости наплавленного металла. Целью работы было исследование износостойкости наплавленного металла хромо-марганцевого класса в условиях сухого трения скольжения металла по металлу. Исследована износостойкость наплавленного металла различных систем легирования. Показано, что корреляция между твердостью и износостойкостью проявляется не во всех случаях как для углеродистых, так и аустенитных материалов. Установлено, что значительное влияние на износостойкость оказывает структура наплавленного металла. Показано, что материалы со структурой метастабильного аустенита по износостойкости превосходят углеродистые стали и являются более предпочтительными при восстановлении деталей из конструкционных средне- и высокоуглеродистых сталей. Библиогр. 6, табл. 1, рис. 3.

Ключевые слова: дуговая наплавка, наплавочные материалы, трение скольжения, износостойкость, структура, твердость

Значительное количество деталей машин и механизмов, используемых в различных отраслях промышленности, изнашивается в результате сухого трения скольжения металла по металлу. Восстанавливают многие из них различными способами наплавки [1–4].

Как правило, такие детали изготавливают из средне- и высокоуглеродистых нелегированных или низколегированных конструкционных сталей. Повышенное содержание углерода обеспечивает высокую твердость и прочность материалов, однако из-за невысокого легирования их износостойкость находится на относительно невысоком уровне. Кроме этого, при содержании углерода более 0,5 % значительно усложняется технология восстановления деталей из указанных сталей способами наплавки, что связано с образованием закалочных структур и появлением холодных трещин в металле околшовной зоны.

Появления трещин можно избежать, применяя специальные технологические меры, такие как подогрев наплавляемой детали до 300...400 °С с

последующим замедленным охлаждением после наплавки.

Хороший эффект с точки зрения трещиностойкости дает применение материалов, обеспечивающих получение наплавленного металла с аустенитной структурой. Однако износостойкость наплавленного металла этого типа в условиях сухого трения скольжения металла по металлу находится на низком уровне, а цена материалов для наплавки такого типа достаточно высока и их применение экономически не всегда оправдано.

Более целесообразно для восстановления деталей такого типа применять материалы, обеспечивающие получение наплавленного металла со структурой метастабильного аустенита. Подобную структуру можно получить при использовании материалов для наплавки, легированных хромом и марганцем. Предварительный наклеп или наклеп непосредственно в процессе эксплуатации приводит к распаду метастабильного аустенита, а также увеличению твердости и износостойкости наплавленного металла.

Цель данной работы — исследование износостойкости наплавленного металла с различным содержанием хрома и марганца в условиях сухого

Химический состав наплавленного металла, мас. %

Тип наплавленного металла	C	Cr	Mn	Ni	Si	Mo	V	Ti	Cu
У7	0,70	—	0,89	—	0,25	—	—	—	—
30Х5Г5	0,27	4,50	5,00	—	0,20	—	—	—	—
10Х10Г10	0,11	11,0	10,0	—	—	—	—	0,8	—
60Х20Г9Н2МД	0,62	20,8	9,00	2,0	0,55	0,5	—	—	0,17
20Х13Г6Н6МФД	0,22	13,0	5,80	6,0	0,60	1,4	0,4	—	0,90
50Г11М	0,50	0,20	11,0	—	0,80	0,3	—	—	—

трения скольжения металла по металлу. Химический состав исследованных типов наплавленного металла приведен в таблице. В качестве эталона использовали образцы наплавленного металла типа высокоуглеродистой стали У7. Для сравнения, кроме хромомарганцевого наплавленного металла различного состава, исследовали также наплавленный металл, легированный практически одним марганцем.

Исследование износостойкости наплавленного металла проводили на машине трения типа М-22 по схеме «вал-колодка». Использовали образцы длиной 20 и толщиной 10 мм с цилиндрическим пазом в виде сегмента радиусом 20 и хордой 20 мм.

В качестве контртела использовали диск диаметром 40 мм, изготовленный из стали У7 твердостью *НВ* 300...350.

Условия проведения испытаний: давление на образец $p = 0,5 \pm 0,1$ МПа; скорость трения $v = 3 \pm 0,25$ м/с; температура $T = 60 \pm 20$ °С; продолжительность $t = 1$ ч.

Образцы взвешивали на лабораторных весах с погрешностью 0,0001 г. Износ по массе Δm определяли как разницу значений массы образца до и после испытаний. Замеряли также твердость наплавленного металла. Результаты исследований приведены на рис. 1.

Структуру наплавленного металла идентифицировали по результатам металлографического анализа (рис. 2). Получение структур заданного типа осуществляли подбором химического состава материалов для наплавки и погонными энергиями наплавки. При наплавке аустенитных материалов использовали рекомендации, приведенные в работе [5].

Результаты испытаний показали (рис. 1), что отсутствует прямая связь между твердостью и износостойкостью исследованных типов наплавленного металла.

Так, например, типы наплавленного металла У7, 30Х5Г5 и 50Г11М имеют примерно одинаковые показатели износа ($\Delta m = 0,11...0,12$ г), но значительно отличаются по твердости: 50Г11М — *НВ* 180; У7 — *НRC* 35; 30Х5Г5 — *НRC* 42. С другой стороны, типы наплавленного металла

20Х13Г6Н6МФД и 50Г11М имеют примерно одинаковую твердость — *НВ* 150...180, но значительно отличаются по износу — $\Delta m = 0,062$ и 0,115 г соответственно.

По-видимому, значительное влияние на износостойкость оказывает структура наплавленного металла. Минимальный износ имел высоколегированный наплавленный металл 60Х20Г9Н2МД с аустенитно-мартенситной структурой (рис. 2, *з*) и достаточно высокой твердостью *НRC* 30. Наплавленный металл 10Х10Г10, а также 20Х13Г6Н6МФД и 50Г11М, имеющий метастабильную аустенитную структуру (рис. 2, *в, д, е*), по сопротивлению изнашиванию ему несколько уступал. Очевидно, условия испытаний на изнашивание (при относительно небольшой нагрузке) не позволили в полной мере реализовать возможность наклепа этих материалов. Тем не менее, износостойкость наплавленного металла 10Х10Г10 и 20Х13Г6Н6МФД достаточно высока и значительно превосходит более твердые материалы У7 и 30Х5Г5.

Из исследованных материалов, обладающих максимальной износостойкостью (10Х10Г10, 60Х20Г9Н2МД, 20Х13Г6Н6МФД) предпочтение, на наш взгляд, следует отдать первому из них, не содержащему дорогостоящих легирующих эле-

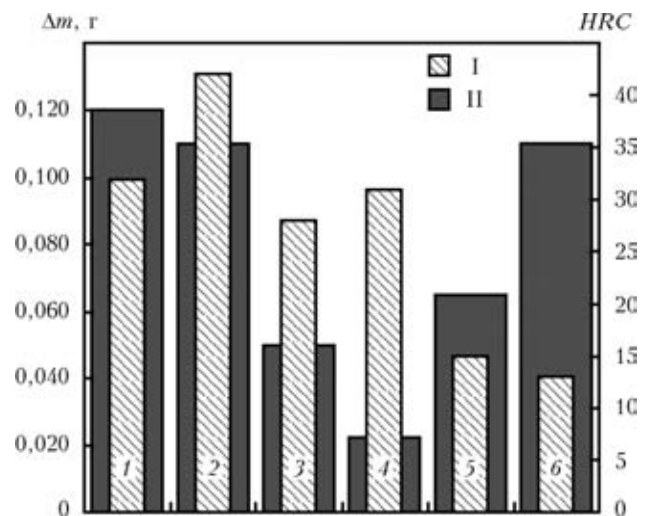


Рис. 1. Износ по массе (I) и твердость (II) наплавленного металла: 1 — У7; 2 — 30Х5Г5; 3 — 10Х10Г10; 4 — 60Х20Г9Н2МД; 5 — 20Х13Г6Н6МФД; 6 — 50Г11М

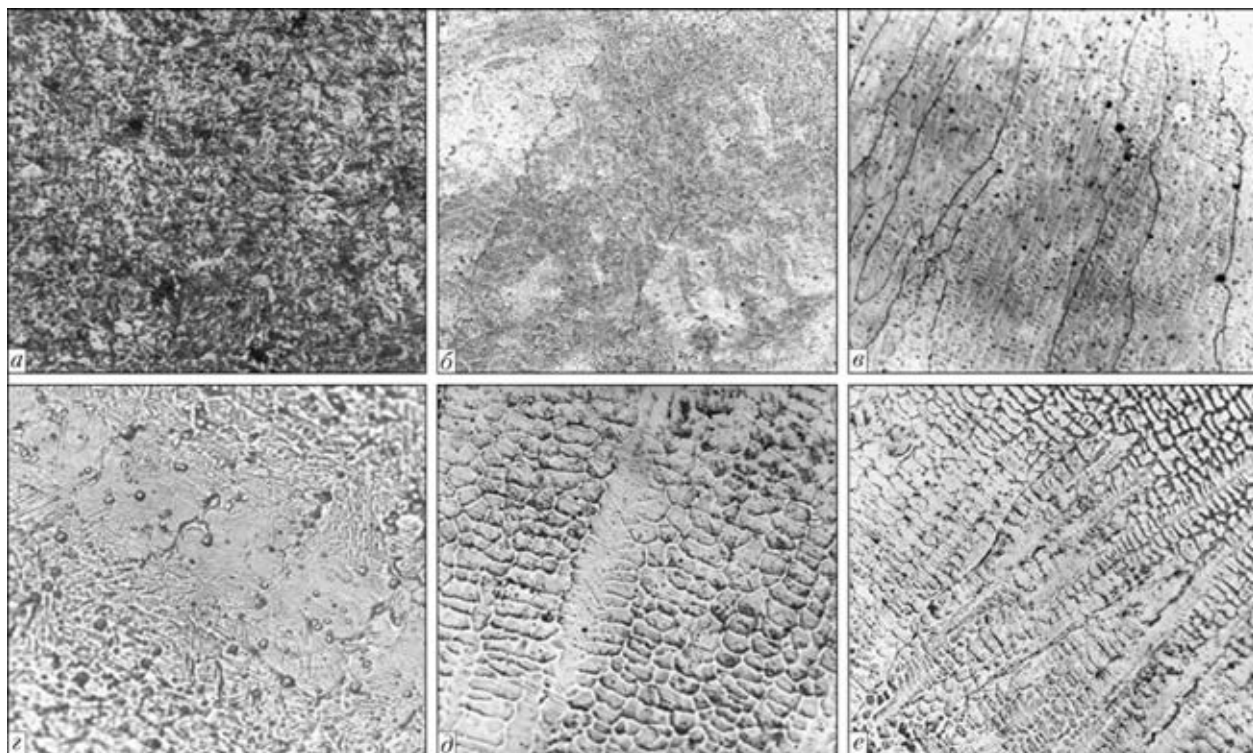


Рис. 2. Микроструктуры ($\times 500$) наплавленного металла: *a* — У7; *б* — 30Х5Г5; *в* — 10Х10Г10; *г* — 60Х20Г9Н2МД; *д* — 20Х13Г6Н6МФД; *е* — 50Г11М

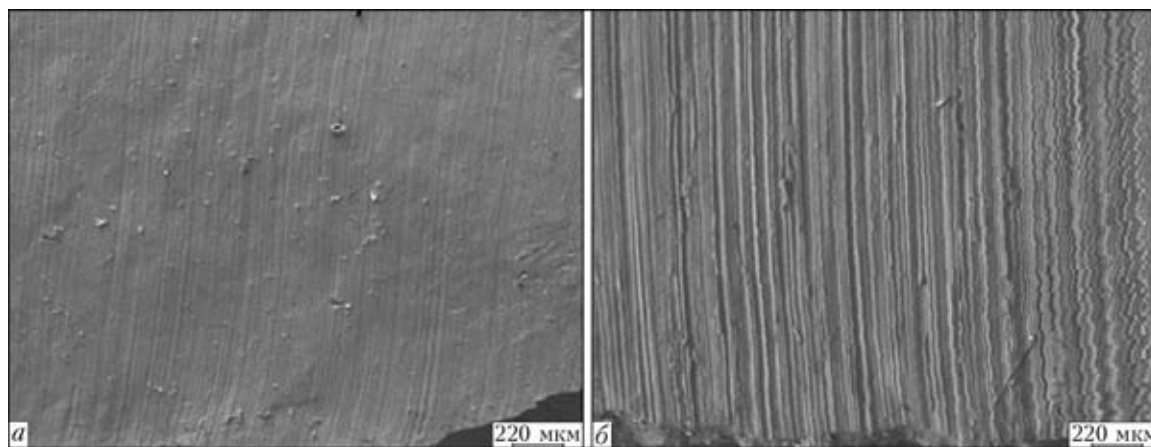


Рис. 3. Фрактограммы поверхностей трения после изнашивания наплавленного металла образцов: *a* — 10Х10Г10; *б* — 30Х5Г5

ментов и обладающему достаточно высокой износостойкостью.

Следует отметить, что полученные данные хорошо согласуются с результатами работы [6] по исследованиям износостойкости стали У7 и наплавленного металла ферритного и аустенитного классов.

После испытаний на износостойкость изучены фрактограммы поверхностей трения образцов наплавленного металла (рис. 3) и установлено, что у образца 10Х10Г10, имеющего структуру метастабильного аустенита (рис. 2, *в*), поверхность трения имеет однородный рельеф без следов выкрашивания и характерной бороздчатой структуры (рис. 3, *а*).

У образца 30Х5Г5, имеющего мартенситно-сорбитную структуру с остаточным аустенитом (рис. 2, *б*), наоборот, характерным морфологическим признаком поверхности трения является бороздчатая структура (рис. 3, *б*), которая образуется в результате пластического оттеснения материала с поверхности трения частицами продуктов изнашивания. Геометрические размеры бороздок меняются в широких пределах, что свидетельствует о неоднородности структуры и, соответственно, различном сопротивлении изнашиванию структурных составляющих рассматриваемого типа наплавленного металла.

Выводы

1. Исследована износостойкость и микроструктура наплавленного металла различных типов. Показано, что наилучшую износостойкость имеет наплавленный металл со структурой метастабильного аустенита. Предварительный наклеп или наклеп в процессе эксплуатации с повышенными механическими нагрузками приводит к распаду метастабильного аустенита и увеличению твердости и износостойкости наплавленного металла.

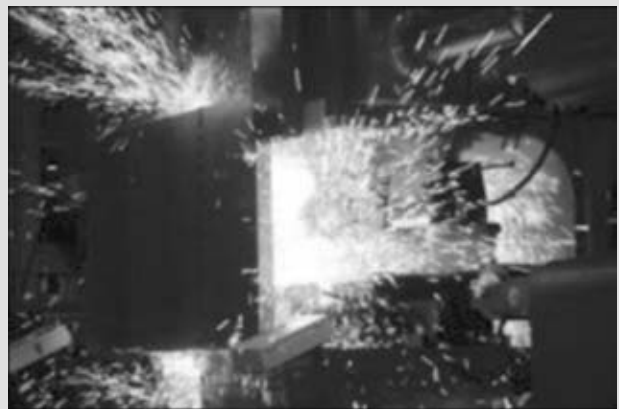
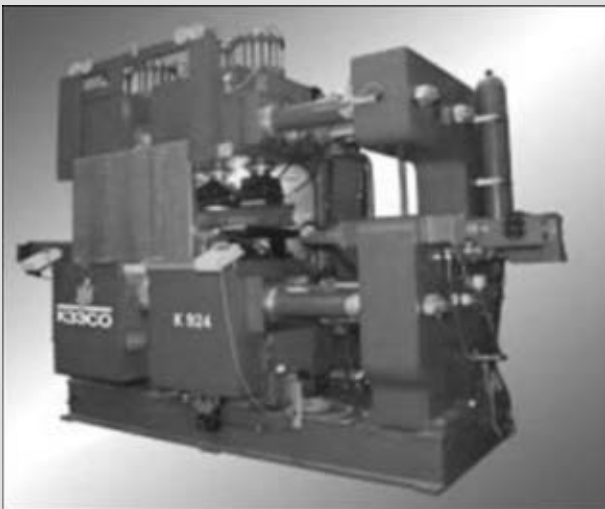
2. Из исследованных типов наплавленного металла различных систем легирования оптимальное сочетание свойств имеет наплавленный металл 10X10Г10.

1. Фрумин И. И. Автоматическая электродуговая наплавка. — Харьков: Metallurgizdat, 1961. — 421 с.
2. Рябцев И. А., Кондратьев И. А. Механизированная электродуговая наплавка деталей металлургического оборудования. — Киев: Экотехнология, 1999. — 62 с.
3. Рябцев И. А. Наплавка деталей машин и механизмов. — Киев: Там же, 2004. — 160 с.
4. Электрошлаковая наплавка / Ю. М. Кусков, В. Н. Скороходов, И. А. Рябцев, И. С. Сарычев. — М.: Наука и технологии, 2001. — 179 с.
5. Влияние погонной энергии на образование отколов в ЗТВ высокоуглеродистой стали М76 при наплавке аустенитными проволоками. / В. К. Каленский, Я. П. Черняк, В. Г. Васильев, Т. Г. Соломийчук // Автомат. сварка. — 2001. — № 11. — С. 11–14.
6. Черняк Я. П. Сравнительная оценка износостойкости электродных материалов, применяемых для восстановления трамвайных рельсов // Там же. — 2007. — № 12 — С. 41–43.

Поступила в редакцию 21.03.2013

НОВОСТИ КЗЭСО

В цехе путевой техники компании КЗЭСО прошли успешные испытания машины К 924, предназначенной для контактной стыковой сварки элементов железнодорожных крестовин из специальной стали. Машина уже отправлена заказчику в Россию.



Это уникальная машина в своем классе и на сегодня существует в нескольких экземплярах. Высокое качество и инновационность К 924 производства КЗЭСО подтверждается ее востребованностью среди железнодорожных предприятий и компаний по изготовлению стрелочных переводов нового поколения. Украина, Россия, Южная Корея — страны, на предприятиях которых работает эта машина. На очереди производство К 924 для железнодорожников Казахстана.