



## ТРИБОТЕХНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА НАПЛАВЛЕННОГО МЕТАЛЛА ТИПА 50X9C3Г С ПОВЫШЕННЫМ СОДЕРЖАНИЕМ СЕРЫ

**В. В. ОСИН**

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

Стали, легированные серой (например, «сильхром»), широко применяются при изготовлении инструментов холодного деформирования металла. Для их восстановительного ремонта необходимы материалы, обеспечивающие близкий основному металлу химический состав наплавленного металла. В работе исследовано влияние серы на триботехнические свойства наплавленного металла типа 50X9C3Г. Содержание серы в наплавленном металле изменяли в пределах 0,02...1,7 %. В результате исследований установлено, что сера образует сложные сульфиды, которые препятствуют схватыванию трущихся металлических поверхностей, увеличивая тем самым износостойкость наплавленных образцов. Для обеспечения оптимальных триботехнических свойств наплавленного металла объемное содержание сложных сульфидов основных легирующих элементов должно быть в пределах 1,5...2,0 %, а их размеры  $\leq 0,02$  мм. Это условие обеспечивается при общем содержании серы в наплавленном металле 0,5...0,8 %. При меньшем содержании серы количество образующихся сульфидов недостаточно для того, чтобы оказать существенное влияние на свойства наплавленного металла. При большем ее содержании образующиеся крупные включения сульфидов хуже удерживаются матрицей наплавленного металла и в процессе испытаний выкрашиваются и удаляются из зоны изнашивания. Это отрицательно сказывается на износостойкости наплавленного металла и контактирующей детали. Библиогр. 10, табл. 2, рис. 3.

*Ключевые слова:* наплавка, наплавленный металл, легирование серой, сульфиды, триботехнические свойства

Сталь 50X9C3Г, известная под торговой маркой «сильхром», достаточно широко применяется для изготовления инструментов холодного деформирования металла, в частности, для штампов глубокой холодной вытяжки, а также для тяжело нагруженных деталей некоторых пар трения. Процесс эксплуатации этих деталей характеризуется значительными механическими нагрузками и выходят они из строя чаще всего в результате изнашивания схватыванием. Для восстановительной наплавки штампов холодной вытяжки в ИЭС им. Е. О. Патона разработана порошковая проволока ПП-Нп-50X9C3Г, обеспечивающая получение наплавленного металла по составу аналогичного основному металлу [1]. Однако остается актуальной проблема увеличения сопротивления схватыванию наплавленного металла этого типа.

Из научно-технической литературы [2–8] и проведенных ранее исследований износостойкости при различных видах изнашивания наплавленного металла 25X5M3ФС [9], легированного серой, известно, что включения сложных сульфидов препятствуют изнашиванию схватыванием, снижают коэффициент трения, улучшают качество изнашиваемых поверхностей наплавленного металла. Была поставлена задача улучшить триботехнические характеристики наплавленного металла типа 50X9C3Г за счет легирования серой.

Учитывая опыт проведенных ранее исследований [9], содержание серы в наплавленном металле этого типа изменяли в пределах 0,02...1,3 % (табл. 1).

Для оценки износостойкости и коэффициента трения наплавленного металла использовали универсальный узел машины трения, предназначенный для лабораторно-экспериментальной оценки триботехнических свойств пар трения при комнатной и повышенных температурах [10]. Схватывание оценивали по наличию или отсутствию увеличения массы контртела или образца. Испытания проводили методом истирания лунок по схеме «вал–плоскость» без дополнительной подачи смазки в зону трения. Образцы для триботехнических исследований, вырезанные из третьего-четвертого слоя наплавленного металла, имели размеры 3×17×25 мм. Изнашиваемая поверхность 3×25 мм. Контртело в виде кольца диаметром 40 мм и шириной 12 мм было изготовлено из закаленной стали 45 с твердостью *HRC* 42.

**Таблица 1. Химический состав и твердость металла, наплавленного опытными порошковыми проволоками**

Условное обозначение порошковой проволоки	Массовая доля элементов, %					Твердость <i>HRC</i>
	C	Mn	Si	Cr	S	
ПП-Нп-50X9C3Г-Оп-1	0,55	0,52	2,65	9,23	0,02	56
ПП-Нп-50X9C3Г-Оп-2	0,50	0,81	2,80	9,04	0,27	58
ПП-Нп-50X9C3Г-Оп-3	0,64	0,55	2,65	9,25	0,70	58
ПП-Нп-50X9C3Г-Оп-4	0,62	0,52	2,80	8,65	1,05	55
ПП-Нп-50X9C3Г-Оп-5	0,67	0,58	2,65	8,80	1,30	56

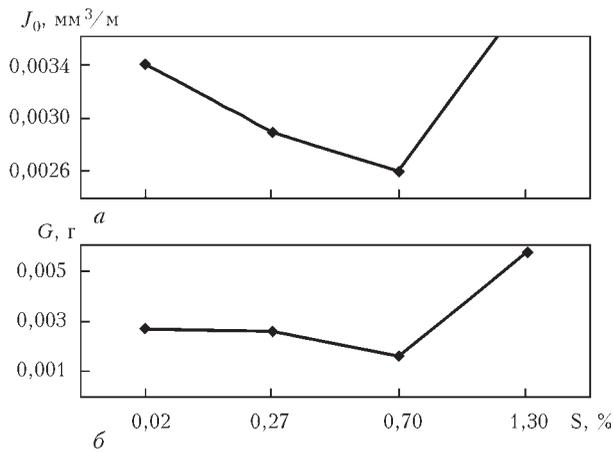


Рис. 1. Износ образцов наплавленного металла типа 50X9C3Г с различным содержанием серы (а) и контртел, испытанных в паре с ними (б)

По результатам предварительных исследований выбрали следующий режим испытаний: скорость скольжения 0,06 м/с, нагрузка 30 Н, продолжительность испытания после приработки 60 мин, путь трения около 227 м. Этот режим обеспечивал стабилизацию во времени триботехнических характеристик всех исследованных материалов. При испытаниях износ образца определяли по объему вытертой лунки, износ контртела — по разнице его массы до и после испытания.

Характеристики изнашивания наплавленных образцов и контртел при трении металла по металлу при комнатной температуре представлены на рис. 1. Как видно из приведенных данных, износ наплавленного металла типа 50X9C3Г при трении металла по металлу при комнатной температуре сначала снижается с увеличением содер-

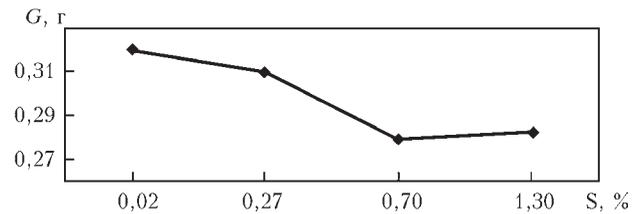


Рис. 2. Влияние серы на коэффициент трения наплавленного металла типа 50X9C3Г

жания серы до 0,7 %, а затем, при увеличении ее содержания до 1,3 %, износ снова растет. Износ контртел подобен износу образцов наплавленного металла. Износа схватыванием не обнаружено, что видно из результатов испытаний. В паре трения образец-контртело наилучшая износостойкость обеспечивалась при содержании серы в пределах 0,5...0,8 %. При увеличении содержания серы в образце до 1,3 % износ контртел также несколько увеличивается.

Исследовали влияние серы на коэффициент трения наплавленного металла 50X9C3Г (рис. 2). Коэффициент трения наплавленного металла снижается до содержания серы 0,7 %, а затем, с увеличением содержания серы до 1,3 %, остается примерно на одном уровне. Как и для изнашивания, оптимальным следует считать содержание серы 0,5...0,8 %.

Схожая зависимость износа образцов от содержания серы наблюдалась и в работе [9]. По-видимому, износостойкость образцов и как следствие износостойкость контртел, связана с морфологией и количеством сульфидных включений.

Было проведено исследование микроструктуры наплавленного металла 50X9C3Г с различным содержанием серы. Микроструктура наплавленного металла 50X9C3Г без серы состоит из мартенсита и остаточного аустенита, есть небольшое количество неметаллических включений — силикатов и оксидов (рис. 3, а).

С введением 0,27 % серы в микроструктуре наплавленного металла появляются включения сульфидов и оксисульфидов (рис. 3, б). С дальнейшим увеличением содержания серы до 0,7 % происходит измельчение структуры наплавленного металла, при этом количество и размер сульфидов и оксисульфидов увеличивается (рис. 3, в). В образцах с содержанием серы 1,3 % наблюдается множество отдельных сульфидов глобулярной и вытянутой формы, а также скопления мелких сульфидов (рис. 3, г). Выявлены также немногочисленные очень крупные сульфиды и оксисульфиды, силикатов практически не наблюдается.

Влияние содержания серы на объемную долю неметаллических включений изучали на нетравленных полированных шлифах на коли-

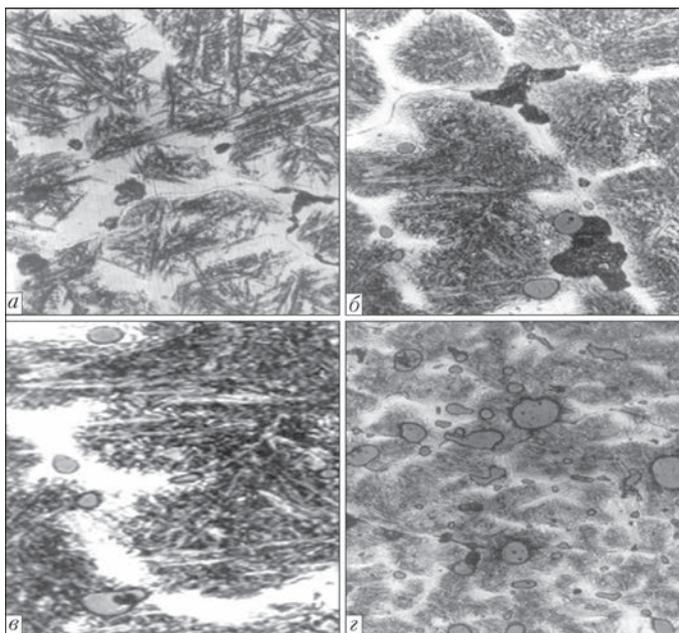


Рис. 3. Микроструктура ( $\times 1000$ ) наплавленного металла типа 50X9C3Г с различным содержанием серы, %: а — 0,02; б — 0,27; в — 0,7; г — 1,3



**Таблица 2. Состав сульфидной фазы наплавленного металла 50X9C3Г с 0,7 % S**

Тип наплавленного металла	Участок анализа	Массовая доля элементов, %				
		S	Si	Mn	Cr	Fe
50X9C3Г	Сульфид	12,53	1,22	28,81	13,15	44,28
	Матрица	0,03	3,40	0,59	9,27	86,26

чественном анализаторе «Omnimet» при увеличении 600 при просмотре 100 полей зрения. При содержании в наплавленном металле 0,7 % серы объемная доля сульфидов в верхних наплавленных слоях достигает 1,99 % (по объему), а при содержании серы  $1,3 \leq 3,21$  %.

Размеры сульфидных включений больше, чем силикатных, причем, с увеличением содержания серы размер сульфидных включений растет. При содержании серы 0,7 % размер сульфидных включений составляет 0,007...0,02 мм, а при содержании серы 1,3 % — 0,025...0,05 мм, были также обнаружены единичные включения размером 0,075 мм.

Микротвердость неметаллических включений определяли на твердометре М-400 фирмы «LECO», при нагрузке 10 г. Сульфиды имеют существенно меньшую микротвердость, чем силикаты, средняя микротвердость сульфидов 2835 МПа, а силикатов 9130 МПа. Результаты микрорентгеноспектрального анализа показывают, что марганец и хром активно реагируют с серой, составляя почти половину объема сульфидной фазы (табл. 2). Велика также доля сульфидов железа, кремний, в основном, входит в состав сложных сульфидов.

Сопоставляя результаты исследований микроструктуры наплавленного металла 50X9C3Г с результатами исследований его износостойкости, можно сделать вывод, что для обеспечения оптимальных триботехнических свойств наплавленного металла 50X9C3Г объемная доля в его структуре сложных сульфидов основных легирующих элементов должна находиться в пределах 1,5...2,0 %, а их размеры  $\leq 0,02$  мм. Для выполнения этих условий необходимо, чтобы содержание серы в наплавленном металле составляло 0,5...0,8 %.

При меньшем содержании серы количество образующихся сульфидов недостаточно для того, чтобы оказывать существенное влияние на свойства наплавленного металла 50X9C3Г. При большем ее содержании образующиеся крупные включения сульфидов плохо удерживаются матрицей наплавленного металла и в процессе испытаний выкрашиваются и удаляются из зоны изнашивания. Это отрицательно сказывается на износостойкости наплавленного металла и ответной детали. Кроме того, выкрашиванию сульфидов может способствовать совокупность низкой микротвердости и большой объемной доли сульфид-

ных включений, что может приводить к неспособности противостоять большим контактными давлениям в зоне трения.

### Выводы

1. Установлено, что при легировании серой наплавленного металла 50X9C3Г сульфиды основных легирующих элементов препятствуют схватыванию изнашиваемых поверхностей в условиях сухого трения металла по металлу.

2. Для обеспечения оптимальных триботехнических свойств наплавленного металла 50X9C3Г необходимо, чтобы в его структуре объемная доля сложных сульфидов составляла 1,5...2,0 %, а их размеры были  $\leq 0,02$  мм. Для выполнения этого условия содержание серы в наплавленном металле должно находиться в пределах 0,5...0,8 %. При меньшем ее содержании сульфиды не могут существенно влиять на триботехнические свойства наплавленного металла. При большем образующиеся крупные сульфиды плохо удерживаются матрицей наплавленного металла и в процессе износа выкрашиваются и удаляются из зоны изнашивания, что отрицательно влияет на износостойкость.

1. *Рябцев И. А., Кондратьев И. А.* Механизированная электродуговая наплавка деталей металлургического оборудования. – Киев: Екотехнологія, 1999. – 62 с.
2. *Подшипниковые* сульфидированные металлокерамические материалы на основе нержавеющей сталей / И. М. Федорченко, Л. И. Пугина, И. Г. Слысь и др. // Трение и изнашивание при высоких температурах. – М.: Наука, 1973. – С. 115–120.
3. *Виноградов Ю. М.* Сульфидирование, селенирование и теллурирование сталей, чугуна и сплавов // Металловедение и терм. обработка металлов. – 1965. – № 10. – С. 36–41.
4. *Влияние* температуры на характеристики трения некоторых сульфидов, селенидов и теллуридов тугоплавких металлов / М. С. Ковальченко, В. В. Сычев, Ю. Г. Ткаченко и др. // Трение и изнашивание при высоких температурах. – М.: Наука, 1973. – С. 133–138.
5. *Артамонов А. Я., Барсегян Ш. Е., Репкин Ю. Д.* Исследование смазочных свойств дисульфидов молибдена и вольфрама // Порошковая металлургия. – 1968. – № 12. – С. 53–58.
6. *Самсонов Г. В., Барсегян Ш. Е., Ткаченко Ю. Г.* О механизме смазочного действия сульфидов и селенидов тугоплавких металлов // Физ.-хим. механика материалов. – 1973. – 9, № 1. – С. 58–61.
7. *Лунев В. В., Аверин В. В.* Сера и фосфор в стали. – М.: Металлургия, 1988. – 256 с.
8. *Рябцев И. А., Осин В. В.* Влияние серы на свойства сплавов на основе железа и перспективы ее использования в наплавочных материалах // Автомат. сварка. – 2004. – № 10. – С. 22–26.
9. *Рябцев И. А., Осин В. В.* Исследование влияния серы на свойства наплавленного металла типа X5MFC // Там же. – 2006. – № 12. – С. 14–18.
10. *Рябцев И. И., Черняк Я. П., Осин В. В.* Блочная установка для испытаний наплавленного металла // Сварщик. – 2004. – № 1. – С. 18–20.

Поступила в редакцию 20.10.2014