



## ВЛИЯНИЕ ФРАКЦИОННОГО СОСТАВА АБРАЗИВНОЙ МАССЫ НА ИЗНОСОСТОЙКОСТЬ НАПЛАВЛЕННОГО МЕТАЛЛА

**В.В. ПЕРЕМИТЬКО<sup>1</sup>, В.Д. КУЗНЕЦОВ<sup>2</sup>**

<sup>1</sup> Днепродзержинский гос. техн. ун-т. 51918, г. Днепродзержинск, ул. Днепростроевская, 2, E-mail: welding@dstu.dp.ua

<sup>2</sup> НТУУ «Киевский политехнический институт». 03056, г. Киев-56, пр-т Победы, 37

Исследовано абразивное изнашивание образцов, наплавленных сплошными проволоками Св-08Г2С и Нп-65 под смесью плавленного и легирующего агломерированного флюсов. Показано, что выбор состава металла для наплавки деталей машин, эксплуатирующихся в условиях абразивного изнашивания, должен проводиться с учетом гранулометрического состава абразивной среды. Приведены значения оптимального химического и фазового состава металла, рекомендуемого для наплавки деталей подобного типа. Определены значения твердости и соотношения ее значений для двух контактирующих наплавленных поверхностей деталей, которые позволяют увеличить срок службы деталей при условии учета гранулометрического состава абразива. Библиогр. 7, табл. 2, рис. 4.

*Ключевые слова:* дуговая наплавка, наплавленный металл, фазовый состав, абразивное изнашивание, гранулометрический состав абразива, износостойкость

Многие детали дорожно-строительной и сельскохозяйственной техники выходят из строя в результате абразивного изнашивания. Одним из важных факторов в этом процессе является изнашивающая способность обрабатываемых грунтов, технологических смесей и т.д. Указанный показатель определяется твердостью, размерами и формой абразива, степенью закрепления его частиц, твердость и форма которых определяют характер разрушения поверхностного слоя деталей — микрорезание или усталостное разрушение в результате многократного передеформирования [1, 2].

Общие положения по легированию наплавленного металла, предназначенного для восстановления и упрочнения деталей, эксплуатирующихся в условиях различных видов абразивного изнашивания, сформулированы достаточно полно [3–6]. Однако следует отметить, что в этих работах практически не уделялось внимания проблеме влияния фракционного состава абразивной массы на износостойкость наплавленных деталей. Исходя из этого, целью данной работы было исследование влияния фракционного состава абразива на износостойкость наплавленного металла.

В исследованиях использовали сварочную проволоку Св-08Г2С (ГОСТ 2246–70) и наплавочную проволоку Нп-65 (ГОСТ 10543–75), плавленный флюс АН-348А и агломерированные легирующие флюсы АНК-18 и АНК-19. Металл, наплавленный низкоуглеродистой проволокой Св-08Г2С под флюсом АНК-18, имеет химический состав, соответствующий стали 30Х3Г1, а под флюсом АНК-19 — стали 60Х4ГС [7]. Образцы для испытаний изготавливали из наплавленной цилиндрической по-

лой заготовки длиной 200 мм (внешний диаметр 36, внутренний 16 мм). Наплавку заготовок вели в 3...4 слоя до достижения внешнего диаметра заготовки 50 мм. Режимы наплавки образцов под смесью флюсов: диаметр проволоки 1,2 мм; ток 160...180 А; напряжение 27...28 В; шаг наплавки 3 мм; скорость наплавки 24...33 и 27...38 м/ч.

Из наплавленных заготовок вырезали ролики толщиной 10 мм. Наружную наплавленную поверхность ролика шлифовали до диаметра 45 мм. Данные о химическом составе наплавленных слоев и их твердости приведены в табл. 1.

Исследования износостойкости проводили по схеме «ролик-ролик» на машине МИ-1М. Усилие прижатия роликов 1кН, скорость вращения роликов примерно 200 об/мин, длительность одного испытания 2 ч. Абразивом служил кварцевый песок, который по фракциям разного гранулометрического состава подавался через лейку в зазор между роликами, с возможностью регулирования расхода. Образцы взвешивали до и после испытаний на лабораторных весах с точностью 0,0001 г. Данные об испытаниях образцов на изнашивание без и с абразивом представлены в табл. 2. Установлено, что износ роликов, наплавленных проволокой Св-08Г2С, при испытаниях без абразива меняется от 0,013 г (эксперимент № 4, верхний ролик) до 0,053 г (эксперимент № 1, нижний ролик).

При использовании проволоки Нп-65 износ роликов с увеличением степени легирования слоев снижается еще более существенно и также достигает минимума у металла, наплавленного только под легирующим флюсом АНК-18 (снижение износа верхнего и нижнего роликов в этом случае



Таблица 1. Характеристики наплавленного металла

Номер эксперимента	Марка проволоки	Флюс/смесь	Химический состав наплавленного металла, мас. %					HB
			C	Mn	Si	Cr	Ni	
1	Св-08Г2С	АН-348А	0,06	2,11	0,93	0,04	0,07	170
2		75%АН-348А+ 25%АНК-18	0,12	2,37	0,77	0,70	0,13	220
3		50%АН-348А+ 50%АНК-18	0,17	2,35	0,63	1,49	0,09	283
4		25%АН-348А+ 75%АНК-18	0,22	3,14	0,60	1,57	0,13	367
5		АНК-18	0,37	2,88	0,39	3,18	0,11	409
6	Нп-65	АН-348А	0,34	1,22	0,59	0,05	0,08	230
7		75%АН-348А+ 25%АНК-18	0,29	2,04	0,48	0,98	0,07	245
8		50%АН-348А+ 50%АНК-18	0,29	1,87	0,37	1,19	0,07	332
9		25%АН-348А+ 75%АНК-18	0,43	2,09	0,28	1,57	0,12	417
10		АНК-18	0,63	1,20	0,29	2,57	0,08	547

Таблица 2. Потери массы наплавленных образцов после испытаний на износ

Номер эксперимента	Износ роликов $i$ , г в зависимости от фракции абразива, мм									
	Без абразива		0,315		0,400		0,630		1,000	
	Нижний ролик	Верхний ролик	Нижний ролик	Верхний ролик	Нижний ролик	Верхний ролик	Нижний ролик	Верхний ролик	Нижний ролик	Верхний ролик
1	0,053	0,010	0,34	0,728	0,674	0,621	1,577	2,349	0,344	0,318
2	0,043	0,048	0,47	0,780	1,025	0,971	0,227	0,167	0,230	0,284
3	0,035	0,071	0,174	0,145	0,953	0,801	0,762	0,837	0,134	0,136
4	0,021	0,013	0,143	0,103	0,678	0,590	0,735	0,701	0,219	0,146
5	0,023	0,024	Сколы	Сколы	Сколы	Сколы	Сколы	Сколы	Сколы	Сколы
6	0,006	0,010	1,078	1,059	2,836	2,780	0,147	0,125	0,404	0,486
7	0,046	0,029	0,851	0,790	1,440	1,253	0,978	0,886	0,317	0,243
8	0,058	0,019	1,183	1,158	0,960	1,050	0,718	0,729	0,244	0,259
9	0,079	0,050	0,376	0,417	0,773	0,838	0,869	0,840	0,345	0,485
10	0,035	0,108	1,191	0,148	0,705	0,544	0,796	0,832	0,309	0,226

примерно в 11 и 6 раз, соответственно, эксперимент № 6–10).

В случае подачи абразива фракцией 0,315 мм наибольшую потерю массы показывают ролики, наплавленные проволокой Нп-65 (эксперимент № 8), а наименьшую — проволокой Св-08Г2С (эксперимент № 4). При испытаниях с абразивом фракции 0,4 мм наименьший износ наблюдается у роликов, наплавленных проволокой Св-08Г2С под флюсом АН-348 (минимальное легирование, эксперимент № 1) или под смесью флюсов с долей АНК-18 в ней 75 % (эксперимент № 4).

Испытания с абразивом фракции 0,63 мм показали, что все пары роликов изнашиваются качественно одинаково. Однако в противовес предыдущему случаю максимальную потерю массы дает самый пластичный металл (эксперимент № 1). Анализ результатов износа с абразивом фракции 1 мм свидетельствует об идентичности характера изнашивания металла, наплавленного обеими проволоками.

Рабочая поверхность роликов, наплавленных проволокой Св-08Г2С под флюсом АНК-18 (эксперимент № 5), в присутствии абразивных частиц скалывается (при испытаниях без абразива сколы не наблюдаются). Абразивные кварцевые частицы, имеющие микротвердость на уровне 10000 МПа, внедряются в поверхностный слой роликов, вызывая зарождение концентраторов напряжений в виде лунок, рисок и царапин. При продолжающейся циклической силовой нагрузке развитие трещины, вызванной указанными концентраторами напряжений, происходит быстро.

Представляет интерес зависимость отношения износа нижнего и верхнего роликов ( $i_n/i_v$ ) от соотношения твердостей их поверхностей ( $HB_n/HB_v$ ). Такая зависимость для случая изнашивания без подачи абразива представлена на рис. 1. Показательно, что для всех составов наплавленного металла данные зависимости имеют минимумы и могут быть описаны параболической функцией.



Для образцов, наплавленных проволокой Св-08Г2С под флюсом АНК-18, минимальное отношение  $i_n/i_b$  наблюдается при отношении  $HB_n/HB_b$  близком к 0,85. Одинаковый износ роликов ( $i_n/i_b = 1$ ) фиксируется при отношении твердостей 0,75 и 0,95. Вероятно, в первом случае изнашивание ведущего нижнего ролика происходит путем пластического сдвига (среза), а во втором — в результате хрупкого отрыва. Изменение механизма изнашивания проявляется во всех рассмотренных случаях.

При отношении твердостей  $HB_n/HB_b = 1,0$  отношение износа нижнего и верхнего роликов составляет 3,7 и свидетельствует о более интенсивном износе ведущего ролика.

Можно предположить, что оптимальное отношение значений износа, близкое к 0,25, при  $HB_n/HB_b = 0,85$  достигается при условии, когда оба ролика изнашиваются путем упругопластического передеформирования. Это состояние можно считать переходным от вязкого разрушения к хрупкому. Зависимость  $i_n/i_b = f(HB_n/HB_b)$  для слоев, наплавленных проволокой Св-08Г2С под флюсом АНК-18, характеризуется узким интервалом изменения  $HB_n/HB_b$  и наиболее вероятным смешанным механизмом изнашивания роликов. Оптимальным можно считать отношение твердостей, близким 0,9. Равность износа для обоих роликов достигается при отношении твердостей 0,85 и 0,98.

Для металла, наплавленного проволокой Нп-65 под флюсом АНК-18, характерным является широкий диапазон значений  $HB_n/HB_b$ . Оптимальное соотношение твердостей 0,9 хорошо согласуется с установленными ранее значениями для металла, наплавленного проволокой Св-08Г2С. Показательно, что равенство износа роликов достигается лишь при оптимальном значении отношения  $HB_n/HB_b$ . Слои, наплавленные проволокой Нп-65 под флюсом АНК-19, отличаются от ранее рассмотренных выше, большими значениями  $HB_n/HB_b$  и слабо выраженным оптимумом. Можно считать, что последний отвечает отношению твердостей порядка 1,2. При этом отношение значений износа составляет 0,25...0,30. Равенство значений износа возможно при отношении твердостей около 1,4.

Анализируя полученные зависимости и начальные значения твердости наплавленного металла, можно отметить, что при наплавке проволокой Св-08Г2С под флюсами АН-348А и АНК-18 нижние ролики при равной твердости изнашиваются интенсивнее. Данный факт можно объяснить ведущей ролью нижнего ролика при передаче крутящего момента и неизбежным проскальзыванием верхнего ролика. Последнее вызывает большую степень наклепа ведущих роликов, что подтверждается экспериментально.

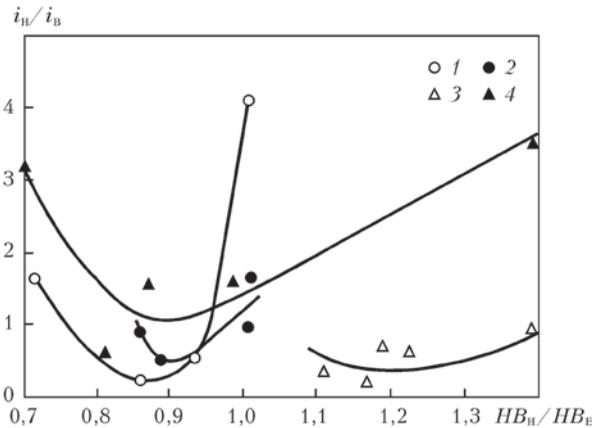


Рис. 1. Зависимости отношения износа  $i_n/i_b$  и твердости  $HB_n/HB_b$  роликов при испытании на изнашивание при трении качения металла по металлу без абразива: проволокой Св-08Г2С под флюсом АНК-19 (1), АНК-18 (2); наплавка проволокой Нп-65 под флюсом АНК-19 (3) и АНК-18 (4)

Принимая в качестве оптимального отношение твердостей  $HB_n/HB_b = 0,9$  и учитывая возможность получения слоев наплавленного металла твердостью от  $HB170$  до  $HB547$ , можно сформулировать следующие рекомендации: при минимальной твердости верхнего образца ( $HB170$ ) оптимальная твердость нижнего должна быть  $HB153$ , при максимальной твердости верхнего образца ( $HB547$ ) —  $HB508$ .

При испытаниях с абразивом образцов, наплавленных проволокой Св-08Г2С под флюсом АН-348А (рис. 2), установлено, что минимальное значение  $i_n/i_b = 0,6...0,7$  наблюдается при оптимальном соотношении твердостей ( $HB_n/HB_b = 0,9$ ) лишь при изнашивании с абразивом фракций 0,315 и 0,630 мм. Изнашивание в присутствии абразива фракции 0,4 мм отличается смещением оптимального отношения твердостей до значений 1,10...1,15. При наличии абразива фракции 1,0 мм

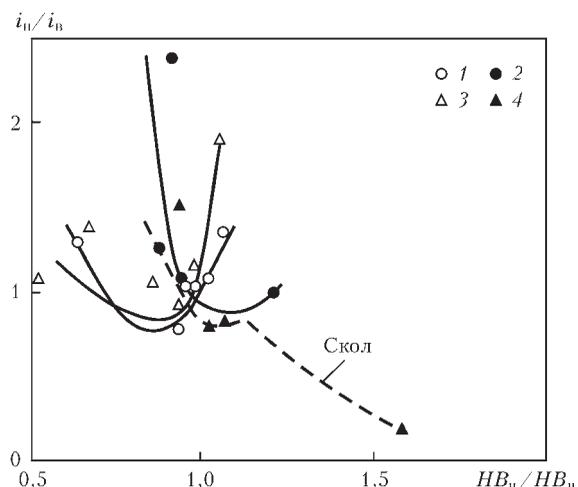


Рис. 2. Зависимости отношения износа  $i_n/i_b$  и твердости  $HB_n/HB_b$  роликов при испытании на изнашивание при трении качения металла по металлу с абразивом (наплавка проволокой Св-08Г2С под флюсом АН-348А): 1 — из частиц фракции  $d = 0,315$  мм; 2 — 0,4; 3 — 0,63; 4 — 1,0 мм

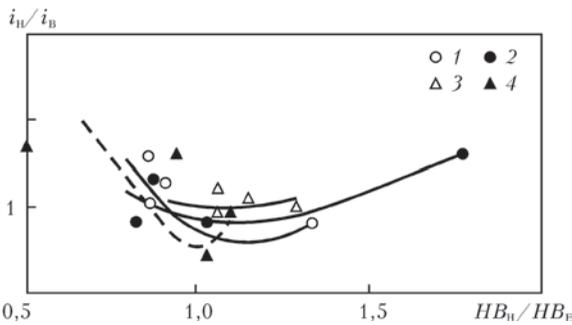


Рис. 3. Зависимости отношения износа  $i_n/i_B$  и твердости  $HB_n/HB_B$  роликов, наплавленных проволокой Нп-65 под флюсом АН-348А, при испытании на изнашивание при трении качения металла по металлу с абразивом (обозначения аналогичны рис. 2)

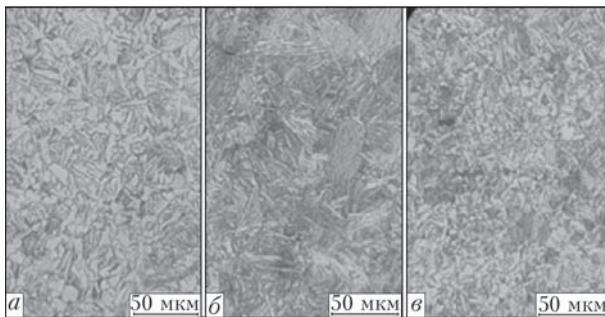


Рис. 4. Микроструктура наплавленного металла, обеспечивающего повышенную износостойкость: а — при контакте с частицами размером 0,01...0,30 мм; б — 0,31...0,80; в — 0,81...1,20 соответственно

минимальное значение  $i_n/i_B$  достигается при отношении твердостей 1,1; при больших значениях фиксируется макроскопическое скалывание наплавленного металла.

При испытаниях с абразивом образцов, наплавленных проволокой Нп-65 под флюсом АН-348А (рис. 3), установлено, что оптимальное соотношение твердостей составляет 1,0...1,1, чему соответствует отношение  $i_n/i_B = 0,7...1,0$ . Хрупкого разрушения не наблюдается. Таким образом, для минимизации отношения  $i_n/i_B$  необходимо обеспечить значения  $HB_n/HB_B$  на уровне 0,85...0,90 для образцов, наплавленных проволокой Св-08Г2С, и 1,0...1,15 для образцов, наплавленных проволокой Нп-65. При наличии абразива фракции 1,0 мм при изнашивании образцов, наплавленных проволокой Св-08Г2С, для предупреждения хрупкого разрушения не следует допускать отношения  $HB_n/HB_B > 1,20$ . Связывая полученные экспериментальные данные относительно интенсивности износа с фазовым составом наплавленных слоев, можно сформулировать следующие рекомендации.

При преобладании более мелкого (0,01...0,30 мм) абразива лучшую стойкость при изнашивании обеспечивает наплавленный металл, который имеет преимущественно ферритно-перлитную структуру (доля бейнита — до 5...10 %, см. рис. 4, а).

При увеличении размеров частиц абразива (0,31...0,80 мм) рекомендуется использовать более легированный наплавленный металл с бейнитно-мартенситной структурой (доля мартенситной фазы — до 5 %) (рис. 4, б). В случае преобладания крупнозернистого абразива (0,81...1,20 мм) следует отдавать предпочтение более пластичному наплавленному металлу с ферритно-перлитной структурой (доля бейнита — до 10...20 %) (рис. 4, в).

## Выводы

1. Определена связь между фракционным составом абразива и износостойкостью наплавленного металла.

При преобладании мелкого (0,01...0,30 мм) абразива целесообразно наплавливать металл (0,17% С; 2,35% Мп; 0,63% Si; 1,49% Cr; 0,09% Ni), который имеет ферритно-перлитную структуру, с долей бейнита 5...10 %. При увеличении размеров частиц абразива (0,31...0,80 мм) рекомендуется наплавливать более легированный металл (0,37 % С; 2,88 % Мп; 0,39 % Si; 3,18 % Cr; 0,11 % Ni) с бейнитно-мартенситной структурой (доля мартенситной фазы — до 5 %). В случае преобладания крупнозернистого абразива (0,81...1,20 мм) целесообразно наплавливать пластичные ферритно-перлитные слои, с долей бейнита 10...20 % (0,22 % С; 2,09 % Мп; 0,6 % Si; 1,57 % Cr; 0,13 % Ni).

2. Предложены значения твердости и соотношения ее значений для контактирующих наплавленных слоев деталей, которые, при условии учета гранулометрического состава абразивного потока, способны увеличить срок службы деталей в 1,8...2,2 раза.

1. *Виноградов В.Н., Сорокин Г.М., Колокольников М.Г.* Абразивное изнашивание. — М.: Машиностроение, 1990. — 224 с.
2. *Львов П.Н.* Основы абразивной износостойкости деталей дорожных машин. — М.: Стройиздат, 1970. — 71 с.
3. *Лившиц Л.С., Гринберг Н.А., Куркумелли Э.Г.* Основы легирования наплавленного металла. — М.: Машиностроение, 1969. — 188 с.
4. *Чигарев В.В., Малинов В.Л.* Выбор экономнолегированных наплавочных материалов для различных условий ударно-абразивного воздействия // *Автомат. сварка.* — 2000. — № 5. — С. 58–60.
5. *Мазель Ю.А., Кусков Ю.В., Полищук Г.Н.* Классификация сплавов на основе железа для восстановительной и упрочняющей наплавки // *Свароч. пр-во.* — 1999. — № 4. — С. 35–38.
6. *Наплавочные материалы для упрочнения деталей, работающих в условиях ударно-абразивного изнашивания / А.Н. Балин, А.В. Березовский, А.А. Вишневецкий и др. // Автомат. сварка.* — 2006. — № 2. — С. 46–47.
7. *Технология электрической сварки металлов и сплавов плавлением/ Под ред. Б.Е. Патона.* — М.: Машиностроение, 1974. — 768 с.

Поступила в редакцию 15.04.2015