

Исследование характеристик микротвердости наплавленного слоя, сформированного методом сверхзвуковой газопорошковой технологии

Т.А. Перевай

Севастопольский государственный университет

Аннотация: В ходе проведенных исследований была оценена микротвердость как основного металла, так и границы сплавления и наплавленного защитного покрытия. Уделено внимание факторам, влияющим на уровень микротвердости в зависимости от высоты защитного покрытия образца. Для визуализации собранных данных были созданы диаграммы, иллюстрирующие распределение микротвердости в исходном материале и защитном слое, полученных с использованием сверхзвуковой газопорошковой наплавки.

Ключевые слова: наплавленный слой, сверхзвуковой газопорошковой наплавки, границы сплавления, микротвердость.

Одна из ключевых задач в машиностроении заключается в защите подвергшихся износу поверхностей деталей от быстрого ухудшения эксплуатационных характеристик. Традиционные методы повышения прочности, такие как азотирование и цементация, не всегда обеспечивают необходимую износостойкость. Однако развитие технологий открывает новые горизонты, предлагая решения, способные значительно повысить уровень защиты. Использование современных материалов и методов обработки может существенно продлить срок службы компонентов. Поэтому критически важно исследовать и внедрять инновационные подходы, чтобы добиться улучшенной устойчивости к износу. Эти усилия помогают преодолевать проблемы, связанные с долговечностью и надежностью машин и оборудования, которые играют благодаря своей значимости в различных сферах промышленности. Оптимизация защиты изнашиваемых поверхностей представляет собой важный аспект, направленный на повышение качества и эффективности производственного процесса.

В данной работе применяется технология сверхзвуковой газопорошковой наплавки (СГПН), суть которых заключается в нанесении тугоплавкого сплава на упрочняемую поверхность путем распыления

порошковой проволоки с использованием газового потока. В результате образуется защитное покрытие, обладающее исключительными физико-механическими свойствами [1]. Основным материалом, на который наносили защитное покрытие, получали методом электроконтактного уплотнения [2,3]. Методика проведения электроконтактного уплотнения рассмотрена в работах [4,5]. Исследования, проведенные учеными, показали, что микротвердость таких покрытий в 5-6 раз превосходит микротвердость основного металла. Это объясняется образованием в никелевой аустенитной матрице упрочняющих карбидных фаз, таких, как Fe_3C , Cr_3C_2 и Cr_7C_3 , которые равномерно распределены по всему объему покрытия.

В ряде работ [6,7] детально изучены характеристики металлографического анализа: свойства и структура защитных покрытий, полученных методом СГПН. Настоящее исследование продолжает предыдущие работы, направленные на изучение механических свойств материала. Для достижения этой цели были выполнены исследования наплавленных сплавов на микротвердость по сечению методом СГПН.

В работе [8] описана методология проведения эксперимента, основанного на анализе поперечного сечения наплавленного слоя. В рамках этого эксперимента были изготовлены образцы с покрытиями различной толщины: от 0,1 до 1,2 миллиметра в первом случае и от 1,5 до 1,7 миллиметра во втором.

Одним из ключевых аспектов, влияющих на качество наплавленных покрытий, является строгое соблюдение технологии процесса. Важно контролировать такие параметры, как температура пламени, время оплавления и расстояние между соплом горелки и поверхностью, на которую наносится покрытие. Продолжительное оплавление может привести к растворению карбидов, негативно сказываясь на твердости и износостойкости покрытия. В тоже время недостаточное оплавление делает

невозможным выход газов на поверхность, что приводит к образованию дефектов в виде пор [9,10].

В связи с этим были подобраны оптимальные режимы наплавки, что позволило создать надежный защитный слой. В результате исследований, проведенных по микротвердости, было установлено, что структура основного металла соответствует феррито-перлитной. Граница сплавления защитного слоя с основным металлом имеет относительную ровность, что способствует прочному соединению с различной степенью интенсивности (рис. 1, 2).

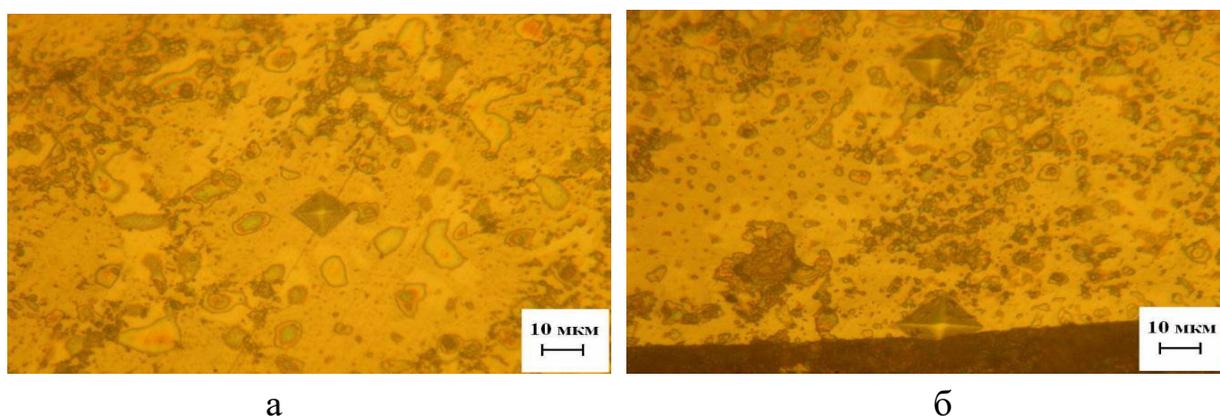


Рис. 1. – Изображение отпечатка на поверхности наплавленного покрытия образцов (а), на границе сплавления (б), полученных с помощью метода сверхзвуковой газопорошковой наплавки, при высоте защитного слоя образцов $h = 1,0-1,2$ мм.

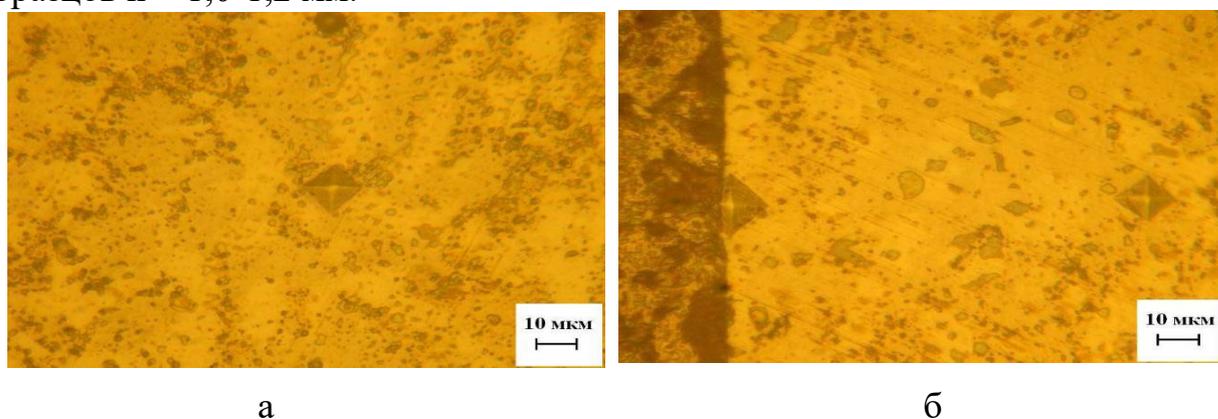


Рис. 2. – Изображение отпечатка на поверхности наплавленного покрытия образцов (а), на границе сплавления (б), полученных с помощью

метода сверхзвуковой газопорошковой наплавки, при высоте защитного слоя образцов $h = 1,5-1,7$ мм.

На основе полученных данных о микротвердости образцов были построены графики, демонстрирующие зависимость микротвердости от толщины защитного слоя.



Рис. 3. – Графики распределения микротвердости в основном металле и защитном слое образцов, полученных методом СГПН (высота защитного покрытия $h = 1,0-1,2$).

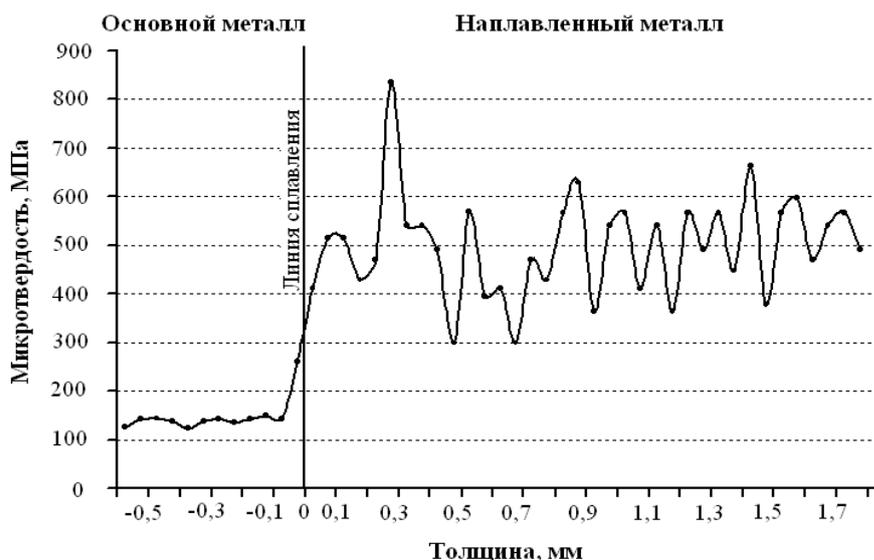


Рис. 4. – Графики распределения микротвердости в основном металле и защитном слое образцов, полученных методом СГПН (высота защитного покрытия $h = 1,5-1,7$).

Согласно графику, микротвердость защитного покрытия в 5 раз, а микротвердость на линии сплавления в 2 раза превышает микротвердость основного металла (при толщине $h = 1,0-1,2$ мм). Распределение микротвердости в покрытии достаточно равномерно, причем максимальная микротвердость наблюдается при толщине 1,2 мм.

При анализе графиков для образцов с высотой покрытия $h = 1,5-1,7$ мм установлено, что микротвердость защитного покрытия в 3 раза, а на линии сплавления в 8 раз превышает показатели основного металла. Также отмечается резкий рост значения микротвердости покрытия, зафиксированный вблизи границы сплавления. Максимальная микротвердость определяется при толщине 0,3 и 1,4 мм. Дальнейшее увеличение толщины покрытия приводит к постепенному снижению микротвердости. При этом в методе СГПН наблюдается более равномерное распределение микротвердости, со значительно меньшей амплитудой колебаний значений.

На основании данных о микротвердости защитного покрытия можно сделать следующие выводы:

- микротвердость защитного покрытия увеличилась в среднем в 5 раз по сравнению с основным металлом благодаря насыщенности аустенитной матрицы на основе никеля карбидными включениями;
 - равномерность распределения карбидных фаз в покрытии позволяет утверждать о его однородности;
 - уровень микротвердости наплавленного покрытия варьируется в диапазоне 500–800 МПа;
 - максимальная микротвердость фиксируется при толщине покрытия 0,1-0,2 мм, где сосредоточены нерастворенные карбиды;
 - при толщине более 0,5 мм наблюдается плавное снижение микротвердости.
-

Таким образом, комплексное исследование защитных покрытий, полученных с использованием СГПН, показывает наличие упрочняющих фаз в виде карбидов Fe_3C , Cr_3C_2 , Cr_7C_3 , равномерно распределенных по всему объему покрытия. Данные исследования свидетельствуют о пятиразовом увеличении микротвердости покрытий, что, в свою очередь, указывает на значительное улучшение их износостойкости. Таким образом, использование таких покрытий для деталей, подверженных износу, является целесообразным. Однако для достижения высококачественных защитных покрытий критически важно строго соблюдать режимы наплавки.

Литература

1. Перевай Т. А. Измерение микротвердости по сечению наплавленного слоя методом газопорошковой наплавки // Инженерный вестник Дона, 2022, №11. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n11y2022/8001
2. Metsler A.A. Formation of structure in powder bronze during electroplastic compression. Metallurgist. 2007. V. 51, № 5-6, pp.284-287.
3. Косова Е.А., Медведев Ю.Ю., Егоров С.Н., Горшков С.А. Модернизированная установка для электропластического уплотнения металлических порошков // Известия высших учебных заведений. СевероКавказский регион. Технические науки. 2004. № 5. С. 71-74.
4. Metsler A.A. Wear resistance of powder bronze formed via electroplastic compression Metallurgist. 2007. V. 51. № 9-10, pp.526-527.
5. Litvinova T.A., Egorov S.N. Dependence of the strength of powder steel formed by electro-contact compaction on iron powder preparation method. Metallurgist. 2018. V. 61. № 11-12. pp.977-981.
6. Радченко М.В., Киселев В.С., Суранов А.Я., Смолин В.С., Уварова С.Г., Шевцов Ю.О. Оптическая эмиссионная спектроскопия сверхзвуковых газовых струй в процессе наплавки защитных покрытий // Ползуновский



вестник № 1-2 / АлтГТУ им. И.И. Ползунова. Барнаул: изд-во АлтГТУ. 2009. С. 279-284.

7. Бойко Н.И., Фисенко К.С. Исследование качества поверхности наплавленного металла цилиндрической детали, обработанной в горячем состоянии// Инженерный вестник Дона, 2012, №2. URL: ivdon.ru/magazine/archive/n2y2012/746.

8. Литвинова Т.А., Постой Л.В., Мецлер А.А., Могилевский Д.В. Определение карбидной составляющей защитных покрытий, выполненных дозвуковой и сверхзвуковой газопорошковой наплавкой // Инженерный вестник Дона, 2015, №2. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n2p2y2015/2873

9. Радченко М.В., Суранов А.Я., Шевцов Ю.О., Киселев В.С., Смолин В.С., Уварова С.Г. Спектральная диагностика сверхзвуковых газовых струй в процессах газопорошковой наплавки защитных покрытий // Ползуновский альманах №3/ АлтГТУ им. И.И. Ползунова. Барнаул: изд-во АлтГТУ. 2008. С. 73-75.

10. Хромов В.Н. От дозвукового к сверхзвуковому газопламенному напылению покрытий при восстановлении и упрочнении деталей машин (обзор) // Сварочное производство, 2001. №2. С.39-48.

References

1. Perevaj T. A. Inzhenernyj vestnik Dona, 2022, №11. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n11y2022/8001

2. Metsler A.A. Metallurgist. 2007. V. 51, № 5-6, pp.284-287.

3. Kosova E.A., Medvedev Ju.Ju., Egorov S.N., Gorshkov S.A. Izvestija vysshih uchebnyh zavedenij. SeveroKavkazskij region. Tehnicheskie nauki. 2004. № 5. pp. 71-74.

4. Metsler A.A. Metallurgist. 2007. V. 51. № 9-10, pp.526-527.

5. Litvinova T.A., Egorov S.N. Metallurgist. 2018. T. 61. № 11-12. pp.977-981.



6. Radchenko M.V., Kiselev V.S., Suranov A.Ja., Smolin V.S., Uvarova S.G., Shevcov Ju.O. Polzunovskij vestnik № 1-2. AltGTU im. I.I.Polzunova. Barnaul: izd-vo AltGTU. 2009. pp.279-284.

7. Bojko N.I., Fisenko K.S. Inzhenernyj vestnik Dona, 2012, №2. URL: ivdon.ru/magazine/archive/n2y2012/746.

8. Litvinova T.A., Postoj L.V., Mecler A.A., Mogilevskij D.V. Inzhenernyj vestnik Dona, 2015, №2. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n2p2y2015/2873

9. Radchenko M.V., Suranov A.Ja., Shevcov Ju.O., Kiselev V.S., Smolin V.S., Uvarova S.G. Polzunovskij al'manah №3. AltGTU im. I.I. Polzunova. Barnaul: izd-vo AltGTU. 2008. pp.73-75.

10. Громов В.Н. Svarochnoe proizvodstvo, 2001. №2. pp.39-48.

Дата поступления: 22.01.2025

Дата публикации: 3.03.2025