

Г.В. Цветкова, Г.В. Иванова, Я. Нагхави, Э. Мохсени, М. Аль-Наджар
Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого,
Санкт-Петербург, Россия, tsvetkova_gv@mail.ru

КРИТЕРИИ ВЫБОРА МАТЕРИАЛОВ ИЗНОСОСТОЙКИХ ПОКРЫТИЙ ДЛЯ ДЕТАЛЕЙ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ МАШИН ПРИ АБРАЗИВНОМ ИЗНОСЕ

Аннотация

В работе рассмотрены критерии выбора материалов наплавки для деталей машин, используемых в сельском хозяйстве. В результате исследования определены макро- и микротвердость материалов, проведены микроструктурные исследования, определены трибологические характеристики. Показано, что с повышением твердости материалов наплавки увеличивается их износостойкость, поэтому микроструктура материала должна включать твердый мартенсит, мягкую вязкую аустенитную составляющую и упрочняющие карбиды. При этом увеличивается срок службы деталей сельскохозяйственных машин и межремонтные промежутки, что повышает эффективность работы.

Ключевые слова: абразивный износ, микротвердость, размер зерна, наплавка, износостойкость.

Введение

Абразивный износ - распространенный механизм деградации инженерных материалов, характеризующийся удалением материала с поверхности в результате механического взаимодействия с абразивными частицами. Эта форма износа существенно влияет на производительность и срок службы компонентов в различных отраслях промышленности, включая горнодобывающую, обрабатывающую и сельскохозяйственную. Понимание механизмов и классификаций абразивного износа необходимо для разработки эффективных стратегий его снижения [1]. Абразивный износ возникает, когда твердые частицы или выступы с силой удаляют материал с поверхности. Степень и характер износа зависят от таких факторов, как твердость и форма абразивных частиц, механические свойства материала, прилагаемая нагрузка и условия окружающей среды. Удаление материала обычно происходит в процессе резания, вспахивания или фрагментации. Эти механизмы регулируются сложными трибологическими взаимодействиями и зависят от условий эксплуатации, таких как смазка и шероховатость поверхности. [2 - 4].

Абразивный износ как правило рассматривается двух основных типов, основанных на взаимодействии между абразивными частицами и контактирующими поверхностями: абразивный износ по двум телам и абразивный износ по трем телам [5]. При двухкомпонентном истирании абразивные частицы закреплены или приклеены к одной поверхности и взаимодействуют непосредственно с противоположной поверхностью, что приводит к удалению материала посредством механизмов резания или испаривания. Этот тип износа часто наблюдается в таких процессах, как шлифование или механическая обработка, где абразивные частицы

прочно прикреплены к инструменту или поверхности. [1, 6]. Трехкомпонентное истирание происходит, когда свободные абразивные частицы свободно перемещаются между двумя взаимодействующими поверхностями. Эти частицы могут катиться или скользить, вызывая удаление материала с одной или обеих поверхностей. Этот механизм часто встречается в средах, где между соприкасающимися поверхностями присутствуют сыпучие отходы или загрязнения, например, в трубопроводах или конвейерных системах. [1, 6]. Абразивный износ является серьезной проблемой для сельскохозяйственной техники, особенно для компонентов, которые непосредственно взаимодействуют с почвой и растительными остатками. К основным деталям, подверженным абразивному износу, относятся почвообрабатывающие орудия, посевное оборудование и уборочная техника. Такие компоненты, как лемехи, долота, подметальные машины и диски, находятся в постоянном контакте с почвой, что приводит к значительному абразивному износу. Твердость, форма и размер частиц почвы существенно влияют на скорость износа этих инструментов. [6].

Износостойкие покрытия играют решающую роль в повышении долговечности материалов, подверженных абразивному износу, обеспечивая защитный барьер, который уменьшает потери материала из-за механического взаимодействия с абразивными частицами. Эти покрытия обладают высокой твердостью и прочностью, что повышает устойчивость поверхности к истиранию и продлевает срок службы деталей. Обычные материалы, используемые для таких покрытий, включают легированные стали, керамику, карбиды и нитриды, которые наносятся различными методами осаждения для достижения желаемых защитных свойств, в частности, с помощью наплавки [7-9]. Наплавочным материалом может быть как материал упрочняемой детали, так и иной с более высокими механическими и физико-химическими характеристиками. Часто наплавленные детали устанавливают на машины без последующей механической обработки (ножи бульдозеров, опорные катки тракторов и др.). В этом случае важным требованием является гладкая поверхность наплавленного слоя. Развитие этого метода упрочнения сводится к поиску более износостойких материалов, чем материал упрочняемой детали. Главные факторы, регламентирующие износостойкость: химический состав наплавленного материала, возможность последующего дополнительного упрочнения, структурная устойчивость наплавленного слоя в условиях температурного воздействия при изнашивании.

Методы и материалы

Объектом исследований являлись образцы 8 материалов, полученных ручной дуговой наплавкой с покрытыми электродами с легирующими покрытиями. При расплавлении легирующие элементы (Cr, Mo, Mn, Nb, V) попадали в наплавленный слой и формировали новый материал. На основу из стали 45 наносились 5 наплавочных слоев разных химических составов. В результате получились материалы с содержанием углерода от 0,8% до 1,7%, содержанием хрома от 6,34% до 10,44%, молибдена от 4,31% до 7,78% и др. [7]

Для проведения металлографических исследований использовался цифровой микроскоп - микровизор отраженного света μ Vizo-MET, разработка ОАО «ЛМО». Автоматический микротвердомер FM-300 применялся для оценки микротвердости и исследования микроструктуры. [8, 9]

Испытания на износостойкость проводили на испытательном стенде (см. рис.1). Трение абразива об образец осуществляется путем качания подвижной втулки 5 из стали 45, с помощью которой был закреплен образец. Втулка соединена с рамой 4, через которую передается момент от электродвигателя. Образец 1 соединен с втулками 2 и ванной для абразива 7 и грузом 3. К втулкам 2 и 5 присоединен микрометр 6 с помощью штанги. Истираясь, образец 1 опускается вместе с грузом 3, втулками 2, 5 и ванной для абразива 7. При этом микрометр показывает величину износа образца 1 и втулки 5. Эксперимент проводился до перемещения каждого образца на 3 мм и останавливался. Относительная износостойкость оценивалась путем сравнительных испытаний с эталоном из стали 45 без наплавки. [8, 9]

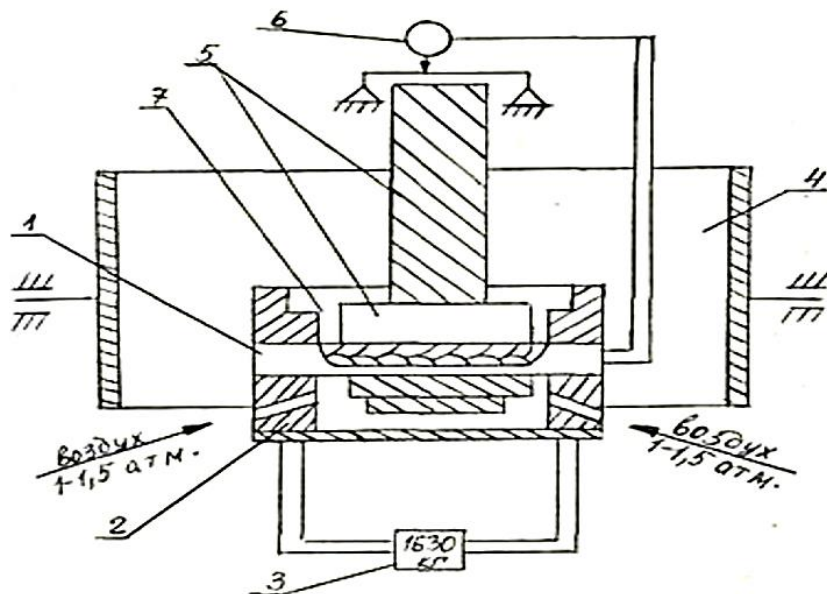


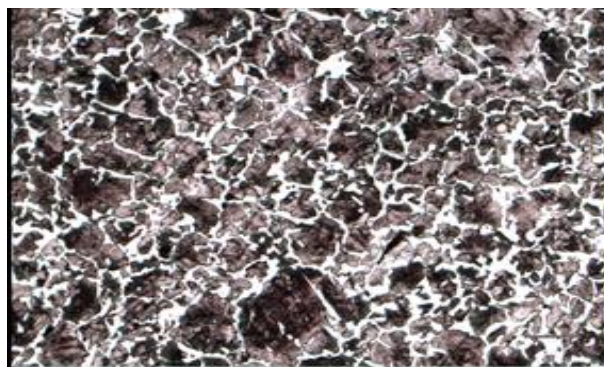
Рисунок 1 – Эскиз испытательного стенда

Результаты и обсуждение

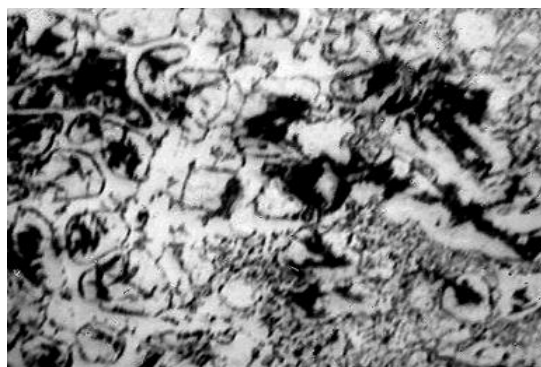
В результате исследований было получено, что максимальной износостойкостью обладает наплавка с содержанием углерода 1,58%, хрома 10,34%, молибдена 7,68%, ниобия 2,42% и с максимальным суммарным содержанием легирующих элементов [8, 9]. В зависимости от содержания углерода и температуры наплавки хром образует карбиды различного состава: Cr_2C_3 , Cr_7C_3 , Cr_{13}C_6 . С увеличением содержания хрома повышаются твердость и износостойкость сплавов, но понижается пластичность. Хром способствует упрочнению основы сплава - аустенита и мартенсита, но, как и углерод, повышает карбидную неоднородность. Добавка ниобия, вольфрама, молибдена и других карбидообразователей способствует большему повышению твердости и появлению способности наплавки ко вторичному твердению; при этом повышается износостойкость. Микроструктура материала наплавки представляла собой мартенсит с дисперсными карбидами и мелкими зёрнами диаметром 10-15 мкм, окантованные мягкой аустенитной прослойкой (Рис.2, таблица 1) [9].

Наблюдалась четкая корреляционная обратная связь между размером зерна и износостойкостью материала (рис. 3). Максимальная износостойкость для наплавки 8 получена при минимальном размере зерна 10 мкм. Что касается структурно-фазовых составляющих в материале, нужно отметить, что твердые и высокопрочные карбиды и бориды хрома, ниобия и ванадия располагались в мягкой оторочке и не

выкрашивались. Это обеспечивало закрепление максимального количества частиц упрочняющих фаз и достижение максимальной относительной износостойкости $\epsilon = 5,89$ и твёрдости HRC 61 наплавленных материалов. Таким образом, подобная микроструктура материала рекомендуется при выборе нужного материала износостойкой наплавки и может быть использована в качестве критерия.



а



б

Рисунок 2 – Микроструктура стали 45(основа) (а)х500 и наплавки 8(б)х1000

Таблица 1 - Свойства исследованных наплавов

№ наплавки	Размер зерна, Дз, мкм	Макротвёрдость, HRC	Микротвёрдость, H ₅₀ , МПа	Относительная износостойкость, ϵ
1	16	27,5	3600	0,63
4	50	50	10640	1,18
7	50	47	12140	1,43
3	30	60	8440	1,88
6	40	33,5	7450	3,30
5	30	55	12500	3,44
2	15	58	7740	3,66
8	10	61	7540	5,89

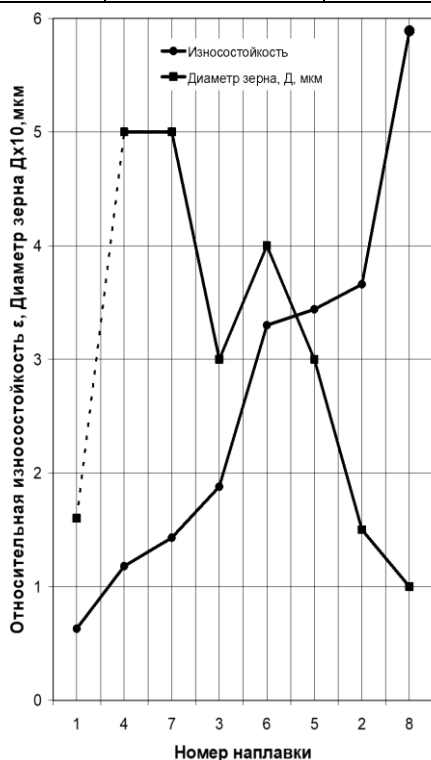


Рис. 3: Изменение износостойкости и размера зерна для исследованных наплавов

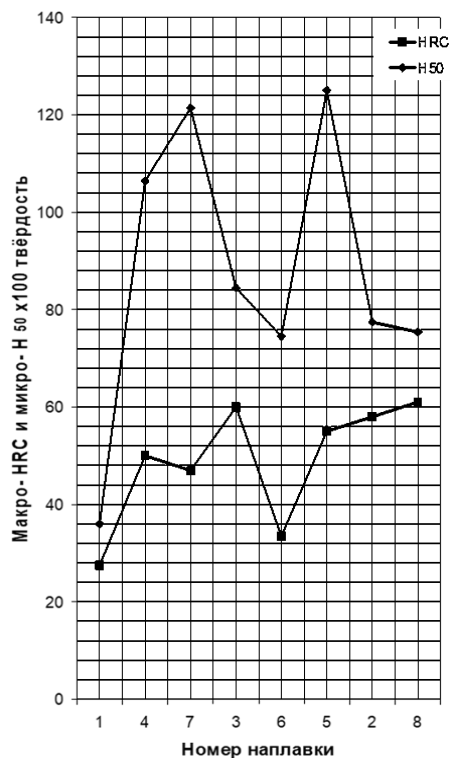


Рис. 4: Изменение макро и микротвёрдости для исследованных наплавов

При исследовании твердости и микротвердости установлено, что с повышением твердости и микротвердости наплавов (за счет повышенной твердости мартенсита и карбидов) увеличивается их износостойкость (рис. 4), что согласуется с общепринятой теорией о связи твердости и износостойкости материала, и это также может быть взято за критерий выбора износостойкого материала [9].

Заключение

Таким образом, при исследовании износостойкости материалов наплавов были выработаны некоторые критерии для выбора материалов деталей сельскохозяйственных машин. Для обеспечения повышенной сопротивляемости износу рекомендуется применять материалы, содержащие в своей структуре твердый мартенсит, мягкую аустенитную фазу и упрочняющие карбиды в равных долях (около 30%), причем размер зерна должен быть около 10 мкм. Для достижения высокой износостойкости наплавленного материала следует вводить следующие легирующие элементы: хром, молибден, марганец, ниобий.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Гаркунов Д.Н., Кравченко И.В. Трение, износ и смазка в сельскохозяйственных машинах. – М.: Колос, 2005. – 320 с.
2. Kato, K. (2002). Classification of wear mechanisms/models. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part J: Journal of Engineering Tribology*, 216(6), 349–355. <https://doi.org/10.1243/135065002762355280>
3. Gates, J. D. (1998). Two-body and three-body abrasion: A critical discussion. *Wear*, 214(1), 139–146. [https://doi.org/10.1016/S0043-1648\(97\)00188-9](https://doi.org/10.1016/S0043-1648(97)00188-9)
4. Pintaude, G., Sinatora, A., & Albertin, E. (2005). A review on abrasive wear mechanisms of metallic materials. *Abrasive Wear Resistant Alloyed White Cast Iron for Rolling and Pulverizing Mills*, 1. <https://www.researchgate.net/publication/259399277>
5. Research Progress on the Wear Resistance of Key Components in Agricultural Machinery. *Materials*, 16(24), 7646. <https://doi.org/10.3390/ma16247646>
6. Zhang, Y., Gao, Y., & Li, Z. (2023). Research Progress on the Wear Resistance of Key Components in Agricultural Machinery. *Materials*, 16(24), 7646. <https://doi.org/10.3390/ma16247646>
7. Скотникова М.А., Попов А.А., Иванова Г.В., Цветкова Г.В. Исследование свойств поверхности сплавов с помощью инструментального индентирования. *Известия высших учебных заведений. Приборостроение*. 2020. Т. 63. № 5. С. 460-466.
8. Скотникова, М.А. Особенности строения наплавочных материалов, предназначенных для рабочих лопаток смесителей. / М.А. Скотникова и др. // *Металлообработка*. – СПб.-2011.- № 1(61).-С. 37-42.
- Цветкова, Г.В. Структурное и фазовое состояния наплавочных материалов, предназначенных для рабочих лопаток смесителей. / Цветкова, Г.В., Скотникова М.А., Белов Ю.М. и др. // *Научно-технические ведомости СПбГПУ. Наука и образование* 4' 2010, Санкт-Петербург, С. 52-63.

G.V. Tsvetkova, G.V. Ivanova, Y. Naghawi, E. Mohseni, M. Al-Najjar
Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University,
Saint Petersburg, Russia, Tsvetkova_gv@mail.ru

CRITERIA FOR SELECTING WEAR-RESISTANT COATING MATERIALS FOR AGRICULTURAL MACHINERY PARTS UNDER ABRASIVE WEAR

Abstract

The paper considers the criteria for selecting surfacing materials for machine parts used in agriculture. As a result of the study, the macro- and microhardness of the materials were determined, microstructural studies were conducted, and tribological characteristics were determined. It is shown that with an increase in the hardness of surfacing materials, their wear resistance increases, so the microstructure of the material should include hard martensite, a soft viscous austenite component and strengthening carbides. At the same time, the service life of agricultural machinery parts and the intervals between repairs increase, which improves the efficiency of work.

Keywords: abrasive wear, microhardness, grain size, surfacing, wear resistance.