

УДК 669.056

05.20.01 – Технологии и средства механизации сельского хозяйства (технические науки)

ПЕРСПЕКТИВЫ ПРИМЕНЕНИЯ ЛАЗЕРНОЙ НАПЛАВКИ ПРИ ВОССТАНОВЛЕНИИ ДЕТАЛЕЙ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОЙ ТЕХНИКИ

Хызов Антон Александрович
аспирант
mgm7@fromru.com

Иванов Андрей Сергеевич
канд. техн. наук, доцент
РИНЦ SPIN-код: 4157-0276
ivanovas@gausz.ru

Колмакова Татьяна Григорьевна
старший преподаватель
РИНЦ SPIN-код: 8164-3722
tatyanagrigk@mail.ru
ФГБОУ ВО «Государственный аграрный университет Северного Зауралья», г. Тюмень, Российская Федерация

Основной составляющей сельскохозяйственного производства является техника, представляющая собой сложные технические системы (комбайны, сельскохозяйственные машины, тракторы, автомобили и т.д.). Практика эксплуатации технически сложно оснащённых машин показывает, что, в основном, преобладает процесс замены изношенных деталей и рабочих органов сельхозтехники на новые, а количество восстанавливаемых изделий мало. Однако, опыт показывает, что технологический процесс восстановления деталей машин позволяет получить высокое качество поверхностей таких деталей и снизить стоимость ремонта. Одним из эффективных методов восстановления поверхностных слоев деталей является газопламенное напыление с последующим лазерным оплавлением. В статье представлены результаты исследования зоны термического влияния (ЗТВ) в сталях У8А и Ст3, а также влияния режимов лазерного оплавления на её микротвердость в этих сталях. Установлено, чем выше мощность лазера и ниже скорость перемещения оптической головки, тем больше размер ЗТВ. И наоборот, чем меньше мощность лазера и выше скорость перемещения головки, тем меньший размер имеет ЗТВ. Мощность лазера и скорость перемещения оптической головки незначительно влияют на значение микротвердости. Отмечено, что перспективными направлениями в области восстановления деталей сельхозмашин лазерной наплавкой являются: научное обоснование выбора порошков; исследование закономерностей изменения микроструктуры деталей, закономерностей формирования слоев; разработка режимов и

UDC 669.056

05.20.01 - Technologies and means of mechanization of agriculture (technical sciences)

PROSPECTS OF APPLICATION OF LASER SURFACING AT RESTORATION OF DETAILS OF AGRICULTURAL MACHINERY

Khizov Anton Alexandrovich
postgraduate
mgm7@fromru.com

Ivanov Andrey Sergeevich
Cand. Tech. Sci., associate professor
RSCI SPIN-code: 4157-0276
ivanovas@gausz.ru

Kolmakova Tatyana Grigoryevna
senior lecturer
RSCI SPIN-code: 8164-3722
tatyanagrigk@mail.ru
Federal State Budget Educational Institution of Higher Education " Northern Trans-Ural State Agricultural University", Tyumen, Russia

The main component of agricultural production is machinery, which is a complex technical system (harvesters, agricultural machines, tractors, cars, etc.). The practice of operation of technically complex machines shows that, in general, the process of replacing worn parts and working devices of agricultural machinery with new ones prevails, and the number of restored products is small. However, experience shows that the technological process of restoration of machine parts allows you to get high quality surfaces of such parts and reduce the cost of repair. One of effective methods of restoration of surface layers of details is gas-flame spraying with the subsequent laser reflow. The article presents the results of the study of the zone of thermal influence in steels U8A and St3, as well as the influence of laser reflow regimes on its microhardness in these steels. It is established that the higher the laser power and the lower the speed of movement of the optical head, the larger the size of the thermal influence zone. Conversely, the lower the power of the laser and the higher the speed of movement of the head, the smaller the size of the zone of thermal influence. The power of the laser and the speed of movement of the optical head slightly affect the value of microhardness. It was also noted that promising areas in the field of restoration of parts of agricultural machines laser welding are: a scientific rationale for the selection of powders; the study of regularities of changes of the microstructure parts, regularities of formation of layers; development of modes and justification of regimes of welding; and, ultimately, the development process of restoring the specific parts

обоснование режимов наплавки; и в конечном счете, разработка технологического процесса восстановления конкретной детали

Ключевые слова: ЛАЗЕР, ВОССТАНОВЛЕНИЕ, ЗОНА ТЕРМИЧЕСКОГО ВЛИЯНИЯ, СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННАЯ ТЕХНИКА

Keywords: LASER, RESTORATION, THERMAL ZONE, AGRICULTURAL MACHINERY

DOI: <http://dx.doi.org/10.21515/1990-4665-154-006>

Современное сельскохозяйственное производство является главным направлением в обеспечении продовольственной безопасности государства. Основной составляющей такого производства является техника, представляющая собой сложные технические системы (комбайны, сельскохозяйственные машины, тракторы, автомобили и т.д.). Ежегодное использование техники на полях России для производства сельхозпродукции достигает 110 миллионов единиц. Практика эксплуатации технически сложно оснащённых машин показывает, что, в основном, преобладает процесс замены изношенных деталей и рабочих органов сельхозтехники на новые, а количество восстанавливаемых изделий мало. Однако, опыт показывает, что технологический процесс восстановления деталей машин позволяет получить высокое качество поверхностей таких деталей и снизить стоимость ремонта [1].

Применение методов восстановления и повышения надежности деталей позволяет получать на их поверхности требуемые функциональные покрытия. Одним из эффективных методов восстановления деталей является газопламенное напыление с последующим лазерным оплавлением.

В настоящее время уже изучены возможности использования технологий лазерного модифицирования и наплавки с целью упрочнения рабочих кромок и поверхностей ряда сменных деталей рабочих органов сельхозмашин. Это, прежде всего, измельчающие ножи различных кормоуборочных комбайнов, подрезающие ножи свеклоуборочных машин, косилочные ножи и др. [2].

Ведущие фирмы-производители сельскохозяйственных машин выпускают как сменные детали рабочих органов (долото, лемех, отвал, полевая доска, ножи косилок, диски борон, зубья борон, сегментных ножей кукурузных жаток, копачей, зубья культиваторов с активными рабочими органами, лапы глубокорыхлителей и др.) нового поколения, так и металлоконструкции рам машин.

Отечественные производители до сих пор в качестве материала основы для вышеуказанных изделий применяют стали марок 35; 45; 40Х; Л53; 65Г; 55С2; 60С2; Ст3...Ст5; У7А...У9А и другие, которые вследствие низкого уровня твёрдости и прочности не удовлетворяют требованиям изделий нового поколения. Вследствие этого, такие изделия не могут полноценно конкурировать с изделиями ведущих зарубежных фирм [2].

Лазерная технология упрочнения была апробирована для различного рода сменных деталей рабочих органов с/х машин. По результатам исследований предложены марки сталей (60ПП, 30ХГСА, 9ХФ...) и покрытий для изготовления деталей ножей типа: измельчителей кормоуборочных машин, РСК, ИРК, косилок, кукурузных жаток, дообрезки ботвы, дисков сеялок и борон, работающих при отличающихся условиях с целью достижения необходимого уровня эксплуатационных характеристик. На основе проведенных мероприятий разработаны технологические процессы лазерного поверхностного упрочнения указанных деталей. Оптимизация данных процессов проводилась по следующим направлениям: подготовка поверхности деталей, скоростные режимы лазерной обработки, режимы охлаждения деталей в процессе лазерной обработки, влияние режимов термического отпуска деталей.

Обоснованы оптимальные режимы нанесения различных поверхностных покрытий (40Х13, 0Х17, Stellite 6, Р6М5, CuSn11, ПГ-СР3), что позволяет получать слои с минимальной зоной перемешивания основного

материала с присадочным, а это, в свою очередь, дает возможность нанесения покрытий с высокими эксплуатационными свойствами [3].

Изменения состава порошков и дополнительная термическая обработка позволяют повысить износостойкость, прочность и теплостойкость наплаваемых лазером покрытий [4, 5]

Лазерная наплавка поверхностных слоев на чугунные детали с последующей их закалкой позволяет повысить твердость в зоне лазерного воздействия в 3-4 раза [6].

Из вышеизложенного можно сделать вывод, что дальнейшие исследования по подбору порошковых материалов и обоснованию режимов работы при восстановлении деталей методом лазерной наплавки являются актуальными.

Цель исследования – изучение зоны термического влияния (ЗТВ) в сталях У8А и Ст3, а также влияния режимов лазерного оплавления на её микротвердость в этих сталях.

Материал и методы исследования

В качестве материалов для исследования были выбраны две марки стали: углеродистая сталь Ст3 и инструментальная сталь У8А. Из данных сталей были изготовлены металлографические шлифы в диаметральном сечении образцов, в количестве 8 штук; 4 образца из стали Ст3 и 4 образца – сталь У8А (рис. 1).



Рисунок 1 – Заготовки металлографических шлифов

Химический состав исследуемых образцов анализировали спектрометром ДФС-71. Измерение микротвердости проводили согласно ГОСТ 9450-76 [7], на поверхности микрошлифа прибором ПМТ-3 путем вдавливания правильной четырехгранной пирамиды с углом при вершине 136°C . Нагрузка при испытаниях составляла 100 грамм.

На образцы наносили покрытие одним из методов газотермического напыления, а именно методом газопламенного порошкового напыления. В качестве наплавочного материала использовали порошок Плакарт-03.98.-Р. После процесса напыления был осуществлен процесс лазерного оплавления нанесенного покрытия (рис. 2). Толщину покрытия определяли неразрушающим методом по ГОСТ 9.302-88 [8].

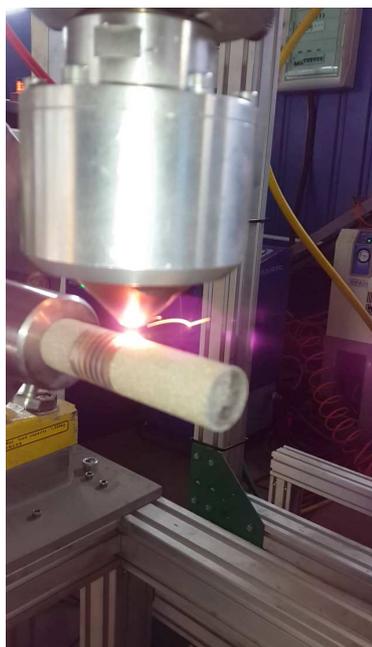


Рисунок 2 – Процесс лазерного оплавления нанесенного покрытия

Основными параметрами при лазерном оплавлении являются: мощность лазера и скорость относительного перемещения лазерной головки.

Зоны термического влияния в исследуемых образцах определяли микротвердомером ПМТ-3. Металлографические исследования проводились на микроскопе Neophot-30.

Испытания по лазерному оплавлению проводили согласно таблице 1.

Таблица 1 – Режимы лазерного оплавления нанесенного покрытия

| № испы- тания | Значение параметра | | |
|------------------|------------------------|------------------------------------------------|-------------|
| | Мощность лазера, Вт | Скорость перемещения лазерной головки, мм/с | Марка стали |
| 1 | 1800 | 10 | Ст3 |
| 2 | 1200 | 10 | Ст3 |
| 3 | 1800 | 5 | Ст3 |
| 4 | 1200 | 5 | Ст3 |
| 5 | 1800 | 10 | У8А |
| 6 | 1200 | 10 | У8А |
| 7 | 1800 | 5 | У8А |
| 8 | 1200 | 5 | У8А |

Результаты исследования

Результаты исследования зоны термического влияния в изучаемым образцах приведены в таблице 2.

Таблица 2 – Зависимость размеров ЗТВ от режимов лазерного оплавления и марки стали

| Номер об- разца | Марка стали | Мощность ла- зера, Вт | Скорость переме- щения лазерной головки, мм/с | Размер ЗТВ до тер- мической обработки, мкм |
|--------------------|-------------|--------------------------|-----------------------------------------------------|--------------------------------------------------|
| 1 | Ст3 | 1800 | 10 | 1020 |
| 2 | Ст3 | 1200 | 10 | 970 |
| 3 | Ст3 | 1800 | 5 | 2250 |
| 4 | Ст3 | 1200 | 5 | 1580 |
| 5 | У8А | 1800 | 10 | 1430 |
| 6 | У8А | 1200 | 10 | 1270 |
| 7 | У8А | 1800 | 5 | 2480 |
| 8 | У8А | 1200 | 5 | 1380 |

Из таблицы 2 видно, чем выше мощность лазера и ниже скорость перемещения оптической головки, тем больше размер ЗТВ. И наоборот, чем меньше мощность лазера и выше скорость перемещения головки, тем меньший размер имеет ЗТВ.

Результатом металлографических исследований стали микрофотографии образцов с описанием микроструктуры при различных увеличениях. В стали Ст3, в результате лазерного оплавления, произошел нагрев поверхностного слоя выше температуры критической точки A_{c1} , что привело к аустенитному превращению, но в результате быстрого охлаждения за счет отвода тепла образовалась ЗТВ со структурой феррит + мартенсит. Структура ЗТВ представлена на рисунке 3.



Рисунок 3 – Зона термического влияния стали Ст3 (увеличено в 500 раз)

В стали У8А так же, как и в стали Ст3, произошел нагрев поверхностного слоя выше критической точки, и быстрое охлаждение вглубь основного металла, что привело к образованию в ЗТВ структуры игольчатого мартенсита. ЗТВ для стали У8А представлена на рисунке 4.

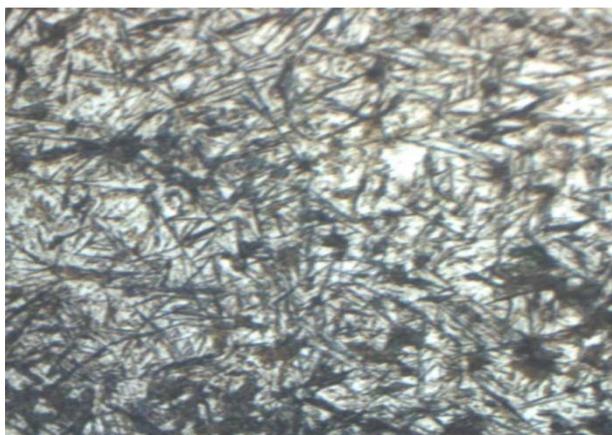


Рисунок 4 – Зона термического влияния стали У8А (увеличено в 500 раз)

По результатам исследования следует сказать, что чем выше мощность лазера и ниже скорость перемещения оптической головки, тем больше размер зоны термического влияния.

Графическая зависимость изменения микротвердости от режимов лазерного оплавления нанесенного покрытия исследуемых образцов представлена на рисунке 5.

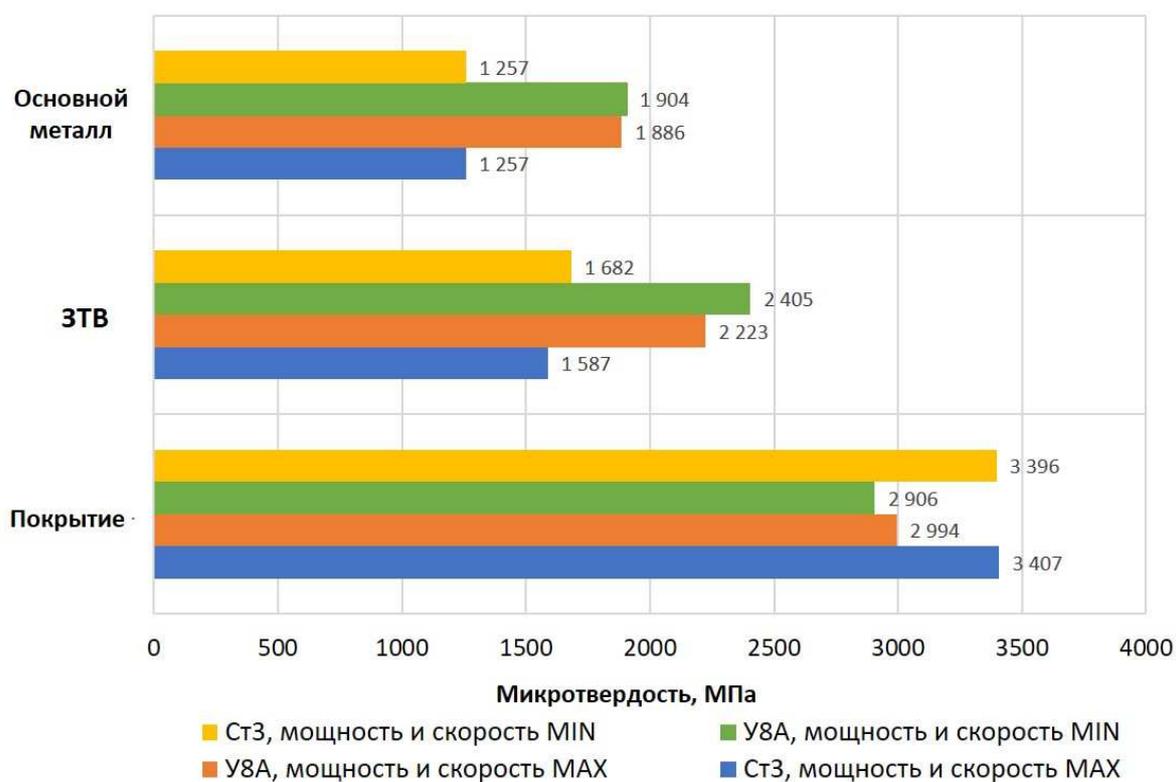


Рисунок 5 – Зависимость микротвердости от режимов лазерного оплавления

Установлено, что мощность лазера и скорость перемещения оптической головки незначительно влияют на значение микротвердости. Однако следует отметить, что ЗТВ обладает повышенной твердостью, это снижает пластичность металла.

Заключение

Если условия эксплуатации требуют повышенной твердости металла подложки, то необходимо сначала провести нормализацию, и только после этого закалку.

Перспективными направлениями в области восстановления деталей сельхозмашин лазерной наплавкой являются: научное обоснование выбора порошков; исследование закономерностей изменения микроструктуры деталей, закономерностей формирования слоев; разработка режимов и обоснование режимов наплавки; и в конечном счете, разработка технологического процесса восстановления конкретной детали.

Список литературы

1. Лазерные технологии обработки материалов: современные проблемы фундаментальных исследований и прикладных разработок: [монография] / [Панченко В. Я. и др.]; под ред. В. Я. Панченко. – Москва: Физматлит, 2009. – 663 с.
2. Использование лазерных технологий упрочнения в сельскохозяйственном машиностроении / В.С. Голубев, А.И. Михлюк, И.А. Романчук, Л.И. Процкевич // В сборнике: Современные методы и технологии создания и обработки материалов Сборник научных трудов. В 3-х книгах. Главный редактор А.В. Белый. Минск, 2018. С. 58-65.
3. Третьяков Р.С. Технологические особенности процесса лазерной модификации поверхностей с коаксиальной подачей порошковых материалов: автореферат дис. ... канд. техн. наук. – Москва, 2014. – 17 с.
4. Соболева Н.Н. Повышение износостойкости NiCrBSi покрытий, формируемых газопорошковой лазерной наплавкой: автореферат дис. ... канд. техн. наук. – Екатеринбург, 2016. – 24 с.
5. Иванов А.С., Колмакова Т.Г. Исследование покрытий на стальных изделиях, нанесённых с помощью газопорошковой лазерной наплавки // Известия Оренбургского государственного аграрного университета. 2018. № 5 (73). С. 172-176.
6. Иванов А.С., Колмакова Т.Г. Исследование лазерной наплавки чугуна подачей порошка ПГ-ФБХ-6-2 в зону оплавления // Известия Оренбургского государственного аграрного университета. 2019. № 3 (77). С. 182-185.
7. ГОСТ 9450-76. Измерение микротвердости вдавливанием алмазных наконечников.

8. ГОСТ 9.302-88. Единая система защиты от коррозии и старения (ЕСЗКС). Покрытия металлические и неметаллические неорганические. Методы контроля.

References

1. Lazernye tehnologii obrabotki materialov: sovremennye problemy fundamental'nyh issledovanij i prikladnyh razrabotok: [monografija] / [Panchenko V. Ja. i dr.]; pod red. V. Ja. Panchenko. – Moskva: Fizmatlit, 2009. – 663 s.

2. Ispol'zovanie lazernyh tehnologij uprochnenija v sel'skohozjajstvennom mashinostroenii / V.S. Golubev, A.I. Mihljuk, I.A. Romanchuk, L.I. Prockevich // V sbornike: Sovremennye metody i tehnologii sozdaniya i obrabotki materialov Sbornik nauchnyh trudov. V 3-h knigah. Glavnyj redaktor A.V. Belyj. Minsk, 2018. S. 58-65.

3. Tret'jakov R.S. Tehnologicheskie osobennosti processa lazernoj modifikacii poverhnostej s koaksial'noj podachej poroshkovyh materialov: avtoreferat dis. ... kand. tehn. nauk. – Moskva, 2014. – 17 s.

4. Soboleva N.N. Povyshenie iznosostojkosti NiCrBSi pokrytij, formiruemyh gazoporoshkovej lazernoj naplavkoj: avtoreferat dis. ... kand. tehn. nauk. – Ekaterinburg, 2016. – 24 s.

5. Ivanov A.S., Kolmakova T.G. Issledovanie pokrytij na stal'nyh izdelijah, nanesjonnyh s pomoshh'ju gazoporoshkovej lazernoj naplavki // Izvestija Orenburgskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta. 2018. № 5 (73). S. 172-176.

6. Ivanov A.S., Kolmakova T.G. Issledovanie lazernoj naplavki chuguna podachej poroshka PG-FBH-6-2 v zonu oplavlenija // Izvestija Orenburgskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta. 2019. № 3 (77). S. 182-185.

7. GOST 9450-76. Izmerenie mikrotverdosti vdavlivaniemalmaznyh nakonechnikov.

8. ГОСТ 9.302-88. Единая система защиты от коррозии и старения (ЕСЗКС). Покрытия металлические и неметаллические неорганические. Методы контроля.