

**Андрушевич А.А.**, кандидат технических наук, доцент;

**Канашкин М.В.**, магистрант

*Учреждение образования «Белорусский государственный аграрный  
технический университет», г. Минск, Республика Беларусь*

## **ИННОВАЦИОННАЯ ТЕХНОЛОГИЯ ИМПУЛЬСНОЙ ЛАЗЕРНОЙ НАПЛАВКИ ПРЕСС-ФОРМ ДЕТАЛЕЙ АВТОТРАКТОРНОЙ ТЕХНИКИ**

**Аннотация.** Приведены сведения о технологии и оборудовании для лазерной наплавки при восстановлении и упрочнении стальных изделий. Рассмотрен технологический процесс импульсной лазерной наплавки деталей пресс-форм проточных подогревателей дизельного топлива автотракторной техники, работающих в интенсивных условиях износа рабочих поверхностей.

**Abstract** The article provides information on the technology and equipment for laser surfacing during restoration and strengthening of steel products. The technological process of pulsed laser surfacing for restoration of mold parts of flow-through heaters of diesel fuel of automotive and tractor equipment operating under intensive conditions of wear of working surfaces is considered.

**Ключевые слова:** наплавка, лазер, импульс, износостойкость, твердость, восстановление, наплавленный слой.

**Keywords:** surfacing, laser, pulse, wear resistance, hardness, restoration, deposited layer.

**Введение.** Современное сельхозмашиностроение, автотракторное производство и другие отрасли промышленности страны характеризуются ростом эксплуатационных характеристик применяемых инструментов, машин и оборудования в результате интенсификации процессов изнашивания, коррозии, усталости и разрушения рабочих поверхностей деталей. В связи с этим особую роль приобретают инновационные эффективные технологии восстановления, упрочнения и увеличения срока службы деталей, определяющих требуемые параметры эксплуатации [1,2].

Одним из таких прогрессивных технологических процессов является лазерное упрочнение и наплавка быстроизнашиваемых частей деталей. Лазерная наплавка (ЛН) отличается рядом преимуществ. В работе изучено восстановление деталей пресс-форм проточных подогревателей дизельного топлива автотракторной техники методом импульсной лазерной наплавки.

Пресс-формы применяют при литье металлов и полимерных материалов под давлением, литье по выплавляемым моделям, прессовании полимерных материалов, которые при эксплуатации подвергаются сильным механическим и термическим воздействиям [3]. В результате этого на рабочих поверхностях возникают дефекты, способствующие

снижению качества изготавливаемых изделий и уменьшающие срок службы пресс-формы. Исправление дефектов пресс-форм целесообразно производить, когда затраты на эту работу меньше стоимости изготовления нового инструмента.

Для ремонта пресс-форм обычно применяют ручную аргонно-дуговую сварку (РАДС) с использованием наплавляемых металлических материалов. Метод широко распространен, однако имеет серьезные недостатки, в сравнении с лазерной импульсной наплавкой главные из которых – локальный перегрев, снижение твердости поверхности в зоне ремонта, возникновение трещин в зоне термического влияния и возможные деформации зон поверхности, в результате размеры могут выйти за поле допуска, поры, сложность подбора наплавляемой проволоки. Кроме этого, некоторые дефекты в виду сложности процесса могут быть недоступны РАДС в силу сложной геометрии пресс-формы. Также к недостаткам метода можно отнести высокую трудоемкость и нестабильность результатов, что увеличивает затраты при ремонте.

**Основная часть.** Технологический процесс лазерной наплавки (ЛН) представляет собой одновременный подвод к месту дефекта лазерного излучения и присадочной проволоки в среде инертных газов. Присадочный материал, расплавляясь, заполняет место дефекта. После лазерной наплавки требуется минимальная, по сравнению с традиционными методами, механическая обработка.

Использование импульсного лазерного излучения, позволяет получать минимальные зоны термического влияния, которые не превышают нескольких десятков микрон. Минимальные объемы расплава и минимальные тепловложения в наплавляемый инструмент позволяют сократить продольные и поперечные деформации и тем самым сохранить его прецизионные размеры в поле допуска нескольких микрон. Точность наведения и локальность действия луча лазера обеспечивает строго определенные геометрические участки детали с минимальным припуском на механическую обработку, который составляет 0,2...0,5 мм. Зоны термического влияния очень малы, подложка остается практически холодной. В этих условиях имеет место процесс автозакалки, который приводит к формированию чрезвычайно мелкодисперсной структуры, обладающей повышенной износостойкостью.

Лазерная наплавка позволяет производить ремонт и восстановление пресс форм, устраняя такие дефекты, как сколы, трещины, царапины, поры, забоины и др. При данной технологии можно добиться повышение надежности и долговечности сложных формообразующих деталей матриц пресс-форм.

На рисунке 1 показана функциональная схема процесса лазерной наплавки.

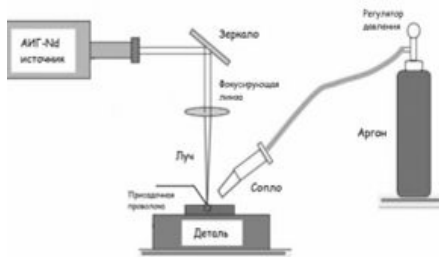


Рисунок 1 – Функциональная схема процесса лазерной наплавки

Для лазерной технологии характерны: высокая гибкость процесса, возможность обработки конструкций из труднообрабатываемых материалов, уменьшение затрат на подготовку производства, устранение ряда вспомогательных операций и технологической оснастки. В этих случаях необходимы соответствующие требования к лазерной установке, которая должна быть изготовлена на базе агрегатно – модульной конструкции и специальных компонентов [4]. Примером такого оборудования на предприятии ОДО «Номакон» является лазерная установка ECOLASER ECO3300 фирмы COHERENT OR Laser (Германия).

Для отработки упрочняюще-восстановительной технологии ЛН был изготовлены элементы пресс-формы из легированной стали марки 40X13, которая применяется для получения формирующих деталей пресс-форм.

В элементе пресс-формы фрезерованием были выполнены два паза V-образной формы, имитирующие дефект износа, с его последующей вакуумной закалкой 45-48 HRC и шлифовкой с шероховатостью  $Ra\ 6.3$  ГОСТ 2789-73. Изготовленные фрезерованием пазы имели глубину 4 мм (рисунок 2).

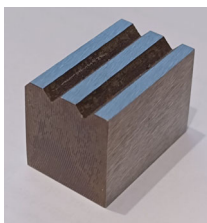


Рисунок 2 – Элемент пресс-формы с пазами

Для ЛН использованы две разновидности проволок для устранения различных видов дефектов и подобраны режимы лазерного излучения. Предварительно произведена очистка и подготовка поверхности

элементов под наплавку. Проводился подбор проволоки различного химического состава для каждого паза. Данный этап в получении требуемого химического состава наплавленного слоя металла является важным, так как позволяет обеспечить требуемые свойства восстанавливаемой поверхности.

Производитель проволоки Quada (Германия). Химический состав проволок приведён в табл.1. Диаметр наплавляемых металлических проволок составлял 0,3 мм.

Таблица 1 – Химический состав наплавляемых проволок

| № проволоки | C    | Si  | Mn  | Cr  | Mo  | Ti  | Fe     |
|-------------|------|-----|-----|-----|-----|-----|--------|
| №1 QuFe13   | 0,25 | 0,5 | 0,7 | 5,0 | 4,0 | 0,6 | основа |
| №2 QuFe20   | 0,35 | 0,3 | 1,2 | 7,0 | 2,2 | 0,3 | основа |

№1 проволока QuFe13 используется для высоконагруженных инструментов горячей обработки, которые одновременно подвергаются высоким механическим, термическим и абразивным нагрузкам. Сплав гарантирует хорошую стойкость к коррозионно-активному пластику. Полученная твердость 42–46 HRC. Она зависит от слоев и твердости основного материала.

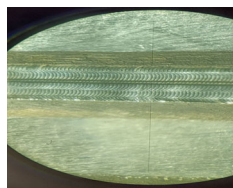
№2 проволока QuFe20 особенно подходит для ремонта пресс-форм, вырубных и режущих инструментов. Твердый и прочный наплавленный слой устойчив к высокой нагрузке на кромку. Также подходит для многослойной наплавки. Твердость 54–60 HRC.

Основными параметрами процесса при подборе ЛН являются: мощность и длительность импульсов, диаметр сфокусированного излучения, частота импульсов, положение фокального пятна относительно поверхности наплавляемой детали. Для материала пресс-формы стали 40X13 при получении корпуса подогревателя топлива выбраны: мощность импульса 0,37% от номинального, длительность импульса 7,0 м/с, частота импульса 13,0 Гц.

На завершающем этапе проведена импульсная лазерная наплавка элементов. Дополнительная механическая обработка наплавленных швов не потребовалась. На рисунке 3 показан наплавленный слой образцов (а)- без увеличения и (б) при увеличении X10.



а) без увеличения

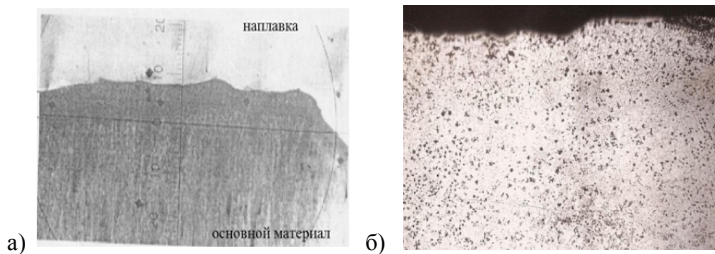


б) X10

Рисунок 3 – Наплавленный слой на образцах  
а) без увеличения; б) при увеличении X10

После лазерной наплавки было проведено исследование качества наплавленного материала. При внешнем осмотре наплавленных соединений на образцах элементов на макроуровне трещин, несплавлений и других дефектов не обнаружено.

Для более детального изучения микроструктуры наплавленного соединения проведено травление поверхности шлифа (в течение 4...5 мин в холодном реактиве, состоящем из 100 см<sup>3</sup> HCl, 5 см<sup>3</sup> H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>, 20 г CuSO<sub>4</sub> 5H<sub>2</sub>O, 80 см<sup>3</sup> H<sub>2</sub>O). Была выявлена граница соединения основного материала пресс-формы с наплавленным слоем металла (рисунок 4).



а) наплавка проволокой №1 б) наплавка проволокой №2

Рисунок 4 – Микроструктура зоны «наплавка-основной материал» образца

Проведены металлографические исследования в зоне наплавки и основного материала элемента пресс-формы.

Анализ микроструктуры образцов показал, что материал наплавки не содержит включений и несплавлений между слоями, что показало качественную структуру в области зон сплавления.

Произведён замер твёрдости образцов, что позволяет оценить и сравнить свойства материала пресс-формы и материала наплавки. Для измерения твёрдости элементов пресс-формы использован твердомер ТК2 с нагрузкой 100 кг. Замер проводился в поперечных сечениях зоны наплавленного материала и в основном материале. Значения твердости приведены в таблице 2.

Таблица 2 – Твердость наплавленных участков образцов

| № Образца и марка проволоки | Твердость HRC     |                              |
|-----------------------------|-------------------|------------------------------|
|                             | Основной материал | Зона наплавленного материала |
| Образец №1 QuFe13           | 42...48           | 52...56                      |
| Образец №2 QuFe20           | 42...48           | 58...62                      |

Анализ полученных значений показал, что твёрдость наплавленного слоя выше твёрдости основного металла с достаточно равномерным распределением твёрдости по сечению. Для наплавки матрицы пресс-

формы выбрана проволока образца №1, т.к. она отвечает требованиям необходимой твердости изделия (52...56HRC).

Разработанная технология импульсной лазерной наплавки по восстановлению деталей пресс-форм была применена для получения наплавленного слоя, максимально приближенного по физико-механическим свойствам к основному материалу. На рисунке 5 показана деталь матрицы пресс-формы, используемой для изготовления корпуса подогревателя дизельного топлива, после устранения дефекта на поверхности литникового канала.



Рисунок 5 – Деталь матрицы пресс-формы, восстановленная лазерной наплавкой

**Выводы.** 1. Анализ современного развития технологий восстановления деталей машин показал высокую эксплуатационную эффективность и перспективность лазерной наплавки для ремонта деталей пресс-форм на предприятии ОДО «НОМАКОН».

2. Изучение и отработка параметров технологического процесса лазерной наплавки с оптимизацией режимов восстановления быстроизнашиваемых частей пресс-форм для получения корпуса проточных подогревателей позволили:

- увеличить эксплуатационный срок службы пресс-форм на 40-50%, (повысить количество циклов наработки до капитального ремонта с 400000 до 800000, снизить стоимость продукции и сделать ее конкурентоспособной);
- улучшить качество поверхности наплавляемых слоев;
- уменьшить время нахождения в ремонте на 20% за счет исключения ряда технологических операций.

#### Список использованной литературы

1. Восстановление деталей машин / Ф. И. Пантелеенко [и др.], под ред. В. П. Иванова. – М.: Машиностроение, 2003 – 672 с.
2. Пантелеенко, Ф. И. Прогрессивные технологии и лазерной наплавки и газотермического напыления / Ф. И. Пантелеенко, Жэн Пенчен // Литье и металлургия. – 2024,– №3. – С. 61–65
3. Технология импульсной лазерной наплавки при ремонте пресс-форм© 2015 В. Г. Смелов, А. В. Сотов, Р. Р. Кяримов, А. В. Агаповичев. – Самарский

государственный аэрокосмический университет имени академика С.П.Королёва  
(национальный исследовательский университет)

4. Группа компаний Промышленные технологии.  
<http://toplast.ru/routing.php?url = page/rezhimy-raboty-press-formy>.

**Summary.** Analysis of the modern development of technologies for restoration of machine parts has shown high operational efficiency and prospects of laser surfacing for repair of mold parts at the enterprise of ODO "NOMAKON".

2. Study and development of parameters of the technological process of laser surfacing with optimization of modes of restoration of quickly wearing parts of molds for obtaining the body of flow heaters allowed:

- to increase the operational service life of molds by 40-50%, (to increase the number of operating cycles before major repairs from 400,000 to 800,000, to reduce the cost of products and make them competitive);

- to improve the surface quality of the deposited layers;

- to reduce the time spent in repair by 20% due to the exclusion of a number of technological operations.

УДК 621.432/004.932

**Корнеева В.К.**, кандидат технических наук, доцент;

**Капцевич В.М.**, доктор технических наук, профессор;

**Остриков В.В.**, магистрант

*Учреждение образования «Белорусский государственный аграрный  
технический университет», г. Минск, Республика Беларусь*

## **ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЦВЕТА МОТОРНОГО МАСЛА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ЦВЕТОВОЙ МОДЕЛИ HSB**

**Аннотация.** Предложен новый методический подход оценки цвета моторного масла по балльной шкале ASTM D 1500, основанный на использовании плагина Color Inspector 3D программного комплекса ImageJ. Проведено сравнение значений цветовых координат модели HSB цифровых изображений моторных масел с соответствующими координатами шкалы ASTM D 1500.

**Annotation.** A new methodical approach to assessing the color of motor oil according to the ASTM D 1500 point scale is proposed, based on the use of the Color Inspector 3D plugin of the ImageJ software package. A comparison of the values of the color coordinates of the HSB model of digital images of motor oils with the corresponding coordinates of the ASTM D 1500 scale is carried out.

**Ключевые слова:** моторное масло; цвет; модель HSB; шкала ASTM D 1500; ImageJ.

**Keywords:** motor oil; color; HSB model; ASTM D 1500 scale; ImageJ.

Моторное масло является одним из важнейших источников информации, анализируя которую можно судить как об изменении его состояния, так и о процессах, непосредственно протекающих в ДВС при