



**МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ
РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ**

**БЕЛОРУССКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ
ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ**



МАШИНОСТРОИТЕЛЬНЫЙ ФАКУЛЬТЕТ

НИРС МСФ-2025

**Сборник материалов Китайско-Белорусской студенческой
конференции, посвященной 105-летию БНТУ и тематике
Китайско-Белорусского инновационного центра упрочнения,
восстановления и коррозионной защиты деталей машин**

9 апреля 2025 г.

Электронное издание

**Минск
БНТУ
2025**

Редколлегия:

В.К. Шелег, Г.А. Вершина, М.А. Кравчук, А.М. Парницкий,
Ю.В. Синькевич, Н.М. Чекал

Составитель:

В.А. Путиловский

В сборник включены материалы докладов Китайско-Белорусской студенческой конференции, посвященной 105-летию БНТУ и тематике Китайско-Белорусского инновационного центра упрочнения, восстановления и коррозионной защиты деталей машин (секция «Технология машиностроения»)

© Белорусский национальный
технический университет, 2025

Содержание

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ ГИБКИХ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ МОДУЛЕЙ, ИСПОЛЪЗУЕМЫХ ДЛЯ АВТОМАТИЗАЦИИ МАШИНОСТРОИТЕЛЬНЫХ ПРОИЗВОДСТВ Магистрант Готов Назар Евгеньевич.....	4
ЭЛЕКТРОЭРОЗИОННАЯ ОБРАБОТКА МЕТАЛЛОВ: ПРИНЦИПЫ, ТЕХНОЛОГИИ, ПРИМЕНЕНИЕ Магистрант Гурин Макар Витальевич	7
ВЛИЯНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ НА СВОЙСТВА КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ, ПОЛУЧЕННЫХ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МОДИФИЦИРОВАННЫХ АЛМАЗНЫХ ПОРОШКОВ Магистрант Мельник Юлия Андреевна	10
РАСЧЕТ ПАРАМЕТРОВ РЕЖУЩЕГО ИНСТРУМЕНТА ДЛЯ ИЗГОТОВЛЕНИЯ РАЗРЕЗНЫХ ФТОРОПЛАСТОВЫХ КОЛЕЦ Магистрант Сидоренко Кирилл Русланович	16
УСТРОЙСТВО ДЛЯ РЕАЛИЗАЦИИ МЕТОДА ЭЛЕКТРОСТИМУЛИРОВАНИЯ ОСАЖДЕНИЯ ИЗ ГАЗОВОЙ ФАЗЫ Магистрант Коротченя Матвей Алексеевич	20
ЛАЗЕРНАЯ РЕЗКА Студенты гр. 10303221 Чжао Линбо, Ян Чэнь.....	22
ЛАЗЕРНОЕ ЛЕГИРОВАНИЕ Студенты гр. 10303221 Лю Бинь, Цзи Жуинь	25
ЛАЗЕРНАЯ СВАРКА Студенты гр. 10303221 Лю Лян, Го Вэй	28
ЛАЗЕРНАЯ ОЧИСТКА Студенты гр. 10303221 Чжан Хэ, Гао Мин, Дай Цзин	31
ЛАЗЕРНОЕ УПРОЧНЕНИЕ Студенты гр. 10303221 Сяо Юйхао, Ван Минян, Чэнь Сьюй	35
ПЯТИОСЕВАЯ ОБРАБОТКА СЛОЖНОПРОФИЛЬНЫХ ДЕТАЛЕЙ НА ВЕРТИКАЛЬНО-ФРЕЗЕРНОМ СТАНКЕ МОДЕЛИ AFVINC Студенты гр. 10303122 Янь Вэньжуй, Ван Дин.....	40
ВОССТАНОВЛЕНИЕ ДЕТАЛЕЙ МАШИН ПЛАЗМЕННЫМ МЕТОДОМ Студенты Ян Ао, Лян Цзинь Сун	45
СПОСОБЫ ВОССТАНОВЛЕНИЯ ДЕТАЛЕЙ МАШИН (ГАЗОТЕРМИЧЕСКОЕ МЕТОДЫ ВОССТАНОВЛЕНИЯ) Студенты Ли Юань Хао, Го Ши Лон.....	50
ВОССТАНОВЛЕНИЕ ДЕТАЛЕЙ МАШИН ГАЗОПЛАМЕННЫМ МЕТОДОМ. Студенты Ли Бин Ци, Цзэн Ци Хао	54

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ ГИБКИХ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ МОДУЛЕЙ, ИСПОЛЬЗУЕМЫХ ДЛЯ АВТОМАТИЗАЦИИ МАШИНОСТРОИТЕЛЬНЫХ ПРОИЗВОДСТВ

Магистрант Готов Назар Евгеньевич

Научный руководитель – д.т.н., профессор Синькевич Ю.В.

Белорусский национальный технический университет

Минск, Беларусь

В современном машиностроении всё большую актуальность приобретает автоматизация и цифровизация производственных процессов. Компании сталкиваются с необходимостью выпускать продукцию в условиях нестабильного спроса, высокой конкуренции и растущих требований к качеству. В таких условиях особенно ценными становятся технологии, способные обеспечить гибкость и эффективность без потери производительности. Одним из таких решений являются гибкие производственные модули (ГПМ), которые позволяют адаптировать производственные линии под различные типы продукции с минимальными затратами времени и ресурсов [1, 2].

Гибкие производственные модули представляют собой комплекс оборудования и программного обеспечения, который позволяет быстро перестраивать производственные процессы под выпуск различных деталей. В состав ГПМ обычно входят:

- обрабатывающие центры с числовым программным управлением (ЧПУ),
- промышленные роботы-манипуляторы,
- автоматические системы смены инструмента и заготовок,
- транспортные устройства (конвейеры, автоматические тележки),
- а также программные системы управления — MES, SCADA и другие [2, 3].

Такие модули делятся на два основных типа:

- модули с ограниченной гибкостью, предназначенные для выполнения набора типовых операций;
- высокогибкие модули, которые могут адаптироваться под изменяющиеся задачи без участия оператора, зачастую с применением ИИ и предиктивной логики [3].

Переход к использованию ГПМ позволяет не только повысить эффективность, но и заложить основу для построения так называемого «умного» производства [4].

Для того чтобы объективно оценить производительность гибких модулей и сравнить их с традиционными производственными решениями, в рамках данного исследования использовался комплексный подход, включающий следующие методы:

1. Анализ временных показателей — определялось время цикла, простоев, переналадки и обслуживания оборудования.
2. Сравнительный анализ — проводилось сопоставление ключевых характеристик ГПМ с обычными машиностроительными линиями [1].
3. Цифровое моделирование процессов — с применением программных сред FlexSim и Siemens Plant Simulation создавались виртуальные модели производственных ячеек [4, 7].
4. Экспертные интервью — проводился сбор данных и мнений от технического персонала предприятий, уже использующих ГПМ в производстве [5, 6].

Такой подход позволил получить как количественные, так и качественные показатели работы гибких модулей в реальных условиях.

По результатам анализа выяснилось, что внедрение ГПМ на машиностроительных предприятиях приводит к следующим улучшениям:

- время переналадки оборудования сокращается в среднем на 40–60% [1, 4];
- коэффициент загрузки оборудования возрастает с 0.65 до 0.85;
- общая производительность производства увеличивается на 15–25% [3];
- доля ручного труда в технологических процессах снижается на 30–50% [2, 3].

Следует отметить, что современные ГПМ оснащаются системами диагностики и предиктивного технического обслуживания, что позволяет значительно снизить количество внеплановых остановок. По оценкам, такие меры сокращают время простоев на 25–35% [4, 6]. При этом несмотря на первоначально высокие капитальные вложения, срок окупаемости гибких модулей составляет в среднем 2–4 года. После этого вложения начинают приносить чистую экономическую выгоду за счёт увеличения объёмов производства и снижения затрат на обслуживание и персонал [1, 3, 4]. В отдельных случаях наблюдалось увеличение объёма выпускаемой продукции до 30% без привлечения дополнительных сотрудников [6].

Примером практического внедрения ГПМ является:

- ПАО «КамАЗ»

Предприятие активно использует ГПМ с интеграцией роботов KUKA, систем автоматической смены инструмента и интеллектуального управления. Это позволило перейти к выпуску мелкосерийной продукции с индивидуальными параметрами по запросу заказчика без увеличения времени производства [6].

- Группа ГАЗ

В рамках программы цифровизации была внедрена автоматизированная линия по сборке двигателей на основе ГПМ. Благодаря этому производственный цикл сократился на **22%**, а общее количество отказов снизилось за счёт предиктивной диагностики [6].

Разумеется, внедрение гибких модулей не обходится без трудностей. Среди наиболее актуальных:

- высокая стоимость закупки и обслуживания оборудования [2];
- необходимость обучения или переобучения персонала;
- трудности интеграции ГПМ в уже существующие цеха и линии [3].

Тем не менее, перспективы их развития выглядят весьма обнадеживающе. Уже сегодня в модульные системы внедряются элементы искусственного интеллекта, машинного обучения, а также технологии Интернета вещей (IIoT) [4]. Это открывает возможности для построения полностью цифрового, адаптивного и самоуправляемого производства.

В будущем ГПМ будут играть всё более важную роль в рамках концепций Индустрии 4.0 и умного завода (Smart Factory), где каждое звено производственной цепочки будет связано в единую цифровую сеть [4, 5].

На основе проведённого исследования можно сделать уверенный вывод: гибкие производственные модули действительно оказывают значительное положительное влияние на производственные процессы в машиностроении. Они позволяют значительно повысить производительность, сократить затраты времени и ресурсов, а также обеспечить высокую адаптивность производства к меняющимся требованиям рынка [1, 3, 4].

Переход к гибким автоматизированным системам — это не только шаг к технологическому обновлению, но и стратегически важное направление развития машиностроительной отрасли в целом.

Литература

1. Мусатов А.Ю. *Гибкие автоматизированные производственные системы.* — М.: Машиностроение, 2021.

2. Абрамович С.А., Беляев И.Н. *Автоматизация машиностроительных производств.* — СПб.: Питер, 2020.
3. Ковалёв С.В. *Цифровое производство и гибкие производственные модули.* — Журнал *Инженерная практика*, №4, 2022.
4. Siemens Industry Software. *Flexibility in Manufacturing Systems.* — White Paper, 2021.
5. Порталы: *Automation.ru*, *RobotForum.ru* — аналитика и статьи 2022–2023 гг.
6. Официальные сайты АО «КамАЗ» и Группы ГАЗ — отчёты о цифровой трансформации.
7. FlexSim Simulation Software — www.flexsim.com
8. ISO 10303-238 (STEP-NC) — международный стандарт для обмена производственными данными в автоматизированных системах.

УДК 621.9.048.4

ЭЛЕКТРОЭРОЗИОННАЯ ОБРАБОТКА МЕТАЛЛОВ: ПРИНЦИПЫ, ТЕХНОЛОГИИ, ПРИМЕНЕНИЕ

Магистрант Гурин Макар Витальевич

Научный руководитель – д.т.н., профессор Синькевич Ю.В.

Белорусский национальный технический университет

Минск, Беларусь

В условиях стремительного развития высокоточных и ресурсосберегающих технологий всё большую значимость приобретает электроэрозионная обработка (ЭЭО) — способ безконтактного снятия материала с поверхности токопроводящих заготовок с помощью электрических разрядов. Эта технология позволяет получать изделия сложной формы с высокой точностью, особенно в случаях, когда традиционные методы обработки металлов оказываются малоэффективными или невозможными.

Электроэрозионная обработка широко используется при производстве штампов, пресс-форм, инструментов и ответственных деталей машин, особенно из твёрдых, жаропрочных и труднообрабатываемых материалов. Она даёт возможность создавать тонкие каналы и острые углы.

Электроэрозионная обработка основана на явлении электрической эрозии — разрушении материала под действием многократных электрических

разрядов между электродом-инструментом и заготовкой, погружёнными в диэлектрическую жидкость.

При подаче импульсного напряжения между электродом и заготовкой в малом зазоре (от 0,005 до 0,05 мм) происходит пробой диэлектрика и возникает искровой разряд. Температура в зоне разряда достигает 8000–12000 °С, что вызывает локальное плавление и частичное испарение материала. Продукты эрозии выносятся потоком жидкости из межэлектродного промежутка. Процесс повторяется десятки тысяч раз в секунду, постепенно формируя нужную геометрию.

Ключевые параметры, влияющие на точность и производительность:

- форма и материал электрода-инструмента;
- параметры импульсов (напряжение, ток, длительность);
- свойства диэлектрика (обычно это керосин или масло);
- межэлектродный зазор;
- система управления разрядным процессом.

Обрабатывать можно только токопроводящие материалы, включая твёрдые сплавы, нержавеющей стали, титан, вольфрам, молибден и даже закалённые детали. Именно поэтому ЭЭО особенно эффективна там, где традиционные методы не справляются.

Существует несколько основных разновидностей ЭЭО, каждая из которых имеет свои особенности и область применения:

- погружная электроэрозионная обработка (EDM)

Осуществляется с помощью формообразующего электрода, который повторяет форму обрабатываемой полости. Заготовка и электрод полностью погружены в диэлектрик. Применяется для создания пресс-форм, штампов, литников, различных выемок.

- проволочно-вырезная электроэрозионная обработка (WEDM)

Вместо твердотельного электрода используется тонкая проволока, которая медленно подаётся через заготовку, вырезая нужный контур. Метод применяется для высокоточной резки деталей сложной формы и изготовления штамповочных контуров. Достижимая точность — до $\pm 2-5$ мкм.

- электроэрозионное прошивание

Используется для создания отверстий малого диаметра (например, в лопатках турбин). Электрод-прошивка медленно погружается в материал, формируя отверстие путём последовательных разрядов.

- электроконтактная обработка

Иногда выделяется в отдельную группу. В этом случае механическое соприкосновение и электрические импульсы вызывают локальное разрушение. Применяется для точечных операций.

ЭЭО применяется в самых различных отраслях:

- авиакосмическая промышленность — изготовление твердосплавных лопаток, сопел, деталей из жаропрочных сплавов;
- медицина — производство микроинструментов и имплантов сложной формы;
- инструментальное производство — формообразование пресс-форм, штампов, резбонарезных и фрезерных инструментов;
- машиностроение и автомобилестроение — изготовление прецизионных деталей, отверстий под углом, фигурных пазов.

Преимущества метода:

- Высокая точность и чистота обработки;
- Возможность обработки твёрдых и закалённых материалов;
- Отсутствие механического контакта (нет механических нагрузок);
- Минимальное тепловое влияние вне зоны разряда.

Ограничения:

- Только проводящие материалы;
- Низкая производительность по сравнению с механической обработкой;
- Износ электрода (особенно в погружной ЭЭО);
- Требования к точности настройки оборудования.

Современные системы электроэрозионной обработки оснащаются ЧПУ, что позволяет автоматизировать процесс, повысить точность и повторяемость. Внедрение CAD/CAM систем обеспечивает быструю подготовку управляющих программ. Новые источники питания с цифровым управлением позволяют гибко настраивать режимы работы.

Активно развиваются гибридные технологии, совмещающие ЭЭО с другими методами (например, ультразвуковыми колебаниями или лазером), что позволяет расширить технологические возможности и повысить эффективность.

Электроэрозионная обработка представляет собой незаменимый инструмент современной прецизионной инженерии. Благодаря способности обрабатывать твёрдые и сложнопрофильные детали с высокой точностью и минимальным тепловым воздействием, ЭЭО активно используется в высокотехнологичных отраслях. Несмотря на сравнительно низкую производительность, метод компенсирует это широчайшими возможностями по обработке труднодоступных поверхностей и материалов. С развитием

автоматизации, цифровых технологий и гибридных решений потенциал ЭЭО продолжает расширяться.

Литература

1. Золотых Б.Н., Мельдер Р.Р. Физические основы электроэрозионной обработки. – М.: Машиностроение, 1977. – 43 с.
2. Кабалдин Ю.Г., Сариллов М.Ю., Биленко С.В. Повышение устойчивости процесса электроэрозионной обработки и качества обработанных поверхностей на основе подходов искусственного интеллекта. – Комсомольск-наАмуре: КНАГТУ, 2007. – 191 с.
3. Каблов, Е.Н. Стратегические направления развития материалов и технологий их переработки на период до 2030 г. // *Авиационные материалы и технологии*. 2012. №5. С. 7-17.
4. Серебrenицкий, П.П. Современные электроэрозионные технологии и оборудование: учебное пособие. – СПб.: Балт. гос. техн. ун-т, 2007. 228 с.

УДК 621.762.3

ВЛИЯНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ НА СВОЙСТВА КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ, ПОЛУЧЕННЫХ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МОДИФИЦИРОВАННЫХ АЛМАЗНЫХ ПОРОШКОВ

Магистрант Мельник Юлия Андреевна

Научный руководитель – к.т.н., доцент Парницкий А.М.

Белорусский национальный технический университет

Минск, Беларусь

Алмазные материалы имеют широкое применение в различных отраслях промышленности, включая обработку материалов, электронику, медицину и строительство. Алмазные порошки и композиционные алмазные материалы играют ключевую роль в создании высокопрочных и износостойких изделий.

На рисунке 1 представлена круговая диаграмма распределения потребления объема алмазов.



Рисунок 1 - Круговая диаграмма распределения потребления объема алмазов

Крупнокристаллические сверхтвердые материалы (СТМ) на основе алмаза и сфалерита получают в условиях каталитического синтеза; мелкокристаллические, представленные всеми фазами высокого давления, – в условиях прямых переходов.

Для каталитического синтеза характерны диффузионные процессы, поскольку они осуществляются обычно в присутствии жидкой фазы (катализатора) вблизи линии равновесия при высоких температурах.

В Республике Беларусь в НПЦ НАН Беларуси по материаловедению и ОИМ НАН Беларуси проводятся экспериментальные работы по использованию в качестве катализатора синтеза алмаза и кубического нитрида бора (КНБ) наноалмазов детонационного синтеза.

Наноалмазы представляют собой одну из наиболее химически активных из известных форм углерода с высокоактивным состоянием поверхности.

Использование наноалмазов позволяет синтезировать в условиях высоких давлений и температур порошки алмаза и КНБ субмикронных и микронных размеров, причем в отличие от синтеза с использованием фуллеренов в шихту не добавляются металлы-катализаторы, что повышает качество получаемых частиц, прежде всего термостойкость. Другое преимущество нанокатализатора на основе наночастиц алмаза – более низкая температура образования плотных модификаций углерода и нитрида бора по сравнению с теми условиями образования алмаза и КНБ, которые наблюдаются при использовании традиционных катализаторов.

Кремний традиционно используется как активирующая спекание алмаза добавка:

- он обладает хорошей жидкотекучестью;

- в расплавленном состоянии интенсивно реагирует с углеродом с образованием тугоплавкого карбида, обладающего низким коэффициентом термического расширения и высокой твердостью.

Введение добавок кремния в шихту на основе порошков алмаза приводит к формированию карбида кремния в системе углерод-кремний при термобарической обработке, что будет способствовать спекаемости зерен сверхтвердых материалов при более низких давлениях.

На рисунке 2 показан внешний вид алмазного порошка АСМ 14/10 после процесса модифицирования кремнием (силицирования). Кремний на поверхности алмазных зерен адсорбируется в виде частиц каплевидной формы размерами 100–200 нм, которые в процессе роста объединяются в сплошную пленку, частично либо полностью покрывающую алмаз (рисунок 5.2 А, Б). Кроме того, кремний в шихте образует отдельные дендритные агломераты размерами до 5 мкм, которые состоят из частиц размером 200–800 нм.

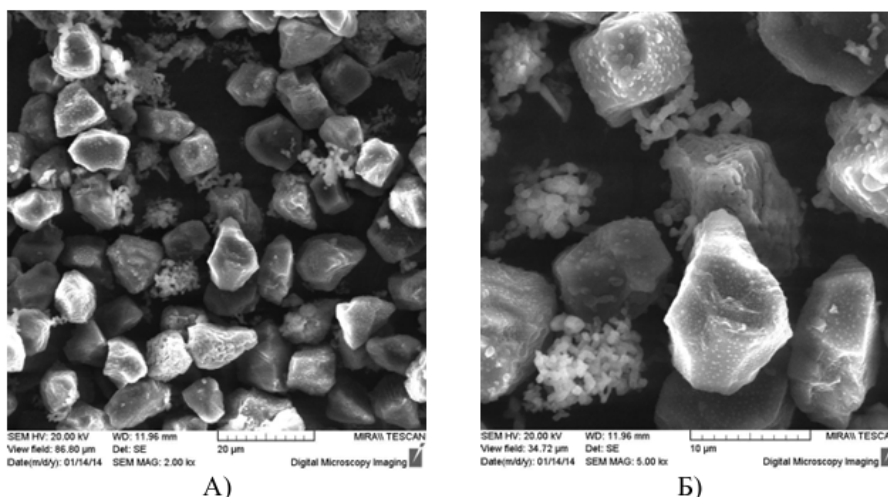


Рисунок 2 – Внешний вид алмазных зерен АСМ 14/10 после силицирования: А) частицы алмаза с дендритными агломератами кремния; Б) частицы кремния каплевидной формы на поверхности алмаза

Титан, как карбидообразующий элемент, обычно применяют в процессе создания композитов и поликристаллов с содержанием алмазов. Это способствует более эффективному удержанию алмазов в матрице и улучшает способность материала к компактированию.

Модифицирование микропорошков алмаза титаном позволяет проводить их термобарическое спекание при более низком давлении без графитизации алмаза. Это позволяет предположить, что наряду с высокодисперсной структурой материала возможно использование данного материала в лезвийном инструменте для обработки твердых сплавов, керамики, других труднообрабатываемых материалов.

Титан на поверхность алмаза АСМ осаждаются в виде частиц округлой и продолговатой формы со скругленными гранями; их размер, в основном, находится в пределах 100–600 нм (рисунок 3 А, Б). На некоторой части алмазных зерен покрытие сформировано в виде «шубы», практически полностью покрывающей поверхность алмаза.

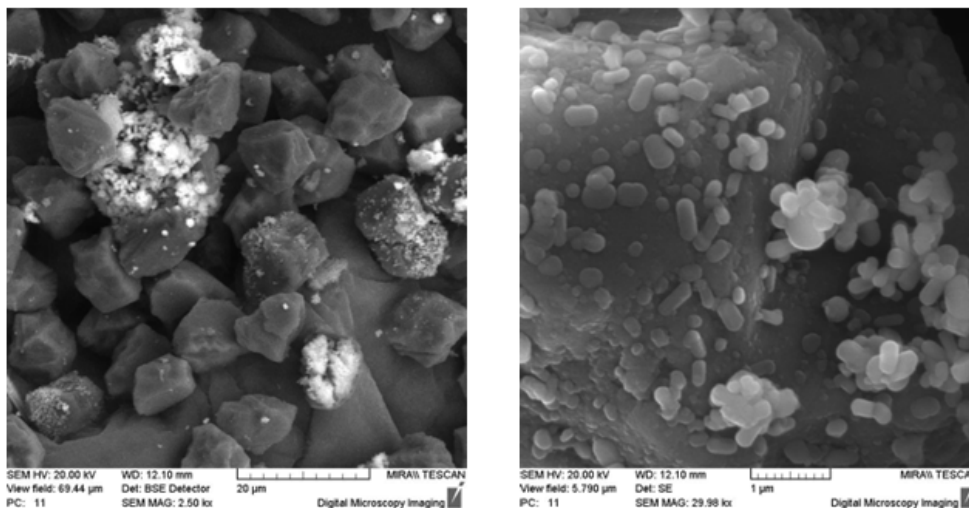


Рисунок 3 – Внешний вид алмазных зерен АСМ 14/10 после модифицирования титаном

В работе проводилось изучение морфологии поверхности микропорошков алмазов различного происхождения после модифицирования их поверхности карбидообразующими элементами методом химико-термического осаждения и исследование структурно-фазовое состояние данного материала после термобарического спекания.

Спекание алмазного порошка АСМ 14/10 (Si) проводили при давлении 5,5 ГПа. В ходе исследования морфологии поверхности излома спеченных в оптимальных условиях алмазных поликристаллов инородных включений и локальных скоплений связки не обнаружено.

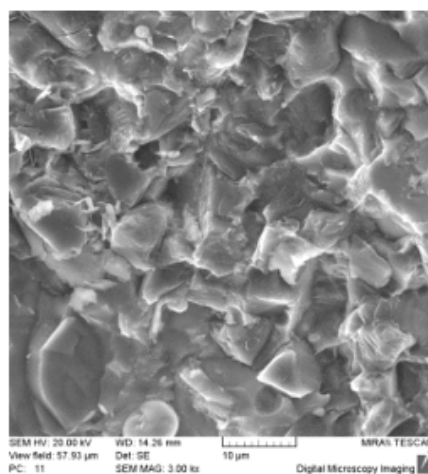


Рисунок 4 – Морфология композита алмаз АСМ (Si) после спекания (режим спекания: P=5,5 Гпа, T=1800 °С, t=15 с)

Микропорошки алмаза АСМ 14/10 (Ti) спекали под давлением порядка 5,0 ГПа, температура спекания – 1900 оС. Продолжительность спекания для обоих составов была равна – 15 с. На рисунке 5 представлена микроструктура изломов полученных поликристаллов.

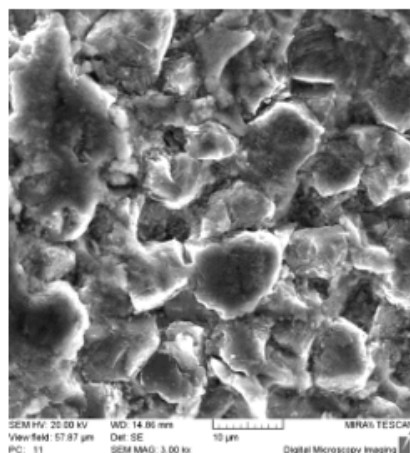


Рисунок 5 – Микроструктура спеченных алмазных поликристаллов на основе модифицированных титаном алмазного порошка АСМ (Ti)

Измерения плотности спеченных образцов из микропорошков алмаза, модифицированных кремнием и титаном показали, что в зависимости от температуры спекания плотность спеков изменяется в пределах от 3,33 до 3,39 г/см³.

При этом наилучшей уплотняемостью характеризуется спеченный композит из порошка АСМ 14/10 (Si).

Также следует отметить, что для всех составов максимальные значения плотности композитов получены для случаев температуры спекания в диапазоне 1900–2100 °С, причем положение максимума смещается в область более высоких температур по мере повышения температуры плавления модификатора.

Высокая пористость для наиболее крупного и наиболее мелкого алмазного порошка обусловлена, по всей видимости, относительно низким уровнем давления спекания ($P = 5,5$ ГПа), не обеспечивающим дробление крупного порошка и пластическую деформацию наиболее мелкого.

При этом, продолжительность спекания, также влияет на плотность полученного материала АСМ (Si). Увеличение длительности изотермической выдержки и повышение температуры спекания при данном давлении с целью

полного связывания кремния в карбид приводит к графитизации алмаза и снижению плотности материала.

Термобарическое спекание микропорошков алмаза и последующие исследования плотности компактов, полученных в выбранном диапазоне режимов спекания, показали, что максимальной плотностью обладают компакты состава шихты АСМ 14/10 (Si), которые были получены при температуре 1900–2000 °С и давлении 5,5 ГПа.

Исследования по модификации алмазных порошков имеют большое значение для разработки новых материалов с улучшенными свойствами и расширения области их применения. Такие материалы могут быть использованы в производстве новых типов абразивных инструментов, теплоотводящих элементов для электроники, композитных материалов для промышленности и многих других областях. Дальнейшие исследования в этой области могут привести к созданию инновационных материалов, способных решить множество технических проблем в различных отраслях промышленности.

Литература

1. Шульженко, А.А., Клименко, С. А. (1999), Поликристаллические сверхтвердые материалы в режущем инструменте, Инструментальный свет, 1999, № 4, Ч. 1, С. 14–16.
2. Чухаева, С.И., Детков, П.Я., Ткаченко, А.П., Торопов, А.Д. (1998), Физико-химические свойства фракций, выделенных из ультрадисперсных алмазов, Сверхтвердые материалы, 1998, № 4, С. 29–36.
3. Кулакова, И.И. (2004), Химия поверхности наноалмазов, ФТТ, 2004, Т. 46, № 4, С. 621–628.
4. Осовецкий, Б.М., Наумова, О.Б. (2014), Микрои наноформы поверхности импактных алмазов, Вестник Пермского университета, 2014, № 2, С. 8–18.

РАСЧЕТ ПАРАМЕТРОВ РЕЖУЩЕГО ИНСТРУМЕНТА ДЛЯ ИЗГОТОВЛЕНИЯ РАЗРЕЗНЫХ ФТОРОПЛАСТОВЫХ КОЛЕЦ

Магистрант Сидоренко Кирилл Русланович

Научный руководитель – к.т.н., доцент Вершина Г.А.

Белорусский национальный технический университет

Минск, Беларусь

В настоящее время полимерные материалы благодаря своим уникальным свойствам находят все более широкое применение в самых различных отраслях промышленности и народного хозяйства – в радиоэлектронике и приборостроении, в электротехнической, химической и пищевой промышленности, в сельском хозяйстве и медицине, военной и космической технике. Но особенно высокую значимость они приобретают в машиностроительном производстве, где потребление полимеров становится уже соизмеримым с потреблением металлов.

Целесообразность применения полимерных материалов в машиностроении определяется, прежде всего, возможностью удешевления продукции, а также улучшением важнейших технико-экономических параметров машин (масса, долговечность, надежность). В результате внедрения полимеров высвобождаются ресурсы металла, а благодаря уменьшению отходов при переработке существенно повышается коэффициент использования материалов, который в настоящее время, согласно статистике, в два раза превышает коэффициент использования металлов.

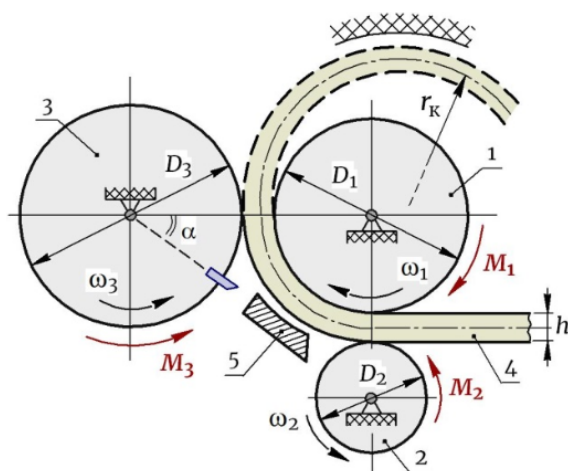


Рис. 1. Схема устройства для получения колец

Fig. 1. Diagram of the device for obtaining rings

Одно из достойных мест в ряду полимерных конструкционных материалов занимают фторопласт и композиции на его основе. Уплотнения из фторопласта в большинстве случаев изготавливаются методами механической обработки, и в настоящее время существует несколько технологий изготовления защитных фторопластовых колец (Рисунок 1), одна из которых

заключается в протягивании полимерной ленточной заготовки между вращающимися роликами, пластическом изгибе и закручивании ленты на приводной ролик-калибр с последующим отрезанием полосы после получения кольца требуемого диаметра. Данная технология позволяет существенно повысить производительность за счет автоматизации полного цикла изготовления разрезного кольца и непрерывности процесса, минимизировать отходы, снизить трудоемкость и энергоемкость производства.

Согласно технологии, процесс осуществляется на устройстве путем принудительной подачи ленточной заготовки между двумя роликами, один из которых выполняет роль формообразующего элемента, а другой является прижимным, и последующей операции отделения готового кольца отрезанием ленты с помощью отрезного механизма.

Механизм подачи включает в себя ведущий 1 и ведомый 2 ролики, связанные с силовым приводом, задающим элементам вращательное движение во встречном направлении и обеспечивающим равную линейную скорость роликов в зоне контакта. Ролик 2 для лучшего сцепления и предотвращения проскальзывания выполнен с упругой поверхностью, обеспечивающей также прижатие ленты 4, подаваемой в зазор. Для придания заготовке формы кольца осуществляют ее прижим роликом 2 приложением постоянного усилия и протягивание ленты по окружной поверхности формообразующего ролика 1, являющегося оправкой, на которой происходят изгиб и формирование кольцевой формы. Направляющим движущейся ленты является прижим 5, который обеспечивает ее загибание и движение к отрезному устройству, состоящему из ведущего ролика 1 механизма подачи и ведомого ролика-калибра 3 с жестко закрепленным резцом на его торцевой поверхности.

При разработке данной технологии самым сложным вопросом является проектирование рабочего инструмента, его размеров и геометрии, а также кинематических параметров устройства и

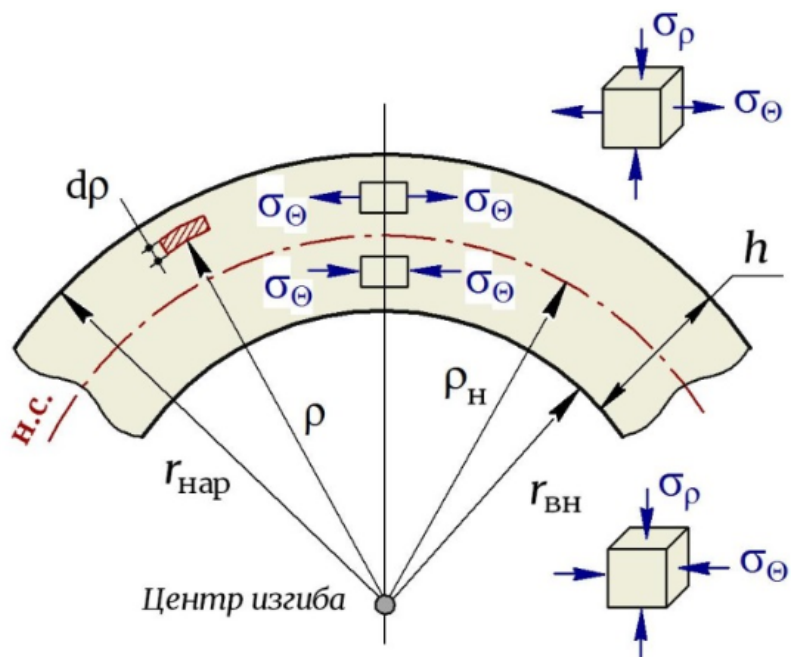


Рис. 2. Напряженное состояние при гибке

Fig. 2. Stress state during bending

механизма привода, обеспечивающих получение фторопластовых колец требуемой точности. При данной схеме деформирования имеет место чистый изгиб (Рисунок 2), при котором в заготовке возникают области растяжения и сжатия, и принимая для фторопласта механическую модель поведения как твердого деформируемого тела с возможностью возникновения упругих и остаточных деформаций, при расчете инструмента и процесса в целом следует принимать во внимание возникновение пружинения после разгрузки и его влияние на конечные размеры готового кольца. (Рисунок 3)

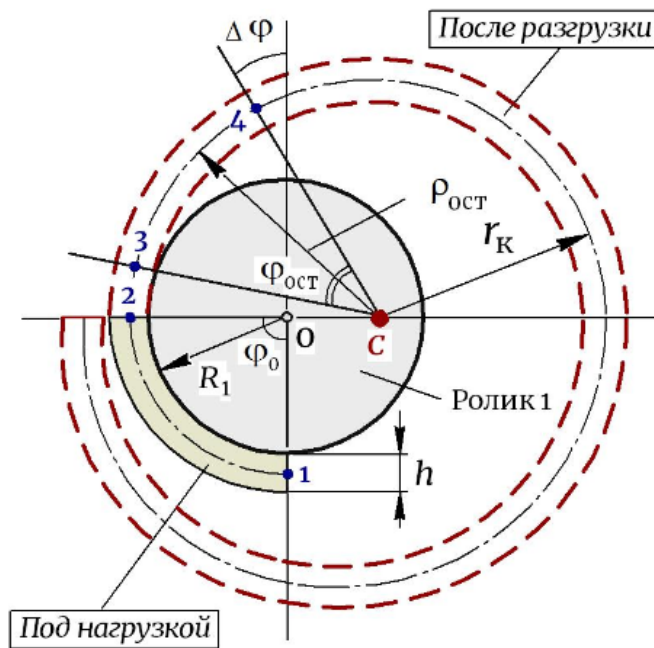


Рис. 3. Зона деформации ленточной заготовки

Fig. 3. Deformation zone of the strip blank

определяющие длину дуги, связаны между собой функционально $\rho = f(\varphi)$. Учитывая, что фторопласт при растяжении проявляет высокие упругие свойства и имеет высокую степень пружинения после разгрузки, достаточно быстро сбрасывая упругие составляющие полной деформации, длина зоны неустановившейся деформации 2–3 весьма незначительна и ее в расчетах можно не рассматривать, а отсчет формирующегося кольца производить от точки 3, принимая ее за начальную точку изделия, где радиус кольца $\rho_{ост}$ принимает конечное значение. Далее, за пределами этой точки кривизна ленты не изменяется, и она формируется в кольцо постоянного диаметра. Но поскольку при изгибе и в зоне нагружения (участок 1–2), и в зоне разгрузки (участок 3–4) длина нейтрального слоя не изменяется, увеличение радиуса приводит к уменьшению угла. (Рисунок 4)

При выходе из зоны нагружения лента не сразу принимает радиус готового кольца. Освободившаяся от нагрузки, но еще не полностью освободившаяся от упругих деформаций, она выходит на конечный диаметр постепенно, определяя положение центра кольца «С» относительно центра ролика 1. В результате на участке полосы между точками 2 и 3 образуется область неустановившейся деформации, в которой кривизна движущейся ленты изменяется, а изменяющиеся радиус и угол,

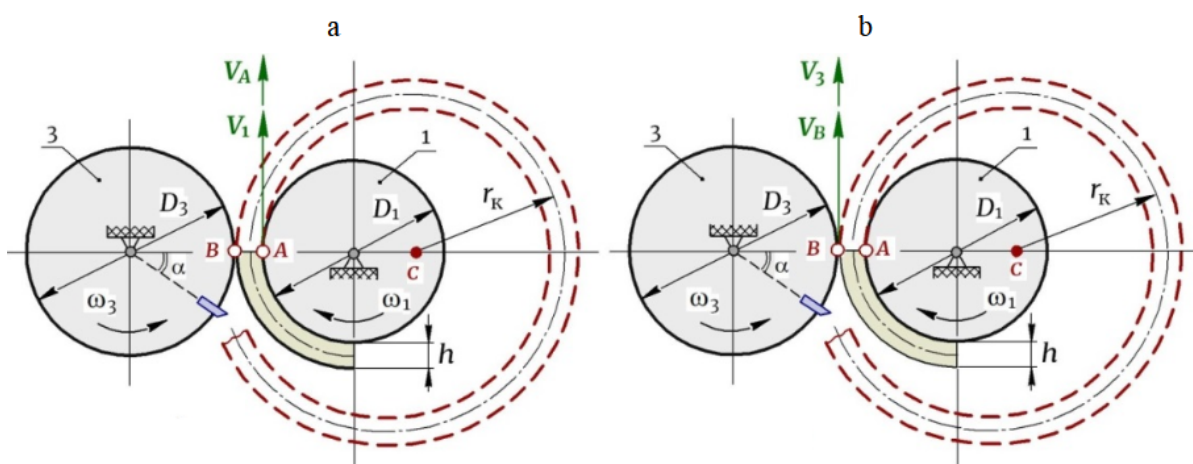


Рис. 4. Кинематический и геометрический расчет ролика-калибра 3

Fig. 4. Kinematic and geometric calculation of the caliber roller 3

В ходе же кинематического анализа установлено, что угловые скорости точек наружной поверхности фторопластовой полосы и точек ролика-калибра 3 одинаковы, а значит, при прохождении полного круга, что соответствует изготовлению одного кольца, диаметр ролика 3 должен быть равен наружному диаметру готового кольца: $D_{заг} = d_{нар}$. Однако на самом деле это не так. Скорость вращения ролика-калибра 3, определяется скоростью движения деформируемой ленты. Поэтому в расчётах данный фактор учтён.

Также были проведены некоторые эксперименты, которые подтвердили теоретические обоснования данной тематики. В ходе эксперимента, проведённого над кольцами из фторопласта марки Ф4К20 сечением $b \times h = 6 \times 1,5$ мм были получены некоторые результаты, представленные в таблице 1.

Таблица 1 – Результаты эксперимента

Кольцо $d_{нар}$, мм	40	50	65	70
Диаметр ролика-калибра D_3 , мм (экспериментальное значение)	40,4	50,8	66,2	71,4
Диаметр ролика-калибра D_3 , мм (расчётное значение)	40,6	50,7	65,9	71,0

Литература

1. Тугов, И. И. Химия и физика полимеров / И. И. Тугов, Г. И. Кострыкина. М.: Химия, 2009. 432 с.
2. Вершина, Г. А. Анализ деформационного поведения фторопласта-4 в условиях силового воздействия / Г. А. Вершина, Л. Е. Реут // Весці НАН Беларусі. Сер. физ.-технічных наук. 2016. № 4. С. 23-30.

3. Вершина, Г. А. Влияние упругого ядра на размеры кольцевого изделия при изгибе фторопластовой ленты / Г. А. Вершина, Л. Е. Реут // Наука и техника. 2019. Т. 18, № 1. С. 21-31. <https://doi.org/10.21122/2227-1031-2019-18-1-21-31>.
4. Сторожев, М. В. Теория обработки металлов давлением / М. В. Сторожев, Е. А. Попов. М.: Машиностроение, 1977. 422 с.

УДК 621.9

УСТРОЙСТВО ДЛЯ РЕАЛИЗАЦИИ МЕТОДА ЭЛЕКТРОСТИМУЛИРОВАНИЯ ОСАЖДЕНИЯ ИЗ ГАЗОВОЙ ФАЗЫ

Магистрант Коротченя Матвей Алексеевич

Научный руководитель – к.т.н. Чекан Н.М.

Белорусский национальный технический университет

Минск, Беларусь

На сегодняшний день алмазоподобные покрытия широко внедряются во всех сфере промышленности и индустрии. Благодаря выдающимся свойствам алмазоподобных покрытий они уже используются в космической аэропромышленности, в медицинском оборудовании и имплантации, химической и инструментальной промышленности, а также в машиностроении. Но одной из главных проблем является внедрение алмазоподобных покрытий на производство. Алмазоподобные покрытия для нанесения требуют наличия специализированных вакуумных установок, которая в свою очередь не приспособлена для нанесения других покрытий.

Поэтому возникает необходимость разработать устройство позволяющее наносить алмазоподобное покрытие на неспециализированных и непригодных для этого вакуумных установках. Данное устройство должно быть легко адаптируемо для установки на стандартные вакуумные камеры, и последующий съем при необходимости нанесения другого покрытия. Основными элементами конструкции являются два сеточных электрода.

Задача первого сеточного электрода торможение и улавливание (сорбция) ионов. Задача второго сеточного электрода ускорение электронов для последующего разложения газа и осаждения покрытия. При этом между сетками возникает динаatronный эффект. Также обе сетке сепарируют плазму, ограждаю от макрочастиц. Второй заземляется. Прозрачность каждой 80%.

При подаче отрицательного потенциала на первый сеточный электрод, порядка 40...60 В, происходит полное улавливание ионной составляющей катодно-дугового разряда (катод-титан), что согласуется с литературными данными по энергетическому состоянию ионов титана в условиях катодно-дуговой плазмы.

Анализ литературных данных и энергий электрона достаточных для декомпозиции показал что при соударении электрона с молекулой ацетилена вероятностью её декомпозиции на C₂H - 89%, CH - 62%, H₂ и C₂ - 31%, а также полной ионизации составляет 39%. Таким образом основным радикалом будет является C₂H из которых будут формируется гидроиницированные алмазоподобные покрытия.

Исследование полученного покрытия показало, что кроме углерода в состав входит Ti в количестве 4,1% в виде макроструктур и занимаемой площадью покрытия около 0,1%, и (возможно) нейтральных частиц. Исследование фазового состава методом рамановской спектроскопии показало наличие большого количества sp² связей (графитового типа). Обусловлено перегревом электронным потоком поверхности конденсации (фольга).

С учетом выполненных исследований планируется доработка конструкции системы по выделению электронной составляющей плазмы катодно-дугового разряда направленная на уменьшение потока макрочастиц металла на подложку и изменения энергетического параметра электронной составляющей плазмы для уменьшения и снижения перегрева поверхности основы. Путем изменения прозрачности сетки (управляющего электрода) и установлением экранов.

Литература

1. E. Byon, A. Andreas Ion energy distributions of vacuum arc plasmas. Journal of Applied Physics. 2003 (93) 1899-1906.
2. D. Andruczyk, R. N. Tarrant, B. W. James, M. M. M. Bilek and G. B. Warr, Langmuir probe study of a titanium pulsed filtered cathodic arc discharge, Plasma Sources Sci. Technol. 15 (2006) 533–537.

ЛАЗЕРНАЯ РЕЗКА

Студенты гр. 10303221 Чжао Линбо, Ян Чэнь, Лю Бинь

Научный руководитель – ст. преподаватель МСФ Кравчук М.А.

Белорусский национальный технический университет

Минск, Беларусь

Лазерная резка — технология резки и раскроя материалов, использующая лазер высокой мощности и обычно применяемая на промышленных производственных линиях. Сфокусированный лазерный луч, обычно управляемый компьютером, обеспечивает высокую концентрацию энергии и позволяет разрезать практически любые материалы независимо от их теплофизические свойства.

При лазерной резке можно получить узкие резы с минимальной зоной термического влияния.

Лазерная резка металла обладает рядом преимуществ перед другими способами резки металла. Высокая скорость резки металла, узкий рез, параллельность кромок стенок реза и минимальная зона термического влияния — основные характеристики, благодаря которым лазерная резка металла является самым выгодным способом резки металла.

Сфокусированный лазерный луч регулируемой мощности — идеальный инструмент для резки, обеспечивающий качественную, гладкую поверхность реза широкого спектра материалов.

Простейшее устройство лазерного резака показано на рисунке 1. Для подачи газа в зону резки между линзой и заготовкой размещено сопло в виде усеченного конуса. Газ, выходящий под давлением из сопла по лазерному пучку, помимо технологических функций обеспечивает защиту линзы от продуктов лазерной обработки.

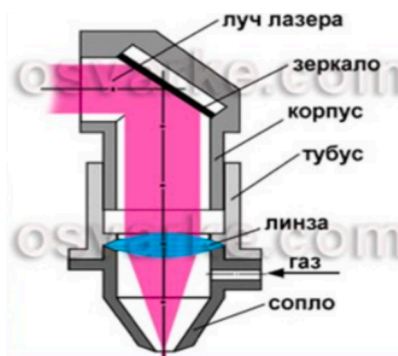


Рисунок 1 – Устройство лазерного резака

Лазерная резка осуществляется путём сквозного прожига листовых металлов лучом лазера. Такая технология имеет ряд очевидных преимуществ перед многими другими способами раскроя:

- отсутствие механического контакта позволяет обрабатывать хрупкие и деформирующиеся материалы;
- обработке поддаются материалы из твердых сплавов;
- возможна высокоскоростная резка тонколистовой стали т.д.;
- при выпуске небольших партий продукции целесообразнее провести лазерный раскрой материала, чем изготавливать для этого дорогостоящие пресс-формы или формы для литья;
- для автоматического раскроя материала достаточно подготовить файл рисунка в любой чертежной программе и перенести файл на компьютер установки, которая выдержит погрешности в очень малых величинах;

Применение в лазерной резке точных координатных столов (1500 × 3000 мм) снимает ограничения по геометрической сложности вырезаемых изделий. Используемое программное обеспечение позволяет быстро создавать технологические программы и легко импортировать графическую информацию.

Обрабатываемые материалы. Для лазерной резки подходит любая сталь любого состояния, алюминий и его сплавы, другие цветные металлы. Обычно применяют листы из таких металлов:

- сталь от 0,2 мм до 20 мм;
- нержавеющая сталь от 0,2 мм до 50 мм;
- алюминиевые сплавы от 0,2 мм до 20 мм;
- латунь от 0,2 мм до 12 мм;
- медь от 0,2 мм до 15 мм;

Также могут обрабатываться многие неметаллы -например, дерево.

Охлаждение и энергопотребление. Лазер и его оптика (включая фокусирующие линзы) нуждаются в охлаждении. В зависимости от размеров и конфигурации установки, избыток тепла может быть отведен теплоносителем или воздушным обдувом. Вода, часто применяемая в качестве теплоносителя, обычно циркулирует через теплообменник или холодильную установку.

Эффективность промышленных лазеров может варьироваться от 5% до 15%. Величина необходимой затрачиваемой мощности, необходимой для резки, зависит от типа материала, его толщины, среды обработки, скорости обработки.

Лазерная резка металла идеально подходит для выреза какого-либо изделия из листового металла (или неметалла: пластик, текстолит, фанера). Данная технология практически не ставит ограничений по сложности выполнения исходного чертежа, и позволяет с высокой точностью вырезать контуры с многочисленными изгибами, прорезями и врезами. В настоящее время лазерную резку используют для изготовления, металлических корпусов, дверей, торгового оборудования, пищевого инвентаря и др.

Лазерная резка нержавеющей стали, в особенности больших толщин, затруднена процессом зашлаковывания реза из-за присутствия в металле легирующих элементов, влияющих на температуру плавления металла и его оксидов. Так возможно образование тугоплавких оксидов, препятствующих подводу лазерного излучения к обрабатываемому материалу. Усложняет процесс резки и низкая жидкотекучесть расплавленных оксидов, например, свойственная для нержавеющей хромоникелевых и высокохромистых сталей.

Для получения качественного реза используется азот высокой чистоты, подаваемый при повышенном давлении (обычно до 20 атм). При резке нержавеющей стали большой толщины требуется заглубление фокального пятна луча в разрезаемый металл. Как следствие, повышается диаметр входного отверстия и возрастает подача газа внутрь металла в зону расплава.

При разрезании алюминия применяется вспомогательный газ с давлением более 10 атм. Структура торцевой поверхности реза - пористая с легко удаляемым гратом на нижней кромке реза. С повышением толщины металла качество торцевой поверхности реза ухудшается.

При резке латуни торцевая поверхность реза обладает пористой шероховатой структурой с легко удаляемым гратом в нижней части реза. С возрастанием толщины металла качество торцевой поверхности реза ухудшается.

В таблице 1 приведены толщины разрезаемых листов при мощности лазера 5кВт.

Таблица 1 – Толщины разрезаемых листов при мощности лазера 5кВт

Наименование	Толщина (мм)
Углеродистые и легированные стали	до 40
Нержавеющая сталь	25
Медь	5
Латунь	12
Сплавы алюминия	12

Преимущества и недостатки. Сфокусированное лазерное излучение позволяет разрезать почти любые материалы независимо от их теплофизических свойств. При этом можно получать качественные и узкие резы (шириной 0,1-1 мм) со сравнительной небольшой зоной термического влияния. При лазерной резке возникают минимальные деформации, как временные в процессе обработки заготовки, так и остаточные после ее полного остывания. В результате возможна резка с высокой степенью точности, в том числе нежестких и легкодеформируемых изделий. Благодаря относительно несложному управлению лазерным пучком можно выполнять автоматическую обработку плоских и объемных деталей по сложному контуру. Лазерная резка особенно эффективна для стали толщиной до 6 мм, обеспечивая высокое качество и точность при сравнительно большой скорости разрезания. Однако для металла толщиной 20-40 мм она применяется значительно реже кислородной или плазменной резки, а для металла толщиной свыше 40 мм - практически не используется.

Литература

1. Григорьянц, А.Г. Технологические процессы лазерной обработки. / А.Г. Григорьянц, И.Н. Шиганов, А.И. Мисюров. – М.: МГТУ, 2006. – 664 с.
2. Менушенков, А.П. Физические основы лазерной технологии. / А.П. Менушенков, А.П. В.Н. Неволин, В.Н. Петровский. – М.: НИЯУ МИФИ, 2010. - 212 с.

УДК 621.791

ЛАЗЕРНОЕ ЛЕГИРОВАНИЕ

Студенты гр. 10303221 Лю Бинь, Цзи Жуинь, Чжао Линбо

Научный руководитель – ст. преподаватель МСФ Кравчук М.А.

Белорусский национальный технический университет

Минск, Беларусь

С целью улучшения поверхностных свойств изделий проводят лазерное поверхностное легирование. Его осуществляют путем введения в заданные участки поверхности различных компонентов, которые, смешиваясь с

материалом основы, образуют сплавы или композиции требуемого состава. При этом обязательным условием является сохранение в обработанных лазером участках поверхности значительного количества атомов материала основы.

Таким образом, принципиальное отличие легирования от закалки состоит в изменении химического состава поверхностного слоя материала.

Актуальностью исследования импульсного лазерного легирования являются:

- практически неограниченные возможности модификации поверхности металлов;
- создание поверхностных слоев с износостойкими, высокотвердыми, температуростойкими свойствами;
- получение легированных слоев большой глубины (более 1 мм).

Преимущества лазерного поверхностного легирования заключаются в следующем:

- хорошая воспроизводимость параметров и свойств поверхностного слоя;
- большая скорость процесса и достижение высокого качества поверхностного слоя;
- экономия дорогостоящего легирующего материала;
- отсутствие необходимости в последующей термообработке

Присадочный материал может вводиться в зону как кусковой материал, фольга, проволока, прутки — которые легко наносятся на поверхность подложки, но большая часть энергии излучения при этом теряется на отражение. Использование порошкового присадочного материала позволяет несколько уменьшить отражение, однако в этом случае возникают проблемы закрепления порошка на поверхности и повышения коэффициента его использования. Подачу присадочных компонентов при легировании наиболее просто осуществлять из газовой или жидкой фазы.

Предварительное нанесение можно осуществлять газотермическим напылением, гальваническим и химическим осаждением, накаткой, диффузионным методом, электроискровым легированием, нанесением паст, насыпкой и др.

Лазерное легирование неметаллическими компонентами. Лазерное легирование неметаллическими компонентами углеродом, азотом и бором наибольшее распространение получило при использовании способа с нанесением на поверхность обмазок или паст и последующим оплавлением поверхности импульсным или непрерывным лазером. В этом случае

технологические режимы лазерного легирования определяются параметрами лазерной обработки и толщиной слоя пасты. С повышением мощности излучения или энергии импульса, уменьшением скорости обработки и увеличением длительности импульса размеры легированных зон возрастают, а концентрация легирующих элементов в них снижается. С увеличением толщины слоя пасты размеры легированных зон уменьшаются, а концентрация легирующего элемента повышается.

Для каждой толщины слоя имеются критические режимы, при которых энергия лазерного излучения расходуется только на нагрев поверхности до температуры плавления, легирования в этом случае не происходит. Отмечено, что при лазерном легировании с перекрытием зон обработки микротвердость в зонах повторного нагрева снижается значительно меньше, чем при термоупрочнении.

Металлургические особенности лазерного легирования. Процесс лазерного легирования требует совместного плавления легирующего компонента и основной матрицы и заключается в введении в тонкий поверхностный слой соответствующих легирующих компонентов. После совместного плавления предварительного нанесенного слоя и основы образуется модифицированный поверхностный слой с уникальными свойствами. Так, например, твердость стальной поверхности достигает значений твердости твердого сплава, значительно возрастает теплостойкость, а главное данный слой возможно создать в локальном месте. Нет необходимости в объемном упрочнении всей детали, нет разогрева, поводок и короблений.

В зависимости от характера работы изделия можно создавать поверхностные слои глубиной до 1 мм с использованием стандартных лазеров небольшой мощности.

Вывод. Лазерное легирование позволяет эффективно модифицировать поверхность деталей как в тонком приповерхностном слое (до 100 мкм), так и в слоях с большой глубиной залегания примеси (до 5 мм).

Литература

1. Григорьянц А. Г., Шиганов И. Н., Мисюров А. И. Технологические процессы лазерной обработки. М.: МГТУ, 2006. 664 с.
2. Криштал М.А., Жуков А.А., Кокора А.Н. Структура и свойства сплавов, обработанных излучением лазера. М.: Металлургия. 1973. 192 с.

3. Рыкалин Н.Н., Углов А.А., Зуев И.В., Кокора А.Н. Лазерная и электронно-лучевая обработка материалов. Справочник. - М.: Машиностроение. 1985. 496 с.
4. Гуреев Д.М., Ямщиков С.В. Основы физики лазеров и лазерной обработки материалов. Самара: Изд. Самарского университета, 2001. - 392 с.

УДК 621.791.72

ЛАЗЕРНАЯ СВАРКА

Студенты гр. 10303221 Лю Лян, Го Вэй, Чжао Линбо

Научный руководитель – ст. преподаватель МСФ Кравчук М.А.

Белорусский национальный технический университет

Минск, Беларусь

Лазерная сварка является инновационным методом обработки металлов. Суть этого метода в том, что в качестве энергетического источника используется луч лазера. Такая технология имеет очень широкую сферу применения, так как обладает множеством преимуществ. Она может быть использована при работе одинаковыми и разными С металлами, активно применяется в электронной технике и радиоэлектронике.

Принцип действия лазерной сварки сводится к тому, что лазерное излучение направляют в фокус, где из него создается пучок, который и попадает на свариваемые детали. Пучок попадает внутрь металла, поглощается им, нагревает металл, вследствие чего происходит плавка возникает сварочный шов.

Удобство метода состоит в том, что такую сварку производят путем частичного или полного проплавления, в любом положении, под любым углом. Процесс лазерной сварки может производиться периодами или же быть непрерывным. Он подойдет как для работы с тонкими листами металла, так и для крупногабаритных деталей. При работе с изделиями малой толщины процесс сварки осуществляется с расфокусировкой лазерного луча.

Для выполнения сварки с помощью лазера применяется следующее оборудование:

- источник лазерного излучения;
- блок транспортировки и системы для фокусировки луча;
- при необходимости наличие газовой среды для защиты металла;
- система для перемещения луча и самого изделия.

Аппараты лазерной сварки металлов. Все аппараты лазерной сварки металлов работают в импульсном или непрерывном режиме.

Аппараты с твердым активным элементом отличаются от устройств на основе активной среды из газов длиной излучающей волны. У них она короче и мощность излучения слабее газовых устройств.



Рисунок 1 – Аппарат лазерной сварки

Лазеры с твердым активным элементом. Твердотельные аппараты функционируют в основном с помощью импульсного лазера, но иногда может использоваться непрерывный и импульсный рабочий режим.

В свою очередь аппараты, использующие для работы активную газовую среду, функционируют как в непрерывном, так и импульсном режиме. Это оборудование является более мощным, работающим при высоком напряжении.

Особенности сварки лазером тонкостенных металлов. В отличие от толстостенных металлов, которым для успешного соединения требуется глубокое расплавление, для тонких металлов глубина проплавления существенный фактор. При лазерной сварке тонких металлов с ней нельзя переборщить.

Параметры, влияющие на эту величину, это:

- мощность лазерного излучения;
- скорость выполнения работы;
- степень фокусировки луча лазера.

Технология проведения сварки с помощью лазера для различных сплавов металлов имеет свои особенности.

Например, перед проведением работ со стальными изделиями их нужно обязательно очистить: снять окалину, избавиться от коррозии.

Также соединение деталей можно осуществлять с помощью ручной лазерной сварки. Представляет собой миниатюрный станок, с помощью которого можно провести:

- ремонт миниатюрных помощью сварки изделий, например, ювелирных, оправы для очков;
- точечную спайку (сварку) в стык;
- наплавку;
- ремонт пресс-форм;
- обрабатывать предметы медицинского назначения;
- сварочные работы в области Микроэлектроники.

В заключении скажем о преимуществах: к ним относятся возможность дозировать подаваемую энергию в очень большом диапазоне. Это позволяет создавать высококачественные сварные соединения любых поверхностей. С помощью газовых лазеров можно получить большую глубину оплавления, при этом термическое повреждение не расходится вширь, что очень важно при производстве радиотехнических деталей малого размера. Управление лазерным потоком с помощью системы зеркал и отражателей позволяет достигнуть труднодоступных мест и участков.

А к недостаткам относится то, что лазерная технология является новейшей и обладает малым КПД. высокой стоимостью на производство и оборудования.

Лазерный способ сварки металлов сегодня особенно востребован во многих областях. С помощью этой технологии можно бесконтактно соединять материалы с разными свойствами. Это электрохимическими позволяет проводить работы в труднодоступных местах. Работы можно проводить на малых площадях с большой точностью.

Литература

1. Усов С.В., Вячеславова О.Ф., Свириденко Д.С. и др. Нетрадиционные методы обработки деталей машин, созданные на основе информационных технологий. М.о., г. Подольск: Славянская школа, 2010 г., 150с
2. Усов С.В., Коротков И.А., Свириденко Д.С. и др. Лазерные технологические методы в машиностроении. М.о., г. Подольск: Сатурн-С, 2007,142 с.
3. Банов, М.Д. Специальные способы сварки и резки / М.Д. Банов, В.В. Масаков, Н.П. Плюснина. – Москва : Издательский центр "Академия", 2009. – 207 с..

4. Osvarka.com [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://osvarka.com/vidy-i-sposoby-svarki/lazernaya-svarka>. – Дата доступа: 27.04.2021.

УДК 621.38

ЛАЗЕРНАЯ ОЧИСТКА

Студенты гр. 10303221 Чжан Хэ, Гао Мин, Дай Цзин
Научный руководитель – ст. преподаватель МСФ Кравчук М.А.
Белорусский национальный технический университет
Минск, Беларусь

Лазерная очистка представляет собой эффективный метод удаления частиц различных материалов и размеров, пленок и покрытий с поверхности твердых тел. Проблемы очистки поверхностей от примесей и загрязняющих веществ в виде мелких частиц и пленок встают во многих областях человеческой деятельности: промышленности, строительстве, искусстве, медицине и т.п. Характерным примером является микроэлектроника: в результате постоянно возрастающей интеграции становится актуальной задача очистки поверхностей от частиц субмикронных размеров. Область применения лазерной очистки постоянно расширяется, причем ряд применений связан не только с достаточной мощностью лазерного излучения, но также с возможностью его проникновения в вакуумированные объемы и внутрь сложных конструкций (например, при очистке труб от коррозии и т.п.).

Лазерная очистка — химически чистый и недорогой процесс, который позволяет удалять широкий спектр примесей, включая такие, которые не удаляются традиционными способами, в частности, глубоко внедренные частицы и „толстые“ органические пленки [1]. Нижний предел размера удаляемых частиц при лазерной очистке меньше 0,1 мкм. Таким образом, некоторые задачи, связанные с очисткой, принципиально невозможно решить, не прибегая к лазерным методам, например, очистка кремниевых подложек от частиц субмикронных размеров в микроэлектронике или удаление некоторых видов загрязнения при реставрационных работах

Применение лазерной очистки является альтернативой абразивным и электрохимическим способам очистки.

По оптимистичным прогнозам, в ближайшие годы доля лазерных технологий в металлообработке составит 50%. Лазерные технологии имеют хорошие перспективы для замены абразивных, химических, механических способов подготовки поверхностей для нанесения защитных покрытий

Сущность метода лазерной очистки заключается в том, что при воздействии на поверхность импульсом лазера достаточной мощности излучение поглощается в тонком поверхностном слое, вызывая испарение и ионизацию вещества, которое вылетает с поверхности в виде плазменного факела. При этом для сбора разлетающихся частиц используются специальные коллекторы.

Различают технологии сухой и влажной лазерной очистки, основанные на импульсном лазерном нагреве поверхностей — соответственно сухих или в присутствии тонкого слоя жидкости, нанесенного на поверхность перед облучением. При увеличении энергии импульса излучения сухая очистка переходит в очистку испарением. Технология сухой лазерной очистки отличается технической простотой, однако ее эффективность ниже, чем влажной, а необходимая энергия лазерного излучения (при использовании импульсов наносекундного диапазона) — выше [2]. Энергетические пороги влажной лазерной очистки в 2—3 раза ниже, чем сухой [3]. В ряде случаев сухая лазерная очистка сопровождается локальными повреждениями поверхности [2]. Когда указанные недостатки сухой очистки оказываются существенными, используют влажную.

Лазерные установки могут применяться:

- при ручной очистке,
- для очистки на металлообрабатывающих станках,
- для очистки с применением роботов



Рисунок 1 – Рюкзаковая мобильная установка РЛ-50 и МЛ-150

Технические характеристики

РЛ-50

предназначен для бесконтактной очистки металлоконструкций от масла, пыли, окисных пленок.

Может применяться для выполнения работ в труднодоступных местах, и стесненных условиях.

Потребляемая мощность до	1 кВт
Напряжение питания	24В
Чистота обработки	Sa 2.1\2
Скорость очистки	0,1- 10 кв.м/час (зависит от сложности загрязнений)
Вес ранца с лазерным излучателем - не более	11,5 кг
сканирующей системы не более	4,5 кг
Ресурс работы лазера	100000час

Оптическая система может управляться роботом, оператором в ручном режиме, либо размещаться на станке.

МЛ-150

предназначен для бесконтактной очистки металлоконструкций от ржавчины, краски, окалины.

Может применяться для выполнения работ во всепогодных условиях.

Потребляемая мощность до	2 кВт
Напряжение питания	220 В
Чистота обработки	Sa 2.1/2
Скорость очистки	0,1- 10 кв.м/час (зависит от сложности загрязнений)
Вес лазерного излучателя с корпусом не более	70 кг
сканирующей системы не более	4,5 кг
Ресурс работы лазера	100000 час

Оптическая система может управляться роботом, оператором в ручном режиме, либо размещаться на металлообрабатывающем станке.

Рисунок 2 – Технические характеристики ранцевых мобильных установок



Рисунок 3 – Обработка поверхности детали на станке

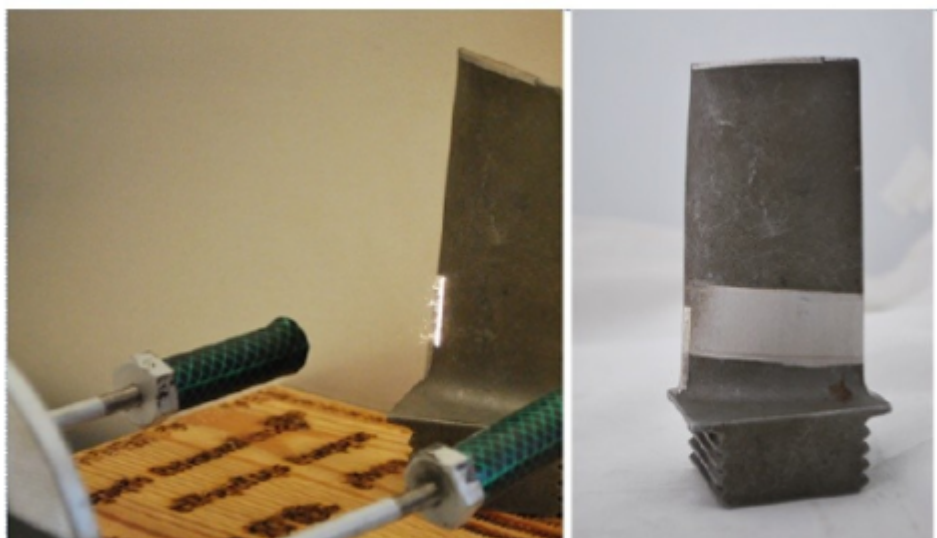


Рисунок 4 – Очистка поверхности турбинных лопаток от эксплуатационных загрязнений с применением ранцевого РЛ-50 и мобильного МЛ-150 лазеров

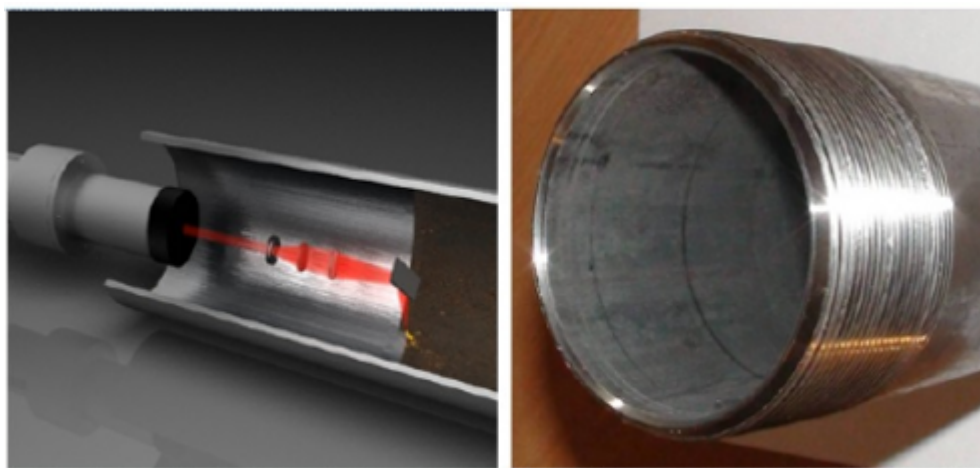


Рисунок 4 – Очистка внутренних поверхностей НКТ

В заключении нужно отметить, что установка лазерной очистки представляет интерес в качестве метода удаления окалины и поверхностных загрязнений, возникающих на поверхности металла в процессе сварки. Значительную часть времени работы сварщика занимает подготовка металла под сварку и удаление нагара после сварки. Применение данной технологии позволит не только сократить время на очистку поверхности металла и сварочного шва, но и позволит более качественно зачищать предыдущие слои при сварке многослойных и многопроходных швах.

Наибольший интерес представляет закрепление установки лазерной очистки на сварочных роботах и автоматах, что позволит повысить качество сварки и устранил необходимость последующей очистки изделия перед покраской. Что позволяет решить использование мобильных лазерных установок. Экспериментальное подтверждение эффективности использования

лазерной очистки для сварки многослойных и многопроходных швов будет приведено в последующих статьях.

Литература

1. Lu Y. F., Ren Z. M. Laser microprocessing and the applications in microelectronics industry // Proc. SPIE. 2000. Vol. 4157. P. 191—199. 2.
2. Oltra R., Arenholz E., Leiderer P. et al. Modelling and diagnostic of pulsed laser–solid interaction. Applications to laser cleaning // Proc. SPIE. 2000. Vol. 3885. P. 499—508.
3. Boneberg J., Mosbacher M., Dobler V., Leiderer P. Dry and steam laser cleaning of Si surfaces: efficiencies and problems // Proc. IX Int. Conf. on Laser-Assisted Microtechnology. St.-Petersburg, Russia, 2000. P. 43—44.
4. Филипов А.И. Лазерная очистка металла / А.И. Филипов, А.В. Шапарев // Поколение будущего: взгляд молодых ученых-2019. Сборник научных статей 8-й Международной молодежной научной конференции, в 6-х томах. Том 5. – Курск, 2019. – С. 229-232.
5. Лазерная очистка металла от ржавчины. – [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://vt-metall.ru/articles/836-lazernaya-ochistka-metalla-ot-rzhavchiny>.

УДК 621.785

ЛАЗЕРНОЕ УПРОЧНЕНИЕ

Студенты гр. 10303221 Сяо Юйхао, Ван Минян, Чэнь Сьюй

Научный руководитель – ст. преподаватель МСФ Кравчук М.А.

Белорусский национальный технический университет

Минск, Беларусь

Лазерная закалка находит применение в промышленности для поверхностного упрочнения и повышения износостойкости прокатных валков и штампового инструмента. Однако наряду с тяжелонагруженными деталями существует большая номенклатура изделий, которые работают в условиях повышенного износа, но незначительных удельных нагрузок. При эксплуатации штампового инструмента, работающего в условиях единичного и мелкосерийного производства, на первое место выходит проблема снижения стоимости изготовления оснастки. Проблему можно решить за счет замены

объёмной упрочняющей термообработки новым высокотехнологичным методом — лазерной поверхностной закалкой.

Лазерная закалка обеспечивается двумя физическими процессами:

1. Лазерный луч нагревает внешние слои заготовки, со скоростью около 730 °С в секунду.

2. Быстрое охлаждение предохраняет металл от возврата в исходную структуру и создает очень жесткую мартенситную структуру.

Данная технология обеспечивает высокое качество упрочненного слоя с требуемой устойчивой структурой, с высокой твердостью и износостойкостью обработанной поверхности, с большой равномерностью и стабильностью глубины и твердости.

Лазерному термоупрочнению могут быть подвержены изделия из различных сталей. Характеристики некоторых изделий после лазерного термоупрочнения приведены в таблице 1.

Таблица 1 - Примеры результатов термоупрочнения

№	Название детали	Матрица	Исходная твердость HRC	Твердость после обработки HRC	Глубина упрочненного слоя мм
1	Вал	Сталь 40X	15	52-58	1,5
2	Направляющая	Сталь 45	15	45-50	1,5
3	Вал	Сталь 40ХН2МА	18-24	50-55	1,2-1,4
4	Било	110Г13ФТЛ	18-23	50-60	2,5-3
5	Молоток	3010Л	16-22	50-60	2,5-3
6	Матрица	P6M5	52-40	58-60	0,2
7	Пуансон-игла	9ХС	35-40	60-65	0,4
8	Ниппель НЗ-147	40ХН2МА	20	54-56	0,5-1
9	Переводник	40ХН	20-25	50-55	1,2-1,4
10	Ниппель 3-147	15Х3ГЗМФС	24-36	37-39	0,5
11	Муфта	40ХМФА	24	55-59	1,8-2
12	Ниппель	40ХМФА	24	56-60	0,5
13	Валок	70ХЛ	30	59-61	1,5

Следует отметить, что технологии лазерного термоупрочнения могут быть эффективно внедрены в производственные процессы машиностроительных предприятий

Лазерная закалка и традиционные методы закалки отличаются по различным аспектам, включая процесс, точность, воздействие на окружающую среду и результаты.

Процесс. Лазерная закалка использует высокоэнергетический лазерный луч для быстрого нагрева быстро изнашиваемой поверхности. Традиционные методы, такие как индукционная или пламенная закалка работают с помощью электрического тока или открытого пламени, с последующей закалкой в жидкой среде.

Точность. Лазерная закалка обеспечивает большую точность, позволяя целенаправленно закаливать определенные участки без воздействия на окружающий материал. Традиционные методы часто приводят к увеличению зоны термического влияния, что может привести к деформации или нежелательным изменениям свойств материала.

Скорость. Лазерная закалка — это быстрый процесс, нагрев и охлаждение происходят в течение миллисекунд. Традиционные методы обычно требуют более длительного времени нагрева и охлаждения, что может привести к увеличению потребления энергии и времени производства.

Глубина закалки. Лазерная закалка проникает неглубоко, от микрометров до нескольких миллиметров. Традиционные методы, такие как науглероживание или азотирование, позволяют достичь более глубокой закалки.

Бесконтактность. Лазерная закалка — это бесконтактный процесс, снижающий риск загрязнения и деформации. Традиционные методы закалки могут включать физический контакт между источником тепла и деталью, что потенциально может привести к деформации материала.

Примеры использования лазерного упрочнения в различных отраслях представлены ниже.



Рисунок 1 – Лазерное упрочнение в железнодорожном машиностроении



Рисунок 2 – Обработка особо изнашиваемых узлов



Рисунок 3 – Криогенное оборудование



Рисунок 4 – Узлы насосов, теплообменники

В результате следует отметить, что существуют некоторые ограничения лазерной заделки:

1. Пригодность материала

Не все материалы подходят для лазерной заделки. Процесс наиболее эффективен для материалов с высокой скоростью поглощения и достаточной температурой превращения. Некоторые материалы, особенно цветные

металлы или материалы с низким коэффициентом поглощения, могут плохо реагировать на лазерную закалку.

2. Первоначальные инвестиции и затраты на установку

Оборудование для лазерной закалки может быть дорогим, причем первоначальные инвестиции могут быть выше, чем у традиционного закалочного оборудования. Кроме того, для настройки и интеграции систем лазерной закалки в существующие производственные линии могут потребоваться специальные знания и дополнительные ресурсы.

3. Сложность процесса

Точный контроль параметров лазера, таких как мощность, скорость сканирования и перекрытие луча, имеет решающее значение для достижения желаемых результатов закалки. Для эффективной работы необходимы квалифицированные операторы и современные системы мониторинга процесса.

4. Зона термического влияния

Лазерная закалка уменьшает зоны термического влияния по сравнению с традиционными методами, но все же существует риск микроструктурных изменений или нежелательного влияния на свойства материала. Тщательный контроль параметров лазера необходим для минимизации этих рисков.

5. Ограниченная глубина закалки

Закалка может составлять от нескольких микрометров до нескольких миллиметров. Этого может быть недостаточно для определенных применений, требующих глубокой закалки корпуса. Для достижения требуемой глубины могут потребоваться альтернативные методы, такие как науглероживание или азотирование.

6. Риск перегрева и прожиг

Из-за быстрого нагрева при лазерной закалке существует риск перегрева, если параметры лазера не контролируются должным образом. Это может привести к повреждению детали и снижению производительности.

7. Ограничения по размеру

Лазерная закалка лучше всего подходит для деталей малого и среднего размера или локальной закалки определенных участков. Процесс может быть менее эффективным или более трудоемким для крупногабаритных деталей.

8. Неравномерное упрочнение поверхности

В некоторых случаях процесс лазерной закалки может привести к неравномерному упрочнению по всей обрабатываемой поверхности. Это может быть вызвано изменением поглощающих свойств материала или несоответствием траектории сканирования лазерного луча.

Литература

1. Борозинец В.Э. Костромин С.В. Исследование структуры и свойств инструментальных сталей после лазерного упрочнения // Современные инновации в науке и технике: Материалы 3-й Международной научно-практической конференции (17 апреля 2013 г.) Курск: Юго-Западный государственный университет, 2013. — С. 28—31.
2. Гаврилов Г.Н., Костромин С.В., Калинин А.Б., Пейганович В.Н., Ермаков Д.Ю. Лазерные технологии повышения стойкости прокатных валков // Современные проблемы науки и образования. — 2013. — № 4; [Электронный ресурс] — Режим доступа. — URL: <http://www.scienceeducation.ru/110-9861> (дата обращения: 19.10.2013).
3. Костромин С.В. Влияние исходной структуры стали на несущую способность поверхностных слоев после лазерной обработки // Сборник научных трудов SWorld по материалам международной научно-практической конференции. — 2013. — Том 6. — № 1. — С. 37—40.

УДК 621.793

ПЯТИОСЕВАЯ ОБРАБОТКА СЛОЖНОПРОФИЛЬНЫХ ДЕТАЛЕЙ НА ВЕРТИКАЛЬНО-ФРЕЗЕРНОМ СТАНКЕ МОДЕЛИ AFVINC

Студенты гр. 10303122 Янь Вэньжуй, Ван Дин и ст. гр. 10303221 Лю Бинь

Научный руководитель – ст. преподаватель МСФ Кравчук М.А.

Белорусский национальный технический университет

Минск, Беларусь

В последние десятилетия технологии обработки металлов претерпели значительные изменения, и одним из наиболее перспективных направлений является пятиосевая обработка. Этот метод позволяет значительно повысить точность и качество изготовления сложнопрофильных деталей, что особенно важно в таких отраслях, как авиастроение, автомобилестроение и медицинская техника. В данной статье мы рассмотрим основные аспекты пятиосевой обработки на вертикально-фрезерных станках, включая технологические возможности, процесс подготовки, проблемы и перспективы развития.

Пятиосевая обработка — это использование ЧПУ для перемещения детали или режущего инструмента по пяти различным осям одновременно. Такая обработка позволяет изготавливать очень сложные детали, и именно

поэтому она особенно популярна, например, в аэрокосмической отрасли или машиностроении.

Однако, несколько факторов способствовали широкому применению 5-осевой обработке больше всего. Среди них:

- максимальная приближенность к принципу – одна обработка за одну установку (иногда называемой «сделано за один раз»), что сокращает время выполнения и повышает эффективность;
- удобство доступа к сложным частям геометрии изделия и возможность избежать столкновения с держателем инструмента благодаря возможности наклонять режущий инструмент или стол;
- оптимизация и улучшение срока службы инструмента станка и времени цикла обработки. Это достигается путем наклона инструмента или стола, в результате чего поддерживается оптимальное положение и траектория резки.

Оси А, В и С расположены в алфавитном порядке, чтобы соответствовать осям X, Y и Z. Хотя существуют 6-осевые станки с ЧПУ, конфигурации с пятью- осями являются более распространенными, поскольку добавление шестой оси обычно дает не очень много дополнительных преимуществ (нет оси В).

В вертикальном обрабатывающем станке оси X и Y находятся в горизонтальной плоскости, а ось Z - в вертикальной плоскости. В горизонтальном обрабатывающем станке оси Z и Y меняются местами. Смотрите схему ниже:

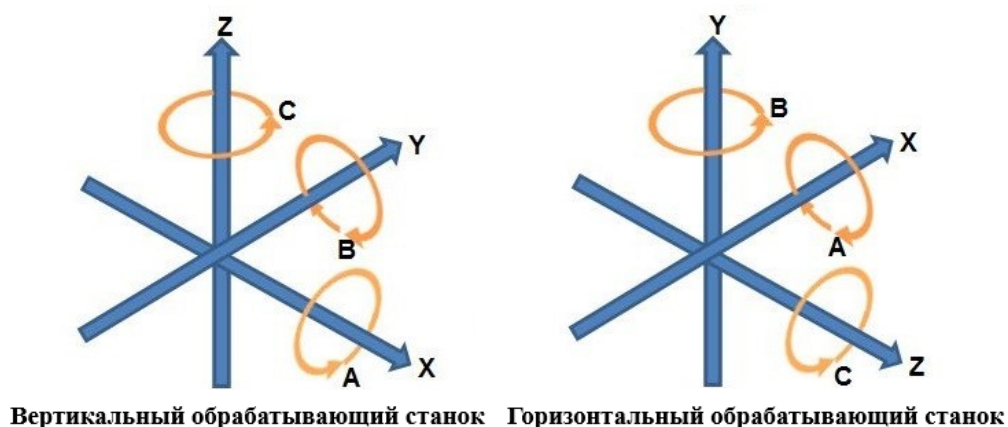


Рисунок 1 – Направление осей в зависимости от типа обрабатывающего станка

Использование 5-осевых фрезерных станков даёт некоторое преимущество по сравнению с «привычными» трёх-осевыми фрезерными

станками в вертикальном либо горизонтальном исполнении оси вращения шпинделя.

Добавление двух основных осей (наклон шпинделя влево или вправо) и вращение заготовки вокруг горизонтальной (токарный станок) либо вертикальной оси даёт возможность изготовления деталей сложных профилей за одну установку, сэкономяв время фрезеровки не уменьшая точность.

Как правило, пяти-осевые фрезерные обрабатывающие центры имеют следующие преимущества по сравнению с обрабатывающими трёх-осевыми центрами:

- можно гарантировать точность внутреннего профиля поверхности детали
- отсутствие переустановки сокращает время обработки и исключает возможность брака по вине оператора

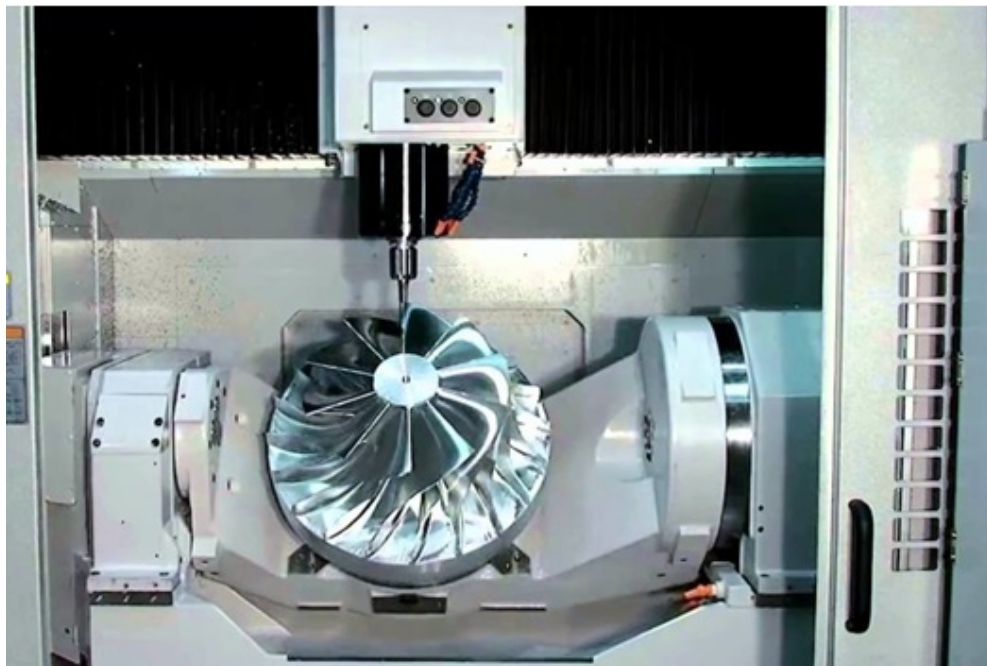


Рисунок 2 – Станок с поворотным столом с механическим приводом



Рисунок 3 – Поворотный стол и подвод СОЖ



Рисунок 3 – Образцы изготовленных деталей

Преимущества пятиосевой обработки

1. Высокая точность: Пятиосевая обработка позволяет минимизировать ошибки, связанные с установкой детали, благодаря чему достигается высокая точность обработки.

2. Снижение времени обработки: Обработка сложных деталей в одну установку сокращает время на переналадку и перемещение детали между станками.

3. Улучшение качества поверхности: благодаря возможности оптимизации траектории резания достигается более качественная поверхность без необходимости дополнительных операций.

Процесс подготовки и программирования

Подготовка к пятиосевой обработке начинается с создания 3D-модели детали в CAD-системах. После этого модель импортируется в САМ-систему, где происходит программирование траекторий движения инструмента.

Программирование

Программирование пятиосевых траекторий требует особого подхода. Важно учитывать:

- выбор инструментов в зависимости от материала и сложности детали.
- оптимизацию параметров резания (скорость, подача, глубина резания).
- учет возможных столкновений инструмента с деталью или заготовкой.

Современные САМ-системы предлагают автоматизированные решения для генерации траекторий, что значительно упрощает процесс программирования.

Проблемы и решения при пятиосевой обработке

Несмотря на многочисленные преимущества, пятиосевая обработка сталкивается с рядом проблем:

1. Вибрации: при высоких скоростях обработки могут возникать вибрации, которые негативно влияют на качество поверхности и точность. Для их минимизации необходимо использовать качественные инструменты и оптимизировать параметры резания.

2. Сложность настройки: Настройка пятиосевого станка требует высокой квалификации оператора. Обучение персонала и использование интуитивно понятного интерфейса программного обеспечения могут помочь решить эту проблему.

3. Контроль качества: для обеспечения высокого качества обработанных деталей необходимы современные методы контроля, такие как 3D-сканирование и использование измерительных машин.

Перспективы развития технологий

С развитием технологий наблюдается тенденция к интеграции пятиосевых станков с системами автоматизации и искусственным интеллектом. Это позволит:

- Уменьшить время на настройку и запуск производства.
- Повысить уровень автоматизации процессов.
- Оптимизировать параметры обработки в реальном времени.

Пятиосевая обработка сложнопрофильных деталей на вертикально-фрезерных станках представляет собой мощный инструмент для повышения эффективности производства. Несмотря на существующие вызовы, преимущества этого метода делают его незаменимым в современном машиностроении. Инвестиции в технологии и обучение персонала являются ключевыми факторами успешного внедрения пятиосевой обработки в производственные процессы. Будущее этой технологии выглядит многообещающе, особенно в контексте стремительного развития цифровизации и автоматизации производства.

УДК 621.791.927

ВОССТАНОВЛЕНИЕ ДЕТАЛЕЙ МАШИН ПЛАЗМЕННЫМ МЕТОДОМ

Студенты Ян Ао, Лян Цзинь Сун

Научный руководитель – ст. преподаватель МСФ Кравчук М.А.

Шэньянский технологический институт

Шэньян, Китай

Восстановлению поддаётся любая деталь с любыми дефектами. Однако ремонтируют не все дефектные детали. Решающим здесь является экономический фактор. Чем деталь дороже, тем целесообразнее её восстанавливать. Исключение может быть сделано для деталей, которые по каким-либо причинам трудно изготовить (в частности, для импортного оборудования).

Основой ремонтного производства является восстановление деталей. От правильного выбора способа восстановления в значительной мере зависят технические и экономические показатели ремонта.

Плазменная обработка является одним из передовых методов восстановления и упрочнения деталей машин.

В последнее время плазменную обработку все шире применяют для восстановления и упрочнения изношенных деталей.

Высокотемпературный и сильно ионизированный газ, образующий плазму (аргон, азот), пропускают через узкий канал, в котором действует дуговой разряд между двумя электродами, из которых один не плавящийся (из вольфрама).

Под плазменным напылением (часто используется другое название – металлизация) понимается технология нанесения специального покрытия - или защитного для нового производства, или восстанавливающего для ремонта - на поверхность детали. Обязательным составляющей процесса выступает использование так называемого плазменного пламени, которое образуется в результате ионизации аргона или другого инертного газа из-за воздействия электрического разряда.

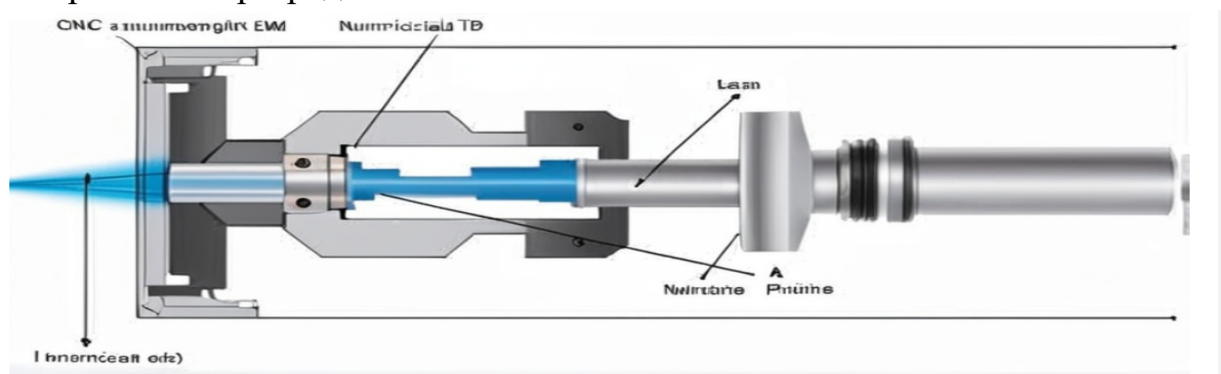


Рисунок 1 – Устройство плазменного напыления

Это позволяет сформировать плазменное облако, высокая температура которого плавит, испаряет и направляет на основание напыляемый исходный материал.

Общая схема технологического процесса предусматривает последовательное выполнение следующих этапов:

9. Создание струи плазмы.

10. Ввод металла, сплава или другого напыляемого материала в плазменное пламя с последующим нагревом и ускорением.

11. Взаимодействие частиц расплавленного вещества и струи плазмы с основой.

Столб электрической дуги сжимается газом, что способствует подъему его температуры до 16000–17000 0С и более. Благодаря тому, что в малом пространстве выделяется большое количество тепла, происходит ионизация плазмообразующего газа.

Плазменную струю получают в специальной плазменной горелке, или, иначе, плазмотроне. Плазменной струе присуща не только высокая

температура факела, но и концентрация большой тепловой мощности в малых объемах, благодаря чему участки перегрева в 3–5 раза меньше, чем при электродуговой сварке, и в 10–30 раз меньше, чем при газовой сварке

В результате зоны термического влияния при плазменной обработке соответственно меньше, чем при электродуговой и газовой сварке, в 3–5 раз. Все это позволяет получить наплавленный слой толщиной от 0,1 мм до нескольких миллиметров

Также плазменная струя может расплавить любой из известных материалов: применяемые газы — негорючие; процесс протекает с большой скоростью и производительностью и может выполняться в различных средах, в том числе и под водой.

В качестве присадочного материала чаще всего используются тугоплавкая высокотвердая проволока (пруток) или порошок, обеспечивающие получение износостойких покрытий

Присадочный материал вводят в поток плазмообразующего газа (порошок) через канал плазмотрона или за срезом его медного сопла, здесь он расплавляется и сжатым воздухом направляется на поверхность частицы, деформируется, взаимодействует и формируется в слой покрытия.

Универсальность плазменного напыления покрытий заключается в возможности нанести на поверхность самые разные металлы и их оксиды. Обычно - в виде проволоки (легированной, высокоуглеродистой и т.д.) или порошка.

Кроме того, использование так называемой низкотемпературной плазмы позволяет напылять специальные покрытия на самые разные материалы, включая фарфор, стекло, древесину и даже ткани. Общий принцип плазменного напыления предполагает, что защитный или восстанавливающий слой создается из металла или сплава с более высокими характеристиками, чем у основания. Причем речь может идти о самых разных свойствах, включая:

Можно выделить несколько основных сфер применения установок плазменного напыления. В их число входят детали, комплектующие и конструкции следующих отраслей промышленности: авиационная, ракетная и космическая, угольная, нефтедобывающая и нефтеперерабатывающая.

Установка для плазменной обработки (рисунок 2) состоит из плазмотрона, системы его электрообеспечения, подачи присадочного материала, управления, газоснабжения, водоохлаждения электродов и контроля.

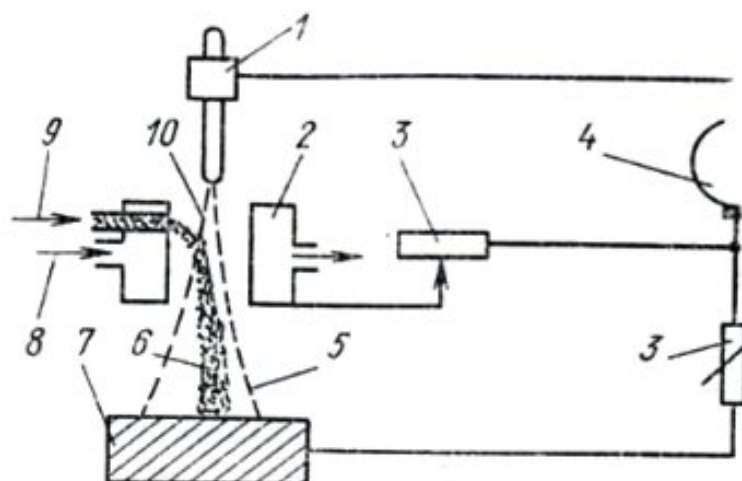


Рисунок 2 – Схема установки для плазменной наплавки порошковым материалом: 1 — вольфрамовый электрод; 2 — сопло плазмоторна; 3 — электросопротивление; 4 — источник электропитания; 5 — плазменная струя; 6 — плазменный факел; газ и частицы присадочного материала; 7 — восстанавливаемая деталь; 8 — система подачи воды для охлаждения электродов; 9 — газ, транспортирующий порошок; 10 — плазмообразующий газ.

Рассмотрим для примера плазменное упрочнение вала поверхностной закалкой. Обычно для упрочнения трущуюся поверхность вала закалывают токами высокой частоты (ТВЧ) или газовым пламенем. Для применения ТВЧ требуется дорогое оборудование и индукторы для каждого размера и конфигурации вала. При применении газового пламени для поверхностного нагрева и закалки трудно контролировать и регулировать температуру и глубину закалки, поэтому наблюдается перегрев поверхностных слоёв вала. В этих условиях процесс трудно автоматизировать и даже механизировать.

Плазменное упрочнение вала поверхностной закалкой свободно от указанных недостатков, присущих другим способам. Плазменное поверхностное закалывание ведут по схеме, изображённой на рисунке 3. Здесь используют плазмоторн 3, укрепленный на каретке станка. Ему придают продольное перемещение (слева направо). Упрочняемый вал 1, закрепленный в центрах станка, имеет вращательное движение. С плазмоторном на каретке укреплен разбрызгиватель воды 2, который перемещается вместе с плазмоторном, охлаждает и закаляет нагретую поверхность вала

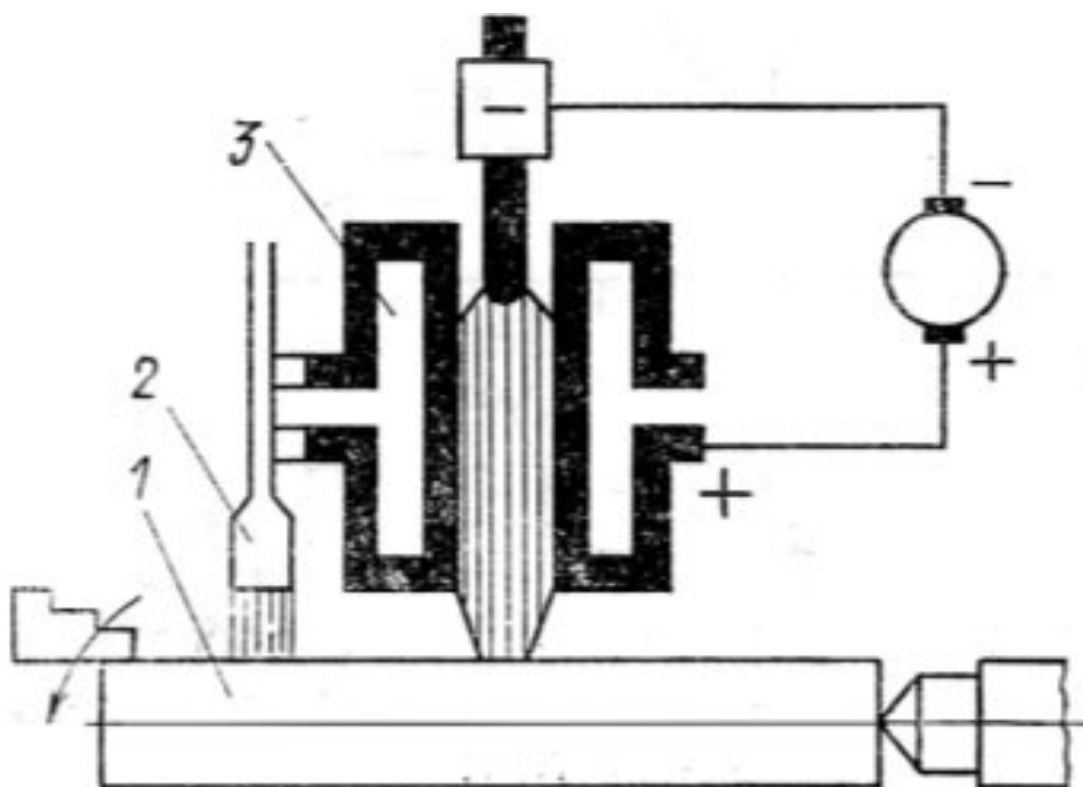


Рисунок 3 – Схема установки для упрочнения ремонтируемых валов плазменным способом:

1 — вал; 2 — разбрызгиватель воды; 3 — плазмотрон

Литература

1. Исследование толщины упрочненных слоев на покрытиях, полученных способами напыления. Ю.А. Кузнецов, И.Н. Кравченко, Т.А. Чеха, Д.Т. Абдумуминова Все материалы. Энциклопедический справочник. 2020. № 4. С. 38-42.
2. Способы упрочнения и восстановления поверхностей деталей машин: пособие для студентов специальности 1-36 01 01 «Технология машиностроения» / Белорусский национальный технический университет, Кафедра «Технология машиностроения» ; сост.: И. О. Сокоров [и др.]. – Минск: БНТУ, 2022. – 62 с.
3. Астапчик С.А., Голубев В.А., Маклаков А.Г., Лазерные технологии в машиностроении и металлообработке, - Минск: Белорус. наука, 208-251, с.
4. Евдокимов В.Д. Технология упрочнения машиностроительных материалов: НГГУ им. Петра Могилы, 2005-352, с.

СПОСОБЫ ВОССТАНОВЛЕНИЯ ДЕТАЛЕЙ МАШИН (ГАЗОТЕРМИЧЕСКОЕ МЕТОДЫ ВОССТАНОВЛЕНИЯ)

Студенты Ли Юань Хао, Го Ши Лон

Научный руководитель – ст. преподаватель МСФ Кравчук М.А.

Шэньянский технологический институт

Шэньян, Китай

Восстанавливать изношенную деталь это значит - восстановить первоначальные или близкие к ним геометрические, физико-механические, физико-химические и другие ее характеристики (свойства), т.е. устранить эксплуатационные дефекты, восстановить размеры, геометрическую форму, структуру и физико-механические свойства во соответствии с техническими условиями.

Восстановление деталей важнейшая задача ремонтного производства. Работоспособность и ресурс восстановленных деталей составляет среднем 60...80% этих показателей для новых.

Экономическая целесообразность восстановления деталей определяется тем, что большая часть их выходит из строя в следствии износа рабочих поверхностей с незначительной потерей металла по весу (не более 0,2...0,3%). При производстве автомобильных деталей расходы на материал и изготовление заготовки составляет 70...75% от полной себестоимости их производства. При восстановлении деталей большинство известных способов расходы на ремонтные материалы не превышают 3...8%, иногда вообще отсутствуют. Заготовкой при восстановлении является сама деталь. Восстановление деталей по сравнению с производством новых запасных частей дает значительный экономический эффект.

В производственных условиях разработаны и реализованы десятки различных способов восстановления деталей. К ним относятся:

- механическая и слесарно-механическая обработка (метод ремонтных размеров, дополнительных ремонтных деталей, и т.д.);
- сварка и наплавка (газовая, электродуговая, автоматическая под слоем флюса, в среде защитных газов, в среде водяного пара, вибродуговая, с комбинированной защитой расплавленного металла и др.);
- газотермическое напыление (газопламенное, электродуговое, высокочастотное, плазменное, детонационное);

- гальванические и химические процессы (железнение или твердое отливание, хромирование, меднение, шинкование, электролитическое натирание, нанесение гальванополимерных покрытий, никелирование и др.);
- пластическое деформирование (осадка, раздача, вытяжка, обжатие, правка, накатка и др.)
- электрические методы (электромеханическая, электроискровая или электроэрозионная, анодно-механическая обработка и упрочнение деталей);
- нанесение полимерных материалов;
- термическая и химикотермическая обработка;
- пайка.

В настоящее время в различных отраслях промышленности существует множество проблем, связанных с защитой изделий от воздействия высоких температур, коррозии, повышением износостойкости элементов конструкций, ремонтом и восстановлением в течение всего срока их эксплуатации.

Одним из способов решения этих проблем, может быть, нанесение специальных покрытий на поверхность изделий газотермическими методами напыления (ГТН). Высокотехнологичными и перспективными способами нанесения покрытий являются методы газопламенного напыления (ГПН), высокоскоростного газопламенного напыления (HVOF), плазменного напыления (ПН) и электродуговой металлизации (ЭДМ). По данным 2008г. мировая ассоциация газотермического напыления насчитывает около 200 фирм.

Технология газотермического нанесения покрытий экономически эффективна, т.к. не требует дорогостоящего вакуума, обеспечивает высокую производительность, характеризуется небольшой трудоемкостью и позволяет наносить покрытия на крупногабаритные изделия

Газотермическое напыление - способ получения покрытий поверхностями нанесением на эти поверхности расплавленного материала. Сущность процесса: металл, расплавленный дугой (при электродуговом наплавлении), ацетиленокислородным пламенем (при газопламенном напылении), токами высокой частоты (при высокочастотном напылении) или струей плазмы (при плазменном напылении) и распыленный струей сжатого воздуха покрывает поверхность восстанавливаемой детали.

Преимущества технологии наплавки:

1. Возможность нанесения покрытий большой толщины.
2. Высокая производительность (до 15-25 кг/ч).

3. Относительная простота конструкции транспортабельности оборудования, приспособленного для выполнения работ вне помещений.

4. Отсутствие ограничений по размерам наплавляемых поверхностей изделий.

5. Простота выполнения, не требующая высокой квалификации сварщика.

6. Возможность нанесения износостойкого покрытия на основной металл любого состава.

7. Возможность повышения эффективности наплавки путем ее сочетания с другими способами поверхностной обработки (азотирование, пламенная закалка).

Недостатки технологии наплавки:

1. Ухудшение свойств наплавленного слоя из-за перехода в него элементов основного металла.

2. Деформация изделия, вызываемая высокой энергией и температурой.

3. Некоторая неравномерность свойств наплавленных изделий, обусловленная тем, что наплавленный слой в отличие от плакированного, имеет характерные свойства и особый состав, присущий металлу сварных швов.

4. Более ограниченный, чем, например при напылении, выбор основного наплавленного металла.

5. Трудность наплавки изделий сложной формы.

Свойства газотермических покрытий принципиально отличаются от литой структуры металла, что обусловлено условиями формирования покрытий. Технология ГПН базируется на расплавлении и распылении под действием горючего газа и сжатого воздуха различных материалов в виде порошков, проволоки, специальных шнуров. Последние представляют собой компактную органическую оболочку, содержащую композиционные порошки. При напылении оболочка полностью сгорает, а порошки плавятся и переносятся газовой струей на поверхность напыляемого изделия.



Рисунок 1 – Процесс газопламенного напыления и внешний вид катушки с гибким шнуром

Таблица 1 – Технические показатели газопламенного напыления

Температура струи	Пропан	2829°С
	Ацетон	3160°С
Скорость струи	150-200 м/с	
Скорость частиц	15-50 м/с	
Температура на поверхности образца	60-80 °С	
Пористость покрытия	5-12%	
Толщина покрытия	0,04-3,5 мм	

Также один из методов упрочнения это электродуговая металлизация. Электродуговая металлизация процесс напыления с высокой производительностью. Сущность способа заключается в нанесении покрытий путем распыления воздухом двух расходных электропроводных проволок, между которыми возбуждается дуговой разряд. Струя сжатого воздуха уносит с электродов частицы расплавленного металла и переносит их на обрабатываемую поверхность.

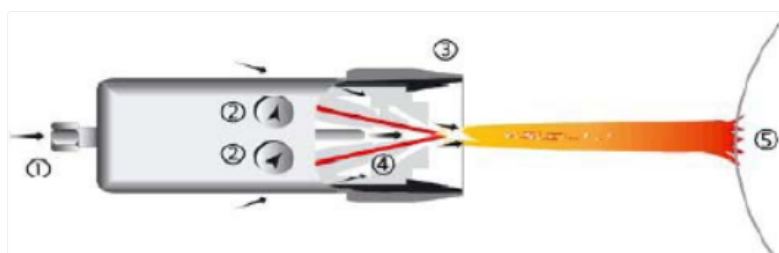


Рисунок 2 – Схема электродуговой металлизации:

1. Распыляющий газ.
2. Подача проволоки.
3. Сопло.
4. Электропроводящая проволока.
5. Деталь

Таблица 2 – Технические показатели электродуговой металлизации

Температура дуги	6000 К
Скорость частиц	50-150 м/с
Мощность	5-20 кВт
Сила тока	80-700А
Напряжение	18-35 В
Пористость покрытия	1%
Толщина покрытия	0,08-1,5 мм

Литература

1. Восстановление деталей машин газотермическими способами [Текст] : Учеб. пособие / Д.И.Станчев, А.М.Кадырметов, В.И.Ключников, К.А.Яковлев. - Воронеж: ВГЛТА, 2002. - 83 с.
2. Балдаев, Л.Х. Газотермическое напыление: учеб. Пособие для вузов / Л.Х. Балдаев, В.Н. Борисов, В.А. Вахали: под. общ. ред. Л.Х. Балдаева. – М.: Маркет ДС, 2007. – 344 с.
3. Ельцов, В.В. Оборудование для восстановления и упрочнения деталей машин и аппаратов: учеб. пособие / В.В. Ельцов // [CD]: альбом презентации: наглядное учеб. пособие. – Тольятти: ТГУ, 2009. – 702 МБ.

УДК 621.793

ВОССТАНОВЛЕНИЕ ДЕТАЛЕЙ МАШИН ГАЗОПЛАМЕННЫМ МЕТОДОМ.

Студенты Ли Бин Ци, Цзэн Ци Хао

Научный руководитель – ст. преподаватель МСФ Кравчук М.А.

Шэньянский технологический институт

Шэньян, Китай

Восстановление деталей машин — важный процесс, позволяющий продлить срок службы оборудования, снизить затраты на его замену и повысить эффективность эксплуатации. Одним из наиболее популярных методов восстановления является газопламенный метод, который используется для восстановления изношенных или поврежденных деталей. В данной статье мы рассмотрим основные принципы, технологии и преимущества газопламенного восстановления.

Газопламенный метод основан на использовании высокой температуры, создаваемой сжиганием газа (обычно ацетилена) в кислороде. Это позволяет расплавлять материал, который затем наносится на поверхность детали для восстановления ее геометрии и функциональных характеристик.

При газопламенном способе источником тепловой энергии является пламя, образующееся в результате горения смеси кислород – горючий газ.

Процесс идеально подходит для нанесения сравнительно недорогих покрытий, содержащих как правило большое количество оксидов, обладающие высокой пористостью с возможностью получения грубой шероховатой поверхности. В основе процесса лежит химическая реакция

кислорода и горючего, создающая поток продуктов сгорания с температурой более 3000°C.

Существуют две разновидности газопламенного напыления - проволочное и порошковое.

Газопламенное проволочное напыление. В проволочном варианте материал в виде проволоки подается в камеру сгорания, после чего расплавленный металл с помощью сжатого воздуха амортизируется и ускоряется к напыляемой поверхности.

Процесс часто используется при нанесении подслоя или для нанесения антикоррозионных материалов.

Диаметр напыляемой проволоки обычно не превышает 3 мм. При напылении же металлов с низкими температурами плавления (алюминий, цинк, цинк-алюминий) горелками с повышенной производительностью диаметр проволоки может составлять 5 – 7 мм.



Рисунок 1 – Газопламенное проволочное напыление

Газопламенное порошковое напыление. В основе порошкового газопламенного напыления лежит тот же принцип, за исключением материала, подаваемого в виде порошка.

Основным преимуществом метода является наличие более широкого диапазона материалов (таких, как самофлюсующиеся сплавы на основе никеля и кобальта или керамики), доступных в форме порошка. Кроме того, многие сплавы трудно или невозможно получить в виде проволоки.

На порошковых горелках, напыляемый порошок поступает в горелку сверху из бункера через отверстие, разгоняется потоком транспортирующего газа (смесь кислород – горючий газ) и на выходе из сопла попадает в пламя,

где происходит его нагревание. Увлекаемые струей горячего газа частицы порошка попадают на предварительно подготовленную напыляемую поверхность. В порошковых горелках, как и в проволочных, подача напыляемого материала в пламя и разгон образующихся расплавленных частиц может производиться при помощи струи сжатого воздуха.

Температура пламени газовой горелки не превышает 2850°C , поэтому газопламенным напылением нельзя получать покрытия из наиболее тугоплавких материалов. Данная технология довольно проста, а стоимость оборудования и затраты на эксплуатацию низкие. В связи с этим этот способ является наиболее распространенным.

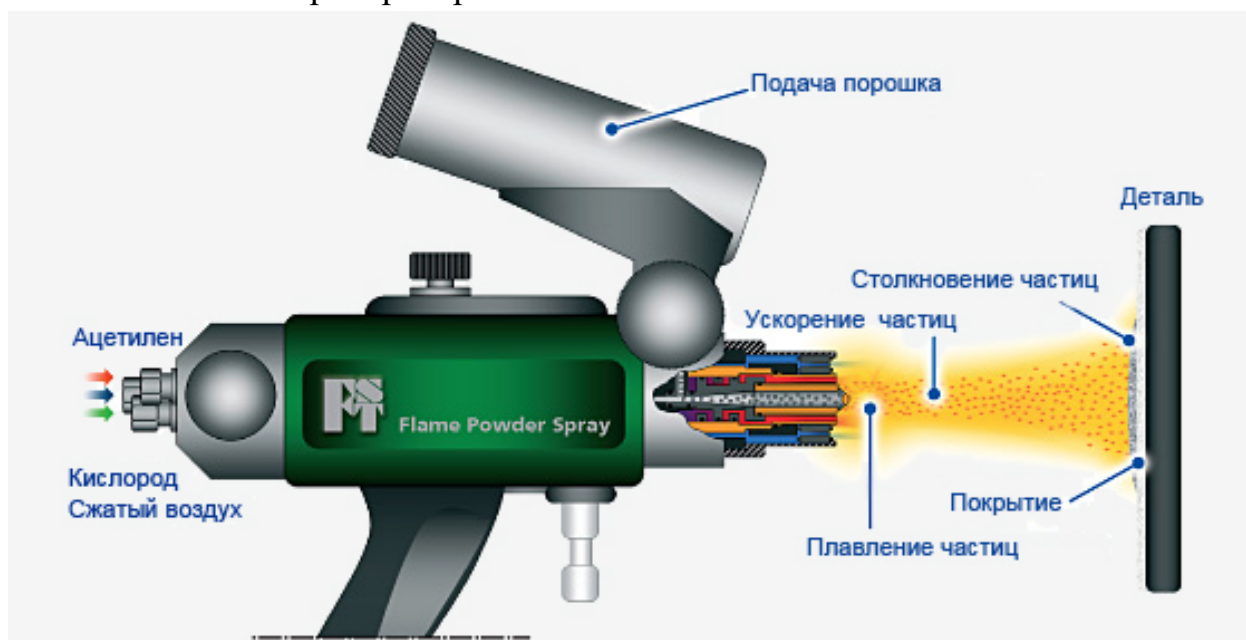


Рисунок 2 – Газопламенное порошковое напыление

Газопламенный метод восстановления деталей машин представляет собой эффективное решение для продления срока службы оборудования и снижения затрат на его обслуживание. Несмотря на некоторые ограничения, этот метод остается одним из самых популярных в промышленности благодаря своей универсальности, экономичности и способности обеспечивать высокое качество восстановленных деталей. Инвестиции в обучение персонала и современное оборудование позволят максимально эффективно использовать возможности газопламенного восстановления в различных отраслях.

Литература

1. Поликарпов, А. В. Газопламенное напыление в технологии ремонта машин / А. В. Поликарпов // Молодой ученый. – 2010. – № 1–2 (13). – Т. 1. – С. 108–111.

2. 2. Особенности сварки трением с перемешиванием алюминиевого сплава АД1 на универсальном вертикально-фрезерном станке 6В11 / М. А. Лукин [и др.] // Сварочное производство. – 2022. – № 6. – С. 52–56.
3. 3. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://autocarta.ru/vosstanovlenie-detaley/gazotermicheskoe-napylenie.html>. – Дата доступа: 10.05.2023.

Электронное издание

НИРС МСФ -2025

**Сборник материалов Китайско-Белорусской студенческой конференции,
посвященной 105-летию БНТУ и тематике Китайско-Белорусского
инновационного центра упрочнения, восстановления и коррозионной
защиты деталей машин**

Машиностроительный факультет

Компьютерная верстка В.А. Путиловский

E-mail: machtech@bntu.by