

УДК 621.791.92 : 621.81

**ПОВЫШЕНИЕ ДОЛГОВЕЧНОСТИ БЫСТРОИЗНАШИВАЕМЫХ
ПОВЕРХНОСТЕЙ ДЕТАЛЕЙ МАШИН ТЕХНОЛОГИЧЕСКИМИ
СПОСОБАМИ УПРОЧНЕНИЯ, ИСПОЛЬЗУЮЩИМИ УПРАВЛЯЮЩИЕ
ВНЕШНИЕ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫЕ ПОЛЯ**

Миранович А.В., к.т.н., доцент, Щурский Д.С.

БГАТУ, г. Минск, Республика Беларусь

Надежность и долговечность деталей автотракторной и сельскохозяйственной техники в значительной степени зависит от срока службы узлов трения различных систем и механизмов машин [1]. Потеря их работоспособности обусловлена, в большинстве случаев, процессами изнашивания сопряженных быстроизнашиваемых поверхностей деталей. Известно [2, 3], что около 80 – 85 % выбраковываемых деталей имеют износ поверхностей не более 0,2 – 0,3 мм. Изношенные поверхности большинства таких деталей могут быть восстановлены в условиях ремонтных предприятий применением сварочно-наплавочных способов, занимающих примерно 75–80 % от общего количества технологий упрочнения и восстановления [3, 4]. Их основным недостатком является возникновение на стадии кристаллизации жидкого металла дефектов сварных швов (непровары, трещины) и наплавленных покрытий (поры, микротрещины, разнотолщинность и др.) [5, 6]. Для стабилизации горения дуги и исключения этих дефектов применяются такие технологические приемы, как регулирование погонной энергии, вибрация электрода или сварочной проволоки и др. [7]. В некоторых случаях они не приемлемы из-за многочисленных конструкционных недостатков и сложности их практического применения [2, 6].

Наиболее распространенный способ стабилизации процессов сварки-наплавки основан на управляющем воздействии внешнего электромагнитного (ЭМП) в рабочей зоне на источник нагрева – дугу, ванну расплава или поверхностный слой, покрытие [8, 9]. Этот способ используется в процессах: дуговой сварки-наплавки плавящимся и неплавящимся электродами в среде защитных газов [9] и под слоем флюса [10]; индукционной наплавки [11]; плазменном напылении [12]; закалки сжатой электрической дугой [13]; электроконтактной приварки порошков [14]; электроискровом легировании [15]; электроэрозионной обработке [16]; комбинированного способа восстановления деталей [17].

В работе [10] показано, что при сварке неплавящимся электродом сплава Д16 в среде защитных газов дугой, колеблющейся синхронно с изменением напряженности магнитного поля, изменяется форма сварочной ванны, снижается пористость металла, измельчается зерно металла шва. Установлено, что при сварке плавящимся и неплавящимся электродами в среде аргона проплавливающая способность дуги возрастает из-за ее сжатия, когда поперечная составляющая индукции меньше 2–4 % общей индукции управляющего ЭМП работах [9, 11]. Если поперечная составляющая поля менее 3 % общей индукции, глубина проплавления возрастает пропорционально ей и при индукции 0,3 Тл увеличивается более чем в 2 раза.

Для устранения неравномерности распределения электромагнитного поля и мощности в зоне индукционной наплавки тонких стальных дисков зубчатой формы авторами предложено экранирование ЭМП, создаваемого одновитковым индуктором с магнитопроводом [12]. Для этого разработано устройство с электромагнитным и тепловым экранами, позволяющее регулировать мощность в зоне наплавки и обеспечивающее равномерность толщины наплавленного слоя [2, 12].

В работе [13] повышение энергоэффективности плазменного напыления и качества покрытий обеспечивается дополнительным источником напряженности импульсного электрического поля. Образованный на поверхности детали распределенный электрический потенциал относительно плазматрона позволяет создать равномерное по всей площади покрытие с высокой адгезией, а также снизить потребляемую оборудованием мощность в 3,5 раза [13].

Для повышения твердости и износостойкости промышленного инструментария, а также тонких плоских деталей сельскохозяйственной техники применяется высокочастотное плаз-

менное напыление, в процессе которого происходит индукционный разогрев плазмы электромагнитным полем высокой частоты [12]. Износостойкость модифицированного покрытия в 2,5 раза превышает износостойкость детали после традиционной термообработки [2, 12].

В процессе термического упрочнения рабочих поверхностей деталей плазменной закалкой с электромагнитным сканированием дуги обеспечивается равномерность распределения твердости по глубине упрочненного слоя, а глубина и ширина закалки увеличиваются до 1,5 и 2,0 мм соответственно, вместо 0,5 и 0,1 мм при закалке прямой дугой без оплавления поверхности [13]. Сканирование электрической дуги магнитной системой позволяет достичь оптимальной скорости обработки от 0,06 до 0,09 м/с, при которой возможна максимальная микротвердость. Результаты исследования показали, что износостойкость термообработанных деталей увеличилась в 4 раза по сравнению с необработанным материалом [13].

Создаваемое магнитное поле П-образной электромагнитной системой при электроконтактной приварке порошковых материалов повышает технологичность процесса посредством удержания материалов в зоне приварки и позволяет уменьшить потери его до 20 % [14]. Испытания на усталостную прочность показали, что покрытия, полученные приваркой порошка с применением ЭМП в рабочей зоне, обладают более высокой прочностью по сравнению с покрытиями, образованными приваркой стальной ленты [14].

Для исключения синхронизации искровых импульсов и вибрации рабочего электрода в процессе электроискрового легирования используются разобщенные источники импульсов электрического тока генератора и вибросистемы. Авторами установлено, что при безвибрационном способе контактирования электрода и детали по сравнению с вибрационным повышается чистота легированной поверхности на 3–4 класса, а привес материала покрытия увеличивается почти в 2 раза [15].

В работе [16] определено, что применение внешнего магнитного поля с индукцией 0,02–0,1 Тл в рабочей зоне при электроэрозионной обработке обеспечивает повышение производительности процесса на 30–50 % и уменьшение относительного износа электрода-инструмента. Воздействие внешнего ЭМП в процессе обработки способствует увеличению количества электрических разрядов, улучшению условий удаления шлама из межэлектродного промежутка, уменьшению электрической прочности рабочей жидкости в промежутке [16].

Для повышения результата упрочнения деталей машин используется комбинированная обработка, основанная на сочетании различных способов поверхностного пластического деформирования (ППД) с термическими, химическими или электрофизическими воздействиями [2, 18]. Так, для упрочнения наружных и внутренних цилиндрических поверхностей валов, резьб, шлицев, шпоночных пазов, зубьев звездочек и шестерен применяется электромеханическая обработка (ЭМО) поверхностей деталей [19]. При ЭМО в результате одновременного термического и силового воздействий электрического тока и деформирующего электрода-инструмента, а также интенсивного охлаждения металла образуется мелкая, однородная и плотная структура обрабатываемой поверхности со значительным повышением твердости и появлением «белого слоя» – бесструктурного мартенсита [20]. Комбинированное упрочнение нанесением покрытий и ППД позволяет повысить на 10–50 % микротвердость основы, снизить в 2–8 раз шероховатость поверхности и снизить припуск на последующую механическую обработку, сформировать сжимающие остаточные напряжения [2].

В последнее время получил распространение комбинированный способ упрочнения ППД цилиндрических деталей и рабочих органов сельскохозяйственных машин в переменном электромагнитном поле [21]. Обработкой деталей типа тел вращения данным способом с напряженностью ЭМП 0,2–5,0 кА/м и усилием накатного устройства 1,0–5,0 кН обеспечивается снижение растягивающих напряжений, повышение твердости до 40–60% на глубину упрочнения до 4,5 мм. При этом повышается износостойкость обработанной поверхности до 45–60% [21].

Разработанный авторами для комбинированного способа восстановления деталей машин инструмент в форме скобы-двухполюсника, между полюсами которого образуется переменное магнитное поле высокой напряженности (до 144 А/м), позволяет увеличивать со-

держание углерода в поверхностном слое до 0,15 % и повысить износостойкость обрабатываемых поверхностей в 1,4–1,5 раза [17].

Выполненный анализ способов упрочнения и восстановления показывает целесообразность применения внешнего управляющего электромагнитного поля в рабочей зоне. Это обусловлено тем, что стабилизация процессов осуществляется без контакта устройств ввода внешнего магнитного поля с рабочей зоной. Применение таких устройств не требует существенного изменения стандартного оборудования, а управление внешним ЭМП в рабочей зоне может автоматизироваться и значительно повышать долговечность деталей машин.

Литература

1. Албагачиев, А.Ю. Прогрессивные машиностроительные технологии, оборудование и инструменты / А.Ю. Албагачиев [и др.]. – М. : Издательский дом «Спектр», 2015. – 464 с.
2. Акулович, Л.М. Магнитно-электрическое упрочнение поверхностей деталей сельскохозяйственной техники / Л.М. Акулович, А.В. Миранович. – Минск : БГАТУ, 2016. – 236 с.
3. Восстановление деталей машин : справочник / Ф.И. Пантелеенко [и др.] ; под ред. В.П. Иванова. – М. : Машиностроение, 2003. – 672 с.
4. Черноиванов, В.И. Восстановление деталей машин (Состояние и перспективы) / В.И. Черноиванов, И.Г. Голубев. – М.: ФГНУ «Росинформагротех», 2010. – 376 с.
5. Сварка с электромагнитным перемешиванием / В.П. Черныш [и др.]. – Киев : Техніка, 1983. – 127 с.
6. Технология ремонта машин / Е.А. Пучин [и др.] ; под ред. Е.А. Пучина. – М. : УМЦ «Триада», 2006. Ч. I. – 348 с.
7. Пустовойт, С.В. Совершенствование дуговой сварки электромагнитными методами / С.В. Пустовойт, Г.И. Лесков // Автоматическая сварка. – 2000. – № 1. – С. 39–42.
8. Гаген, Ю.Г. Сварка магнитно-управляемой дугой / Ю.Г. Гаген, В.Д. Таран. – М. : Машиностроение, 1970. – 243 с.
9. Автоматизация сварочных процессов / В.П. Черныш [и др.] ; под ред. В.К. Лебедева, В.П. Черныша. – Киев : Высшая школа, 1986. – 293 с.
10. Черныш, В.П. Оборудование для сварки с электромагнитным перемешиванием / В.П. Черныш, С.Н. Кухарь. – Киев : Высшая школа, 1984. – 55 с.
11. Расчет индуктора с магнитопроводом для нагрева плоских поверхностей / А.С. Письменный [и др.] // Автоматическая сварка. – 2000. – № 11. – С. 39–43.
12. Коротких, В.М. Управляемые энергоэффективные технологии плазменного напыления защитных покрытий сельскохозяйственного назначения / В.М. Коротких // Технологии и средства сельского хозяйства. – 2011. – № 8. – С. 83–87.
13. Поверхностное упрочнение стальных деталей сжатой электрической дугой / А.Е. Михеев и [др.] // Сварочное производство. – 2003. – № 2. – С. 24–27.
14. Юнусбаев, Н.М. Восстановление автотракторных деталей электроконтактной приваркой порошковых материалов в магнитном поле : автореф. дис. ... канд. техн. наук / Н.М. Юнусбаев ; ФГОУ БашГАУ. – Уфа, 2006. – 16 с.
15. Электроэрозионные процессы на электродах и микроструктурно-фазовый состав легированного слоя / И.И. Сафронов [и др.] ; под ред. Н.Н. Дорожкина. – Кишинев: Штиница, 1999. – 591 с.
16. Иванов, Н.И. Интенсификация процесса ЭО постоянными и пульсирующими магнитными полями / Н.И. Иванов, В.В. Мартынов, Б.Н. Лукичев // Электрохимические и электрофизические методы обработки материалов: сб. науч. трудов. – Тула : ТГТУ, 1991. – С. 94–100.
17. Горохова, М.Н. Повышение эффективности комбинированного способа восстановления деталей ферромагнитными порошками : автореф. дис. ... док. техн. наук / М.Н. Горохова ; ГНУ ГОСНИТИ Россельхозакадемии. – М., 2013. – 32 с.
18. Упрочнение поверхностей деталей комбинированными способами / А.Г. Бойцов [и др.]. – М. : Машиностроение, 1991. – 144 с.
19. Электромеханическая обработка : технологические и физические основы, свойства, реализация : монография / В.П. Багмутов и [др.]. – Новосибирск : Наука, 2003. – 318 с.

20. Федоров, С.К. Электромеханическое восстановление резьбы : монография / С.К.Федоров. – М. : ИЦ - Пресса, 2007. – 129 с.
21. Таранов, А.С. Повышение эффективности упрочнения поверхности валов при ремонте сельскохозяйственной техники поверхностным пластическим деформированием в переменном магнитном поле : автореф. дис. ... док. техн. наук / А.С. Таранов ; ЧГАА. – Челябинск, 2010. – 44 с.

УДК 721.785

ОСОБЕННОСТИ КОНСТРУКЦИИ ЗАКАЛОЧНЫХ УСТРОЙСТВ ДЛЯ ИМПУЛЬСНОЙ ЗАКАЛКИ

Анискович Г.И., к.т.н., доцент, Шевчук М.А., Свиридов С.С.

БГАТУ, г. Минск, Республика Беларусь

Технической основой при реализации импульсной закалки [1, 2] для различных по конструкции деталей рабочих органов сельскохозяйственной техники является использование универсального технологического модуля [3], комплектуемого быстропереналаживаемыми закалочными устройствами.

Основной задачей систем закалочного охлаждения является обеспечение оптимальных параметров подачи охлаждающей среды на закаливаемую поверхность, позволяющих получить высокие показатели качества изделия, предотвращение закалочных пятен, деформаций, коробления и трещин.

Известно [4], что в сталях с различным содержанием углерода при закалке с малыми и большими скоростями охлаждения не возникает трещин. Они могут возникать при средней скорости охлаждения. Руководствуясь рекомендациями Второго Всероссийского семинара по проблемам закалочного охлаждения [5], при разработке принципиальной схемы импульсной закалки было принято техническое решение об использовании высокоскоростного охлаждения (около 10 000 °С/с) потоком воды. Такое охлаждение создает возможность получить на поверхности деталей напряжение сжатия около 800 МПа, что исключает возникновение трещин.

Отличительной особенностью охлаждения при импульсной закалке является увеличение на порядок интенсивности охлаждения за счет подачи на изделие определенным образом организованных потоков воды. При этом обеспечиваются скорости охлаждения близкие к теоретическим предельно возможным, когда температура поверхности мгновенно становится равной температуре окружающей среды. Так, если при традиционной технологии охлаждения погружением в емкость с жидкостью эффективный коэффициент теплоотдачи составляет 4600 Вт/м²-К, современные системы охлаждения струями позволяют этот же показатель довести до 46400 Вт/м²К, то при импульсной закалке коэффициент теплоотдачи составляет около 350000 Вт/м²К.

Формирование структуры в поверхностном слое при таких высоких скоростях охлаждения происходит на атомарном уровне и связано со значительным искажением кристаллической решетки. Высокоинтенсивное охлаждение обеспечивает получение высокодисперсных структур благодаря быстрому прохождению температурного интервала превращения, что значительно ограничивает условия, способствующие росту зерна и коагуляции карбидов и карбонитридов до и после превращения.

Применение импульсной закалки для различных деталей связано с созданием соответствующей конструкции охлаждающих устройств. Во-первых, они должны обеспечивать необходимую гидродинамику формирования потока охлаждающей жидкости. Во-вторых, поток охлаждающей жидкости должен равномерно распределяться по боковым разориентированным поверхностям заготовки. В-третьих, в закалочных устройствах должна обеспечиваться возможность гибкого управления расходом и давлением охлаждающей жидкости при сохранении гидродинамических характеристик.