

4. Музыкант, Я.А. Конструкции инструмента и технология многонаправленной токарной обработки (МТО) на станках с ЧПУ и ОЦ / Я.А. Музыкант // Технология металлов. – 2007. – №5. – С. 31–37.
5. Способ обработки канавки или проточки, или желоба на токарном станке с числовым программным управлением и резец для его осуществления: пат. РБ № 13315. МПК В 23В 1/00, 27/04 / И.А. Каштальян, А.; заявитель Белорусский национальный технический ун-т. - № а 200711622; заявл. 27.12.2007; опубл. 30.06.2010 // Афі цыйны бюл. / Нац. цэнтр інтэлектуал. Уласнасці. – 2010. – № 3. – С. 72 – 73.
6. Каштальян, И.А. Многонаправленная токарная обработка на станках с числовым программным управлением / И.А. Каштальян // Известия ТулГУ. Технические науки. Вып. 11: в 2 ч. Ч 1, Тула: Изд-во ТулГУ, 2014. – С. 244–254.
7. Способ обработки канавки или проточки, или желоба на токарном станке с числовым программным управлением: пат. РБ № 13315. МПК В 23В 1/00 / И.А. Каштальян, А.А. Козорез; заявитель Белорусский национальный технический ун-т. - № а 20101886; заявл. 24.12.2010; опубл. 30.06.2013 // Афі цыйны бюл. / Нац. цэнтр інтэлектуал. Уласнасці. – 2013. – № 3. – С. 64 –65.
8. Каштальян И.А., Шелег В.К., Орукари Б. Программная реализация функции независимого управления координатными перемещениями // Автоматизация и роботизация процессов и производств: материалы научно-практического семинара. – Минск, 2014. – С. 33-35.
9. Махаринский Е.И., Горохов В.А. Основы технологии машиностроения: Учебник. Минск: Вышэйшая школа, 1997. – 423 с.

УДК 621.791.92

Кудина А.В., Капица М.С., Сокоров И.О., Спиридонов Н.В.

ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ КАЧЕСТВА И НАДЁЖНОСТИ ДЕТАЛЕЙ

УЗЛОВ ТРЕНИЯ МАШИН И МЕХАНИЗМОВ

УО «Белорусский государственный аграрный технический университет»

Белорусский национальный технический университет

Минск, Беларусь

Разработаны композиционный состав металлопокрытия и технология его нанесения на поверхности деталей узлов трения машин, механизмов и технологического оборудования. Состав и технология получения покрытий придают наплавленному слою металла высокие качественные, физико-механические и эксплуатационные характеристики, что позволяет поднять на новый уровень износостойкость и ресурс деталей узлов трения и, следовательно в целом, надёжность машин и механизмов.

Введение. На каждом этапе технологического процесса изготовления любой производственной продукции решается основная проблема – обеспечение необходимого уровня качества и, в частности, надёжности изделия. В отличие от всех других показателей качества, показатели надёжности тесно связаны с фактором времени и характеризуют способность изделия выполнять заданные функции в рассматриваемый момент или в пределах заданного отрезка времени. В машиностроении известно, что для получения высококачественной продукции требуется применение новых конструкционных материалов и технологий, способных улучшить важнейшие параметры машин и механизмов, а значит, повысить их надёжность и долговечность, снизить материалоемкость. Особая роль, при этом, отводится композиционным материалам, обладающим высокими значениями прочности, износостойкости, жёсткости, низкими показателями плотности и рядом других положительных физико-механических и химических свойств. Эти материалы относятся к классу порошковых. Их структура представляет собой матрицу из основного металла или сплава, в которой равномерно распределены дисперсные частицы упрочняющей фазы. В качестве последней применяются термодинамически стабильные соединения с высоким значением модуля сдвига – оксиды, карбиды, нитриты, бориды, интерметаллиды. Такие материалы широко применяются в машиностроительном производстве для повышения качества рабочих поверхностей деталей узлов и механизмов, что повышает надёжность и качество машин в целом. Технология и методы нанесения порошковых материалов на металлопо-

верхности деталей в большинстве случаев основаны на реакционном механическом легировании, предполагающем взаимодействие между компонентами и образование упрочняющих фаз на стадии обработки порошковой смеси при нанесении металлопокрытия. Методы легирования и способы нанесения композиционных материалов взаимосвязаны – выбранный способ получения металлопокрытия, как правило, диктует рациональный метод легирования и, наоборот, эффективный метод легирования требует применения соответствующего способа нанесения композиционного материала. При электродуговой наплавке сплошным проволочным электродом с введением композиционного материала, химический состав наплавленного металла определяется концентрацией легирующих элементов в основе, электродной проволоке и порошковой присадке. В наплавленном слое металл основы и металл проволоки образуют матричный сплав, в который вплавлены твердосплавные частицы присадки. При наплавке гомогенного покрытия все три составные части перемешиваются, образуя монолитный слой. При нанесении износостойких слоев, состоящих из твердых частиц, распределенных в более мягкой матрице, особое внимание уделяют материалу матричного слоя. Он должен иметь высокую прочность, хорошо удерживать частицы присадки в покрытии, препятствовать чрезмерному их растворению, быть химически стабильным по отношению к твердой составляющей и соответствовать требованию термомеханической совместимости. Поэтому целесообразно использовать малоуглеродистые проволоки для получения матрицы при дуговой наплавке твердых, износостойких слоев. Использование в качестве присадочного материала порошков из ферросплавов, обеспечивает получение износостойкого наплавленного металла, а высокое содержание в нем хрома и углерода дает возможность в широких пределах изменять концентрацию легирующих элементов и получать износостойкие покрытия с заданными физико-механическими характеристиками [1,2].

Основная часть. Для обеспечения качества и надёжности деталей узлов трения машин и механизмов необходимо, в первую очередь, формировать рабочие поверхностные слои деталей с высокими физико-механическими и эксплуатационными свойствами. Такие защитно-упрочняющие металлопокрытия и способ их нанесения разработаны и известны [2,3,4]. Сущность их заключается в нанесении определенного композиционного состава из металлопорошков с применением лазера или в поле ультразвука (УЗК) на рабочие поверхности деталей узлов и механизмов машин. Применение технологии упрочнения поверхностей деталей в поле ультразвука методом электродуговой наплавки в среде защитного газа позволяет, не разрывая оболочку защитного газового факела подавать ультразвуковые колебания непосредственно в зону расплавленного металла и влиять на процесс кристаллообразования в наплавленном слое. При этом, ультразвук повышает плотность и давление газовой оболочки, делает ее сплошной, без завихрений, что приводит к снижению разбрызгивания электродного металла. Такой способ электродуговой наплавки позволяет формировать наплавленный слой с однородной, мелкозернистой структурой, что обеспечивает повышение физико-механических и прочностных свойств полученной поверхности. Структура наплавленного металлопокрытия в зоне покрытие-основа, полученная по рекомендуемой технологии [4,5], представлена на рисунке 1.

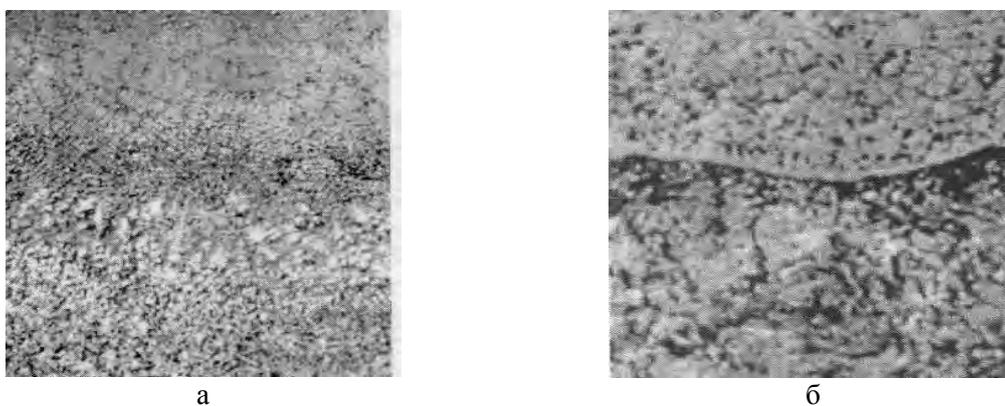


Рис. 1. Структура наплавленного слоя металлопокрытия, х 500, а - без применения УЗК, б – с применением УЗК ($A=12\dots15\text{мкм}$, $f=24\text{кГц}$)

Из рисунков чётко просматривается, что при наплавке металлопокрытий с применением ультразвуковых колебаний практически отсутствует граница раздела наплавленного слоя и основного металла, а это обеспечивает надёжное сцепление покрытия с основой. При исследовании микротвёрдости наплавленных металлопокрытий, проверки их на усталостную прочность, а также на износостойкость были изготовлены экспериментальные образцы, которые исследовались методами металлографии, ультразвукового контроля и рентгеноструктурного анализа. Наплавка образцов выполнялась проволокой СВ-08Г2С ГОСТ 2246-70 при введении в расплав металла порошковой присадки состава [3] и подачей УЗК на электродную проволоку. Частота и амплитуда УЗК устанавливались согласно рекомендациям [5]. Для выполнения экспериментов была выбрана амплитуда колебаний 9...10 мкм. Частоту УЗК контролировали с помощью цифрового частотомера Ф 576, амплитуду колебаний регулировали изменением выходного напряжения преобразователя и контролировали с помощью дифференциального электродинамического датчика. Визуальная оценка качества наплавленных валиков показывает, что из всех наплавленных поверхностей можно выделить образцы, полученные при среднерасходовой скорости транспортирующего порошок газа $V = 5...6$ м/с и грануляцией порошка 500...600 мкм. На этих образцах получены ровные плотные валики. Отклонений от формы практически не наблюдаются. Микро- и макроструктурный анализ показал, что покрытия имеют однородную структуру с равномерным распределением легатуры, что свидетельствует о качестве покрытия в наплавленных валиках. Применение ультразвуковой обработки с введением в расплав частиц твердосплавного порошкового материала позволило существенно повлиять на температурный порог метастабильности, чем резко увеличило скорость зарождения кристаллов и затормозило их рост в присутствии частиц порошка, а это позволило формировать мелкозернистую структуру. В процессе наплавки металлоповерхностей как в основном металле, так и в наплавочных валиках могут возникать значительные сварочные напряжения до 300 Мпа. Несмотря на то что, уровень остаточных растягивающих напряжений ниже предела текучести материала, такое напряженное состояние металла валика и поднаплавленного слоя является опасным, т.к. повышается склонность к хрупкому разрушению. Известно, что такие важнейшие эксплуатационные характеристики сварных поверхностей детали машин, как износостойкость, усталостная прочность и ползучесть при повышенных температурах в значительной мере зависят от состояния поверхности изделия и глубины распространения остаточных напряжений, которые снижаются благодаря применению ультразвуковой обработки металла. Испытания на прочность образцов проводили на установке «Schenk Sinus 100.40» при скорости нагружения 10^{-4} с⁻¹. Испытания на сопротивление усталости образцов (в исходном состоянии и после наплавки с УЗК) проводили при изгибающей нагрузке 325 Мпа и частоте 2Гц. Измерение твердости по глубине наплавки замеряли через каждые 2,0 мм. Микротвердость структурных составляющих определяли на приборе ПТМ-3. Каждую структурную составляющую измеряли по 3 раза при разбросах твердости 2...4% и по 5 раз при разбросах более 4%. Применение УЗК при наплавке приводит к изменению структуры поверхностей как наплавленных валиков, так и основного материала, что показывают результаты ранее выполненных исследований: в зоне основного металла происходит измельчение зерен в 2...3 раза, в самой наплавленной поверхности структура формируется плотной мелкозернистой с включением (равномерным) твердых частиц порошкового материала. Структурные изменения сопровождаются изменением свойств материалов. Так зона термического влияния (ЗТВ) имеет наименьшую поверхностную твердость как в исходном, так и после наплавки с УЗК состояниях. Это связано с обезуглероживанием поверхности при сильном нагреве в процессе наплавки. Наблюдается плавный переход к уровням твердости основного металла и наплавленного валика. Распределение микротвердости металла в зонах наплавленного соединения представлено на рисунке 2. Несколько большая твердость валика, наплавленного с УЗК, объясняется природой воздействия ультразвуковых колебаний на процесс кристаллизации металла. Снижение обезуглероживания в зоне термического влияния, практически до исходного значения и понижение твердости металла в этой зоне можно объяснить снижением температурного градиента за счет введения в расплав порошка и от воздействия УЗК.

По характеру кривых можно заключить, что ультразвуковые колебания обеспечивают образование сжимающих напряжений в поверхностном слое и ЗТВ, уменьшая при этом градиент напряжений, возникающих на линии сплавления и границе перехода к основному металлу. Процесс усталостной повреждаемости наплавленных соединений на микроуровне характеризуется

стадийностью, свойственной поликристаллическим металлам с макроконцентраторами напряжений [5,6]. причём, очаг накопления циклических деформаций связан с зоной перегрева, граничащей с областью сплавления. На образцах, наплавленных без УЗК, при числе циклов нагружения $N=2 \cdot 10^3$ в этой зоне проявляются поля локальных деформаций с участками пластических сдвигов размером 150...300 мкм. После длительного воздействия переменной нагрузки $N=(75...80) \cdot 10^3$ обуславливающей накопление скрытых микрповреждений на поверхности, а в отдельных образцах на границе сплавления, происходит зарождение и рост поверхностной усталостной трещины. На этом этапе разрушения трещина растет вдоль зоны сплавления, преимущественно по границам зерен. При $N=(80...90) \cdot 10^3$ пластическое деформирование перед вершиной трещины приобретает явно выраженный характер. Механизм развития трещины меняется с интеркристаллитного на транскристаллитный, а ее рост происходит по границам раздела деформационных блоков. В ходе дальнейшего воздействия $N=(90...100) \cdot 10^3$ деформационные блоки ориентируются вдоль оси нагружения, что способствует превращению трещины в магистральную. Наплавка с ультразвуковыми колебаниями, вызывающими измельчение структуры приповерхностных зон, снижение и перераспределение остаточных напряжений, благоприятно влияет на сопротивление усталостному разрушению. в течение всего времени циклического нагружения образцов не наблюдается образования поверхностных субмикроразрывов и зарождения трещин в соединениях. Разрушение образцов произошло в $N=(300...350) \cdot 10^3$ в области основного металла вблизи захвата. Действие УЗК позволяет блокировать формирование деформационных субмикроструктур, что замедляет накопление усталостных микрповреждений в объеме материала и увеличивает долговечность наплавленных покрытий. Контрольная проверка (дефектоскопия) испытанных образцов, на наличие микрповреждений люминисцентным и ультразвуковым методами показала, что на образцах, наплавленных с применением УЗК, зарождение усталостных трещин происходит при нагружении $N=(220...250) \cdot 10^3$ циклов. Результаты исследований интенсивности изнашивания поверхностей износо-коррозионностойкого композиционного состава [3] для электродуговой наплавки, изложенные в работе [6], показывают, что подобные защитно-упрочняющие металлопокрытия снижают интенсивность изнашивания трибоповерхностей деталей узлов и механизмов в 1,7...1,9 раза, обеспечивая 6...7 класс износостойкости.

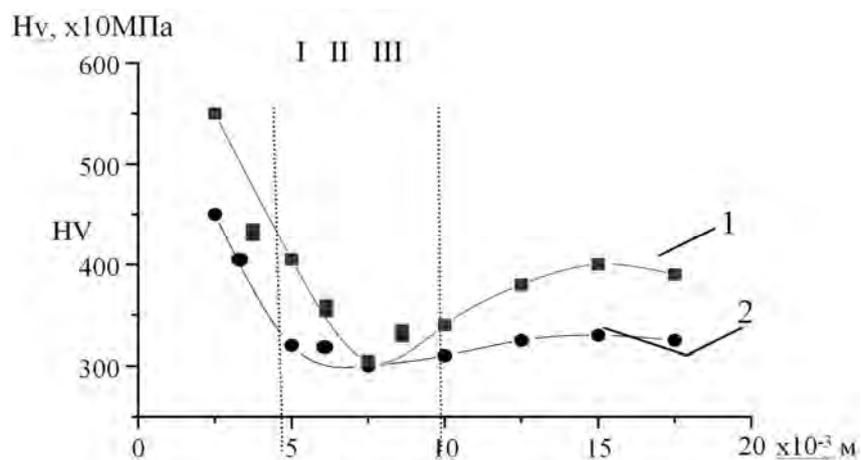


Рис. 2. Распределение микротвердости металла в наплавленном покрытии и его основе по глубине: 1 – с УЗК; 2 – без УЗК; I – наплавленный металл; II – зона термического влияния; III – основной металл

Заключение. По результатам исследований микроструктуры, физико-механических и эксплуатационных характеристик защитно-упрочняющего покрытия нового состава, наплавленного способом легирования в поле ультразвука, можно заключить, что разработанный состав металлопокрытия и технология его нанесения позволяют получить мелкозернистую структуру металлопокрытия, чем существенно улучшить качество рабочего, поверхностного слоя детали, а также значительно повысить его сцепляемость с основным металлом, что поднимает на более высокий качественный уровень надёжность, долговечность и износостойкость быстроизнашивающихся деталей

машин и механизмов. Такая технология наплавки за счёт легирования наплавленного слоя и формирования высококачественной микроструктуры повышает прочностные характеристики металла в 2...3 раза, увеличивает твердость поверхности на 20...25%, повышает циклическую долговечность в 2...3 раза, снижает интенсивность изнашивания металла поверхностей трения деталей машин и механизмов. Применение новых упрочняющих композиционных составов металлопокрытий, и прогрессивных передовых технологий их нанесения на тяжело нагруженные поверхности деталей, позволяют существенно повысить качество узлов и механизмов, что обеспечивает более высокий уровень качества и надёжности машин и технологического оборудования.

ЛИТЕРАТУРА

1. Шелег В.К. Легирование трибоповерхностей деталей машин металлопорошками износостойких сплавов электродуговой наплавкой с ультразвуковой обработкой. / Шелег В.К., Спиридонов Н.В., Кудина А.В., Кураш В.В. // «МАШИНОСТРОЕНИЕ» Республиканский межведомственный сборник научных трудов. Выпуск 28. Мн.: БНТУ, 2014г. - С. 88 -94.
2. Спиридонов Н.В. Влияние лазерной обработки на структурно-фазовый состав напыленных Ni-Cr-B-Si покрытий /. Спиридонов Н.В., Сокоров И.О., Кудина А.В. // Вестник Белорусского национального технического университета. – 2007. – №3. – С.22 – 25.
3. Кураш В.В. Композиционный состав для электродуговой наплавки износ-коррозионностойкого покрытия : пат. № 15167 Республика Беларусь, С1, 2011.12.30, МПК В23К 9/04 (2006.01) / Кураш В.В., Лисай Н.К., Кудина А.В.; заявитель – УО «БГАТУ». – а 20100419, заявлено 2010.03.18; зарегистрировано в Госреестре изобретений 2011.08.11.
4. Кураш В.В. Способ нанесения на поверхность детали легированного мелкозернистого металлопокрытия : пат. № 16225 Республика Беларусь, С1, 2012.08.30, МПК В23К 9/04 (2006.01) / Кураш В.В., Спиридонов Н.В., Кудина А.В.; заявитель – УО «БГАТУ». – а 20100538, заявлено 2010.04.09; зарегистрировано в Госреестре изобретений 2012.05.11.
5. Кудина А.В. Технология формирования износ-коррозион-нстойких композиционных металлопокрытий электродуговой наплавкой с применением ультразвука // Автореферат диссертации на соискание учёной степени кандидата технических наук по специальности 05.03.01 – Технологии и оборудование механической и физико-технической обработки., Мн.: изд-во БНТУ, 2009. - 22 с.
6. Кураш В.В.. Исследование интенсивности изнашивания нового состава износ-коррозионностойкого металлопокрытия для трибоповерхностей деталей машин. /В.В.Кураш, А.В.Кудина, Ю.Т.Антонишин,А.В.Кривицкий // Агропанорама. Мн.: изд-во УО БГАТУ, 2012г. № 5. - С.13 - 17.

УДК 621.793

Мрочек Ж.А., Миранович А.В.

ПОВЫШЕНИЕ ИЗНОСОСТОЙКОСТИ БЫСТРОИЗНАШИВАЮЩИХСЯ ДЕТАЛЕЙ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОЙ ТЕХНИКИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОЙ НАПЛАВКИ

Белорусский национальный технический университет

Белорусский государственный аграрный технический университет

Минск, Беларусь

Представлены результаты исследования износостойкости дисков сошника сеялки, упрочненных электромагнитной наплавкой с применением паст.

Известно [1], что рабочие поверхности деталей сельскохозяйственной техники упрочняют способами, основанными на использовании концентрированных потоков энергии (плазменная, индукционная, лазерная наплавки, и др.). Одним из таких способов является электромагнитная наплавка (ЭМН) композиционными ферромагнитными порошками (ФМП), которая обладает такими достоинствами, как отсутствие специальной предварительной подготовки поверхности детали, незначительная зона термического влияния и высокая прочность сцепления