

## ЛИТЕРАТУРА

1. Самсонов Г.В., Эпик А.П. Тугоплавкие покрытия. – М.: Металлургия, 1973.
2. Мрочек Ж.А., Кожуро Л.М., Филонов И.П. Прогрессивные технологии восстановления и упрочнения деталей машин.– Мн.: УП “Технопринт”, 2000.
3. Химия синтеза сжиганием / Ред. М. Коидзуми: Пер. с яп.– М.: Мир, 1998.
4. Левашов Е.А., Рогачев А.С., Юхвид В.И. и др. Физико-химические и технологические основы самораспространяющегося высокотемпературного синтеза. – М.: Бином, 1999.
5. Федорцев В.А., Иващенко С.А. Высокоэффективные методы упрочнения деталей узлов трения машин и приборов. – Мн.: УП “Технопринт”, 2002.

### **ПОВЫШЕНИЕ КАЧЕСТВА ВОССТАНАВЛИВАЕМЫХ ПОВЕРХНОСТЕЙ ДЕТАЛЕЙ МАШИН ПРИ НАПЛАВКЕ ЛЕГИРОВАНИЕМ В ПОЛЕ УЛЬТРАЗВУКА**

**В.С. Ивашко, д-р техн. наук, профессор; В.В. Кураш, канд. техн. наук; А.В. Кудина, инженер**  
*УО «БГАТУ»*  
(г. Минск, Республика Беларусь)

Results of researches on restoration of the worn out surfaces of details by electroarc surfacing with introduction in melting metal of wear-proof particles of a powder additive into the metal melt and influence by a ultrasonic field effect (action) have shown essential influence of these processes on structure and physicomechanical properties surfaced layers. At selection of corresponding powder materials and the set modes of process it is possible to receive coverings with high qualitative characteristics.

Показатели качества восстанавливаемых металлоповерхностей используются для получения объективной количественной информации о качестве конкретного вида деталей или группы разнородных деталей после ремонта. Иными словами, показателями качест-

ва поверхности детали являются те параметры, которые характеризуют ее физико-механические свойства. Одной из важнейших групп показателей качества в машиностроении являются показатели надежности. Высокое качество рабочих поверхностей деталей трибомеханических систем позволяет обеспечивать надежную работу узлов и механизмов, а значит, машин и технологического оборудования в целом.

Известно, что изнашивание и разрушения – основные причины отказов изделий в машиностроении. Поэтому повышению износостойкости поверхностей трения деталей машин уделяется много внимания в изготовительном и восстановительном производствах. Повысить износостойкость поверхностного слоя металла можно путем улучшения его структуры и придания поверхности заданных свойств.

Одним из перспективных направлений улучшения структуры и свойства металлов и сплавов является воздействие упругими колебаниями (УЗК) на процесс их кристаллизации. Ультразвуковая обработка приводит к изменению макро- и микроструктуры металла, повышению однородности слитков. Структурные изменения вызывают, в свою очередь, повышение механических свойств обработанного ультразвуком материала. Ультразвук эффективно используется в металлургии, в машиностроении в ряде технологических процессов обработки металлов и сплавов.

Ультразвук применяют для интенсификации процессов термической и химико-термической обработки, при обработке металлов давлением, в порошковой металлургии, для создания сплавов, состоящих из металлической основы с неметаллическим порошковым наполнителем, для обогащения руд и при электрохимическом нанесении покрытий, для интенсификации теплообменных процессов при работе горелок и форсунок, при сварке и пайке, в операциях по очистке изделий от окалины и загрязнений, для снятия внутренних напряжений и др. [1, 2].

Введение в технологический процесс ультразвуковой обработки в ряде случаев является единственным способом получения изделий высокого качества. Применение ультразвука связано с его активным воздействием на среду и ускорением таких явлений, как диффузия в твердых телах и жидкостях, коагуляция, дегезация, диспергирование, эмульгирование, сорбция и др. [2].

Эффективность использования ультразвуковых колебаний в том или ином технологическом процессе во многом определяется пониманием механизма протекающих процессов, обоснованным выбором способов и устройств для введения колебаний в обрабатываемый объект. Ультразвук является средством активного воздействия на протекание теплообменных процессов в жидкости, на структуру и свойства твердых тел и на процессы их контактного взаимодействия, что позволяет интенсифицировать технологические процессы получения и обработки материалов.

В последние годы способы введения легирующих присадок в ванну жидкого металла стали широко развиваться, так как они позволяют значительно экономить легирующие материалы и наносить износостойкие покрытия. Применение этих способов при электродуговой наплавке позволяет улучшить условия кристаллизации жидкого металла, повысить производительность процесса, уменьшить глубину проплавления основного металла без изменения мощности дуги.

Изученность процесса электродуговой наплавки в ультразвуковом поле недостаточна. Введение в расплав металла твердых частиц и ультразвуковых колебаний одновременно имеет целый ряд физических особенностей, которые в той или иной мере оказывают влияние на получение качественной наплавленной поверхности. Изменение режимов введения порошковых материалов в расплав, равно как и действие УЗК, приводят к изменению физико-механических характеристик наплавливаемых поверхностей. Поэтому для определения режимов электродуговой наплавки металла с порошковой присадкой в поле ультразвуковых колебаний необходимо исследовать параметры введения порошкового материала и определить влияние УЗК на физико-механические свойства наплавленных поверхностей.

Известно, что при электродуговой наплавке присадку вводят в крайнюю (хвостовую) часть сварочной ванны [3]. Благодаря тому, что легирующие элементы попадают в ванну, за зону электрической дуги, значительно сокращаются потери на окисление и испарение, улучшаются условия кристаллизации жидкого металла, повышается производительность процесса и уменьшается глубина проплавления основного металла без изменения мощности дуги.

Электродуговая наплавка в среде углекислого газа имеет ряд достоинств, позволяющих широко применять ее в ремонтной практике для восстановления изношенных деталей. Использование электродуговой наплавки в среде углекислого газа увеличивает производительность труда на 25 – 30% по сравнению с наплавкой под слоем флюса, позволяет оператору легко и оперативно контролировать и управлять процессом, быстро устранять дефекты наплавки.

Анализ известных способов ввода твердых износостойких материалов в расплав показал, что наиболее эффективными являются способы ввода их с помощью электродной проволоки или вдувания частиц в расплав струей газа. Известно, что качество металла наплавленного валика зависит, в первую очередь, от силы сварочного тока, диаметра электродной проволоки, расхода и давления углекислого газа, подаваемого в зону горения дуги.

Отработка технологического процесса электродуговой наплавки в среде углекислого газа в ультразвуковом поле с введением в расплав твердых износостойких частиц авторами осуществлялась при использовании следующего оборудования: наплавочной установки, ультразвукового генератора УЗГ-1-4, магнитострикционного преобразователя НМС-15А, источника питания (селеновый выпрямитель) ВКСМ-1000.

Наплавка выполнялась электродной проволокой Св08Г2С диаметром 1,2 – 2,8мм. Для питания дуги использовался постоянный ток обратной полярности. Защита зоны наплавки осуществлялась углекислым газом, поступающим в зону горения дуги и зону плавления электродной проволоки под давлением 0,05 – 0,15 МПа. Присадочный материал (твердосплавный металлопорошок) вводился под защитную газовую оболочку в хвостовую часть сварочной ванны.

При исследованиях режимов наплавки с порошковым присадочным материалом важным условием является тщательный подбор скорости газопорошковой смеси. Это связано с тем, что высокоскоростная струя может нарушить формирование наружной поверхности покрытия, вызвать седлообразность наплавливаемых валиков, наплывы, выплескивание жидкого металла из ванны. Струя с малой скоростью не обеспечивает проникновение частиц с небольшой плотностью на необходимую глубину, а это приводит к неравномерности легирования покрытия по высоте. Для порошков из

сплавов для наплавки с гранулометрическим составом до 800 мкм оптимальная среднерасходная скорость газа на выходе из сопла равна 4 – 7 м/с. Размеры зоны ввода порошка не должны превышать размеров зеркала наплавочной ванны, так как в противном случае возрастают потери дорогостоящих лигатур[3].

Известно [4], что при дуговой наплавке в углекислом газе проволоками сплошного сечения при повышении содержания легирующих элементов увеличивается продолжительность роста капель, уменьшается частота их переноса в наплавочную ванну, возрастают масса капель и их размеры. Перенос металла при наплавке в углекислом газе характерен переходом в ванну сравнительно крупных капель, что не позволяет получить однородную, мелкозернистую структуру.

Подача на электродную проволоку УЗК способствует измельчению и диспергированию расплавленного металла проволоки при каплепереносе. Создаваемое внутри защитного газового факела ультразвуковое поле образует акустически пограничные релеевские течения и циркуляционные потоки, а также звуковое и радиационное давление, в результате чего частицы порошка приобретают интенсивные колебательные движения [5] и, попадая в расплав металла, влияют на процесс кристаллизации.

Для определения оптимальных режимов наплавки (среднерасходная скорость транспортирующего порошок газа и грануляция порошка) проводились экспериментальные наплавки и контрольно-измерительные работы с полученными валиками. Наплавка осуществлялась на изношенные поверхности плоских деталей из стали 20, толщиной 10 мм проволокой Св-08Г<sup>2</sup>С с присадочным порошком ПГ-СР-3. По каждому эксперименту наплавлялось 10 валиков. Эксперименты проводили на основании результатов проведенных исследований и исходя из технологических требований.

Частота ультразвуковых колебаний выбиралась на основании экспериментальных данных, амплитуда УЗК была ограничена согласно рекомендациям [2]. Авторы изучали износостойкость покрытий, полученную при введении в расплав металла ультразвука с различной амплитудой колебаний. При малой амплитуде колебаний износостойкость металла наплавов вначале несколько хуже, чем у таких же наплавов без ультразвука. При дальнейшем увеличении амплитуды износостойкость увеличивается, достигая максимума в

пределах 12 – 15 мкм. При больших амплитудах, износостойкость снова снижается, при амплитуде 8 – 9 мкм наблюдается сильное распыление металла. Для выполнения экспериментов была выбрана амплитуда колебаний 9 – 10 мкм.

Частоту колебаний УЗК контролировали с помощью цифрового частотомера. Амплитуду колебаний регулировали изменением выходного напряжения преобразователя и контролировали с помощью дифференциального электродинамического датчика. Полученные результаты сведены в таблицу 1.

Таблица 1. Результаты исследований

Номер эксперимента	Среднерасходная скорость транспортирующего порошок газа, м/с				Гранулометрический состав порошка, мкм				Наличие дефекта, %
	4	5	6	7	315	450	500	600	
1	+				+				60
2	+					+			50
3	+						+		40
4	+							+	30
5		+			+				30
6		+				+			20
7		+					+		10
8		+						+	10
9			+		+				30
10			+			+			30
11			+				+		30
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
12			+					+	40
13				+	+				50
14				+		+			50
15				+			+		70
16				+				+	90

Регулирование размера зоны ввода порошка осуществляли за счет изменения параметра сопла (диаметр выходного отверстия). Размеры зоны ввода определяли по формулам [3]. Расчетная величина ее составляла 5 – 10 мм. Газопорошковая струя оказывает существенное влияние на спутный поток защитного газа. При отношении скорости спутного потока к скорости на оси начального участка струи меньше  $m = 0,5 - 0,6$ , изменяется структура потока, уве

ичивается его неоднородность, что приводит к нарушению защиты зоны наплавки. Увеличение расстояния между сошлом и жидким металлом до 1,5 – 2,5 диаметра выходного отверстия сопла не вызывает существенных изменений в процессе растекания струи вдоль поверхности плоской детали. Визуальная оценка качества полученных наплавкой валиков показывает, что для всех исследованных технологических режимов можно выделить образцы экспериментов под № 6, 7, 8. На этих образцах получены гладкие, ровные и плотные валики. Отклонений от формы практически не наблюдается. Макроструктурный анализ показал, что покрытия имеют плотную однородную структуру с равномерным распределением лигатуры, что свидетельствует о качестве покрытия в наплавленных валиках. По нашему мнению, применение ультразвуковой обработки с введением в расплав частиц твердосплавного порошкового материала позволило существенно повлиять на температурный порог, что резко увеличило скорость зарождения кристаллов в присутствии частиц порошка и позволило формировать мелкозернистую структуру. Концентрация твердых частиц достигает 50 – 60 %.

Таким образом, при подборе соответствующих твердосплавных частиц (порошков) можно получить покрытия с высокой относительной износостойкостью.

Результаты исследований по влиянию ультразвуковых колебаний на структуру и физико-механические свойства наплавленных слоев (при подаче УЗК на электродную проволоку и введением в жидкую ванну порошкового присадочного материала) показывают, что УЗК и порошковая присадка изменяют условия зарождения и роста кристаллов: переохлаждения расплава, усиления объемной кристаллизации, что позволяет сформировать измельченную, субдендритную структуру. Наиболее предпочтительная фракция присадочного порошка 500 – 600 мкм. Наплавление поверхностей в поле УЗК вызывает измельчение структуры приповерхностных зон, снижает и перераспределяет остаточные напряжения в них и благоприятно влияет на формирование физико-механических характеристик поверхностей.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Агранат Б.А., Дубровин М.Н., Хавский Н.Н. и др. Основы физики и техники ультразвука. – М.: Высш. шк., 1987.
2. Шилиев А.С. Ультразвуковая обработка расплавов при производстве и восстановлении деталей машин.-Мн.: Навука і тэхніка 1992.
3. Дорожкин Н.Н., Петюшев Н.Н. Дуговая газопорошковая наплавка. – Мн.: Беларусь, 1989.
4. Проценко П.П., Привалов Н.Т. Влияние легирующих элементов на перенос электродного металла при дуговой сварке в защитных газах // Автоматическая сварка. – 1999.– №12.
5. Пархимович Э.М., Сагалевич В.М., Сотников В.И. Сварка в ультразвуковом поле. – Мн.: Навука і тэхніка, 1994.

### **ВОССТАНОВЛЕНИЕ И УПРОЧНЕНИЕ ПОСАДОЧНЫХ ПОВЕРХНОСТЕЙ ДЕТАЛЕЙ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ МАШИН НА УСТАНОВКЕ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОЙ НАПЛАВКИ С ОПТИМАЛЬНОЙ КОНСТРУКЦИЕЙ МАГНИТНОЙ СИСТЕМЫ**

**Л.М. Кожуро, академик МАНЕ, д-р техн. наук, профессор;  
А.В. Миранович, ассистент; Ю.В. Немизанский, студент  
УО «БГАТУ»**

(г. Минск, Республика Беларусь)

With the purpose to increase the efficiency of process of drawing of wearproof coverings an optimum construction of magnetic system and device of electromagnetic surfacing were implemented. The device uses a constant magnet of E-shaped form. Comparative tests of plants with electric and constant magnets were made. There is shown that use of constant magnets in the plant's system, which fulfill the electromagnetic surfacing, allows to increase productivity surfacing by 25 %, provides steadiness, stability of process and thickness of covering.