

УДК 621.7

МЕТОД СКОРОСТНОЙ ЭЛЕКТРОДУГОВОЙ ЦЕМЕНТАЦИИ**д-р техн. наук, проф. В.П. ЛЯЛЯКИН, канд. техн. наук Н.Н. ЛИТОВЧЕНКО,
В.И. ДЕНИСОВ, П.А. ВОРОБЬЕВ, Ю.Л. РЫЖИХ****(Всероссийский государственный научно-исследовательский и технологический институт ремонта
и эксплуатации машинно-тракторного парка, Москва)**

Рассмотрены упрочняющие технологии. Показано, что упрочнение деталей в значительной степени решает проблему повышения их износостойкости при правильно выбранном методе, режимах обработки и соответствующей организации работ.

Износ и коррозия деталей техники являются причинами больших потерей металла. При этом значительная доля металла расходуется на изготовление запасных частей машин и механизмов, идущая на поддержание машинно-тракторного парка в работоспособном состоянии. Изношенные детали в подавляющем большинстве идут в металлолом, хотя до 90 % их можно восстановить, упрочнить и повторно использовать при ремонте машин, увеличив их срок службы. Поэтому широкое развитие и практическое применение различных способов восстановления и упрочнения наиболее часто выходящих из строя деталей представляет актуальную научно-техническую и экономическую задачу, быстрое решение которой имеет огромное народнохозяйственное значение.

В связи с интенсивным развитием фермерских хозяйств и малых сельскохозяйственных предприятий, возникла проблема восстановления и упрочнения быстроизнашиваемых деталей в условиях мелкосерийного производства. К таким деталям относятся в первую очередь рабочие органы почвообрабатывающих машин (диски борон, стрелчатые лапы культиваторов, сошники, наральники, лемеха плугов и др.).

Интенсивному изнашиванию подвержены детали не только землеобрабатывающей техники, но и льноперерабатывающего и мясоперерабатывающего оборудования, строительных, мелиоративных и машин по внесению удобрений, а также детали транспортного оборудования по очистке животноводческих ферм и горно-добывающей, дорожно-строительной и другой техники.

По мере изнашивания и затупления рабочие части деталей затачивают для придания им нормальных функциональных качеств. Для увеличения срока службы, как было отмечено выше, производства применяют различные упрочняющие технологии. Без этого использование техники оказывается малоэффективным из-за больших издержек на приобретение запасных частей и затрат на частые ремонтные воздействия.

Упрочнение деталей в значительной степени решает эту проблему при условии правильно выбранного метода и соответствующей организации работ. Например, для увеличения срока службы рабочих органов почвообрабатывающих машин венгерской фирмой «Инновелд» были разработаны целевые установки для упрочнения рабочих кромок лемехов, круглых и зубчатых дисков борон, культиваторных лап. Однако все они были рассчитаны на применение индукционной наплавки, что делает их стационарными и дорогостоящими, а учитывая высокую стоимость порошковых материалов и огромное потребление электроэнергии, - экономически неоправданными.

Среди множества известных методов упрочнения не все они подходят для деталей, работающих в тяжелых условиях абразивного изнашивания при больших динамических и статических нагрузках из-за сложности и дороговизны оборудования и материалов, неуниверсальности по условиям применения, массы и конфигурации обрабатываемых деталей, а также недостаточного обеспечения физико-механических свойств упрочненных поверхностей. Например, в настоящее время для повышения износостойкости деталей машин все шире используются методы поверхностного упрочнения, такие как алмазное выглаживание, обработка концентрированными потоками энергии лазера и плазмы. В зависимости от технологии реализации и условий применения указанные способы упрочнения обеспечивают повышение износостойкости различных конструкционных материалов в среднем на 40...50 %. Но для деталей машин, работающих в условиях абразивного и коррозионного изнашивания, износостойкость необходимо увеличивать не на проценты, а в 5...6 раз. Для этого требуется использовать другие упрочняющие методы.

Традиционные термодиффузионные способы упрочнения насыщением стали углеродом, азотом, бором, хромом и другими элементами используются в стационарных условиях. Известно, что эти технологии энергоемкие и трудоемкие.

Термодиффузионное упрочнение сплавов с использованием дугового разряда является одним из интересных и перспективных направлений изучения. В ГОСНИТИ (г. Москва) разработан аппарат ЭДУ-1 с управляемой осцилляцией дуги, обеспечивающей бесконтактное её возбуждение и стабильное горение; ток регулируемый (40... 190 А); напряжение 50...60 В; питание от сети 220 В.

В комплект ЭДУ-1 входит источник питания переменного тока, специальный электродержатель, устройство для упрочнения вращающимся электродом (рис. 1).

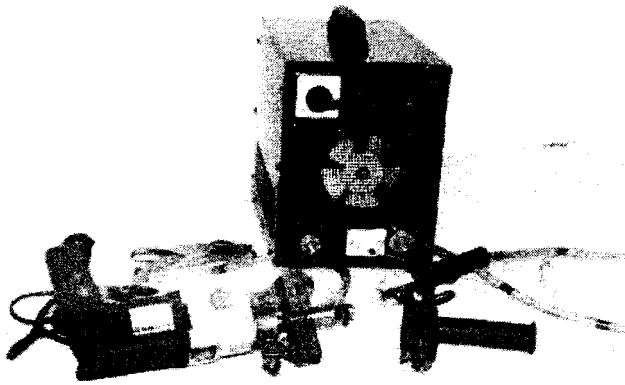


Рис. 1. Аппарат ЭДУ

Поверхностное термодиффузионное упрочнение с использованием дугового разряда привлекает большей простотой аппаратного исполнения по сравнению с другими известными высококонцентрированными источниками энергии (ВИЭ). Процессы, происходящие при воздействии дугового разряда на металл, во многом аналогичны процессам при обработке другими ВИЭ, что касается теплообмена и фазово-структурных превращений. Обработка ведется по схеме косвенной и прямой дуги и в режиме короткого замыкания с использованием графитового электрода диаметром 6... 10 мм, перемещающего его вдоль поверхности образцов (рис. 2, 3, 4).

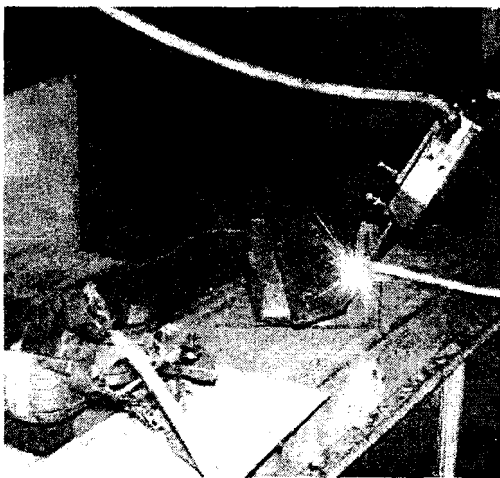


Рис. 2. Режим прямой дуги



Рис. 3. Режим косвенной дуги

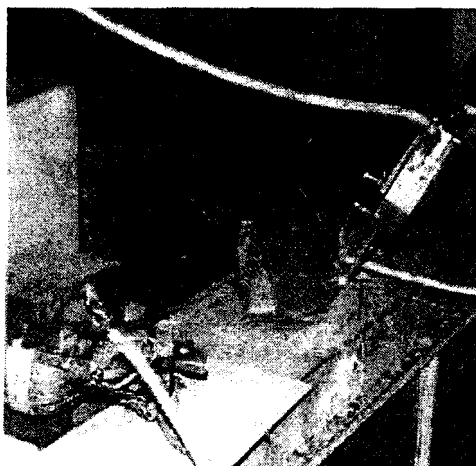


Рис. 4. Режим короткого замыкания

Упрочнение поверхностного слоя стали при исследованных схемах обработки основано на совместном тепловом и химическом воздействии плазмы дугового разряда, которое определяет структуру, формирующуюся при последующем охлаждении.

Горение дуги сопровождается нагревом угольных электродов (ГМЗ) и испарением их материала из участков анодного и катодного пятен (косвенная дуга). При этом формируются анодный и катодный плазменные потоки, движущиеся со скоростями $10^3 \dots 10^5$ см/с. Анодный поток состоит в основном из слабо ионизированного потока углеродного пара. При обработке дугой косвенного действия взаимодействие этих двух потоков приводит к образованию плазменного факела, направленного под углом к оси электродов. Особенно четко это проявляется при установке электродов под углом друг к другу, что хорошо наблюдается визуально (см. рис. 2).

Посредством плазменного факела происходит как нагрев, так и насыщение оплавленной поверхности углеродом.

Процесс обработки косвенной дугой характеризуется нестабильностью из-за постоянного изменения положения электродов или формы кратеров на электродах, что приводит к резкому изменению направления плазменного факела. Это вызывает колебания температурного режима и содержания углерода в зоне воздействия.

При воздействии на образец из низкоуглеродистой стали (0,2 % С) дугой прямого действия, горячей на переменном токе в широком интервале параметров, содержание углерода в зоне оплавления (30) не превышает 2 %. Структура после охлаждения представляет собой аустенит и мартенсит.

При обработке на постоянном токе основное влияние на структуру и свойства упрочненного слоя оказывает полярность дуги. В результате воздействия дугой прямой полярности (образец является анодом) зона оплавления на низкоуглеродистой стали имеет тросто-мартенситную структуру с микротвердостью 2800...3000 Н/мм²; при этом горение дуги характеризуется нестабильностью, связанной с хаотичным перемещением анодного пятна.

Как показали проведенные опыты, постоянный ток вызывает неравномерное сторание электродов (отрицательный полюс - катод горит медленнее, чем положительный полюс - анод), что требует смены полярности через каждые одну, две минуты, а это создает неудобства при эксплуатации и уменьшение производительности цементации. Поэтому предпочтение следует отдать переменному току, так как при этом, хотя несколько и уменьшается скорость цементации, однако электроды горят равномерно, что является решающим для процесса получения направленного плазменного разряда. В подтверждение этому проведены следующие исследования.

Цементация на переменном токе (косвенная дуга) стального листа толщиной 3 мм (сталь 20) ток 125 А, напряжение 60 В со скоростью 30 см²/мин. Через 5 мин длина электродов (ГМЗ, стержни диаметром 10 мм) уменьшилась на 1 см. На постоянном токе электрод (анод) сторел на 2 см, а катод остался прежней длины, вследствие чего электрическая дуга изменила свое направление на угол 45° и интенсивность упрочнения места нагрева детали уменьшилась.

Выбор силового понижающего трансформатора. Применение трансформаторов с жесткими внешними характеристиками (обычно понижающие трансформаторы) предпочтительнее при электродуговом упрочнении стали. Как показали исследования, такие трансформаторы при электродуговом упрочнении способствуют ускорению нагрева зоны упрочнения и саморегулированию дуги в процессе упрочнения, упрощают работу оператора, так как плазменный факел в ионизированной зоне стабилен даже при увеличении зазора между электродами от 6...8 до 30...40 мм при напряжении 65...70 В (при косвенной дуге). Трансформатор должен быть снабжен стабилизатором горения дуги.

Электродуговое упрочнение (ЭДУ), в определенном смысле, метод универсальный, так как он позволяет выполнять операции комбинированного упрочнения, такие как цементация и борирование, цементация и азотирование, получая при этом более износостойкие свойства металла, поэтому важно знать, насколько превосходит ЭДУ другие методы химико-термического упрочнения (ХТУ). Эти выводы можно сделать при анализе данных, приведенных в табл. 1.

Таблица 1

Результаты электродугового упрочнения и других химико-термических методов

Наименование методов упрочнения	Время обработки, ч	Глубина упрочнения, мм	Температура нагрева детали, °С	Твердость после упрочнения, Нв
ХТУ:				
- цементация	11...12	0,5...1,8	910...930	580
- азотирование	24...60	0,5...0,8	500...700	850
- нитроцементация	4...6	1,0	840...860	600
- борирование	2...6	0,1...0,2	930...950	1800...2000
ЭДУ	0,01	2,0	1200...1600*	800

* - поверхностный нагрев на глубину 1 ...2,5 мм.

Результаты экспериментальных исследований электродугового упрочнения. Твердость новых деталей без упрочнения, реализуемых торговыми предприятиями в качестве запасных частей, представлена в табл. 2.

Таблица 2

Твердость новых деталей без упрочнения

Наименование деталей	Твердость, HRC
Лемех предплужника П-703	12...14
Доска полевая ПНЧС-502	8...9
Односторонняя плоскорезущая лапа культиватора С-4 (КС-413)	16
Зуб бороны БЗС 603	18
Грудь отвала ПЛЕ 21.401	12

Твердость новых деталей, упрочненных методом ЭДУ и наплавкой порошком, представлена в табл. 3.

Таблица 3

Твердость новых деталей, упрочненных методом ЭДУ и наплавкой порошком

Наименование деталей	Твердость HRC
Стрельчатая лапа культиватора, наплавленная порошковым материалом ГТГ-СРЧ	46
Образцы Ф20 из Ст. 45, упрочненные ЭДУ	57...62
Образцы Ф20 из Ст. 65Г, упрочненные ЭДУ	61...63
Доска полевая ПНЧС-502, упрочненная ЭДУ	60...72

Производительность ЭДУ:

- при косвенной дуге - до 30 см²/мин;
- при прямой - до 20 см²/мин;
- в режиме короткого замыкания - до 8 см²/мин.

Глубина упрочнения:

- при косвенной дуге - до 1,5 мм;
- при прямой - до 2,5 мм;
- в режиме короткого замыкания - до 2,0 мм.

Преимущества электродугового упрочнения. Кроме высокой производительности ЭДУ, многократно превосходящей традиционные методы термохимического упрочнения, разрабатываемый метод имеет ряд других преимуществ.

- скорость цементации исчисляется не часами, а минутами, так как процесс идет при высокой температуре электрической дуги, резко увеличивающей глубину упрочненного слоя;
- процесс выполняется в открытом пространстве (на воздухе с применением стандартных сварочных трансформаторов переменного тока на 200...500 А и специального ручного пистолета. Расходный материал - графитовые стержни марки ГМЗ и др. (газы не требуются);
- цементацию можно осуществлять как в стационарных условиях на крупных заводах-изготовителях техники, так и в мастерских предприятий, а также в полевых условиях при наличии электроэнергии;
- экономическая эффективность составляет 720 тыс. руб. в год от использования одного аппарата.