

- сообщение детали и наплавочному модулю относительных перемещений.

Известно, что физико-механические и эксплуатационные свойства покрытий определяются их структурой, химическим и фазовым составом, которые в свою очередь зависят от метода ЭМН и свойств наплавляемых материалов.

Поскольку систематизированные данные об особенностях формирования покрытий электромагнитной наплавкой в ультразвуковом поле в литературе отсутствуют, то исследование структуры и свойств наплавленных слоев представляет как теоретический, так и практический интерес.

Нами проведены исследования структур покрытий, полученных электромагнитной наплавкой в ультразвуковом поле порошка Fe-2%V, имеющего следующий химический состав: 0,5% углерода; 2% ванадия; 0,4% кремния; 0,4% марганца; остальное – железо. Исследование структуры проводили с помощью металлографического микроскопа МИМ-7. Наплавленный слой представляет собой конгломерат очень мелких дисперсных пластин, по фазовому составу являющихся пересыщенным твердым раствором ванадия в α -железе. Вблизи границы с основой покрытие имеет дендритно-ячеистое строение, ориентированное в направлении действия ультразвука, что способствует повышению износостойкости металла. Микротвердость наплавленных покрытий составляет 8000 МПа.

Сравнивая покрытия, полученные ЭМН с ультразвуком и без ультразвука, можно сделать вывод о том, что покрытия, полученные ЭМН в ультразвуковом поле, имеют более высокую износостойкость по сравнению с покрытиями, полученными ЭМН. Обусловлено это тем, что ультразвук способствует повышению плотности и однородности покрытия; воздействует на формирование его структуры, делая ее более дисперсной. Поэтому повышается твердость покрытий и соответственно сопротивление механическому разрушению их поверхности, что и увеличивает износостойкость покрытий.

ТЕРМОМЕХАНИЧЕСКОЕ УПРОЧНЕНИЕ И ВОССТАНОВЛЕНИЕ ПОВЕРХНОСТЕЙ В ЭЛЕКТРОМАГНИТНОМ ПОЛЕ

Акулович Л.М., Кожуро Л.М., Иванов И.А., Мрочек Ж.А.

ИП КТИ СМА, БАТУ, БГПА

Проведенный системный анализ методов упрочнения и восстановления деталей машин, исследование и моделирование термомеханической обработки в электромагнитном поле, оптимизация параметров обработки, проектирование на основе положений технологической наследственности процессов обработки позволили разработать технологические основы термомеханичес-

кого упрочнения и восстановления деталей в электромагнитном поле, заключающиеся в следующем:

1. На основании системного анализа методов упрочнения и восстановления деталей разработана классификация, базирующаяся на использовании критериев твердо-, жидко- и газофазности материалов при формировании поверхностей, предложена методика выбора ресурсосберегающих процессов, основанная на изучении зависимости геометрических и физико-механических параметров качества поверхности от энергозатрат технологических воздействий. Для упрочнения и восстановления изношенных до 0,6 мм поверхностей вращения рекомендовано использовать электромагнитную наплавку ферропорошков с плотностью мощности $5 \cdot 10^4 \dots 5 \cdot 10^6$ Вт/см², совмещая ее с поверхностным пластическим деформированием, последующим шлифованием и магнитно-абразивной обработкой.

2. Предложена методика проектирования процессов термомеханической обработки в электромагнитном поле, основанная на анализе энергетических и информационных критериев в технологической системе и выборе рациональных технологических решений при самоорганизации поверхностных явлений. Предложено процессы обработки в электромагнитном поле описывать энергетическим критерием (Si) или соотношением критериев магнитного взаимодействия и напряженности электрического поля (Sm/Se), а для управления термомеханическим формированием поверхностного слоя использовать критерий Рейнольдса (Re) или соотношение критериев Пекле и Прандтля (Pe/Pr), модифицированных с учетом изменений проводимости и вязкости ферропорошковой среды в электромагнитном поле. Показана организация обратных связей для управления производительностью и качеством поверхностной обработки: положительных – путем дополнительных перемещений частиц порошка и инструмента, отрицательных – посредством энергетических и силовых воздействий.

3. Разработаны математические модели теплового и напряженного состояния поверхностного слоя при термомеханической обработке в электромагнитном поле, показывающие, что температурные поля целесообразно представлять линейной суперпозицией нагрева на 400–1200°C от равномерно распределенного быстродвижущегося по поверхности источника и накопления тепла деталью, а максимальные эквивалентные напряжения предложено рассматривать при поверхностном деформировании на глубине от 0,5 до 0,8 полуширины площадки контакта с инструментом в зависимости от температуры нагрева поверхности.

4. Установлено, что формирование упрочненного слоя поверхности обеспечивается путем наложения хаотически расположенных на поверхности детали точечных вкраплений, образующихся из микрованн расплава частиц це-

печек ферропорошка из 3–4 зерен. Толщина покрытия определяется адгезией расплавленного металла ферро-порошка к упрочняемой поверхности и достигает 0,6 мм. Упрочнение поверхности сопровождается процессами нанесения покрытия и эрозией его отдельных участков, рациональной является удельная длительность упрочнения 2,7 с/см², при которой масса перенесенного на поверхность детали металла максимальна.

5. Получены статистические модели процессов термомеханической обработки в электромагнитном поле, определяющие влияние основных технологических факторов на параметры процессов. Показано, что при электромагнитной наплавке удельная длительность процесса (τ) обеспечивает прежде всего сплошность покрытиям (G), а расходы жидкости (Q) и порошка (q) определяют производительность (Δm). При электромагнитной наплавке с поверхностным пластическим деформированием наиболее сильное воздействие на геометрические, физико-механические и эксплуатационные параметры качества оказывают сила разрядного тока и сила давления.

6. Установлено, что при электромагнитной наплавке ферробором ФБ-1 формируются три зоны структурного строения упрочненного слоя стали 45: наплавленная, диффузионная и зона термического влияния. В наплавленной зоне основными структурными составляющими являются мартенсит, сорбит и комплексные дисперсные бориды на основе FeB и Fe₂B с твердостью до 20 ГПа, а диффузионная зона представляет собой α – твердый раствор бора в железе с твердостью до 11,5 ГПа. Выявлено, что поверхностное пластическое деформирование, совмещенное с электромагнитной наплавкой, увеличивает в 2–3 раза опорную поверхность упрочненной детали. После шлифования и полирования величина опорной поверхности увеличивается в 1,1–1,3 раза, а шероховатость достигает Ra=0,08 мкм, равной глубине следов воздействия свободного абразива. Определено, что электромагнитная наплавка ферропорошка ФБ-1 на сталь 45 увеличивает износостойкость поверхностей в 1,4–1,5 раз в сопоставлении с эталоном (сталь 45 нормализованная и закаленная с нагрева ТВЧ на глубину 1,2–1,6 мм и твердостью до 52–54 HRC). Улучшение геометрических характеристик упрочненных поверхностей после шлифования и полирования повышает их износостойкость в 1,1–1,2 раза.

7. Разработана методология проектирования гибкого производственного модуля термомеханической обработки в электромагнитном поле, включающего сопряженные объекты управления и приводы; управляющие устройства и системы датчиков, позволяющие модулю устойчиво работать в автоматическом режиме без внешних управляющих воздействий на всех операциях восстановления, упрочнения и обработки деталей. Спроектирован рациональный с позиции явлений технологической наследственности маршрут термомеханической обработки, реализуемый модулем: электромагнитная наплавка

с поверхностным пластическим деформированием, обеспечивающая шероховатость поверхности до $Ra=5,0-6,3$ мкм, шлифование покрытий крутом из карбида кремния зеленого до $Ra=0,63-0,80$ мкм и магнитно-абразивная обработка, формирующая поверхность детали с $Ra=0,08-0,16$ мкм.

Работа выполнялась при финансовой поддержке Белорусского республиканского фонда фундаментальных исследований (проект Т96-105).

РЕСУРСОБЕРЕГАЮЩАЯ ТЕХНОЛОГИЯ СКОРОСТНОГО ЖЕЛЕЗНЕНИЯ ПРИ ВОССТАНОВЛЕНИИ ВНУТРЕННИХ ПОВЕРХНОСТЕЙ ДЕТАЛЕЙ

*Юдин В.М., Веселовский Н.И.
РГАЗУ*

При восстановлении относительно небольших внутренних поверхностей деталей, загрузка которых в ванне железнения занимает большой объем, в стационарных условиях электролиза ванна железнения и источник тока используются малоэффективно.

Для повышения эффективности целесообразно в этом случае применять более высокие плотности тока, увеличивая таким образом скорость железнения.

Теоретические и экспериментальные исследования показали возможность значительного, в 5–10 раз, повышения рабочих плотностей тока при железнении в концентрированном простом хлористом электролите внутренних поверхностей деталей за счет введения в межэлектродное пространство вращающейся токонепроводящей перфорированной перегородки.

Анализ работы электролизера с вращающейся перегородкой показывает, что перегородка работает как турбинка центробежного насоса. Электролит в межэлектродном пространстве при этом вращается и, под действием центробежных сил, прижимается к поверхности наружного электрода, обтекает его поверхность и удаляется в основной объем ванны. На его место засасывается свежий электролит из основного объема ванны. Это обеспечивает интенсивный обмен электролита в межэлектродном пространстве.

При железнении ограничение катодной плотности тока может быть связано с достижением предельного тока диффузии ионов из-за резкого понижения концентрации разряжающихся ионов в прикатодном слое или с повышением pH в прикатодном слое и образованием гидроксида железа.

В этих случаях нарушаются условия электролиза и образуются шероховатые или губчатые осадки железа.

При высокой концентрации разряжающихся на катоде ионов железа, имеющихся в концентрированном хлористом электролите, достижение пре-