

К числу установленных наследственных закономерностей усталостного нагружения можно отнести: характер изменения напряженного и деформированного состояния поверхностного слоя в каждом цикле и в течение всего усталостного нагружения; численные значения приращения степени деформации сдвига и степени исчерпания запаса пластичности металла поверхностного слоя детали в каждом цикле; роль истории нагружения металла поверхностного слоя в обеспечении циклической долговечности детали.

Литература

1. Блюменштейн, В.Ю. Механика технологического наследования на стадиях обработки и эксплуатации деталей машин / В.Ю. Блюменштейн, В.М. Смелянский. – М.: Машиностроение-1, 2007. – 400 с.
2. Технология экспериментальных исследований: моногр. / И.Р. Асланян, А.П. Бабичев, В.Ю. Блюменштейн [и др.]; под ред. С.А. Зайдеса. – Иркутск: изд-во ИрГТУ, 2011. – 572 с.

УДК 537.525:537.63

ИННОВАЦИОННОЕ ОБОРУДОВАНИЕ И ТЕХНОЛОГИИ ИОННОГО АЗОТИРОВАНИЯ

М.Н. Босяков, С.В. Бондаренко, А.С. Бондаренко, Д.В. Жук, И.Л. Поболь
Физико-технический институт НАН Беларуси, Минск

Представлены основные преимущества разрабатываемых ФТИ НАН Беларуси оборудования и технологий ионного азотирования (ИА), наиболее современного вида поверхностного упрочнения деталей машин, пресс-форм, штампов, режущего инструмента и других изделий.

В промышленно развитых странах активно используются процессы азотирования, прежде всего ионного. В результате ИА могут быть существенно повышены твердость, усталостная выносливость, износ-, тепло- и коррозионная стойкость изделий. ИА устраняет такие недостатки газового азотирования, как большая длительность и трудоемкость процесса, повышенная хрупкость слоя, недостаточная контактная выносливость, нестабильность получаемых результатов.

Нами накоплен большой опыт в разработке технологий и изготовлении современного оборудования ИА, которое успешно эксплуатируется в ФТИ, ОАО «МЗКТ», ОАО «МАЗ», ОАО «БелАЗ», ОАО «Гомсельмаш», ОАО «Могилевлифтмаш», НПП «Технолит», ОАО «Волжский дизель им. Маминых», БарГУ и др. Вакуумные камеры установок относятся к классу установок с «холодными стенками». Создается оборудование с необходимыми габарит-

ными размерами и модификациями рабочей камеры колпакового либо шахтного типа, некоторые из базовых вариантов приведены в таблице.

В качестве рабочей среды применяются газовые смеси, состоящие из получаемого автономно электролизного (либо баллонного) водорода, азота, аргона, метана или ацетилена (для антикоррозионного азотирования изделий из низко- и среднеуглеродистых сталей). Независимое управление расходом компонентов смеси и давлением в камере позволяют формировать на изделиях из разных марок сталей азотированные слои заданного состава и глубины. Разработанный нами принцип организации процесса ИА обеспечивает эффективное управление «активностью» плазмы в зависимости от марки стали и объема загрузки камеры и значительное снижение энергозатрат. За достаточно короткое время выдержки (8 – 14 ч) на изделиях с общей азотируемой площадью до 50 м² обеспечивается формирование диффузионного слоя глубиной 0,3 – 0,5 мм с заданной твердостью. Эти характеристики слоя обеспечиваются выбором режима обработки по давлению в камере, концентрации азота в газовой смеси, параметрами разряда и алгоритмом изменения концентрации азота в ходе процесса и автоматизированным контролем режимом обработки. Система подачи и регулирования расхода рабочих газов обеспечивает необходимый расход и состав газовой смеси в процессе ИА.

Таблица

Параметры установок производства ФТИ НАН Беларуси

Тип установки	Максимальная мощность разряда, кВт	Размеры рабочего пространства, мм		Максимальная масса садки, кг	Максимальный расход рабочих газов, л/ч
		Диаметр	Высота		
УА-25	18	400	380	100	20
		550	800	300	30
УА -40	30	750	1000	800	50
УА -63	45	950	1250	1000	80
		950	1800	1500	
		950	2200	1800	
		950	1450/3000	2000	
		1150	1400	2000	
УА -100	60	950	3500 – шахтная	2500	100
		1400	2000	2500	
		2000	1450	3000	

Выпускаемые нами установки полностью автоматизированы, обеспечиваются широким спектром технологических программ, управление работой и контроль за ходом процесса обработки осуществляется посредством программируемого контроллера. Имеется возможность оптимизировать процесс азотирования на всех стадиях – откачки камеры, разогрева, выдержки и остуживания садки.

Управление процессом ИА базируется на основе энергобаланса системы «садка – стенка камеры» на разных стадиях процесса обработки – при разогреве садки и ее изотермической выдержке.

Камера имеет систему экранной теплоизоляции, состоящую из трех стальных теплозащитных экранов, что существенно минимизирует потери от излучения садки, но при этом в достаточной степени обеспечивается необходимая «химическая активность» разряда – «потенциал азотирования». При температуре садки 530 – 540 °С температура внутреннего экрана поддерживается на уровне 440 – 450 °С, что соответствует внутренней «горячей стенке» в установках с косвенным подогревом (фирм “Eltro”, “PlaTeg”, “Rübig” и др.). Высокая температура внутреннего экрана в нашем оборудовании обеспечивает однородность температурного поля в садке и низкий расход электроэнергии. Так, при обработке садки массой 515 кг на стадии выдержки на поддержание разряда затрачивается мощность всего 18 – 18,5 кВт или 35 – 36 Вт/кг.

Установлено, что чем полнее загружена камера, тем меньше удельный расход электроэнергии для обеспечения необходимой глубины азотированного слоя. Удельные энергозатраты на формирование разряда при температуре садки 525 – 530 °С составляют 0,5 – 1,6 кВт·ч/кг в зависимости от загрузки камеры.

По мере повышения температуры в камере плотность тока, обеспечивающая существование разряда в виде аномального при одинаковом давлении, снижается. С другой стороны, при одинаковой температуре рост давления в камере приводит к повышению плотности тока. Разогрев садки при низком давлении позволяет «вкачивать» в разряд максимальную мощность при минимальном дугеобразовании, а при температуре выдержки, когда плотность тока снижается, давление выбирается более высоким, чтобы обеспечить более полное «облегание» разрядом поверхности обрабатываемых изделий и получение равномерного азотированного слоя.

Требуемые характеристики азотированных слоев (глубина, твердость и распределение твердости по глубине) определяются комбинациями параметров технологического процесса (температура, время, давление и состав насыщающей среды). В зависимости от условий азотирования нитридный слой может быть либо γ' -фазой (Fe_4N) либо $(\gamma'+\epsilon)$ -фазой (ϵ -фаза – Fe_{2-3}N). γ' -нитридный слой является износостойким и относительно пластичным, а ϵ -слой – коррозионно-стойким. Количество поглощенного сталью азота, тип и концентрация выделившихся нитридов определяют степень повышения твердости стали при азотировании.

Заключение. Выпускаемое ФТИ НАН Беларуси оборудовании ионного азотирования полностью автоматизировано, обеспечиваются широким спектром технологических программ, управление работой и контроль

за ходом процесса обработки осуществляется посредством программируемого контроллера.

За достаточно короткое время выдержки на изделиях обеспечивается формирование диффузионного слоя глубиной 0,3 – 0,5 мм с заданной твердостью. Эти характеристики слоя обеспечиваются выбором режима обработки по давлению в камере, концентрации азота в газовой смеси, параметрами разряда и алгоритмом изменения концентрации азота в ходе процесса и автоматизированным контролем режимом обработки.

УДК 658. 512: 621. 923

ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЕ НАСЛЕДОВАНИЕ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ ПАРАМЕТРОВ КАЧЕСТВА МАТЕРИАЛА И ПОВЕРХНОСТИ ИЗДЕЛИЯ

А.С. Васильев¹, А.И. Кондаков¹, С.А. Клименко²,
Л. Танович³, М.Л. Хейфец⁴

¹Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана

²Институт сверхтвердых материалов им. В.Н. Бакуля НАН Украины, Киев

³Белградский университет, Сербия

⁴Президиум НАН Беларуси, Минск

Рассмотрены методы технологического управления наследованием эксплуатационных свойств деталей, включающие: измерения параметров наиболее ответственных деталей; определение механизмов технологического наследования на основе коэффициентов передачи и взаимовлияния эксплуатационных свойств; анализ технологических барьеров при интенсивных воздействиях потоками энергии, разработку мероприятий по управлению технологическими процессами.

Введение. Под наследственностью в технологии машиностроения подразумевают явление переноса свойств обрабатываемого объекта от предшествующих операций и переходов к последующим, которое в дальнейшем сказывается на эксплуатационных свойствах деталей машин. Носителями наследственной информации являются обрабатываемый материал и поверхности детали со всем многообразием описывающих их параметров. Носители информации активно участвуют в технологическом процессе и при эксплуатации, проходя через различные операции и переходы, испытывая воздействия технологических факторов.

В технологической цепочке и на стадии эксплуатации существуют своего рода «барьеры». Некоторые технологические факторы преодолеть эти «барьеры» не могут и в таком случае их влияние на конечные свойства объекта отсутствуют. Другие факторы такие «барьеры» проходят, но при этом зна-