

ОПРЕДЕЛЕНИЕ МАКРОНАПРЯЖЕНИЙ В ПОКРЫТИИ, СФОРМИРОВАННОМ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОЙ НАПЛАВКОЙ

Белорусской государственной аграрной технической университет

Минск, Беларусь

Белорусская государственная политехническая академия

Минск, Беларусь

Могилевский машиностроительный университет

Могилев, Беларусь

Белорусский государственный технологический университет

Минск, Беларусь

Остаточные напряжения I-го рода (макронапряжения) в покрытиях существенно влияют на эксплуатационные свойства восстановленных и (или) упрочненных деталей и, прежде всего, на их динамическую прочность при циклических нагрузках [1]. Так, остаточные напряжения сжатия являются резервом повышения прочности деталей, а напряжения растяжения ослабляют их прочность, вызывают возникновение трещин, приводят к разрушениям [2].

Механизм формирования внутренних остаточных напряжений сложен и зависит от соотношения и взаимодействия в покрытии силовых и температурных факторов. При восстановлении или упрочнении деталей электромагнитной наплавкой различными порошками в силу локальных тепловых воздействий на основной металл и быстрого неравномерного охлаждения наплавленного покрытия, в последнем формируются остаточные напряжения растяжения [3]. Поэтому представляет практический интерес определение макронапряжений в покрытиях, полученных ЭМН с поверхностным пластическим деформированием (ППД), а также после их механической обработки. Остаточные макронапряжения в покрытиях определяли рентгеноструктурным анализом, используя метод определения параметров линейно-напряженного состояния металла по смещению линий рентгенограммы.

Рентгеноструктурный анализ проводили на дифрактометре ДРОН-3 в кобальтовом монохроматизированном излучении. Съемка профиля рентгеновской линии выполнялась в автоматическом режиме.

Известно, что по закону Гука относительное изменение длины цилиндра при растяжении составляет

$$\frac{\Delta l}{l} = \frac{\sigma}{E},$$

где σ – напряжение; E – модуль Юнга.

При этом относительное изменение диаметра цилиндра по закону Пуассона равно

$$\frac{\Delta D}{D} = -\mu \frac{\sigma}{E},$$

где μ – коэффициент Пуассона; D – диаметр цилиндра.

С другой стороны, дифференцирование уравнения Вульфа-Бреггов (при монохроматическом излучении $l = \text{const}$) дает

$$\frac{\Delta d}{d} = \frac{\Delta \theta}{\theta},$$

где d – расстояние между кристаллографическими плоскостями; θ – угол Вульфа-Бреггов; λ – длина волны рентгеновского луча.

Считая кристаллографические плоскости, участвующие в отражении, параллельными оси цилиндра, можно приравнять

$$\frac{\Delta d}{d} = \frac{\Delta D}{D}.$$

Тогда

$$\sigma = -\frac{E}{\mu} \frac{\Delta d}{d} = -\frac{E}{\mu} \Delta \theta \operatorname{ctg} \theta,$$

где $\Delta \theta$ – смещение максимума рентгеновской линии, вызванное макронапряжениями, $\Delta \theta = \theta_{\text{эталона}} - \theta_{\text{образца}}$.

Разделение K_{α} -дублета и определение точного положения интерференционной линии проводили по методике, в соответствии с которой

$$2\theta_1 = 2\theta_{\text{ц.т.}} - 0,333 \cdot 2\delta,$$

где θ_1 – положение линии $K_{\alpha 1}$; $\theta_{\text{ц.т.}}$ – положение центра тяжести профиля; δ – междублетное расстояние, определяемое из соотношения

$$\delta = \frac{\Delta \lambda}{\lambda} \operatorname{tg} \theta,$$

где $\Delta \lambda = \lambda_1 - \lambda$ – разность длин волн $K_{\alpha 1}$ и $K_{\alpha 2}$ рентгеновских излучений.

Результаты определения остаточных макронапряжений представлены на рис. 1. Анализ эпюр распределения остаточных напряжений в покрытиях показывает, что в результате ППД покрытий, изменения удельных объемов при фазовых превращениях, различия коэффициентов линейного расширения материалов порошков и основы, в системе покрытие-основа возникают остаточные напряжения сжатия с большим гра-

диентом по глубине деформационного слоя покрытий. Данные рис. 1 позволяют сопоставить значения остаточных напряжений в покрытиях в зависимости от химического состава порошков и методов механической обработки. Из рис. 1, а следует, что наибольшие остаточные напряжения сжатия имеют покрытия из порошка Fe-10%V, наименьшие – из порошка С-300. Шлифование покрытий приводит, главным образом, к изменению градиента напряжений (рис. 1, б). Благоприятное воздействие на остаточные напряжения сжатия оказывает магнитно-абразивная обработка, после которой они увеличиваются на поверхности покрытий из порошков Fe – 10%V, Р6М5Ф3 и С-300 и соответственно составляют: –730, –640 и –580 МПа (рис. 1, в).

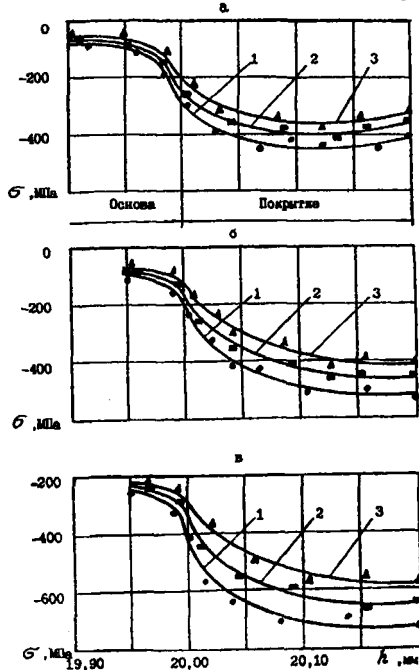


Рис. 1. Распределение остаточных макронапряжений в основе и покрытии, полученном ЭМН с ППД (а); ЭМН с ППД и шлифованием (б); ЭМН с ППЛ, шлифованием и магнитно-абразивной обработкой (в): 1 – Fe – 10%V; 2 – Р6М5Ф3; 3 – С300

По мере механической обработки покрытия происходит рост остаточных напряжений в покрытии и сдвиг максимума напряжений в глубину. Сравнение эпор распределения остаточных напряжений показывает, что, начиная с переходной зоны покрытия, они идентичны.

Таким образом, ППД покрытий формирует в системе покрытие-основа напряжения сжатия. Величина остаточных напряжений сжатия зависит от химического состава порошка. Шлифование и магнитно-абразивная обработка покрытий увеличивают градиент напряжений. Верхние слои покрытий толщиной до 50–100 мкм представляют собой зону с большими градиентами напряжений, средние – толщиной 100–200 мкм – зону с малыми градиентами напряжений.

ЛИТЕРАТУРА

1. Витязь П.А., Ивашко В.С., Ильющенко А.Ф. и др. Теория и практика нанесения защитных покрытий. – Мн.: Беларуская навука, 1998. – 583 с. 2. Барвинок В.А. Управление напряженным состоянием и свойствами плазменных покрытий. – М.: Машиностроение, 1990. – 384 с. 3. Мрочек Ж.А., Кожуро Л.М., Филонов И.П. Прогрессивные технологии восстановления и упрочнения деталей машин. – Мн.: УП “Технопринт”, 2000. – 268 с.

УДК 621.923.7

С.Л. КОЖУРО, В.Л. ШАДУЯ

ОПТИМИЗАЦИЯ МАГНИТНО-АБРАЗИВНОЙ ОБРАБОТКИ ПО ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИМ СВОЙСТВАМ ПОКРЫТИЙ

*Белорусская государственная политехническая академия
Минск, Беларусь*

Исследование включало установление влияния основных технологических факторов магнитно-абразивной обработки (МАО) на величину и знак остаточных напряжений I-го рода (макронапряжений) и остаточных напряжений II-го рода (микронапряжений), а также многопараметрическую оптимизацию МАО по макро- и микронапряжениям при обработке покрытий, полученных электромагнитной наплавкой с поверхностным пластическим деформированием (ЭМН с ППД). Определение остаточных напряжений в образцах проводили методом рентгеноструктурного анализа. Использовали дифрактометр ДРОН-3М с ионизационным методом регистрации рентгеновских интерференционных максимумов. Съёмка велась в кобальтовом немонохроматизированном излучении.

Установление влияния технологических факторов МАО на остаточные макро- и микронапряжения, а также определение технологических факторов, обеспечивающих наилучшие физико-механические свойства поверхностного слоя покрытия, проводились при помощи метода математического планирования экспериментов. Применялся центральный композиционный ротатабельный равномерный план (ЦКРУП) второго порядка.