

шенной толщины позволяют использовать разработанные составы красок для поверхностного упрочнения литой технологической оснастки.

Эксперименты по получению литых штамповых вставок из стали 5ХНМ показали, что при этом формируются отливки с параметром шероховатости поверхности Rz 80–100 и точностью 0,2–0,3 мм. После шлифования со снятием 0,4–0,6 мм поверхностного слоя параметр шероховатости составил Ra 1,6–2,2, боридный слой – около 0,8–1,0 мм.

УДК 669.14.018.25

С.Е.БЕЛЬСКИЙ, канд.техн.наук (ФТИ АН БССР)

СТРУКТУРНЫЕ ИЗМЕНЕНИЯ В МАТЕРИАЛЕ РЕЖУЩЕЙ ЧАСТИ ИНСТРУМЕНТА ИЗ СТАЛИ Р6М5 В ПРОЦЕССЕ РАБОТЫ

Была исследована кинетика трения и изнашивания инструмента из стали Р6М5 при его эксплуатации с учетом структурных изменений в поверхностном и подповерхностном слоях материала. В качестве основных характеристик структурного состояния поверхностного слоя выбраны уровень микро- и макронапряжений, содержание остаточного аустенита, определяемые рентгенографически. Для анализа структурных изменений по глубине поверхностного слоя инструмента использовали рентгенографирование скользящим пучком и электролитическое травление, что позволило исследовать слой толщиной 0,7–7 мкм и 7–50 мкм соответственно. ДюрOMETрический анализ поверхностного слоя проведен с использованием метода косых срезов (угол среза $\sim 10^\circ$). Анализировали структурные изменения при эксплуатации вставных ножей зуборезных фрезерных головок и калибрующих прошивок из стали Р6М5, условия работы которых имеют существенные отличия по температурно-силовым параметрам.

Исследование трансформации структуры и свойств поверхностного слоя инструмента при его эксплуатации должно вестись с учетом изменений, внесенных финишной механической обработкой (шлифование). Для шлифованных инструментальных сталей характерно наличие на поверхности слоя вторичной закалки (20–40 мкм), содержание остаточного аустенита в котором достигает $\sim 15\%$, а уровень микронапряжений и твердость $\Delta a/a \sim 2 \cdot 10^3$ и $95 \cdot 10^7$ Па соответственно, что значительно превышает эти характеристики подповерхностного слоя, расположенного на глубине более 40 мкм. Макронапряжения в поверхностном слое являются напряжениями сжатия ($80 \cdot 10^7$ Па).

Анализ данных, полученных при исследовании ножей после обработки 100, 200 и 300 деталей показывает, что с увеличением числа обработанных деталей повышается уровень микронапряжений и заметно снижаются макронапряжения сжатия и содержание остаточного аустенита (рис. 1). Эти изменения проявляются уже после обработки 100 деталей, т. е. в начальный период эксплуатации. Снижение содержания остаточного аустенита, образовавшегося при шлифовании, связано с превращением его в "мартенсит деформации" вследствие малой температурной устойчивости, а также интенсифицирующего действия высоких давлений. Результатом реализации этого процесса является сни-

жение макронапряжений и, как следствие, уменьшение опасности поломки инструмента или появления макрозон разрушения. Интенсивный фазовый наклеп, возникающий при мартенситном превращении, и деформационное упрочнение металла в поверхностном слое приводит к повышению уровня микронапряжений.

Характер изменения уровня микронапряжений и содержания остаточного аустенита при работе прошивок аналогичен. Высокие давления на задней грани зубьев интенсифицируют наклеп поверхностного слоя, который достигает максимума после обработки 200 деталей. При увеличении количества обрабатываемых деталей до 400 и 600 степень наклепа (уровень микронапряжений) понижается вследствие развития возврата и начала рекристаллизации, а также возможного распада мартенсита закалки.

Для исследования трансформации структуры и напряжений по глубине рабочего слоя инструмента проведен послойный анализ режущей части прошивок после обработки 500 деталей (80–90 % периода стойкости). Анализ результатов показывает, что в тонком поверхностном слое (до 10 мкм) уровень напряжений понижен, а содержание остаточного аустенита максимально. Это можно объяснить развитием в этом слое разупрочняющих процессов под влиянием в первую очередь теплового фактора. Такой "размягченный" слой подвержен интенсивному изнашиванию и прежде всего смятию. В подповерхностном слое преобладает эффект деформационного упрочнения.

Анализ кинетики изнашивания контактной поверхности инструмента (прошивок из стали Р6М5) позволил установить взаимосвязь структурных изменений и характера изнашивания. На первой стадии эксплуатации (до 100 деталей) происходит смятие гребешков, заглаживание элементов контактной поверхности. На следующей стадии (200–400 деталей) изнашивание можно характеризовать как окислительно-абразивное. Уровень напряжений и состояние структуры в этот период эксплуатации относительно стабильны. В конце периода нормального изнашивания появляются отдельные очаги разрушения поверхности, образуются микротрещины, локализующиеся непосредственно в контактном слое. На заключительном этапе эксплуатации (свыше 600 деталей) вследствие разупрочнения поверхностного слоя развивается процесс смятия.

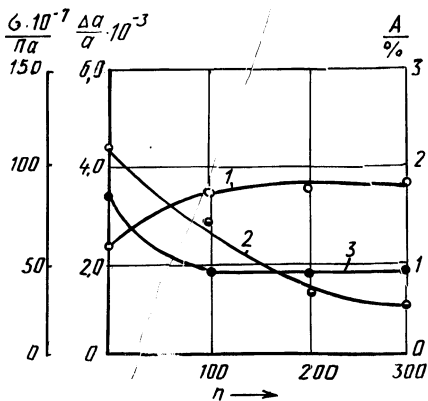


Рис. 1. Изменение уровня микронапряжений (1), содержания остаточного аустенита (2) и уровня макронапряжений (3) на рабочей поверхности ножа из стали Р6М5 в зависимости от количества обработанных деталей n

В поверхностном слое инструмента реализуются процессы упрочнения и разупрочнения. Превалирование одного из них определяет структуру материала в каждый момент эксплуатации, а следовательно, механизм и кинетику изнашивания и разрушения контактной поверхности.

УДК 621.785.5

Л.С.ЛЯХОВИЧ, д-р техн.наук,
Б.С.КУХАРЕВ, канд.техн.наук,
Е.О.СКАЧКОВА (БПИ)

ИССЛЕДОВАНИЕ МЕХАНИЗМА ДИФфуЗИОННОГО ЦИНКОВАНИЯ АЛЮМИНИЕВЫХ СПЛАВОВ

Диффузионное цинкование из порошковых сред является одним из эффективных способов повышения эксплуатационных характеристик алюминиевых сплавов при минимальных экономических затратах. Однако нестабильность получаемых результатов тормозит применение этого процесса на практике. Поэтому целью настоящей работы явилось изучение механизма диффузионного цинкования алюминиевых сплавов. Исследования проводились на алюминиевой фольге толщиной 0,045 мм. ХТО производили при 450, 500, 550 °С, продолжительность процесса — 4 ч, состав насыщающей смеси (в процентах по массе) — $x\% \text{Zn} + y\% \text{Al} + 1\% \text{NH}_4\text{Cl}$, где $x = 5, 10, 15, 20, 40, 60, 80$. Во избежание протекания твердофазных реакций смесь в процессе диффузионного цинкования подвергалась предварительному гомогенизирующему отжигу.

Анализ экспериментальных данных показал: 1) при малом содержании цинка (до 20 %) в насыщающей среде наблюдается пропорциональная зависимость между концентрацией цинка в насыщающей среде и процентным содержанием цинка в обрабатываемой фольге; 2) с увеличением содержания цинка в насыщающей среде (свыше 60 %) содержание цинка в обрабатываемой фольге не превышает 60 %, т. е. наступает насыщение; 3) при малых концентрациях цинка, например до 20 %, и температуре ХТО 500 °С происходит утолщение алюминиевой фольги, при более высоких концентрациях цинка — до 60 % — имеет место налипание смеси на фольгу, дальнейшее увеличение концентрации цинка вызывает разрушение фольги.

Обнаруженное с помощью рентгеноструктурного анализа уменьшение параметра кристаллической решетки алюминиевой фольги подтверждает предположение о том, что основным механизмом диффузии цинка в алюминий является механизм замещения, поэтому к рассматриваемой системе может быть применима теория взаимной диффузии Даркена с учетом эффекта Киркендалла. Согласно [1, 3], соотношение Даркена можно представить через коэффициенты самодиффузии алюминия и цинка (D_1^* и D_2^* соответственно) и термодинамический множитель γ :

$$D = (c_1 D_2^* + c_2 D_1^*) \gamma; \quad (1)$$

$$\vec{U} = (D_1^* - D_2^*) \gamma \vec{\nabla} c_1, \quad (2)$$