

ры ультразвукового ударного воздействия сферическим индентором на упрочняемую плоскую поверхность, при ППД.

### Литература

1. Кудрявцев, И.В. Внутренние напряжения как резерв прочности в машиностроении / – М.: Машгиз, 1951. – 278 с.

2. Хейфец, С.Г. Аналитическое определение глубины наклепанного слоя при обкатке роликами стальных деталей, Тр. ЦНИИТМАШа № 49, – М.: Машгиз, 1952. – с. 7–17.

3. Смирнов, В.А. Аналитическое определение остаточных напряжений и деформаций в процессе обработки деталей. – Изв. вузов. Машиностроение №1, 1977. – с. 150–155.

УДК 621.793

## ПОВЫШЕНИЕ СВОЙСТВ ГАЗОТЕРМИЧЕСКИХ ПОКРЫТИЙ В ПРОЦЕССЕ ПРИРАБОТКИ И ЭКСПЛУАТАЦИИ

М.А. Белоцерковский<sup>1</sup>, канд. техн. наук, А.И. Камко<sup>2</sup>, канд. техн. наук

<sup>1</sup>Объединенный институт машиностроения НАН Беларуси

<sup>2</sup>Гомельский завод литья и нормалей

(<sup>1</sup>г. Минск, <sup>2</sup>г. Гомель, Республика Беларусь)

**Введение.** Работа посвящена разработке и исследованию методов, использующих деформационные структурно–фазовые превращения и метастабильные состояния, обеспечивающие комплексное улучшение физико–механических и эксплуатационных свойств покрытий, нанесенных на детали узлов трения скольжения. Основной особенностью технологий является протекание определенных фазовых превращений и структурных изменений в поверхностных слоях не на стадии нанесения покрытий и упрочняющих обработок, а в основном на начальной стадии эксплуатации.

**Цель исследований.** Целью исследований явилось изучение возможности повышения качества деталей узлов трения, эксплуатирующихся в условиях высоких удельных нагрузок, путем обеспечения в процессе работы сопряжений протекания деформационных фазово–структурных превращений в поверхностных слоях газотермических покрытий.

**Материалы и методики исследований.** Для формирования покрытий были использованы методы газопламенного проволочного распыления и гиперзвуковой металлизации. Распылялись проволоки из сталей мартенситного (сталь 40X13) и аустенитного (сталь 12X18Н10Т) классов. Для модифицирования покрытий в процессе трибомеханического взаимодействия использовалась смазка ИТМОЛ–150Н с алмазосодержащим пакетом присадок «УДАГ», а также смазка И–20А, наполненная шихтой алмазосодержащей «ША» или алмазо–

графитовой смесью УДА–ГО–СП (1 мас.%). Исследование фазовых и структурных превращений в поверхностных слоях покрытий проводилось с помощью рентгеноструктурного анализа (ДРОН–3,0). Триботехнические испытания покрытий проводились в условиях граничного трения при давлениях 10 – 100 МПа по схеме возвратно–поступательного движения при средней скорости взаимного перемещения 0,1 м/с. Контртело – сталь У8 (HV = 7800 – 8000 МПа). Испытания при давлениях 10 – 30 МПа осуществлялись на трибометре АТВП, при давлениях 50 – 100 МПа использовался трибометр МТВП–9М.

**Результаты и их обсуждение.** Установлено, что для обеспечения формирования в структуре стального напыленного покрытия метастабильного аустенита, имеющего низкую температуру протекания деформационного  $\gamma \rightarrow \alpha$  превращения, соответствующую температурам эксплуатации узлов трения скольжения (270 – 320 К), необходимо покрытия из проволочных сталей мартенситного класса (40X13) нагревать и распылять струей газо–кислородного факела, то есть использовать метод газопламенного проволочного напыления. Для получения того же эффекта при нанесении покрытий из проволочных сталей аустенитного класса (12X18H10T), необходимо использовать плавление в электрической дуге и распылять сверхзвуковым потоком продуктов сгорания пропано–воздушной смеси (метод активированной или гиперзвуковой металлизации).

Триботехнические испытания показали, что добавка 1 мас.% наноразмерного алмазно–графитового модификатора в смазку сопровождалась интенсификацией процесса приработки покрытий из стали 12X18H10T. В процессе фрикционного взаимодействия в поверхностных слоях покрытий происходило  $\gamma \rightarrow \alpha$  превращения метастабильного аустенита в мартенсит деформации. По мере увеличения удельной нагрузки при испытаниях наблюдается постепенное увеличение содержания в поверхностном слое газотермического покрытия  $\alpha$ –фазы (до 35 – 40 об.%) и соответствующее снижение концентрации аустенита. Микротвердость поверхностного слоя возрастала более, чем в 2 раза. Показано, что скорость скольжения в процессе приработки покрытий из сталей аустенитного класса в модифицированной смазке не должна превышать 1,0 м/с, а удельная нагрузка должна быть не более 40 МПа.

Испытания при высоких контактных давлениях (> 50 МПа) показали, что в не модифицированной смазке И–20А регистрируется задир с переходом в стадию катастрофического изнашивания. При испытаниях в модифицированной смазке покрытие из стали 12X18H10T сохраняет работоспособность при давлениях до 100 МПа. В поверхностном слое покрытия при трении в среде смазки с наноразмерными частицами интенсифицируются процессы приработки, сопровождающиеся мартенситным  $\gamma - \alpha$  превращением и формированием прослоек с наноразмерной фрагментированной субструктурой, обеспечивающей высокое сопротивление зарождению и распространению микротрещин при фрикционном взаимодействии.