

Использование полученных результатов позволяет повысить производительности при зубошлифовании путем расчета оптимальных режимов резания.

ЛИТЕРАТУРА

1. Технология производства и методы обеспечения качества зубчатых колес и передач: учеб. пособие / Под общ. ред. М.М Канне, В.Е. Старжинского. – СПб. : Профессия, 2007. – 832 с.
2. Абразивная и алмазная обработка материалов: справочник / Под общ. ред. А.Н. Резникова. – М. : Машиностроение, 1977. – 391 с.
3. Биргер, И.А. Остаточные напряжения / И.А. Биргер. – М. : Машгиз, 1963. – 232 с.

УДК 620.178.3

КОНТАКТНАЯ УСТАЛОСТЬ ИНСТРУМЕНТАЛЬНЫХ СТАЛЕЙ

И. Н. Степанкин, Е. П. Поздняков, В. М. Кенько, А. И. Камко
Гомельский государственный технический университет им. П. О. Сухого

Результаты исследования контактной усталости стали Р6М5 показали, что деформация поверхностного слоя включает две стадии. На первой стадии протекает наклеп материала, и на второй происходит формирование поверхностных дефектов на глубине упрочненного слоя.

Контактная усталость является достаточно распространенной причиной отказа большого количества деталей машин [1]. Она развивается при воздействии пульсирующей нагрузки на поверхность детали. На начальном этапе эксплуатации повреждения в виде питтингов, как правило, не затрагивают глубинные слои материала и накапливаются в поверхностном слое детали. Изделиями, отказ которых во многом предопределен контактной выносливостью материала, являются подшипники качения, железнодорожные колеса и рельсы, зубчатые колеса, плунжерные пары, штамповая оснастка и др. Для них важной характеристикой является период эксплуатации, в течение которого сохраняются заданные геометрические параметры прецизионных рабочих поверхностей.

Как известно, механизм зарождения питтинга связан с упругим вдавливанием поверхностного слоя в области локализации контактной пульсирующей нагрузки и выпучиванием либо растяжением материала в непосредственной окрестности зоны контакта [2]. При этом, величина локальной деформации в окрестности зоны контакта обусловлена амплитудой

прикладываемой нагрузки и твердостью материала рассматриваемой детали. В некоторых случаях, интенсификация распространения трещин контактной усталости объясняется еще и расклиниванием начальной трещины смазочной жидкостью [3]. Очевидно, что расклинивающий эффект будет возникать на рабочих поверхностях деталей, эксплуатация которых происходит в условиях жидкой смазки, например зубчатых колес или штамповой оснастке. В отсутствие смазки основную роль играет градиент деформаций в окрестности области приложения пульсирующей нагрузки. Величина перепада деформаций в таком случае является определяющим фактором, который влияет на предел контактной выносливости материала и зависит от значения контактной нагрузки.

Наибольшие по величине нагрузки возникают на поверхностях штампового инструмента, особенно на операциях холодной объемной штамповки. Присутствие жидкой смазки при проведении холодной высадки и выдавливания способствует распространению микротрещин, формирующих питтинг.

В большинстве случаев начальный этап развития контактной усталости материала штампов сопровождается незначительными искажениями гравюры инструмента, что не препятствует получению годных изделий. И лишь после достижения определенных искажений формы рабочей поверхности, которые трансформируются в недопустимые изменения соответствующих размеров поковки, эксплуатация инструмента прекращается. Для прогнозирования наработки на отказ штамповой оснастки необходимо знание интенсивности накоплений повреждений в материале рабочей поверхности инструмента. Интересны также структурные изменения материала, протекающие в непосредственной близости от поверхности, разрушение которой протекает с образованием питтингов.

Объектом исследований являлась быстрорежущая сталь Р6М5, которая достаточно часто используется для изготовления сложнопрофильного инструмента для холодной высадки, выдавливания и чеканки [4]. Интенсивность накопления усталостных повреждений в поверхностном слое инструмента при многократном контактом воздействии на материал исследовали на установке для испытаний на контактную усталость и износ [5]. Данная установка обеспечивает контактное нагружение торцевой поверхности плоской части образца за счет его прокатывания по рабочей поверхности дискового контртела. С целью моделирования контактного взаимодействия при трении без проскальзывания, контртело в виде диска крепится на шарикоподшипнике в державке штока, а образец с плоской рабочей поверхностью – в ячейке планшайбы, закрепленной на валу редуктора. Перемещение образца по круговой траектории при встрече с подпружинен-

ным штоком, на котором закреплен диск контртела, вызывает его проворачивание, исключая проскальзывание на контактных поверхностях. Одновременная установка нескольких образцов в планшайбу позволяет проводить сравнительную оценку контактной выносливости в зависимости от изменения режимов термической обработки материала или различных материалов в одинаковых эксплуатационных условиях. Возможность обработки боковых поверхностей плоской рабочей части образца с жестким базированием и применение современного оборудования для подготовки микрошлифов позволили в процессе испытаний осуществить мониторинг накопления усталостных повреждений и изменения структуры по сечению рабочей части образца с применением оптического микроскопа.

В результате проведенных испытаний образцов из быстрорежущей стали Р6М5 получено семейство кривых отражающих поведение материала при воздействии на него фрикционного воздействия и контактной нагрузки. Показано, что механизм накопления структурных повреждений включает две стадии. На первой, протекает наклеп материала, он сопровождается изменением текстурного рисунка стали Р6М5 унаследованного от структуры заготовки. Структура металла претерпевшего наклеп характеризуется равномерным распределением карбидной фазы в матрице, при этом строчечное распределение карбидных частиц в поверхностном слое практически отсутствует. Структурообразование наклепанного слоя не сопровождается изменением микротвердости металла, которая сохраняет свою величину на уровне 10 ГПа. Это позволяет сделать вывод о том, что деформация поверхностного слоя, протекающая за счет перераспределения карбидных частиц в металлической матрице – мартенсите, не сопровождается динамическим старением последнего. Т. е. морфология α -фазы, сформированная предшествующей термической обработкой, имеет оптимальную дефектность кристаллической решетки, что обуславливает ее высокую и стабильную твердость.

Контактное нагружение поверхностного слоя, сопровождающееся увеличением степени наклепа, обеспечивает генерацию дополнительных внутрикристаллических дефектов α -фазы. Этот процесс характеризуется скачкообразным изменением конструктивной прочности материала. Постепенное накопление внутрикристаллических дефектов в поверхностном слое металла активизирует рост микротрещин и их слияние, в результате чего стадия наклепа переходит в стадию зарождения питтингов.

Отделение частиц упрочненного материала обновляет контактную поверхность, в результате чего обнажаются внутренние слои металла, вступающие в контакт с контртелом. При этом повторяются процессы структурных изменений, запускающие новый цикл «упрочнение – питтин-

гообразование». Кривые контактной усталости, указанную цикличность процесса, отражают дискретным приростом увеличения лунки контактного износа образца, протекающего после периода его стабильной работы с незначительным формоизменением. Графическая зависимость, отражающая весь период работы образца, приобретает характерные ступеньки, количество которых соответствует числу циклов наклепа с питтингообразованием.

Динамика контактного изнашивания поверхности образцов стали Р6М5 отличается для различных режимов термической обработки материала. Наиболее высокую способность сопротивления развитию контактной усталости показывают образцы, структура которых отличается высоколегированным мартенситом с карбидными частицами. Технологический режим формирования указанной структуры требует проведения криогенной гомогенизации структуры металлической матрицы сплава с целью полного превращения остаточного аустенита непосредственно после проведения закалки. В случаях когда криогенная модификация осуществляется после одно- или двукратной процедуры дисперсионного твердения сплава, показатели контактной выносливости материала несколько снижаются. Процесс питтингообразования сопровождается образованием более глубоких подповерхностных трещин, что может объясняться наличием повышенных внутрикристаллических искажений, явившихся следствием выделения вторичных карбидных частиц из металлической матрицы. Таким образом, из анализа результатов исследований быстрорежущей стали Р6М5, следует что, наивысшую способность сопротивления контактной усталости демонстрирует сплав, обладающий высокой степенью завершения структурообразования в процессе термической обработки, с мартенситной матрицей не склонной к динамическому старению, в которой распределены избыточные карбидные частицы.

ЛИТЕРАТУРА

1. Лахтин, Ю. М. *Металловедение и термическая обработка металлов* / Ю. М. Лахтин. – М.: Металлургия, 1983. – 360 с.
2. Игнатищев, Р. М. *Синусошариковые редукторы* / Р. М. Игнатищев. – Минск: Высшая школа, 1983. – 107 с.
3. Шапочкин, В. И. *Износостойкость деталей машин* / В. И. Шапочкин. – Волгоград: Перемена, 1994. – 97 с.
4. Кенько, В. М. *Комплексный учет факторов, определяющих стойкость холодновысадочной оснастки* / В. М. Кенько, И. Н. Степанкин // *Кузнечно-штамповочное производство*. – 2006. – № 2. – С.39 – 42.
5. *Устройство испытания материалов на контактную усталость и износ*: пат. 7093 Респ. Беларусь, МПК (2009) G 01N 3/00 / И. Н. Степанкин, В. М. Кенько, И. А. Панкратов; заявитель УО «ГГТУ им. П. О. Сухого»; заявка № u201000717 от 16.08.2010.
6. Гуляев, А. П. *Металловедение* / А. П. Гуляев. – М.: Металлургия, 1986. – 543 с.