

# ВЛИЯНИЕ КРИОГЕННОЙ ОБРАБОТКИ НА КОНТАКТНУЮ УСТАЛОСТЬ БЫСТРОРЕЖУЩЕЙ СТАЛИ Р6М5

Е. П. Поздняков

*Учреждение образования «Гомельский государственный технический  
университет имени П. О. Сухого», Беларусь*

Научный руководитель И. Н. Степанкин

**Введение.** Контактная усталость является достаточно распространенной причиной отказа большого количества деталей машин [1]. Ее проявления являются одной из основных причин отказа подшипников качения, железнодорожных колес и рельс, зубчатых колес, плунжерных пар, штамповой оснастки и др.

## **110 Секция II. Материаловедение и технология обработки материалов**

Отслоение «чешуек» металла освобождает более глубокие слои материала, что приводит к цикличному увеличению глубины лунки, отражаясь на характере полученных кривых (рис. 1, 2).

**Заключение.** Изучен механизм разрушения материала экспериментальных образцов из быстрорежущей стали Р6М5. Выявлены технологические режимы термической обработки, при которой достигается наибольшая контактная выносливость образцов. Анализ полученных данных позволяет сделать вывод о том, что наибольшей контактной прочностью обладают образцы, подверженные криогенной обработке и имеющие максимальную степень легированности мартенсита с избыточным содержанием карбидных частиц.

### Литература

1. Богданович, П. Н. Трение и износ в машинах / П. Н. Богданович, В. Я. Прушак. – Минск : Высш. шк., 1999. – 374 с.
2. Кенько, В. М. Комплексный учет факторов, определяющих стойкость холодновысадочной оснастки / В. М. Кенько, И. Н. Степанкин // Кузнечно-штамповоч. пр-во. – 2006. – № 2. – С. 39–42.
3. Устройство испытания материалов на контактную усталость и износ : пат. Респ. Беларусь на полезную модель № 7093 / И. Н. Степанкин, В. М. Кенько, И. А. Панкратов ; заявитель УО «ГГТУ им. П. О. Сухого» ; заявка № u201000717 от 16.08.2010, МПК (2009) G 01N 3/00.

Контактная усталость возникает в результате воздействия пульсирующей нагрузки на границе между контактирующими деталями. Под воздействием нагрузок в зоне контакта металл подвергается деформации с последующим зарождением поверхностных трещин. Образование трещины происходит под углом  $45^\circ$  к поверхности контакта. Немаловажное значение на интенсивность роста трещины имеет смазочная жидкость, присутствующая в зоне работы инструмента и оказывающая расклинивающий эффект уже образованной трещины. Дальнейший рост трещины происходит в параллельном направлении к плоскости контакта с выходом на контактную поверхность металла.

Наибольшие по величине нагрузки возникают на поверхности штампового инструмента, особенно сложнопрофильного тяжелонагруженного инструмента для холодной высадки, выдавливания и чеканки. Величина нагрузок, возникающих на контактной поверхности штампов, может превышать 2000 МПа. В этом случае первые признаки контактной усталости проявляются уже на начальном этапе эксплуатации инструмента. Они характеризуются наклепом, приводящим к появлению микротрещин, образующих вследствие питтинг. Тяжелые условия работы инструмента диктуют необходимость применять высокопрочные стали для его изготовления, в том числе быстрорежущие, которые характеризуются высокой твердостью и жесткостью.

**Объект и методики исследований.** Объектом исследований являлась быстрорежущая сталь Р6М5, которая достаточно часто используется для изготовления сложнопрофильного тяжелонагруженного инструмента холодной высадки, выдавливания и чеканки [2]. Интенсивность накопления усталостных повреждений в поверхностном слое инструмента при многократном контактом воздействии на материал исследовали на установке для испытаний на контактную усталость и износ [3].



Рис. 1. Взаимодействие образца и дискового контртела

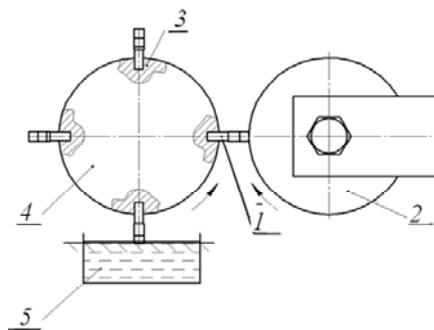


Рис. 2. Схематическое изображение зоны контакта

Установка обеспечивает контактное нагружение торцевой поверхности плоской части образца 1 за счет его взаимодействия с рабочей поверхностью дискового контртела 2 (рис. 1). С целью моделирования контактного взаимодействия при трении без проскальзывания, контртело в виде диска 2 крепится на шарикоподшипнике в державке штока, а образец с плоской рабочей поверхностью – в ячейке планшайбы 3, закрепленной на валу редуктора. Перемещение образца по круговой траектории при встрече с подпружиненным штоком, на котором закреплен диск контртела, вызывает его проворачивание, исключая проскальзывание на контактных поверхностях. Для полного моделирования условий работы штампового инструмента рабочая часть образца окунается в емкость 5 со смазочным материалом, расположенную непосредственно под планшайбой 4, и лишь после этого входит в контакт с диском контртела. Исследования структуры проводились на оптическом микроскопе Метам РВ-22 при увеличениях 100...1000 крат. Твердость определялась на микротвердомере ПМТ-3 с нагрузкой 2Н и прессе Роквелла ТК-2М.

Для устранения негативного влияния остаточного аустенита на износ материала экспериментальные образцы подвергали криогенной обработке, проводя ее на различных стадиях технологического процесса (таблица).

**Режимы термической обработки экспериментальных образцов из стали Р6М5**

| Номер партии образцов | Температура закалки, °С | Температура отпуска, °С |           |            | Стадия применения криогенной обработки | Твердость, HRC |
|-----------------------|-------------------------|-------------------------|-----------|------------|--|----------------|
|                       |                         | I отпуск                | II отпуск | III отпуск |  |                |
| 1                     | 1200                    | 200                     | –         | –          | непосредственно после закалки          | 63–64          |
| 2                     |                         | 560                     | –         | –          |  | 64–65          |
| 3                     |                         | 560                     | 560       | –          |  | 64–65          |
| 4                     |                         | 560                     | 560       | 560        |  | 64,5–65,5      |
| 5                     |                         | 560                     | 200       | –          | после первого отпуска                  | 65–66          |
| 6                     |                         | 560                     | 560       | 560        | после второго отпуска                  | 64,5–65,5      |

**Результаты исследования и их обсуждение.** В результате испытаний экспериментальных образцов из быстрорежущей стали Р6М5 получено семейство кривых, отражающих поведение материала при воздействии на него пульсирующей контактной нагрузки амплитудой 1280МПа (рис. 2).

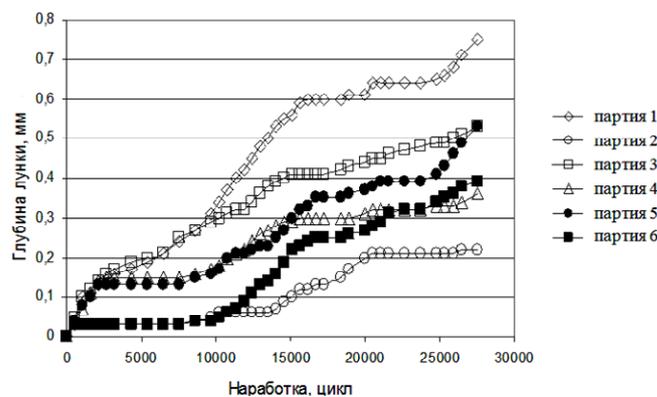


Рис. 3. Кривые, отражающие характер повреждения образцов в процессе контактного нагружения

Как видно из рис. 3, образцы партии 1, подвергшиеся криогенной обработке после закалки, а затем отпуску при температуре 200 °С, имеют минимальную контактную выносливость. В то же время образцы из партии 2, подвергшиеся аналогичной термической обработке, но с применением одного высокотемпературного отпуска 560 °С после криогенной обработки, показали самую высокую контактную выносливость. Это обусловлено тем, что в структуре 2 партии образцов присутствует максимальное количество легированного мартенсита и снижены внутренние напряжения в  $\alpha$ -фазе за счет выделения мелкодисперсных вторичных карбидов из мартенсита, в процессе отпуска. В остальных партиях (3–6) стойкость оказалась ниже из-за уменьшения тетрагональности мартенсита, в результате проведения дополнительных отпусков при 560 °С (партия 3, 4) и значительного понижения степени легирования  $\alpha$ -фазы, полученной в результате высоких отпусков, проведенных непосредственно после закалки (партия 5, 6). В этом случае выделение карбидной фазы из матрицы происходило более интенсивно в результате превращения остаточного аустенита.



Рис. 4. Микроструктура поверхностного слоя стали Р6М5, формирующаяся в процессе наклепа в результате контактной усталости (×100)



Рис. 5. Образование питтинга в поверхностном слое стали Р6М5, претерпевшем наклеп (×100)

Механизм разрушения поверхностного слоя образцов характеризуется трансформацией структуры, сопровождающейся изменением строчечности расположения карбидных частиц, унаследованной от текстуры исходной заготовки, в более равномерное распределение включений  $\alpha$ -фазы (рис. 4). В процессе предельного накопления внутрикристаллических дефектов в области дна лунки возникают трещины, ведущие к образованию питтинга (рис. 5).