

# ОСОБЕННОСТИ КОНТАКТНОГО ИЗНАШИВАНИЯ НИЗКОЛЕГИРОВАННОЙ ИНСТРУМЕНТАЛЬНОЙ СТАЛИ 9ХС ПРИ РАЗЛИЧНЫХ УРОВНЯХ НАГРУЖЕНИЯ

Е. А. Астапов

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

Научный руководитель Е. П. Поздняков

## **Введение**

Немаловажным фактором, определяющим работу штампового инструмента, является способность материала противостоять контактному разрушению. Механизм такого разрушения сопровождается появлением на поверхности гравюры инструмента сколов и питтингов. Применение высоколегированных дорогостоящих инструментальных сплавов для изготовления малонагруженного штампового инструмента экономически нецелесообразно. На замену им приходят низколегированные инструментальные стали. Встает необходимость определения того уровня прилагаемой нагрузки, при котором материал способен выстоять оптимальное количество циклов стабильной работы инструмента. В работе приведены исследования инструментальной низколегированной стали 9ХС при тех уровнях нагружения, условия которых соответствуют работе малонагруженного штампового инструмента.

## **Объекты и методы исследований**

Объектом исследований являлась низколегированная инструментальная сталь 9ХС. Термическая обработка данной стали соответствовала стандартным режимам. Партии образцов из стали 9ХС подвергались закалке с температуры 860 °С охлаждением в масле с последующим низкотемпературным отпуском при температуре 200 °С в течение 1 ч. Для определения влияния остаточного аустенита на структуру и свойства сталей часть партий образцов подвергалась криогенной обработке после закалки.

Интенсивность накопления усталостных повреждений в поверхностном слое инструмента при многократном контактом воздействии на материал исследовали на установке для испытаний на контактную усталость и износ [1]. Данная установка обеспечивает контактное нагружение торцевой поверхности плоской части образца за счет его прокатывания по рабочей поверхности подпружиненного дискового контртела. Испытания проводились при контактном нагружении на образец при 1100 и 1300 МПа. Исследования микроструктуры проводились на оптическом микроскопе Метам РВ-22 при увеличениях 35–700 крат. Твердость определяли на прессе Роквелла ТК-2М при нагрузке 1500 Н.

#### Результаты исследования и их обсуждение

Микроструктура всех партий образцов из стали 9ХС представляет мартенситную матрицу с равномерно распределенными карбидными включениями (рис. 1). Размер включений не превышает 2 мкм. Как видно из рис. 1, б, применение криогенной обработки после закалки не изменило структуру стали. Криогенная обработка не повлияла и на поверхностную твердость образцов, которая составила в обоих случаях 59–61 HRC.

Регистрация значений износа заканчивалась при достижении глубины лунки износа 0,6 мм, или 30 000 циклов нагружения, что соответствует полной рабочей смене оборудования. Испытания образцов, проводимых при нагружении 1100 МПа (рис. 2, а), показали, что кривые контактного изнашивания соответствуют классическому виду, имеющие 3 этапа [2]. На первом этапе за первые 1000 циклов испытания происходит приработка материала образцов в виде проявления лунки износа. Второй этап, продолжительностью 25000 циклов, представляет собой участок установившегося износа. На данном этапе материал образцов претерпевает наклеп с зарождением дефектов в очаге контактной зоны в виде подповерхностных трещин. Контактная поверхность лунки износа остается достаточно ровной (рис. 3, а). На третьем этапе, после предельного накопления дефектов, происходит интенсивное разрушение материала образцов с образованием питтингов. Механизм питтингообразования заключается в наклепе материала, зарождении трещин контактной усталости с дальнейшим удалением образовавшихся объемов материала, освобождающих свежие слои сплава.

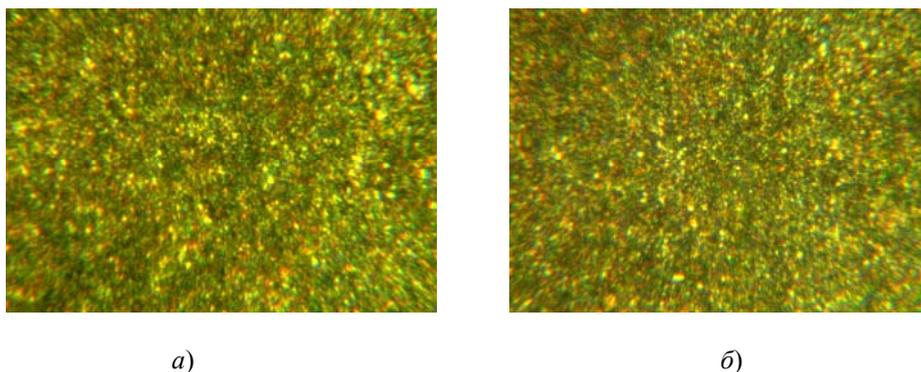


Рис. 1. Микроструктура стали 9ХС ( $\times 700$ ):  
 а – образцы, подвергнутые стандартной термической обработке;  
 б – образцы, прошедшие дополнительную криогенную обработку после закалки

Кривые контактной усталости образцов при 1300 МПа (рис. 2, б) отличаются от образцов, подвергнутых испытаниям при 1100 МПа (рис. 2, а). На кривых усталости присутствуют 2 этапа. Первый этап соответствует приработке материала образцов за первую 1000 циклов нагружения. Второй этап отмечен стабильной работой, при ко-

тором происходит равномерное изнашивание образцов с возникновением подповерхностных трещин с дальнейшим образованием питтингов. Их образование, в основном, происходит в нижней части лунки контакта (рис. 3, в).

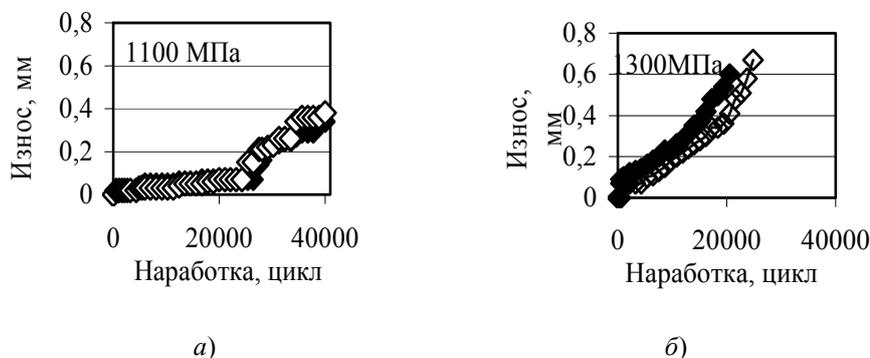


Рис. 2. Кривые, отражающие характер повреждения образцов в процессе контактного нагружения:

*а* – при нагрузке 1100 МПа; *б* – 1300 МПа. Однотонные маркеры отражают износоустойчивость образцов, подвергнутых обработке холодом после закалки

Из рис. 2 видно, что износ образцов, дополнительно подвергнутых криогенной обработке после закалки, незначительно отличается от образцов без ее применения. Испытание образцов при 1100 МПа показало, что количество циклов достигает 40000 циклов при зарегистрированной глубине износа 0,4 мм. Увеличение нагрузки до 1300 МПа приводит к увеличению интенсивности изнашивания образцов, что проявляется в разрушении материала уже на начальном этапе работы инструмента. Максимальное количество циклов при таком нагружении не превышает 20000 циклов (рис. 2, б).

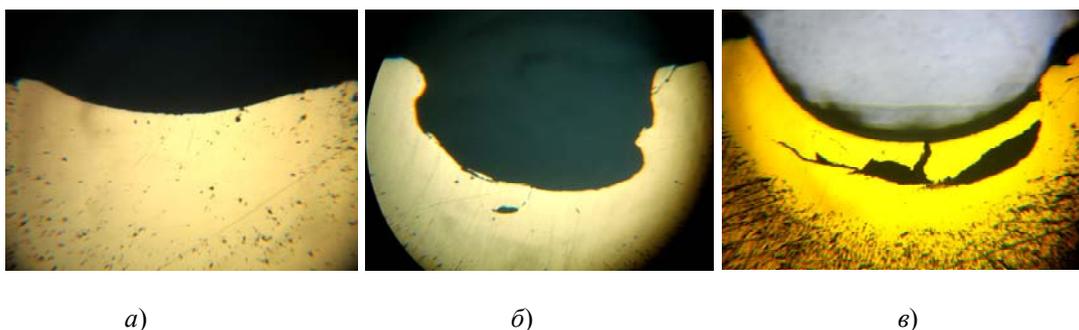


Рис. 3. Разрушение образцов из стали 9ХС ( $\times 35$ ):  
*а* – 10000 циклов; *б* – 35000 циклов; *в* – 18000 циклов;  
*а* и *б* – 1100 МПа, *в* – 1300 МПа

### Заключение

Изучен механизм разрушения материала экспериментальных образцов из инструментальной стали 9ХС при различных уровнях нагружения. Анализ полученных данных позволяет сделать вывод о том, что наибольшей контактной прочностью обладают образцы из стали 9ХС, контактное нагружение которых не превышает 1100 МПа. Применение криогенной обработки после закалки не влияет на структуру и механические характеристики стали 9ХС.

Л и т е р а т у р а

1. Устройство испытания на контактную усталость и износ : пат. 8260 U Респ. Беларусь, МПК (11) G 01N 3/00 ; заявитель Гомел. гос. техн. ун-т им. П. О. Сухого. – № и 20110940 ; заявл. 2011.11.23 ; опубл. 2012.03.01 // Афіцыйны бюл. / Нац. Цэнтр інтэлектуал. уласнасці. – 2012. – № 3 (86). – С. 260–261.
2. Карелин, Е. Н. Закономерности изнашивания зубьев зубчатых передач / Е. Н. Карелин, М. Э. Никифоров, А. В. Тигин // Успехи соврем. естествознания. – 2012. – № 6. – С. 75–76.