

# ВЛИЯНИЕ КРИОГЕННОЙ ОБРАБОТКИ НА КОНТАКТНУЮ ВЫНОСЛИВОСТЬ ИНСТРУМЕНТАЛЬНОЙ УГЛЕРОДИСТОЙ СТАЛИ У8А

**И. С. Плешкунов, Е. П. Поздняков**

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

Научный руководитель И. Н. Степанкин

**Введение.** При выборе металлических материалов, применяемых для изготовления деталей машин и инструмента, необходимо руководствоваться рядом требований [1]. В случае изготовления штамповой оснастки, работающей в условиях нагрузок свыше 1000 МПа, наиболее часто применяют средне- и высоколегированные инструментальные материалы, такие, как Х6ВФ, Х6Ф4М, Х12М, Р6М5 и др. Их недостаток – гетерофазное строение сплава, в котором присутствуют достаточно крупные карбидные включения. Они являются источником формирования трещин контактной усталости на их границе с металлической матрицей уже при первых соприкосновениях с заготовкой. Образование трещин также происходит на стадии формирования гравюры инструмента методом пластического деформирования. Высокая хрупкость карбидов приводит к их растрескиванию. В дальнейшем рост трещины продолжается из тела карбида в матрицу материала. Немаловажным является и высокая стоимость высоколегированных инструментальных сталей. В условиях контактных нагрузок, характерных для условий работы формообразующего инструмента при изготовлении метизов, удовлетворительную стойкость показала инструментальная углеродистая сталь У8А [2]. Следует отметить, что присутствие остаточного аустенита в структуре инст-

рументальных материалов оказывает значительное влияние на стойкость инструмента. Целью данной работы является влияние криогенной обработки на структуру и свойства углеродистой инструментальной стали У8А.

**Объекты и методы исследований.** Объектом исследований являлась углеродистая инструментальная сталь У8А. Ее термическая обработка проводилась по стандартным режимам. Партии образцов подвергались закалке с температуры 780 °С с охлаждением в воде и последующим низкотемпературным отпуском при 200 °С в течение 1 ч. Для определения влияния остаточного аустенита на структуру и свойства сталей вторая партия образцов подвергалась криогенной обработке после закалки, посредством выдержки в жидком азоте. Интенсивность накопления усталостных повреждений в поверхностном слое инструмента при многократном контактном воздействии на материал исследовали на установке для испытаний на контактную усталость и износ [3]. Данная установка обеспечивает контактное нагружение торцевой поверхности плоской части образца за счет его прокатывания по рабочей поверхности подпружиненного дискового контртела. Регистрация значений износа заканчивалась при достижении глубины лунки износа 0,6 мм, или 30 000 циклов нагружения. Испытания проводились при амплитуде контактного нагружения 1340 МПа. Исследования микроструктуры проводились на оптическом микроскопе Метам РВ-22 при увеличениях 35–700 крат. ДюрOMETрические характеристики определяли на прессе Роквелла ТК-2М при нагрузке 1471 Н.

**Результаты исследования и их обсуждение.** Микроструктура всех партий образцов из стали У8А представляет собой эвтектоидное строение – мартенсит отпуска с присутствием остаточного аустенита (рис. 1). Его доля после криогенной закалки снижается с 4–8 до 1–6 % [4]. Соответственно, его изменение отразилось на твердости материала, которая возросла с 57–58 до 61,5–62 HRC.

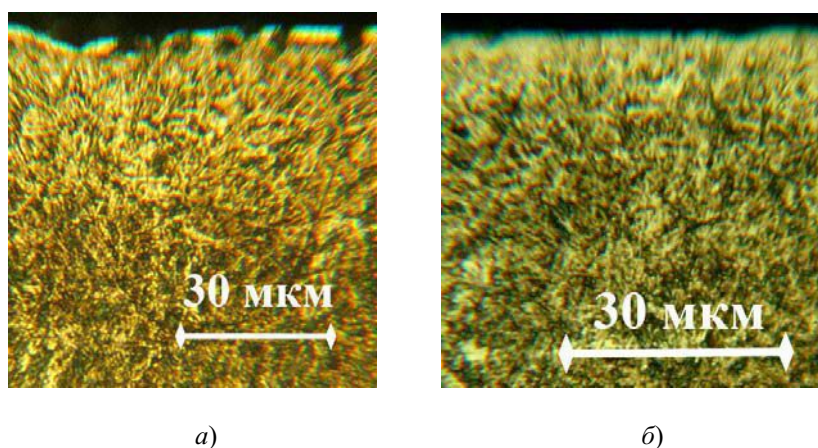


Рис. 1. Микроструктура стали У8А:  
а – образцы, подвергнутые стандартной термической обработке; б – образцы, прошедшие дополнительную криогенную обработку после закалки

Испытания образцов без криогенной обработки на контактную усталость, показали, что кривая контактного изнашивания имеет 2 участка (рис. 2). На первом этапе происходит приработка контактирующих поверхностей образцов (рис. 3, а) с дисковым контртелом. Длительность этапа составила около 2 000 циклов нагружения. При этом глубина лунки износа не превысила значение 0,05 мм. Вторым этапом, характеризующимся прецизионной стойкостью упрочненного материала, составил 30 000 цик-

лов нагружения. Глубина лунки износа материала достигла значения 0,10 мм. Механизм изнашивания сопровождается протеканием процесса наклепа в околосконтактной области лунки износа с последующим удалением тонких чешуек материала (рис. 3, б).

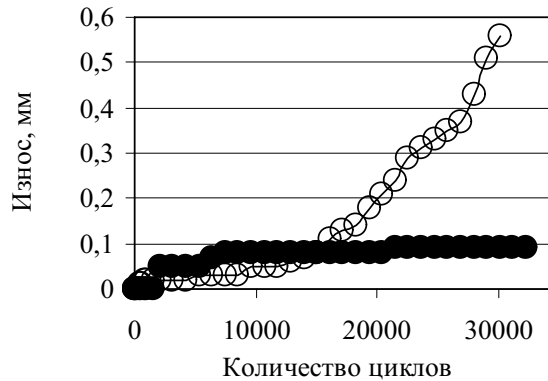


Рис. 2. Кривые, отражающие характер повреждения образцов в процессе контактного нагружения при нагрузке 1340 МПа:

- – образцы, подвергнутые стандартной термической обработке; ○ – образцы, прошедшие дополнительную криогенную обработку после закалки

Проведение криогенной обработки оказало существенное влияние на характеристики контактного изнашивания стали У8А. Кривая износа имеет классический вид [5], характеризующийся появлением третьего этапа, – катастрофического износа материала. Приработка контактирующих поверхностей образцов с контртелом происходит интенсивнее, чем образцов, не подвергнутых криогенной обработке. Длительность первого этапа не превышает 1000 циклов. Продолжительность второго этапа, на котором глубина лунки износа не превысила 0,05 мм, составила 12 000 циклов нагружения. Охлаждение в жидком азоте привело к снижению количества остаточного аустенита, который повышает пластичность сплава. В итоге процесс изнашивания интенсифицировался в результате увеличения хрупкости металлической матрицы. На данном этапе материал претерпевает наклеп с зарождением дефектов в очаге околосконтактной зоны в виде трещин (рис. 4, а, б). На третьем этапе в результате предельного накопления структурных дефектов происходит интенсивное разрушение материала образцов с появлением питтингов (рис. 4, в). Их образование сопровождается ускоренным удалением с контактной поверхности образцов поврежденных объемов материала.

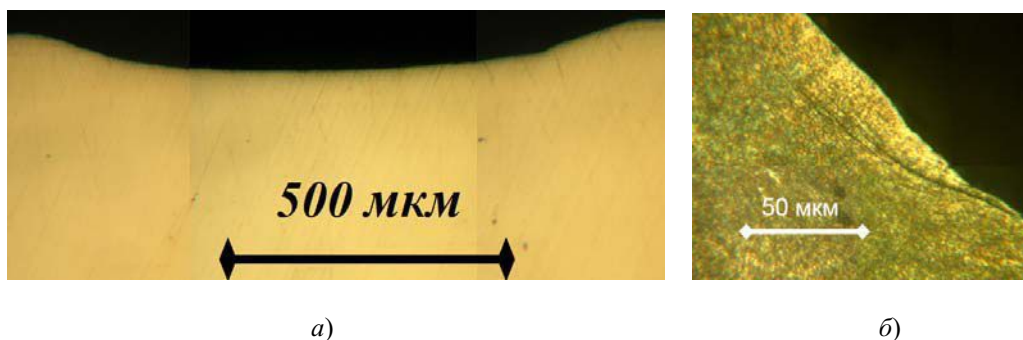


Рис. 3. Разрушение образцов из стали У8А, не подвергнутых криогенной обработке: а – 200 циклов; б – 30000 циклов

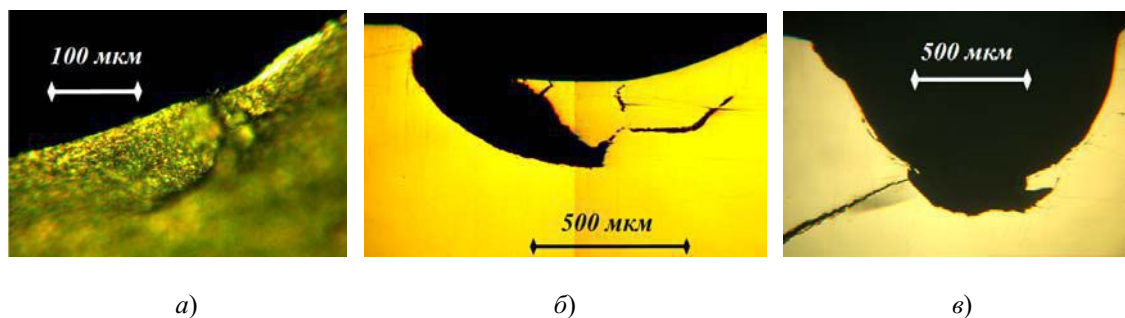


Рис. 4. Разрушение образцов из стали У8А, подвергнутых криогенной обработке:  
а – 1500 циклов; б – 10000 циклов; в – 30000 циклов

**Заключение.** Изучен механизм разрушения материала экспериментальных образцов из инструментальной стали У8А при амплитуде контактного нагружения 1340 МПа. Анализ полученных данных позволяет сделать вывод о том, что наибольшей стойкостью в условиях контактного изнашивания обладают образцы из стали У8А, не подвергнутые криогенной обработке. Ее применение после закалки интенсифицирует процесс изнашивания инструментальной стали У8А.

#### Литература

1. Лахтин, Ю. М. Материаловедение : учеб. для машиностр. вузов / Ю. М. Лахтин, В. П. Леонтьева. – 2-е изд., перераб. и доп. – М. : Машиностроение, 1980. – 493 с.
2. Степанкин, И. Н. Контактное изнашивание инструментальных сталей Х12М, 9ХС и У8А / И. Н. Степанкин, Е. П. Поздняков // Вестн. Гомел. гос. техн. ун-та им. П. О. Сухого. – 2015. – № 3. – С. 19–24.
3. Устройство для испытания на контактную усталость и износ : полезная модель 7093 U Респ. Беларусь, МПК G 01N 3/00 / И. Н. Степанкин, В. М. Кенько, И. А. Панкратов ; опубл. 28.02.2011.
4. Геллер, Ю. А. Инструментальные стали : справочник / Ю. А. Геллер. – М. : Metallurgy, 1984. – 584 с.
5. Карелин, Е. Н. Закономерности изнашивания зубьев зубчатых передач / Е. Н. Карелин, М. Э. Никифоров, А. В. Тигин // Успехи современного естествознания. – 2012. – № 6. – С. 75–76.