

**ВЛИЯНИЕ ОХЛАДИТЕЛЯ НА СТРУКТУРУ И СВОЙСТВА  
ИНСТРУМЕНТАЛЬНОЙ СТАЛИ 9ХС****В. В. Ворона, Е. П. Поздняков***Учреждение образования «Гомельский государственный технический университет имени П. О. Сухого», Республика Беларусь***А. В. Радионов***ОАО «БМЗ – управляющая компания холдинга «БМК», г. Жлобин, Республика Беларусь*

Научный руководитель И. Н. Степанкин

**Введение.** Холодновысадочный штамповый инструмент, работающий в условиях воздействия на рабочую поверхность пульсирующих нагрузок, должен обладать достаточной твердостью, которая является одним из важнейших механических свойств при выборе инструментальных материалов. Низколегированные инструментальные стали, такие как X, ХВГ, 9ХС, 7ХЗ и другие, хорошо закаляются в масле на твердость, необходимую для изготовления штампов холодного деформирования – не менее 58 HRC [1]. Следует учитывать, что скорость охлаждения в масле значительно ниже, чем в воде. Поэтому появляется необходимость проведения дополнительных исследований на износостойкость легированной инструментальной стали, закаленной в воде.

Целью работы является установление влияния вида охладителя на твердость и зависимости изнашивания термоупрочненной инструментальной стали 9ХС.

**Объекты и методы исследований.** Объектом исследований являлась инструментальная низколегированная сталь 9ХС. Термическая обработка стали 9ХС заключалась в проведении закалки с температуры 860 °С с охлаждением в воде или масле, криогенной обработке в жидком азоте (–196 °С) не позднее 30 мин после закалки и низкотемпературном отпуске при 200 °С в течение 1 ч. Интенсивность накопления усталостных повреждений в поверхностном слое инструмента при многократном контактом воздействии на материал исследовали на установке для испытаний на контактную усталость и износ [2]. Установка обеспечивает контактное нагружение торцевой поверхности плоской части образца за счет его прокатывания по рабочей поверхности подпружиненного дискового контртела. Линейная скорость испытаний составила 0,35 м/с. Регистрация значений износа заканчивалась при достижении глубины лунки износа 0,6 мм или 30 тыс. циклов нагружения. Испытания проводились при контактных напряжениях с амплитудой 1300 МПа. Исследования микроструктуры проводились на оптическом микроскопе Метам РВ-22. Дюрметрические характеристики определяли на прессе Роквелла ТК-2М при нагрузке 1471 Н.

**Результаты исследования и их обсуждение.** Микроструктура образцов из стали 9ХС представляет собой мартенсит отпуска, в котором равномерно распределены остаточный аустенит и мелкие карбиды (рис. 1).

Следует отметить, что охлаждение в различных средах – воде или масле – существенно не изменяет структурной картины. Объемная доля остаточного аустенита после охлаждения в масле, а затем и в жидком азоте составляет 6–8 об. % [3]. Измерения твердости показали, что при охлаждении в воде данный показатель достигает значений 60,5–61,5 HRC против 59–61 HRC при охлаждении в масле. Указанное повышение твердости, по-видимому, связано с уменьшением количества остаточного аустенита в результате увеличения скорости охлаждения. Размеры наиболее крупных карбидов не превышают 5 мкм.

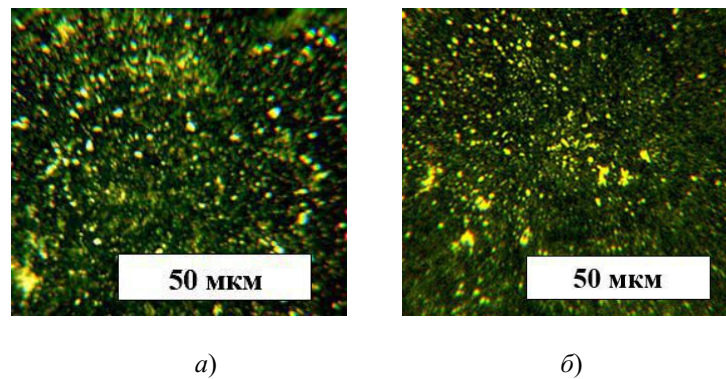


Рис. 1. Микроструктура образцов из стали 9ХС:  
а – закаленных в масле; б – закаленных в воде

Испытания всех партий образцов на контактную усталость в условиях воздействия пульсирующих напряжений с амплитудой порядка 1300 МПа показали, что кривые накопленного износа имеют классический вид [4], характеризующийся наличием трех участков изнашивания (рис. 2). Следует отметить, что зависимости изнашивания у кривых достаточно близки.



Рис. 2. Зависимости изнашивания от числа циклов нагружения стали 9ХС в процессе контактного нагружения напряжениями с амплитудой 1300 МПа:  
● – образцы, закаленные в масле; ○ – образцы, закаленные в воде

На первом этапе происходит приработка контактирующих поверхностей образцов и появление небольшой лунки износа, на поверхности которой не обнаружено существенных следов усталостного разрушения (рис. 3, а) с дисковым контртелом. Длительность первого этапа составила 540 циклов контактного нагружения. При этом глубина лунки износа у образцов после охлаждения в воде составила 0,07 мм, а у образцов, охлажденных в масле, достигла 0,12 мм. Указанное различие связано с пониженной твердостью стали 9ХС после закалки в масле по отношению к сплаву, охлажденному в воде. Это подтверждается общеизвестным принципом, который основан на том, что сопротивление материала стойкости тем выше, чем выше твердость материала [5]. Второй этап, характеризующийся высокой стойкостью сплава к изнашиванию, составил 2 160 и 4 320 циклов нагружения для образцов после охлаждения в масле и воде, соответственно. Указанное отличие, как описывалось выше, связано с

твердостью материала. Однако данное утверждение характерно лишь при непродолжительных испытаниях, длительностью в несколько тысяч циклов нагружения. При более продолжительных испытаниях, свыше 5 тыс. циклов, на изнашивание большее влияние оказывают структурные составляющие сплава. В процессе постоянного воздействия пульсирующих напряжений в поверхностных слоях стали 9ХС происходит деформационное упрочнение сплава. Большее содержание остаточного аустенита в стали 9ХС после охлаждения в масле способствует ее повышению сопротивления усталостному изнашиванию, что отражается на кривых изнашивания (рис. 2). Третий этап, отмеченный на уровне глубины лунки износа 0,6 мм, достиг 24–25,5 тыс. циклов нагружения. Большее значение износа соответствует сплаву, охлажденному в масле. Изнашивание сплава характеризуется образованием трещин контактной усталости, что при постоянном увеличении числа циклов нагружения приводит к формированию питтингов на поверхности лунки износа (рис. 3, б–в).

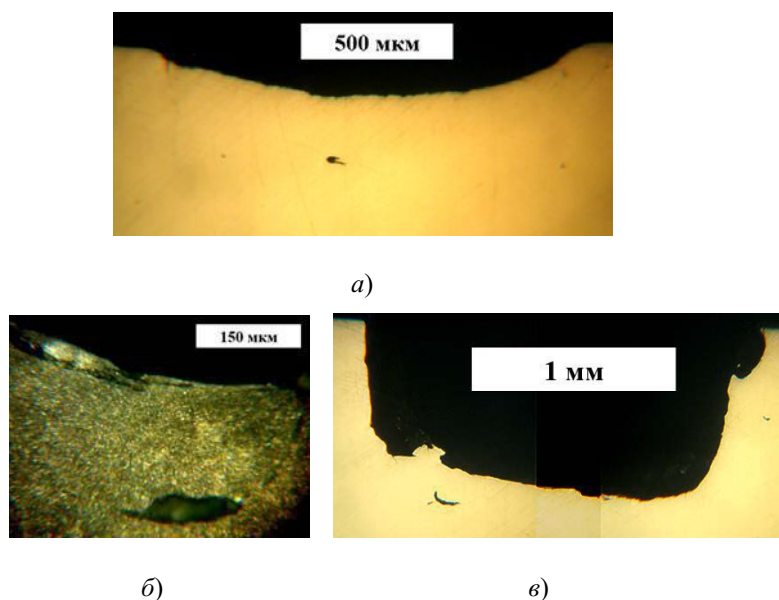


Рис. 3. Разрушение стали 9ХС на различных этапах изнашивания:  
а – на первом и втором этапах; б, в – в конце второго и на третьем этапах

**Заключение.** Изучены зависимости изнашивания образцов из инструментальной стали 9ХС при контактном нагружении напряжениями с амплитудой порядка 1300 МПа. Выявлено, что кривые накопленного износа и разрушение стали 9ХС мало зависят от охлаждающей среды – вода или масло. Изнашивание сплава сопровождается деформационным упрочнением и образованием питтингов. Наибольшей стойкостью к изнашиванию обладают образцы из стали 9ХС, закаленные в масле. Их наработка достигла 25,5 тыс. циклов. Доказано, что структура, твердость и зависимости изнашивания стали 9ХС незначительно отличаются при ее закалке в масле или воде.

#### Литература

1. Сорокин, В. Г. Стали и сплавы. Марочник : справ. изд. / В. Г. Сорокин. – М. : Интермет Инжиниринг, 2001. – 608 с. : ил.
2. 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 ; дата публ.: 28.02.2011.

**Секция II. Материаловедение и технология обработки материалов** *143*

---

3. Геллер, Ю. А. Инструментальные стали : справ. / Ю. А. Геллер. – М. : Металлургия, 1984. – 584 с.
4. 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.
5. Рыжов, Н. М. Технологическое обеспечение сопротивления контактной усталости цементуемых зубчатых колес из теплостойких сталей / Н. М. Рыжов // Металловедение и термич. обработка металлов. – 2010. – № 7. – С. 39–45.