

УДК 620.178.3

КОНТАКТНОЕ ИЗНАШИВАНИЕ ИНСТРУМЕНТАЛЬНЫХ СТАЛЕЙ X12M, 9XC И У8А

И. Н. СТЕПАНКИН, Е. П. ПОЗДНЯКОВ

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

Введение

Применение инструментальных сплавов с завышенными механическими характеристиками не всегда оправдывает затраты на приобретение дорогостоящего материала. Эта тенденция наиболее ярко проявляется при эксплуатации деформирующего инструмента для холодной объемной штамповки. Локальная перегрузка отдельных участков гравюры штампа в условиях пульсирующего нагружения рабочей поверхности приводит к избирательному контактному изнашиванию наиболее сложнопрофильных участков ручья. Для изготовления тяжелонагруженного штампового инструмента применяются высоколегированные инструментальные стали X12M, X12MФ и P6M5 [1]–[4]. Из-за высокого содержания карбидной фазы при разрушении этих материалов происходит локальное скалывание гравюры. Оно наиболее часто является причиной отказа мелкогабаритного штампового инструмента [5]. Поэтому в качестве замены возможно применение углеродистых и низколегированных инструментальных сталей У8–У10, ХВСГ и 9XC, работающих в условиях средних нагрузок [6]. Для оценки возможности применения указанных материалов необходимо получение информации об их способности противостоять изнашиванию при действии пульсирующих контактных напряжений.

Целью работы является исследование механизма разрушения и выявление закономерностей изнашивания инструментальных сталей X12M, 9XC и У8А под воздействием циклических контактных напряжений в условиях, соответствующих эксплуатации мелкогабаритного штампового инструмента.

Материалы и методики исследований

Объектами исследований являлись инструментальные стали X12M, 9XC и У8А. Для получения заданных механических свойств проводили термическую обработку по стандартным режимам [7], [8] (см. таблицу). Высоколегированную сталь X12M перед закалкой подвергали подогреву при температурах 425 и 825 °С. Для определения влияния остаточного аустенита на стойкость сталей к контактному изнашиванию некоторые партии образцов подвергались криогенной обработке. Ее проводили в жидком азоте непосредственно после закалки. Интенсивность накопления усталостных повреждений в поверхностном слое сплава при многократном контактном воздействии на материал исследовали на установке для испытаний на контактную усталость и износ [9]. Установка обеспечивает контактное нагружение торцевой плоскости образца за счет его прокатывания по рабочей поверхности подпружиненного дискового контртела. Исследования микроструктуры проводили на оптическом микроскопе Метам РВ-22. Травление поверхности сплава осуществляли 3-процентным спиртовым раствором азотной кислоты. Твердость определяли на прессе Роквелла ТК-2М при нагрузке 1500 Н.

Режимы термической обработки и твердость сталей X12M, 9XC и У8А

Марка стали	Условное обозначение образца	Термическая обработка				Твердость, HRC
		Температура закалки, °C	Охлаждающая среда	Криогенная обработка, °C	Температура отпуска, °C	
X12M	■	1040	масло	–	200	63–64
X12M	□			–196		65–66
9XC	◆	860	масло	–		58–59
9XC	◇			–196		59–61
У8А	▲	780	вода	–		60–62

Результаты исследований и их обсуждение

Микроструктура стали X12M отличается строчечным расположением карбидных включений в металлической матрице. Содержание мартенсита преобладает над остаточным аустенитом как в случае применения криогенной обработки, так и без нее (рис. 1, *a* и *b*). В структуре стали 9XC присутствуют мелкие карбиды, равномерно распределенные в мартенсите отпуска (рис. 1, *b* и *z*), криогенная обработка не изменила текстурный рисунок материала. Сталь У8А имеет эвтектоидное строение с металлической матрицей – мартенситом отпуска (рис. 1, *d*). Как видно из таблицы, твердость образцов из стали 9XC без применения криогенной обработки оказалась ниже, чем у всех остальных партий и составила 58–59 HRC. Применение обработки холодом привело к повышению твердости образцов на 1–2 единицы Роквелла в результате превращения остаточного аустенита, количество которого составляет 6–8 % [7]. Для стали X12M отмечено аналогичное изменение твердости, также обусловленное превращением γ -фазы [8]. Твердость стали У8А составила 60–62 HRC.

Анализ напряженно-деформированного состояния рабочей поверхности экспериментальных образцов при действии контактного напряжения 1300 МПа показывает, что величина максимальных эквивалентных и касательных напряжений составляет 1270 и 500 МПа соответственно [5]. При этом в начальный период работы материала концентрация максимальных эквивалентных напряжений возникает на кромке центральной части полосы контакта, а касательные напряжения достигают своего максимального значения под поверхностью на границе между контактной и бесконтактной областью приложения нагрузки.

В результате испытаний образцов пульсирующей контактной нагрузкой получены кривые износа, отражающие зависимость глубины лунки износа от числа циклов контактного напряжения величиной порядка 1300 МПа. Регистрацию значений заканчивали при достижении глубины лунки износа 0,6 мм или при 30000 циклах нагружения. Первый параметр зависит от предельного допуска при изготовлении штампового инструмента. Второй соответствует 5–10 ч непрерывной работы штампового автомата при частоте 60–120 уд./мин.

Величина контактного напряжения при испытании стали X12M составила 1280 МПа. На кривых отмечены 2 участка изнашивания. Первый участок длительностью до 5000 циклов соответствует приработке кромок образцов с образованием заусенца, за трансформацию которого отвечают максимальные эквивалентные напряжения. Прирост глубины лунки износа составляет не более 0,05 мм. Второй этап отражает устойчивую работу материала с постепенным увеличением глубины лунки износа, которая на момент наработки 30000 циклов приблизилась к 0,1 мм (рис. 2). Изнашивание обеих партий образцов из стали X12M не зависит от применения криогенной обработки и происходит по близким кривым. Механизм изнашивания сопровождается наклепом материала с последующим удалением тонких чешуек с контактной поверхности сплава (рис. 3, *a* и 4, *a*), по мере увеличения глубины лунки.

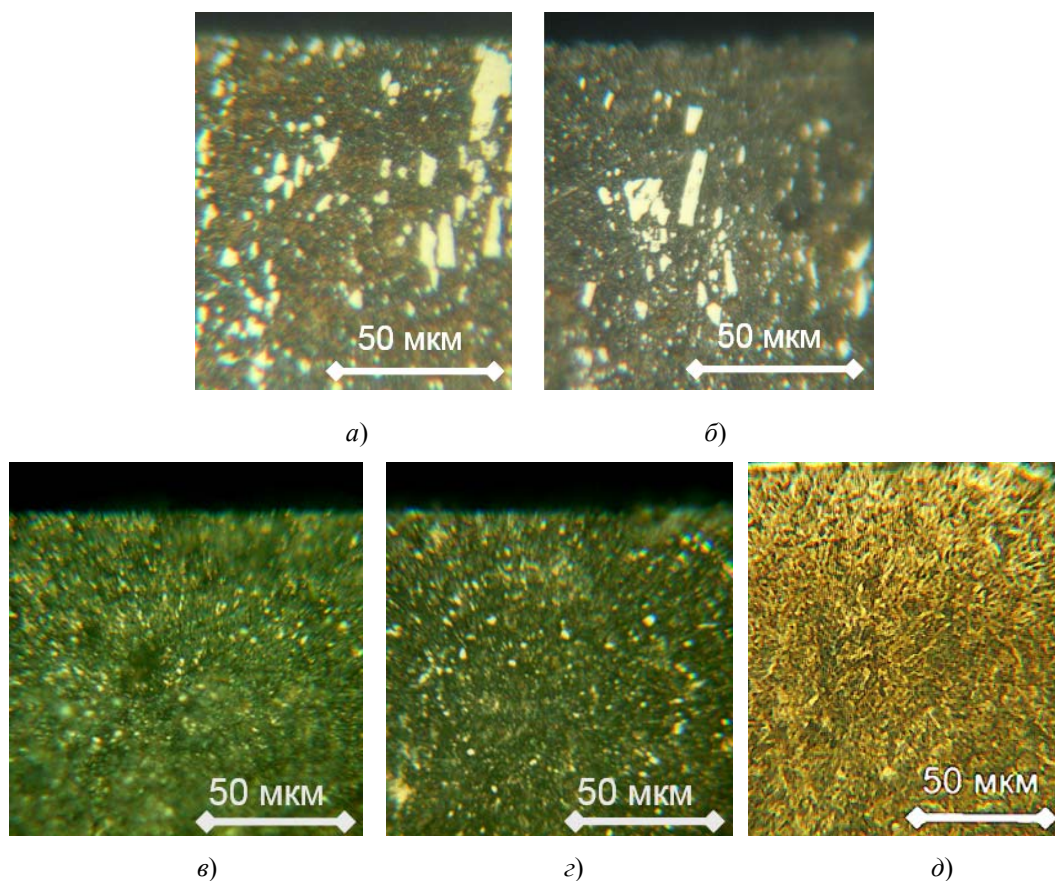


Рис. 1. Структура сталей после термической обработки:
 а – X12М (стандартный режим); б – X12М (с применением криогенной обработки);
 в – 9ХС (стандартный режим); г – 9ХС (с применением криогенной обработки); д – У8А

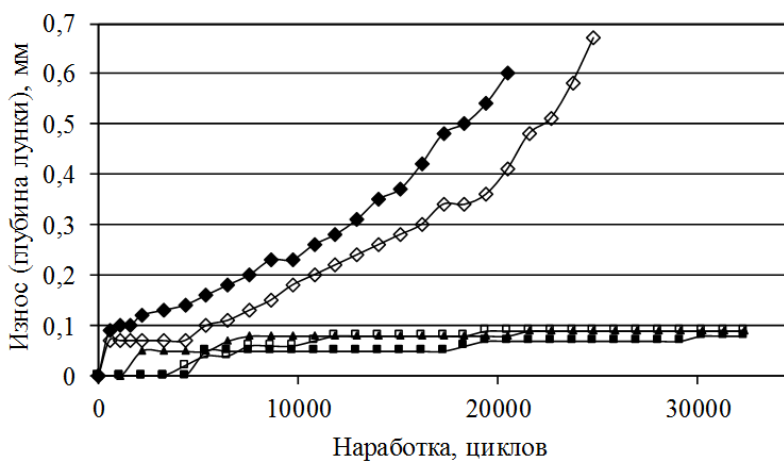


Рис. 2. Кривые контактного изнашивания партий образцов:
 ■ – X12М без криогенной обработки; □ – X12М с применением криогенной обработки;
 ◆ – 9ХС без криогенной обработки; ◇ – 9ХС с применением криогенной обработки; ▲ – У8А

На кривых износа стали 9ХС, испытанных при воздействии контактного напряжения 1300 МПа, присутствует три участка. Приработка материала образцов происходит в течение первых 540 циклов нагружения (см. рис. 2). При этом глубина лунки износа достигает 0,07–0,09 мм. Отмечено небольшое повышение износоустойчивости образцов, обработанных холодом. После этапа приработки наблюдается кратковременное

снижение интенсивности изнашивания. Однако после 5000 циклов стойкость материала к контактному нагружению снижается, что придает графикам износа степенную зависимость. Отслоение материала с контактной поверхности характеризуется образованием более толстых чешуек, чем у образцов из стали X12M. При достижении лунки износа порогового значения (0,6 мм) наработка составила 20500 циклов для образцов без применения криогенной обработки и 25000 циклов с ее проведением. Разрушение материала обеих партий образцов сопровождается образованием трещин и питтингов на контактной поверхности (рис. 3, б и 4, б). Зарождение дефектов локализуется в окрестности границ полосы контакта. Такое разрушение материала соответствует случаю, когда глубина лунки износа превышает 0,2 мм и максимальные эквивалентные напряжения перемещаются в область максимальных касательных напряжений [5].

Исследование образцов из стали У8А при контактном напряжении 1340 МПа выявило, что закономерность износа этого материала близка к стали X12M. Приработка материала стали У8А составляет порядка 2000 циклов нагружения (см. рис. 2). Глубина лунки износа равна 0,05 мм. При достижении 30000 циклов наработки образцов износ не превысил 0,1 мм. Механизм изнашивания сопровождается удалением мелких частиц с контактной поверхности материала (рис. 3, в и 4, а).

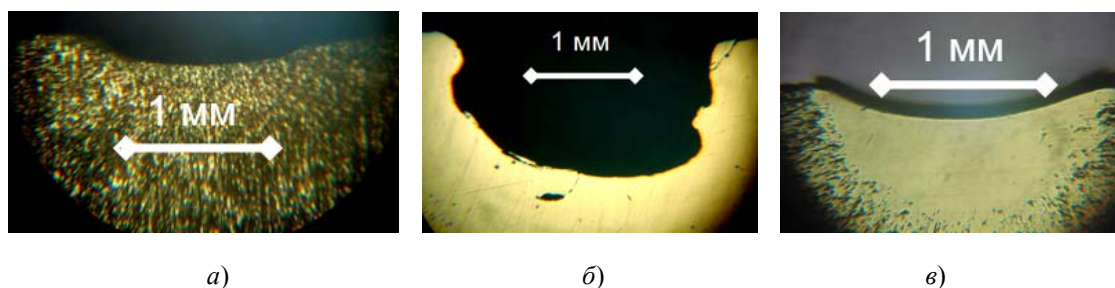


Рис. 3. Структура поверхностного слоя материала образцов:
а – X12M (22680 циклов); б – 9ХС (25000 циклов); в – У8А (30000 циклов)

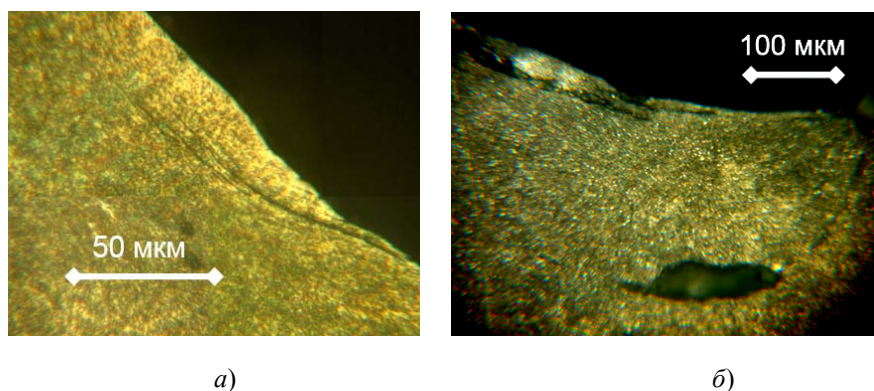


Рис. 4. Образование наклепа (а) и питтинга (б)
на контактной поверхности материала образцов:
а – X12M и У8А; б – 9ХС

Для возможности применения стали 9ХС в качестве материала при изготовлении штампового инструмента проведены исследования по определению предела ее нагрузочной способности. Выявлено, что при снижении контактного напряжения с 1300 до 1100 МПа интенсивность износа значительно уменьшилась. Равномерный износ материала (рис. 5), связанный с удалением мелких частиц металла (рис. 6, а), отмечен до 27000 циклов нагружения, после чего интенсивность изнашивания резко

возрастает. Механизм разрушения связан с зарождением и ростом трещин в контактной области материала. Распространение трещин провоцирует выкрашивание трансформированного материала с образованием питтингов (рис. 6, б). Разрушение сплава сопровождается равномерным удалением наклепанных чешуек материала с контактной поверхности образцов.

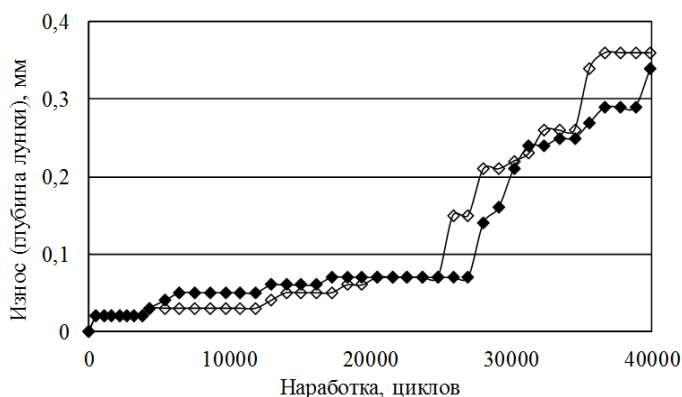


Рис. 5. Кривые контактного изнашивания партий образцов:

◆ – 9ХС без криогенной обработки; ◇ – 9ХС с применением криогенной обработки

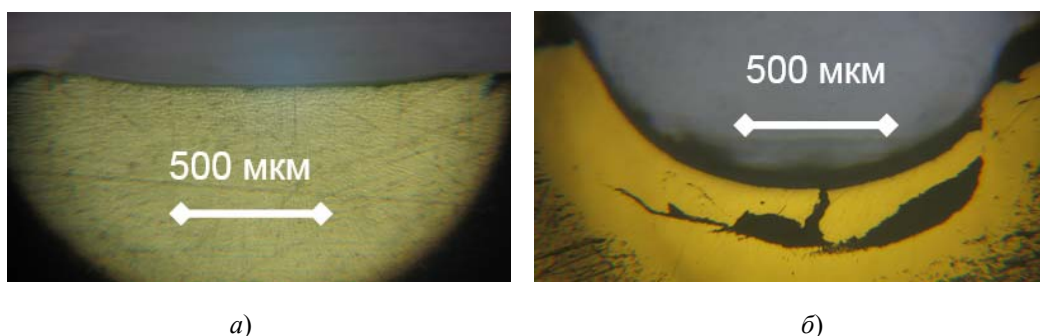


Рис. 6. Форма контактной поверхности образцов из стали 9ХС, испытанных при нагрузке 1100 МПа:
а – 2160 циклов; б – 40000 циклов

Заключение

Изучен механизм разрушения инструментальных сталей Х12М, 9ХС и У8А при воздействии на их поверхность пульсирующего контактного напряжения. Анализ полученных данных позволяет сделать вывод о том, что при циклическом нагружении контактным напряжением, близким к 1300 МПа, износостойкость стали У8А выше стали 9ХС и близка к стали Х12М. Предельный износ сталей Х12М и У8А на базе 30000 циклов не превышает 0,1 мм, что обосновывает возможность использовать сталь У8А в качестве материала заменителя стали Х12М при изготовлении мелкогабаритного штампового инструмента при контактных напряжениях до 1300 МПа. Применение стали 9ХС, часто используемой для изготовления деревообрабатывающего режущего инструмента, возможно и для малонагруженного мелкогабаритного штампового инструмента взамен высоколегированной инструментальной стали Х12М при циклическом напряжении, не превышающем 1100 МПа. Проведение криогенной обработки не выявило существенного влияния на контактную усталость сталей Х12М и 9ХС.

Работа выполнена благодаря финансовой поддержке в рамках подпрограммы «Материалы в технике», задание 4.1.07, 2014–2015 гг.

Литература

1. Зубцов, М. Е. Повышение стойкости штампов для холодной штамповки / М. Е. Зубцов. – Л. : Ленингр. дом науч.-техн. пропаганды, 1960. – 84 с.
2. Зубцов, М. Е. Стойкость штампов / М. Е. Зубцов, В. Д. Корсаков. – Л. : Машиностроение, 1971. – 230 с.
3. Конструкционные материалы : справочник / под ред. Б. Н. Арзамасова. – М. : Машиностроение, 1990. – 688 с.
4. Шейнерман, В. М. Стали для штампов холодного деформирования / В. М. Шейнерман. – Рига : Латв. респ. ин-т науч.-техн. информ. и пропаганды, 1969. – 40 с.
5. Поздняков, Е. П. Особенности контактного изнашивания диффузионно-упрочненных слоев экономно-легированных сталей / Е. П. Поздняков, И. Н. Степанкин // XXVI Международная инновационно-ориентированная конференция молодых ученых и студентов (МИКМУС–2014) : материалы конф., Москва, 17–19 дек. 2014 г. – М. : ИМАШ РАН, 2014. – С. 255–259.
6. Выдавливание рельефных полостей в формообразующих деталях технологической оснастки : руководящий техн. материал 37.002.0195–81. – Горький, 1983. – 170 с.
7. Геллер, Ю. А. Инструментальные стали : справочник / Ю. А. Геллер. – М. : Металлургия, 1984. – 584 с.
8. Артингер, И. Инструментальные стали и их термическая обработка : справочник / И. Артингер. – М. : Metallurgiya, 1982. – 312 с.
9. Устройство испытания материалов на контактную усталость и износ : пат. Респ. Беларусь на полезную модель № 7093 ; заявка № u201000717 от 16.08.2010, МПК (2009) G 01N 3/00, заявитель ГГТУ им. П. О. Сухого / И. Н. Степанкин, В. М. Кенько, И. А. Панкратов.

Получено 07.09.2015 г.