

**ФУНКЦИОНАЛЬНОЕ СТРУКТУРООБРАЗОВАНИЕ  
ПОВЕРХНОСТНЫХ СЛОЕВ КОНСТРУКЦИОННЫХ  
СРЕДНЕУГЛЕРОДИСТЫХ НИЗКОЛЕГИРОВАННЫХ СТАЛЕЙ  
ПРИ ИЗГОТОВЛЕНИИ ИЗ НИХ ХОЛОДНОВЫСАДОЧНОГО  
ИНСТРУМЕНТА**

**И. Н. Степанкин, Е. П. Поздняков**

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

Приоритетным направлением *экономического* развития Республики Беларусь является импортозамещение, что позволяет минимизировать риски, связанные с поставкой материалов и оборудования из-за рубежа, а также обеспечить рабочие места

и повысить стабильность работы отечественных предприятий. Одним из материалов, поставляемых из-за рубежа, является сталь X12M, широко применяемая в штамповом производстве, а также для изготовления деталей машин трения (рис. 1). Наряду с высокой твердостью, прочностью и износостойкостью этот сплав обладает рядом недостатков: высокая стоимость и отсутствие производства на территории Республики Беларусь; пониженная технологическая обрабатываемость; карбидная ликвация в структуре крупных заготовок, провоцирующая образование начальных трещин на этапе формирования давлением сложной гравюры инструмента.



а)

б)

в)

г)

Рис. 1. Примеры деталей, традиционно изготавливаемых из стали X12M:  
а, б – холодновысадочные пуансоны для окончательного формирования головки метизов; в, г – детали аксиально-поршневых насосов

Известно, что для изготовления мелкогабаритных холодновысадочных пуансонов могут быть выбраны альтернативные материалы – инструментальные стали У8А, 9ХС и др. [1]–[3]. Оригинальные исследования, проведенные на кафедре «Материаловедение в машиностроении», позволяют рассматривать в качестве инструментальных материалов низколегированные конструкционные стали 35ХГСА и 40Х с поверхностно-упрочненными слоями.

Замена материала проведена после исследования напряженно-деформированного состояния рабочих поверхностей реальной штамповой оснастки. Показано, что максимальные эквивалентные напряжения и эквивалентные деформации на рабочей поверхности пуансонов для получения крестообразного шлица в головке шурупа-самореза возникают на кромке выступающей части гравюры, а максимальные касательные напряжения концентрируются в той же области, но в подповерхностном слое. Такое напряженно-деформированное состояние приводит к формированию трещин контактной усталости под поверхностью и скалыванию выступающей части гравюры. На рабочей поверхности пуансонов для нанесения маркировки на головки болтов максимальные эквивалентные и касательные напряжения, а также эквивалентные деформации сосредоточены в области элементов, формирующих точку, буквы и цифры. Как показали производственные испытания, именно в данной области образуются трещины контактной усталости (рис. 2).

Критерием замены инструментальных сталей конструкционными низколегированными с поверхностно-модифицированными слоями послужили испытания на изнашивание при действии одинаковых по величине пульсирующих контактных напряжений. Для установления зависимостей изнашивания инструментальных сталей У8А и 9ХС проведены исследования при напряжениях, соответствующих эксплуатационным условиям работы холодновысадочных пуансонов [4] на установке, разработанной коллективом авторов кафедры [5]. Анализ зависимостей изнашивания стали У8А при напряжениях  $1300 \pm 65$  МПа (рис. 3, а) показал, что наибольшей стойкостью к устало-

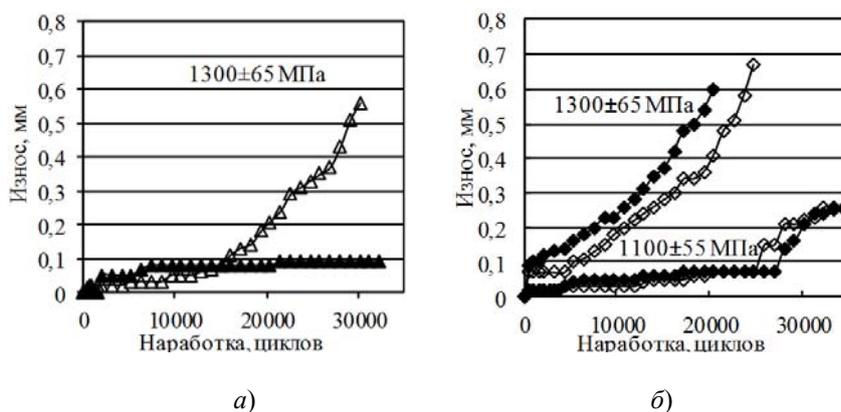
стному изнашиванию обладают термоупрочненные образцы без охлаждения до температуры ниже конца мартенситных превращений. При исследовании на усталость стали 9ХС установлено, что при аналогичных напряжениях этап высокой стойкости отсутствует, что связано с повышенным содержанием кремния. Изнашивание всех партий инструментальных сталей происходит за счет усталостного выкрашивания и отслаивания тонких поверхностных слоев деформированного сплава.



а)

б)

Рис. 2. Дефекты на рабочей поверхности пуансонов:  
а – для формирования крестообразного шлица в головке шурупа-самореза; б – окончательного формирования головки болта



а)

б)

Рис. 3. Величина износа от числа циклов нагружения инструментальных сталей:  
▲ – У8А; △ – У8А с криогенной обработкой;  
◆ – 9ХС; ◇ – 9ХС с криогенной обработкой

Высокая износостойкость исследованных инструментальных сталей оказывается их безусловным преимуществом. Однако не менее важной характеристикой штамповой стали является ее пластичность в холодном состоянии. Это свойство обеспечивает получение качественной гравюры сложнопрофильного инструмента. Проведенные исследования по осадке показали, что низкая пластичность инструментальных сталей вынуждала разбивать процесс выдавливания на два перехода для сталей У8А и 9ХС и три-четыре перехода для стали Х12М. Осуществление промежуточных отжигов в защитной атмосфере, обеспечивающих восстановление пластичности сталей, существенно повысило себестоимость изготовления единицы инструмента. Кроме этого выявлено, что выдавливание рабочей поверхности при использовании стали Х12М сопровождается разрушением крупных карбидов, что формирует трещины на стадии изготовления инструмента.

Результаты, полученные при испытании конструкционных сталей 35ХГСА и 40Х показали, что графики, описывающие их осадку, близки к аналогичным зависимостям инструментальных сталей. Анализ структурных изменений после осадки показал, что наличие пластичной фазы – феррита – способствует равномерному распределению внешней нагрузки по всему деформируемому объему. Это позволяет сформировать качественную рабочую поверхность отделочных пуансонов всего за один переход выдавливания.

Для повышения стойкости пуансонов из конструкционных сталей проводили термодиффузионное упрочнение, заключающееся в цементации или нитроцементации при температуре 920 °С в течение 8-ми или 12-ти часов с последующей закалкой и низким отпуском. Половина всех партий образцов после закалки подвергалась криогенной обработке.

При испытании сталей 35ХГСА и 40Х с упрочненными слоями на контактную усталость при напряжениях  $1300 \pm 65$  МПа получены кривые износа, на которых отмечены три этапа изнашивания (рис. 4). Определено, что наибольшим сопротивлением к изнашиванию обладают термоупрочненные слои стали 40Х после 8-часовой цементации и стали 35ХГСА после 12-часовой. В данных слоях количество остаточного аустенита составило 10 % для слоя стали 35ХГСА и 17 % для слоя стали 40Х, а доля карбидов не превышает 15 %.

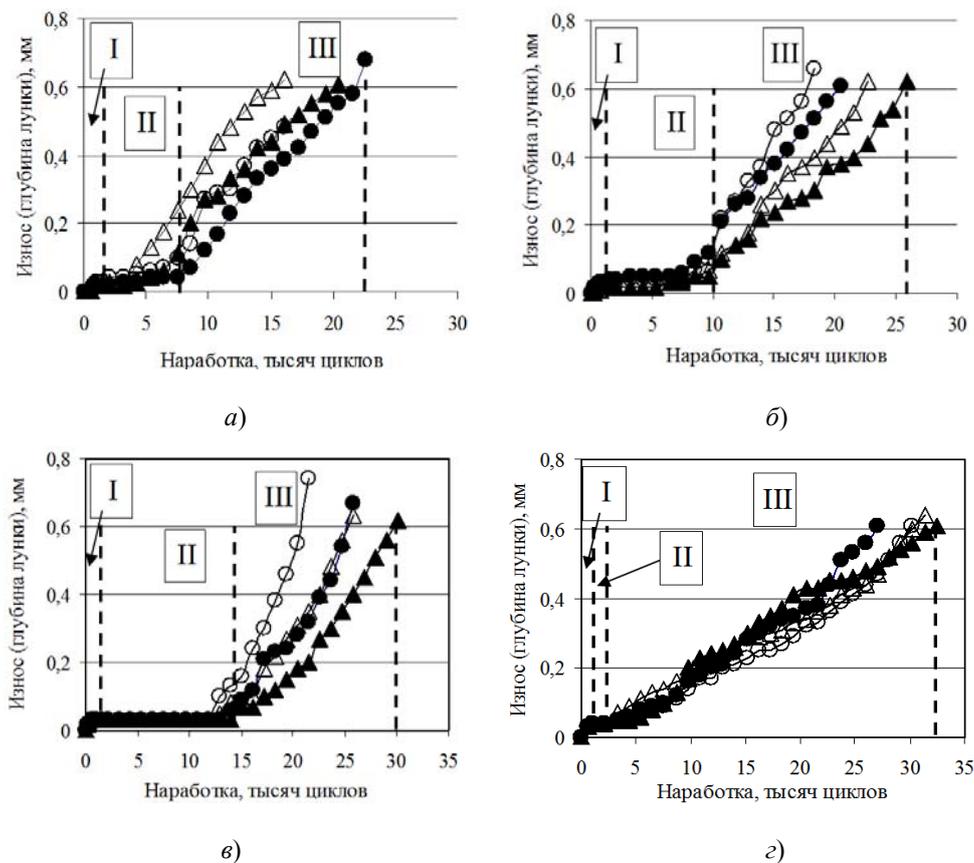
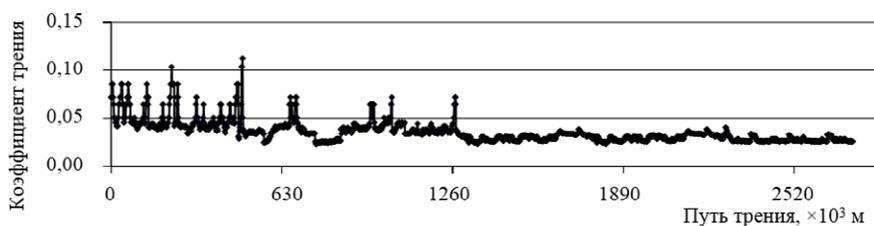


Рис. 4. Кривые износа образцов из конструкционных сталей при амплитуде контактных напряжений  $1300 \pm 65$  МПа:

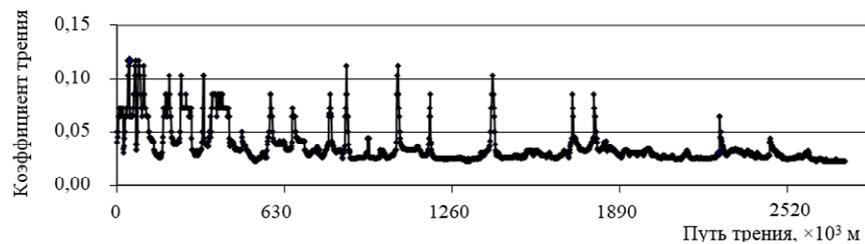
I, II, III – этапы изнашивания: а, в – 8 часов; б, г – 12 часов; а, б – 35ХГСА; в, г – 40Х; ● – нитроцементация; ○ – нитроцементация с криогенной обработкой; ▲ – цементация; △ – цементация с криогенной обработкой

Технологические принципы замены высоколегированной стали X12M на среднеуглеродистые низколегированные стали 35ХГСА и 40Х с модифицированными слоями явились основанием для возможности изготовления деталей аксиально-поршневых насосов, работающих в условиях трения скольжения со смазкой. Осмотр поверхности термообработанных и прошедших длительные испытания опорных и распределительных дисков позволил установить дефекты, которые стали причиной нестабильной работы узла в процессе всей его работы: термические трещины, износ и массоперенос материала контртела.

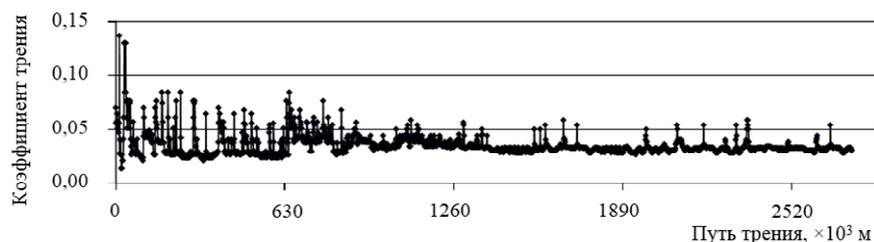
В результате проведенных исследований в условиях трения-скольжения при режимах, соответствующих эксплуатационным условиям работы дисков, были получены графики зависимости коэффициента трения от пути трения. Их анализ установил, что минимальным коэффициентом трения, после этапа приработки, обладает пара трения «науглероженный слой стали 35ХГСА – бронза БрАЖ9-4» (рис. 5, а). Для пар трения «сталь X12M – бронза БрАЖ9-4» (рис. 5, б) и «науглероженный слой стали 40Х – бронза БрАЖ9-4» (рис. 5, в) характерно появление пиковых значений коэффициента трения на всех этапах испытания из-за наличия большого содержания карбидной фазы. Карбиды являются очагами массопереноса медного сплава и с увеличением наработки данные участки массопереноса разрастаются и объединяются. После окончательного шлифования диска в заэвтектоидном слое стали 35ХГСА доля карбидной фазы не превышает 5 %, что подтверждается стабилизацией коэффициента трения на графике (рис. 5, а).



а)



б)



в)

Рис. 5. Коэффициент трения от пути трения сталей в паре с бронзой БрАЖ9-4:  
а – сталь 35ХГСА; б – сталь X12M; в – сталь 40Х

В настоящее время на кафедре «Материаловедение в машиностроении» проводятся исследования в отношении структурообразования и определения механических и эксплуатационных характеристик новых марок сталей, производимых ОАО «БМЗ – управляющая компания холдинга «БМК» для стран Европейского Союза. К этим сталям относятся низкоуглеродистая 16CrMnS5 и среднеуглеродистая 42CrMoS4. Их свойства недостаточно изучены, что сдерживает внедрение данных сплавов на машиностроительных предприятиях Республики Беларусь. Более детальное изучение свойств новых сталей может позволить произвести замену традиционно применяемых сталей, что повысит качество их плавки и отразится на улучшении экономического состояния Республики Беларусь.

Разработанные рекомендации диффузионного упрочнения конструкционных сталей 35ХГСА и 40Х, заключающиеся в проведении цементации при температуре 920 °С в течение 8-ми ч для стали 40Х и 12-ти ч для стали 35ХГСА, закалке в масле с 860 °С и отпуске при 200 °С в течение 1 ч, использованы при изготовлении отделочных пуансонов холодного выдавливания 171.1461.4010/061, 171.1461.4200/061, 171.1461.0003/053, 617.1469.7008/052, 171.1460.4016/064 в количестве 250 шт., а также опорных А1-56/25.00.006 и распределительных А1-56/25.00.007 дисков аксиально-поршневых насосов в количестве 1500 шт., изготовленных из стали 35ХГСА и упрочненных посредством цементации при температуре 920 °С в течение 8-ми ч, закалкой в масле с 860 °С и отпуском при 200 °С в течение 1 ч. Проведена опытно-промышленная апробация отделочных пуансонов на ОАО «ГЗЛиН», которая показала повышение их стойкости в 2,7–3,2 раза по сравнению с аналогичными пуансонами, первоначально изготавливаемыми из инструментальной высоколегированной стали Х12М, а также дисков аксиально-поршневых насосов на ООО «Хорда-Гидравлика». При потреблении ОАО «ГЗЛиН» 250 шт. и ООО «Хорда-Гидравлика» 1500 шт. деталей предполагаемый годовой экономический эффект превысит 5000 белорусских рублей. Реализация результатов исследований перспективна на предприятиях по производству метизной продукции, деталей пар трения гидравлических насосов, а также для организации лабораторно-методической работы в учреждениях высшего образования по дисциплинам «Металловедение и термическая обработка металлов и сплавов», «Специальные главы инженерного материаловедения» и «Материаловедение».

#### Литература

1. Геллер, Ю. А. Инструментальные стали : справочник / Ю. А. Геллер. – М. : Металлургия, 1984. – 584 с.
2. Артингер, И. Инструментальные стали и их термическая обработка : справочник / И. Артингер. – М. : Металлургия, 1982. – 312 с.
3. Гуляев, А. П. Инструментальные стали : справочник / А. П. Гуляев, К. А. Малинина, С. М. Саверина. – 2-е изд., перераб. и доп. – М. : Машиностроение, 1975. – 272 с.
4. Степанкин, И. Н. Стойкость холодновысадочной оснастки и методы ее повышения / И. Н. Степанкин, В. М. Кенько. – Гомель : ГГТУ им. П. О. Сухого, 2014. – 197 с. : ил.
5. 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.