

**ИЗНОСОСТОЙКОСТЬ НАУГЛЕРОЖЕННЫХ СЛОЕВ  
КОНСТРУКЦИОННОЙ СТАЛИ 42CrMoS4****Е. П. Поздняков, А. В. Рабков, Н. С. Коноваленко***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

В условиях усталостного изнашивания деталей машин и инструмента одним из основных параметров является износостойкость материалов. Для деталей, изготавливаемых из сталей, основным параметром повышения износостойкости является твердость, которая повышается с увеличением углерода в ней. При выборе инструментальных сталей для изготовления различных деталей, работающих в условиях воздействия пульсирующих нагрузок, необходимо учитывать их пониженную технологическую обрабатываемость и дороговизну. Немаловажным фактором является и низкая вязкость сердцевины деталей из этих материалов, которая не оказывает сопротивления продвижению трещин в более глубокие слои материала. Одним из возможных путей решения этой проблемы является применение улучшаемых сталей с диффузионным упрочнением поверхности [1].

Целью работы является установление влияния длительности цементации на износостойкость науглероженных слоев стали 42CrMoS4.

Объектом исследований являлись термодиффузионно-упрочненные слои стали 42CrMoS4. Диффузионное насыщение образцов осуществлялось путем проведения цементации при температуре 920 °С в течение 8-ми и 12-ти часов в древесно-угольном карбюризаторе с добавлением карбоната бария. Окончательная термическая обработка предполагала проведение закалки в масле с температуры 860 °С и низкотемпературного отпуска при 200 °С в течение 1 часа. Исследования микроструктуры и особенностей разрушения упрочненных слоев проводились на оптическом микроскопе Метам РВ-22. Травление микрошлифов проводилось в 2,5–5%-м спиртовом растворе HNO<sub>3</sub>. Распределение микротвердости термодиффузионно-упрочненных слоев определяли на микротвердомере ПМТ-3 при нагрузке 2Н. Интенсивность накопления усталостных повреждений в поверхностном слое инструмента при многократном контактном 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. Регистрация значений износа заканчивалась при достижении глубины лунки износа 0,6 мм или  $30 \cdot 10^3$  циклов нагружения. Испытания проводились при контактных напряжениях с амплитудами 1100 и 1300 МПа.

Структура металлической матрицы термоупрочненных науглероженных слоев стали 42CrMoS4 состоит из мартенсита отпуска и остаточного аустенита с присутствием карбидной фазы. Включения карбидной фазы распространяются на глубину 0,6–0,7 мм и отличаются морфологически. В образце после 8-часового науглероживания отдельные включения достигли размера 10 мкм (рис. 1, в). При увеличении длительности цементации до 12 часов обнаружена коагуляция карбидов (рис. 1, г).

Размер отдельных конгломераций достигает 30 мкм. Объем карбидной фазы при изменении длительности ХТО увеличивается с 25–30 до 35–40 %.

Анализ графиков распределения микротвердости науглероженных слоев показал, что микротвердость на поверхности образца после 8-часовой цементации составляет 8000–8200 МПа, а в сердцевине – около 6000 МПа (рис. 1, в). Увеличение времени насыщения углеродом приводит к снижению этих показателей по всему сечению слоя – микротвердость поверхности не превышает 7300 МПа, а сердцевины не более 5600 МПа. Отличительной особенностью слоя после 12-часового упрочнения является наличие площадки равной твердости – 6500–6700 МПа, отмеченной на глубине 0,25–1,15 мм. Общая толщина диффузионных слоев составила 1,8–2,0 мм.

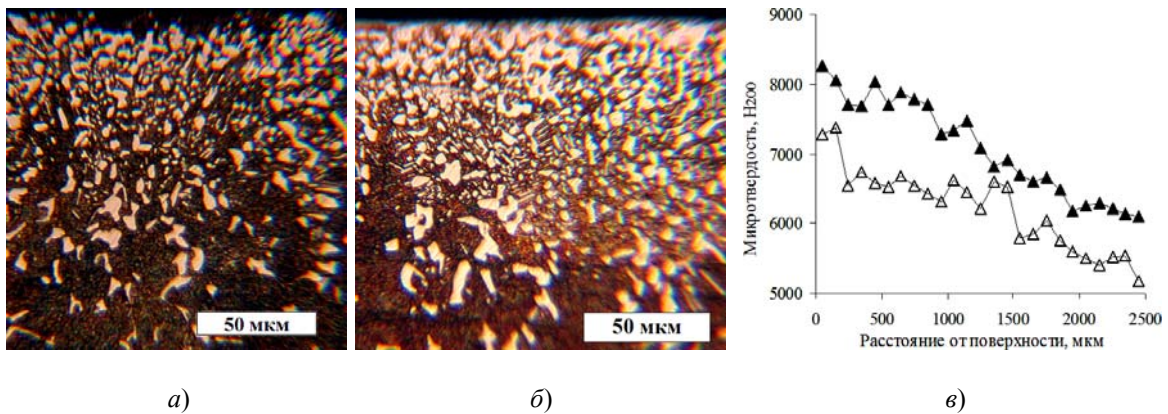


Рис. 1. Структура заэвтектоидной зоны диффузионных слоев стали 42CrMoS4 после цементации в течение 8-ми (а) и 12-ти (б) часов, распределение микротвердости слоев: ▲ – 8-часовая цементация; Д – 12-часовая цементация

На рис. 2 приведен график интенсивности износа цементованных слоев стали 42CrMoS4 в зависимости от числа циклов нагружения в условиях воздействия на поверхностный слой образцов контактных напряжений с различными амплитудами – 1100 МПа и 1300 МПа.

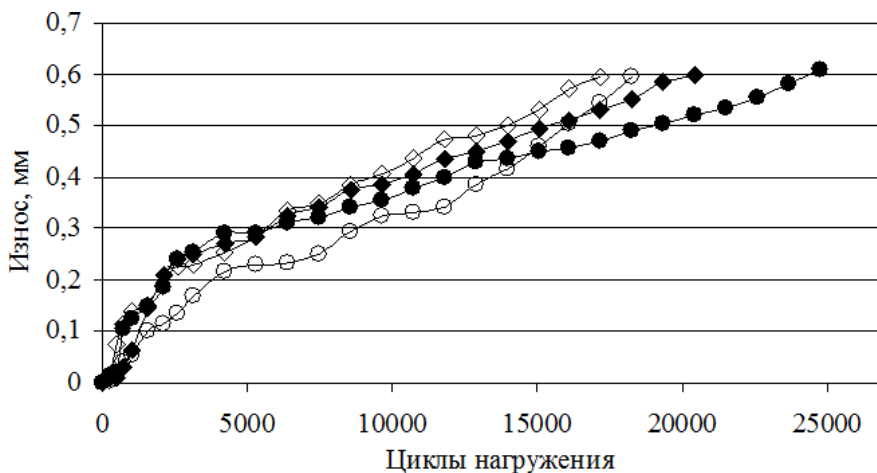


Рис. 2. Зависимости износа от числа циклов нагружения диффузионных слоев стали 42CrMoS4 после 8-часовой (◇, ◆) и 12-часовой (○, ●) цементации: ●, ◆ – 1100 МПа; ○, ◇ – 1300 МПа

Анализ кривых показал, что зависимости износа диффузионных слоев имеют близкое распределение (рис. 2). Отчетливо выделяются два этапа изнашивания. На первом этапе происходит приработка контактирующих поверхностей образцов и контртела с высокой интенсивностью износа. За первые 1000–1500 циклов нагружения глубина лунки износа достигает 0,1 мм. Второй этап отличается снижением интенсивности изнашивания.

Проведенные испытания на контактную усталость при величине контактной нагрузки 1300 МПа показали, что увеличение длительности насыщения углеродом с 8-ми до 12-ти часов незначительно повысило стойкость слоя стали 42CrMoS4 к усталостному изнашиванию – количество циклов нагружения возросло с 17200 до 18280 при достижении глубины лунки износа 0,6 мм. При снижении величины контактных напряжений до 1100 МПа диффузионный слой повел себя закономерно – повысилась стойкость. После 8-часовой ХТО количество циклов нагружения составила 20440, а после 12-часовой – 24760.

Механизм разрушения всех науглероженных слоев также оказался одинаковым. После этапа приработки образцов с контртелом наблюдается интенсивный рост трещин контактной усталости на глубине 0,2–0,3 мм. Он связан с величиной воздействующих на материал напряжений. На данной глубине присутствует карбидная фаза в виде цементитной сетки (рис. 3). В межфазной области между зернами цементита и мартенсита происходит продвижение трещин контактной усталости, которые достигают критических размеров, формируя крупные питтинги (рис. 3). Наличие остаточного аустенита в пакетах мартенсита мало влияет на продвижение трещин, так как их распространение происходит по межфазной области цементита и мартенсита.

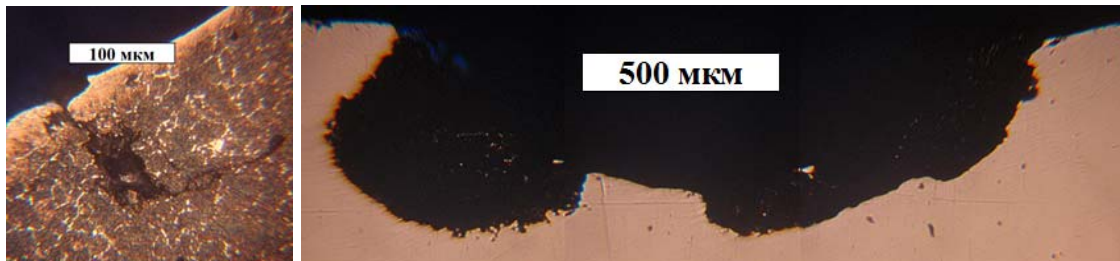


Рис. 3. Особенности разрушения науглероженных слоев стали 42CrMoS4

Исследовано структурообразование и свойства термоупрочненных науглероженных слоев стали 42CrMoS4. Анализ данных позволил сделать следующие выводы:

1. Толщина заэвтектоидной зоны после увеличения длительности цементации с 8-ми до 12-ти часов не возросла и составила 0,6–0,7 мм. Однако увеличение времени насыщения углеродом привело к возрастанию объемной доли карбидной фазы с 25–30 % до 35–40 %, а также к коагуляции карбидов, максимальный размер которых увеличился с 10 до 30 мкм.

2. Увеличение времени насыщения углеродом привело к снижению микротвердости по сечению науглероженных слоев. Микротвердость на поверхности образца после 8-часовой цементации составляет 8000–8200 МПа, а после 12-часовой – 7300 МПа. Микротвердость сердцевины составила 5600–6000 МПа, начинающаяся на глубине 1,8–2,0 мм.

3. Испытаниями на контактную усталость определено, что при увеличении науглероживания с 8-ми до 12-ти часов, а также при снижении величины контактных

напряжений с 1300 до 1100 МПа, износостойкость слоя стали 42CrMoS4 возрастает. Максимальная износостойкость (24760 циклов нагружения) отмечена у слоя, сформированного посредством 12-часовой цементации, и испытанного при величине контактных напряжений с амплитудой 1100 МПа.

#### Литература

1. Степанкин, И. Н. Применение конструкционных сталей с диффузионным упрочнением поверхности для производства мелкогабаритного штампового инструмента / И. Н. Степанкин, Е. П. Поздняков, О. Г. Девойно // Перспективные направления развития технологии машиностроения и металлообработки : тез. докл. Междунар. науч.-техн. конф., Минск, 7–8 апр. 2016 г. / редкол.: В. К. Шелег (отв. ред.) [и др.]. – Минск : Бизнесофсет, 2016. – С. 142–144.
2. Устройство для испытания на контактную усталость и износ : пат. ВУ 7093 / Степанкин И. Н., Кенько В. М., Панкратов И. А. – Опубл. 28.02.2011.

### **МИКРОСТРУКТУРА И МИКРОТВЕРДОСТЬ ТЕРМОДИФФУЗИОННО-УПРОЧНЕННЫХ СЛОЕВ КОНСТРУКЦИОННОЙ СТАЛИ 16CrMnS5**

**М. Е. Буйко, Н. С. Коноваленко, Е. П. Поздняков, А. В. Рабков**

*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

Во многих случаях эксплуатационные свойства деталей машин зависят от механических свойств поверхностного слоя материала. Для повышения свойств сталей используют различные способы поверхностного упрочнения. Наиболее распространенными являются высокотемпературные процессы диффузии углерода в поверхностный слой детали – цементация и нитроцементация. Их применение направлено на получение высокой твердости и износостойкости поверхностного слоя сплавов при сохранении вязкой сердцевины. В качестве упрочняемых материалов традиционно используют низкоуглеродистые стали марок 18ХГТ, 12ХНЗА, 20Х, 20ХНЗА и др. В настоящее время на ОАО «БМЗ – управляющая компания холдинга БМК» отлажена технология плавки новой марки стали 16CrMnS5 в соответствии с DIN EN 10084, экспортируемой в страны Европейского Союза. Однако на территории Республики Беларусь, а также стран СНГ, она не получила широкого распространения, что связано с низкой информативностью о ее механических и эксплуатационных свойствах. В работах [1], [2] приведены исследования цементованных и нитроцементованных слоев стали 16CrMnS5, сформированных в атмосферах низкого давления. Общая толщина слоя, в данных случаях, не превысила 0,8 мм. Технология получения диффузионного слоя в вакууме требует применения дорогостоящего оборудования и высокой квалификации специалистов и применяется в условиях массового и крупносерийного производств. Актуальной является задача исследования влияния структурных и фазовых составляющих на свойства цементованных и нитроцементованных слоев стали 16CrMnS5, полученных в твердых карбюризаторах.

Целью работы является установление влияния продолжительности цементации и нитроцементации на структурообразование и микротвердость модифицированных слоев стали 16CrMnS5.