

ИЗНОСОСТОЙКОСТЬ ЦЕМЕНТОВАННЫХ И НИТРОЦЕМЕНТОВАННЫХ СЛОЕВ СТАЛИ 16CrMnS5

А. В. Рабков, Е. П. Поздняков

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

Д. В. Куис

Учреждение образования «Белорусский государственный технологический университет», г. Минск

Т. И. Сидоренко

ОАО «БМЗ – управляющая компания холдинга «БМК», г. Жлобин, Республика Беларусь

Научный руководитель И. Н. Степанкин

Традиционно в машиностроительном производстве Республики Беларусь и стран СНГ для изготовления различного рода деталей машин с поверхностным диффузионным упрочнением применяются конструкционные стали 18ХГТ, 12ХНЗА, 20ХГР, 20ХНЗА и др. В настоящее время на металлургическом заводе ОАО «БМЗ – УКХ «БМК» производят сортовой прокат для стран ЕС из стали 16CrMnS5 по DIN EN 1084. Актуальной является проблема расширения линейки используемых традиционных материалов материалами-заменителями из-за низкой информативности о свойствах новых сталей. Для решения этой задачи необходимо изучить свойства указанного сплава, чтобы применять его для изготовления деталей машин, работающих в условиях контактного изнашивания – зубчатые колеса, вал-шестерни, кулачки и др. Для них основным параметром повышения износостойкости является твердость, которая повышается с увеличением углерода в ней. Классическими и легко осуществляемыми способами диффузионного упрочнения поверхности деталей являются цементация и нитроцементация [1], [2].

Целью работы является установление влияния длительности цементации и нитроцементации на структуру, микротвердость и износостойкость стали 16CrMnS5.

Объектом исследований являлись термодиффузионно-упрочненные слои стали 16CrMnS5. Диффузионное насыщение сплава осуществлялось путем проведения цементации при температуре 920 °С в течение 8-ми и 12-ти часов и нитроцементации при температуре 860 °С в течение 6-ти и 8-ми часов в твердом карбюризаторе. После ХТО проводилась закалка в масле с температуры 860 °С и отпуск при 200 °С в течение одного часа. Исследования микроструктуры и особенностей разрушения упрочненных слоев проводились на оптическом микроскопе Метам РВ-22. Травление микрошлифов проводилось в 2,5–5%-ном спиртовом растворе HNO₃. Распределение микротвердости термодиффузионно-упрочненных слоев определяли на микротвердомере ПМТ-3 при нагрузке 2Н. Интенсивность накопления усталостных повреждений в поверхностном слое инструмента при многократном контактом воздействии на материал исследовали на установке для испытаний на контактную усталость и износ [3]. Регистрация величины износа заканчивалась при достижении глубины лунки износа более 0,6 мм. Испытания проводились при амплитуде контактных напряжений 950 МПа.

Микроструктура науглероженных слоев представляет матрично-аустенитную матрицу с карбидными включениями (рис. 1, а, б), объемное количество которых увеличилось с 18 до 26 % при увеличении длительности ХТО с 8-ми до 12-ти ч соответственно. Их максимальный размер в процессе науглероживания достиг 20 мкм. Микротвердость поверхности слоев составила 7000–7500 МПа, сердцевины – 3500–4000 МПа. Общая толщина диффузионных слоев достигла 1,9–2,1 мм.

Микроструктура нитроцементованных слоев (рис. 2) стали 16CrMnS5 значительно отличается от цементованных (рис. 1). Структура слоя, сформированного после 6-часовой нитроцементации, состоит из мартенсита и остаточного аустенита (рис. 2, а). После увеличения длительности ХТО до 8-ми часов (рис. 2, б) в поверхностном слое обнаружены мелкодисперсные включения, предположительно карбонитридного типа размером не более 5 мкм. Главным отличием нитроцементованных слоев от цементованных оказалось снижение их общей толщины до 1,0–1,1 мм.

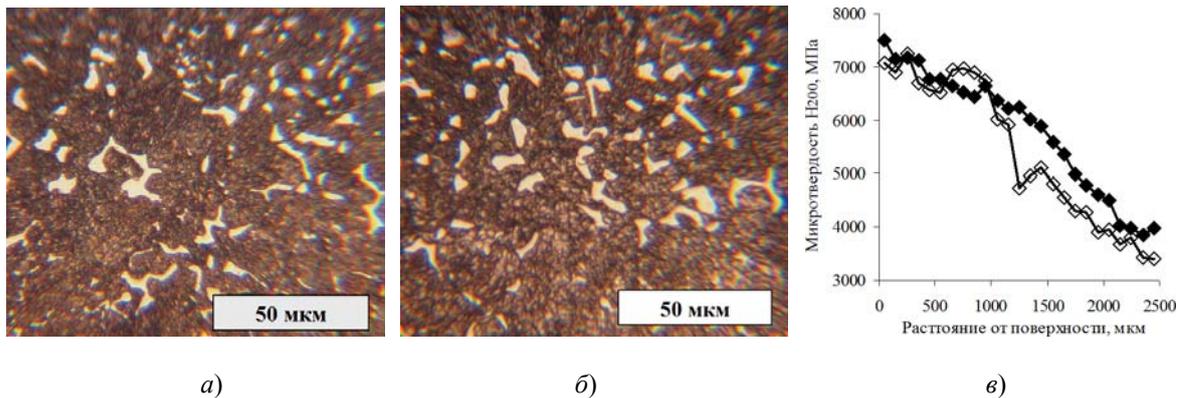


Рис. 1. Структура заэвтектоидной зоны цементованных слоев стали 16CrMnS5 после 8-часовой (а) и 12-часовой (б) ХТО, распределение микротвердости по сечению слоев (в): ♦ – 8 ч; ◇ – 12 ч

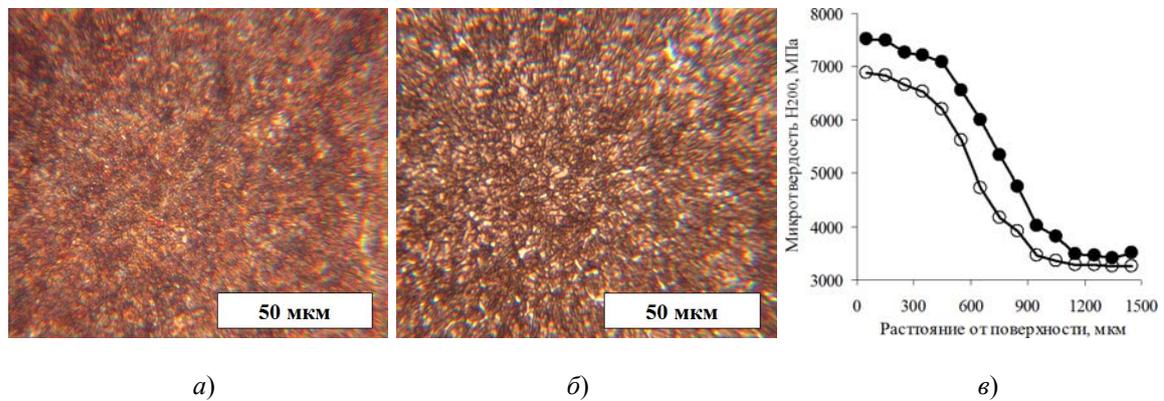


Рис. 2. Структура заэвтектоидной зоны нитроцементованных слоев стали 16CrMnS5 после 6-часовой (а) и 8-часовой (б) часовой ХТО, распределение микротвердости по сечению слоев (в): ○ – 6 ч; ● – 8 ч

На рис. 3 приведен график зависимости износа диффузионно-упрочненных слоев стали 16CrMnS5 от числа циклов нагружения в условиях воздействия контактных напряжений амплитудой 950 МПа. Анализ кривых показал, что зависимости износа всех диффузионных слоев имеют близкое распределение. Отчетливо выделяются три этапа изнашивания. На первом этапе, длительностью 1000–1500 циклов, происходит приработка контактирующих поверхностей образцов и контртела.

Второй этап отличается высокой износостойкостью – практически без износа. Его длительность оказалась в интервале 16–20 тыс. нагружения. Глубина лунки износа для всех партий образцов не превысила 0,05 мм.

На третьем этапе интенсивность изнашивания повысилась. Скорость износа составила около 0,020–0,025 мм на каждые 1000 циклов нагружения. Предельный износ науглероженные образцы достигли при 39–40 тыс. циклов нагружения. Отличительной особенностью нитроцементованных образцов является аномально высокая скорость изнашивания при достижении лунки износа около 0,4 мм (~32 тыс. циклов). Это связано резким снижением микротвердости на глубине около 0,5 мм (рис. 2, в), после превышения которой слои не способны сопротивляться воздействию контактных нагрузок при данных напряжениях.

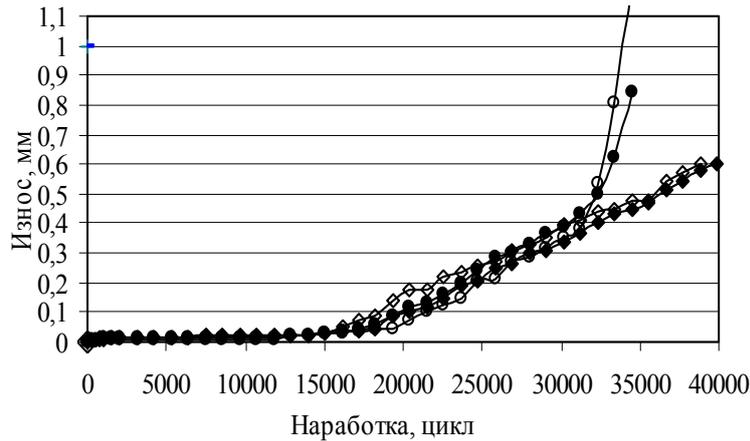


Рис. 3. Зависимости износа диффузионно-упрочненных слоев стали 16CrMnS5:

◆ – 8-часовая цементация; ◇ – 12-часовая цементация; ○ – 6-часовая нитроцементация; ● – 8-часовая нитроцементация

Анализ структурных превращений, проведенный при высоком разрешении, позволяет обнаружить эффект пластической деформации карбидной фазы, выявленный на науглероженных образцах – наклеп, переориентация карбидов, а также разделение крупных карбидов на отдельные мелкие частицы уже при первых 1000 циклах нагружения (рис. 4, а). Для нитроцементованных слоев происходит аналогичный процесс – протекание наклепа (рис. 4, б). В процессе увеличения наработки формирующиеся трещины контактной усталости растут, образуя в итоге питтинги (рис. 4, в, г). Их появление провоцирует уменьшение площади контакта и, соответственно, увеличение интенсивности износа (3 этап).

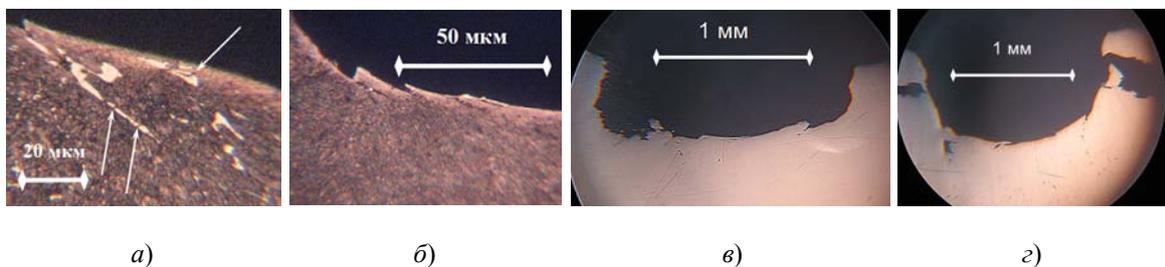


Рис. 4. Особенности разрушения термодиффузионных слоев стали 16CrMnS5

Исследовано структурообразование и свойства термодиффузионных слоев стали 16CrMnS5. Анализ данных позволил сделать следующие выводы:

1. Проведение цементации в обоих случаях формирует мартенситно-аустенитную металлическую матрицу, в которой расположены разрозненные карбиды. Их объемная доля при увеличении цементации с 8-ми до 12-ти часов возросла с 18 до 26 %. Обнаружено, что в слое после 8-часовой нитроцементации начали формироваться мелкодисперсные карбонитриды, которые не обнаружены в слое после 6-часовой нитроцементации. Микротвердость поверхности всех исследованных слоев составила 7000–7500 МПа, а сердцевины – 3500–4000 МПа. Общая толщина цементованных слоев примерно в 2 раза больше, чем нитроцементованных – 1,9–2,1 мм и 1,0–1,1 мм соответственно.

2. Этап высокой износостойкости отмечен у всех исследованных слоев, который составил 16–20 тыс. циклов нагружения при амплитуде контактных напряжений 950 МПа. Из-за возникновения питтингов на поверхности лунки износа образцов интенсивность износа увеличилась. Скорость износа составила около 0,020–0,025 мм на каждые 1000 циклов нагружения. Следует отметить, что эта тенденция сохранилась только для науглероженных слоев, которые достигли предельного износа при 39–40 тыс. циклов нагружения. Для нитроцементованных образцов обнаружен аномальный износ при достижении глубины лунки износа 0,4 мм. Это связано с уменьшением общей толщины слоя в 2 раза. На глубине более 0,5 мм микротвердость резко снижается, а, соответственно, материал с малой твердостью не способен сопротивляться процессам контактной усталости при воздействии на него напряжений с амплитудой 950 МПа.

3. Для деталей машин с поверхностным упрочнением, у которых допустимый износ поверхности составляет около 0,6 мм, нитроцементацию нецелесообразно проводить из-за малой толщины диффузионного слоя.

Литература

1. Лахтин, Ю. М. Химико-термическая обработка металлов / Ю. М. Лахтин, Б. Н. Арзамасов. – М. : Металлургия, 1985. – 256 с.
2. Химико-термическая обработка металлов и сплавов / Г. В. Борисенко [и др.]. – М. : Металлургия, 1981. – 424 с.
3. Устройство для испытания на контактную усталость и износ : пат. ВУ 7093 / И. Н. Степанкин, В. М. Кенько, И. А. Панкратов. – Опубл. 28.02.2011.

ОСОБЕННОСТИ СТРУКТУРЫ И СВОЙСТВ МОДИФИЦИРОВАННЫХ СЛОЕВ НИЗКОЛЕГИРОВАННОЙ КОНСТРУКЦИОННОЙ СТАЛИ 18ХГТ

А. В. Рабков, Е. П. Поздняков

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

Д. В. Куис

Учреждение образования «Белорусский государственный технологический университет», г. Минск

Т. И. Сидоренко, А. М. Коротцов

ОАО «БМЗ – управляющая компания холдинга «БМК», г. Жлобин, Республика Беларусь

Научный руководитель И. Н. Степанкин

При выборе материалов для изготовления деталей машин конструкционного назначения инженерно-конструкторские работники ориентируются на механические и эксплуатационные свойства поверхностного слоя детали. Для придания требуемых