

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.

Объектом исследований являлись термодиффузионно-упрочненные слои конструкционной стали 16CrMnS5. Диффузионное насыщение поверхности образцов осуществлялось двумя способами. Первый способ предполагал проведения цементации при температуре 920 °С в течение 8-ми и 12-ти часов в древесно-угольном карбюризаторе с добавлением углекислого бария. Второй способ заключался в проведении нитроцементации при температуре 850 °С в течение 6-ти и 8-ми часов в древесно-угольном карбюризаторе с добавлением карбамида. Окончательные структура и свойства слоев придавались путем проведения закалки с температуры 860 °С в масле и низком отпуске при температуре 200 °С в течение 1 часа. Исследование микроструктуры осуществлялось на оптическом микроскопе Метам РВ-22. Травление микрошлифов проводилось в 2,5–5%-м спиртовом растворе азотной кислоты. Распределение микротвердости по сечению модифицированных слоев определялось на микротвердомере ПМТ-3 при нагрузке 2Н. Определение объемной доли карбидной фазы в заэвтектоидном слое определялось методом Розивалля.

С целью установления влияния химико-термической обработки (ХТО) на сплав 16CrMnS5 были исследованы его структура и свойства в состоянии поставки и после объемной закалки (860 °С) с низким отпуском. Исходная структура стали представляет собой неравномерно распределенную феррито-перлитную смесь (рис. 1, *а*), твердостью 170–174 НВ. После закалки и отпуска структура сплава представляет мелкозернистую феррито-цементитную смесь (рис. 1, *б*). Твердость образца оказалась низкой – 30–33 HRC.

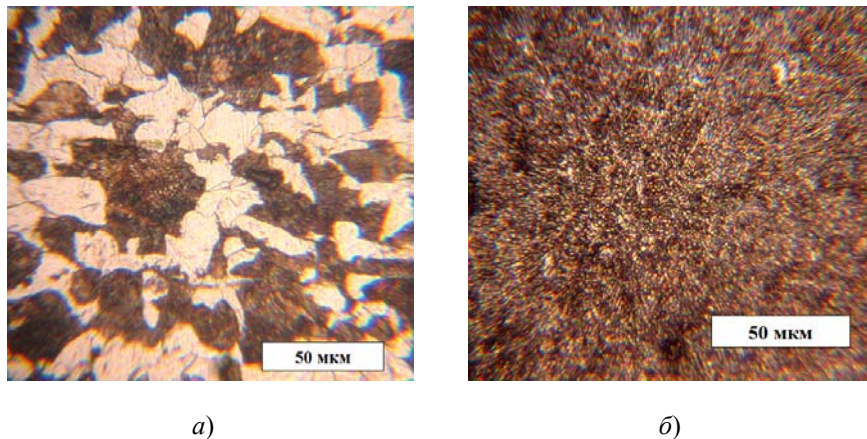
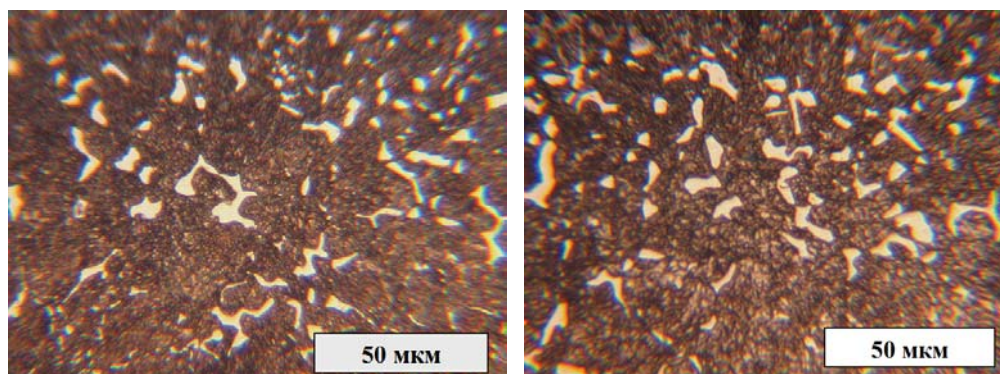


Рис. 1. Микроструктура стали 16CrMnS5 в состоянии поставки (*а*) и после закалки с низким отпуском (*б*)

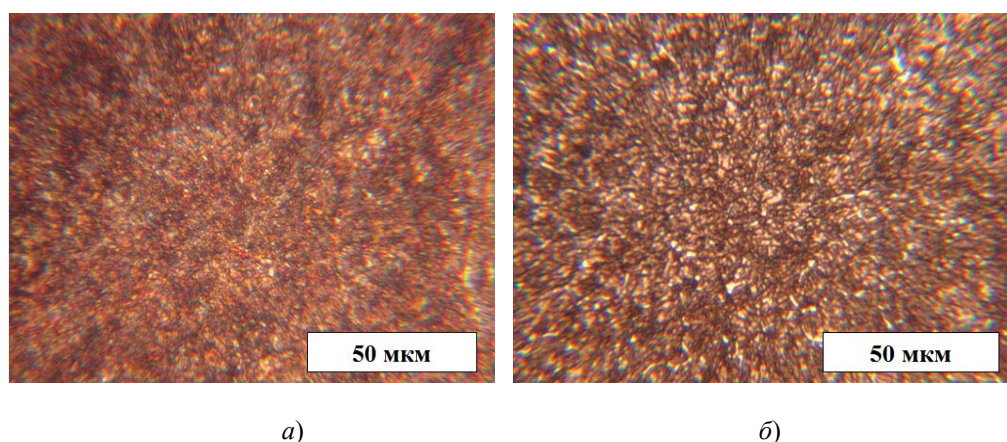
После проведения ХТО с последующей термической обработкой микроструктура и твердость модифицированных слоев кардинально изменились. Структура поверхности науглероженных слоев представляет мартенситно-аустенитную матрицу с карбидными включениями (рис. 2, *а, б*). При увеличении длительности цементации с 8-ми до 12-ти часов не выявлено различий в морфологии карбидной фазы. Карбиды представлены в виде отдельных сферических и продолговатых включений с максимальными размерами не более 20 мкм. Такое равномерное распределение и морфология карбидов, которые не образуют сплошную карбидную сетку, может способствовать повышению стойкости сплава к изнашиванию в условиях воздействия пульсирующих контактных напряжений. При увеличении длительности цементации немного возросла объемная доля карбидной фазы в металлической матрице – с 18 до 26 %. Толщина заэвтектоидной зоны составила около 0,15–0,20 мм от поверхности.



а) б)
Рис. 2. Морфология карбидной фазы в поверхностном термодиффузионно-упрочненном слое стали 16CrMnS5 после проведения цементации в течение 8-ми (а) и 12-ти (б) часов

Микроструктура нитроцементованных (рис. 3) слоев стали 16CrMnS5 значительно отличается от цементованных (рис. 2). Структура нитроцементованного слоя, сформированного после 6-часовой ХТО, состоит из мартенсита и остаточного аустенита (рис. 3, а). После увеличения длительности ХТО до 8-ми часов (рис. 3, б) в поверхностном слое обнаружены мелкодисперсные включения предположительно карбонитридного типа. Их размер не превышает 5 мкм. Важным отличием нитроцементованного слоя от цементованного является образование дефектной структуры с большей толщиной (до 0,1 мм), появление которой характерно после термической обработки нитроцементованных слоев [3].

Изучение графиков распределения микротвердости по сечению науглероженных слоев оказалось, что их зависимости имеют достаточно близкое распределение (рис. 4, а). Микротвердость поверхности составила 7000–7500 МПа. Далее следует плавное снижение к сердцевине твердостью 3500–4000 МПа. Небольшим отличием является повышенное значение твердости слоя, сформированного в течение 12-часовой цементации, на глубине 1,2–1,5 мм от поверхности. Общая толщина диффузионного слоев достигла 1,9–2,1 мм.



а) б)
Рис. 3. Морфология поверхности термодиффузионно-упрочненного слоя стали 16CrMnS5 после проведения нитроцементации в течение 6-ти (а) и 8-ми (б) часов

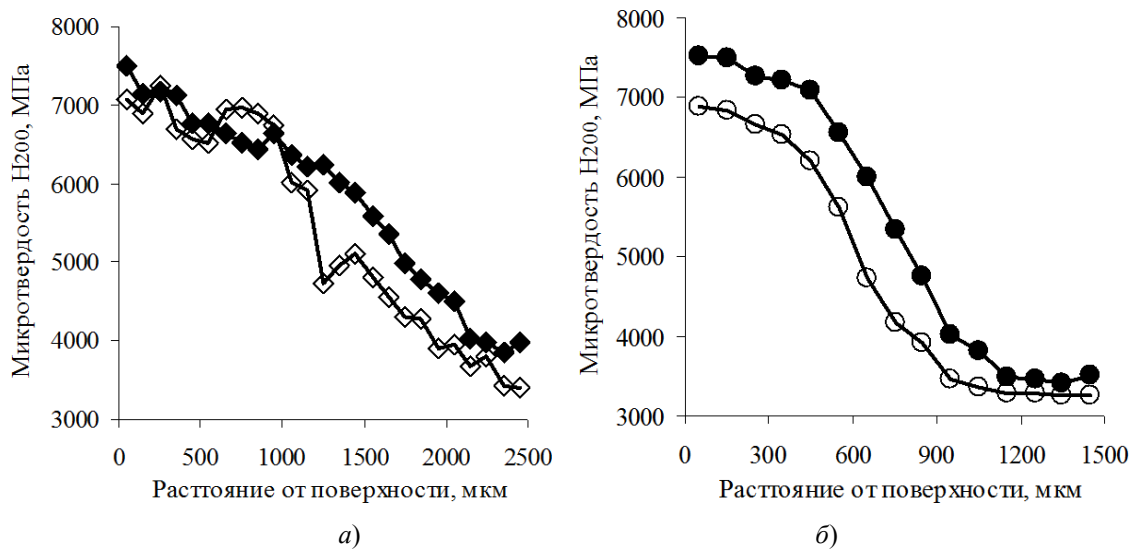


Рис. 4. Распределения микротвердости науглероженных (а) и нитроцементованных (б) слоев стали 16CrMnS5:
 ◇ – 8-часовая цементация; ◆ – 12-часовая цементация;
 ○ – 6-часовая нитроцементация; ● – 8-часовая нитроцементация

Проведение нитроцементации позволило сформировать сходные зависимости распределения микротвердости по сечению слоев (рис. 4, б). У слоя, сформированного при 8-часовой ХТО, микротвердость на 300–500 МПа выше по сравнению со слоем после 6-часовой. Как и у науглероженных слоев, твердость поверхности составила 7000–7500 МПа, а сердцевины – около 3500 МПа. Главным отличием нитроцементованных слоев от цементованных оказалось, что общая толщина составила 1,0–1,1 мм.

Проведенные исследования термообработанных диффузионных слоев стали 16CrMnS5 позволили установить следующее:

- Проведение цементации в обоих случаях формирует мартенситно-аустенитную матрицу, в которой расположены разрозненные карбиды сферической и продолговатой формы длиной не более 20 мкм. 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.

- Установлено, что на поверхности нитроцементованных слоев после проведения закалки и низкого отпуска сформировалась дефектная зона толщиной около 0,1 мм.

- Определено, что распределение микротвердости по сечению слоев имеют сходные зависимости. 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.

- Исследованные особенности микроструктуры, микротвердости и морфологии частиц термодиффузионно-упрочненных слоев, а также дефект поверхности нитроцементованных слоев, может сказаться на их контактной усталости.

Литература

1. Влияние содержания остаточного аустенита и размера зерна на сопротивление усталости при изгибе стали, подвергнутой цементации в атмосферах низкого давления / П. Куля [и др.] // Материаловедение и термическая обработка металлов. – 2014. – № 8. – С. 40–43.

2. Термодинамические и экспериментальные исследования низколегированных сталей после нитроцементации в атмосферах низкого давления / Т. Моррэй [и др.] // Металловедение и термическая обработка металлов. – 2014. – № 8. – С. 34–39.
3. Лахтин, Ю. М. Химико-термическая обработка металлов / Ю. М. Лахтин, Б. Н. Арзамасов. – М. : Металлургия, 1985. – 256 с.

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ СКОРОСТНЫХ ПАРАМЕТРОВ ТОНКОГО ВОЛОЧЕНИЯ НА СТРУКТУРНЫЕ ИЗМЕНЕНИЯ В ПРОВОЛОКЕ

Ю. В. Мартьянов, И. А. Цырганович

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

Научный руководитель Ю. Л. Бобарикин

В современном производстве тонкой проволоки важно правильно определять скоростные режимы волочения для повышения производительности процесса. Однако увеличение скорости приводит к структурным изменениям в проволоке, что может изменить эксплуатационные характеристики готового изделия [1]. В данной работе произведены исследования влияния скоростных параметров тонкого волочения на структурные изменения в проволоке при различных скоростях волочения (1–10 м/с).

Для анализа микроструктуры тонкой проволоки используется метод выявления и определения величины зерна, установленным в ГОСТ 5639–82 [2]. Для выявления границ зерен был выбран метод травления сетки перлита. Выбор метода связан с тем, что сталь 80 является эвтектоидной и состоит преимущественно из перлита.

Цель работы – определить влияния скоростных параметров тонкого волочения на структурные изменения в проволоке.

Используемый метод: экспериментальный анализ микротвердости образцов.

На рис. 1 представлен образец № 1 (скорость волочения 1 м/с). Используя метод сравнения с эталонной шкалой, был определен балл зерна.

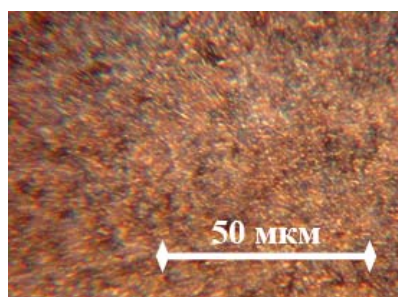


Рис. 1. Микроструктура образца № 1

На рис. 1 балл зерна равен 11. Структура мелкозернистая и однородная по всей поверхности микрошлифа. Грубые риски отсутствуют, нарушения структуры в процессе травления отсутствуют. Имеются незначительно малые неметаллические включения, которые распределены равномерно по всему сечению проволоки.