

на перспективность данной работы с точки зрения практического внедрения, а рост внимания к 3D-моделированию и 3D-печати медицинских изделий способны кардинально решить актуальную проблему импортозамещения в области медицины.

Л и т е р а т у р а

1. Епифанов, С. А. Протезирование височно-нижнечелюстного сустава / С. А. Епифанов, А. П. Поляков, В. Д. Скуредин // Вестн. Нац. мед.-хирург. центра им. Н. И. Пирогова. – 2014. – № 4. – С. 17–22.
2. Особенности трехмерного моделирования анатомических структур человека для повышения эффективности оперативного лечения в ортопедии и нейрохирургии / Е. В. Ковалев [и др.] // Исследования и разработки в области машиностроения, энергетики и управления : материалы XXI Междунар. науч.-техн. конф. студентов, аспирантов и молодых ученых, Гомель, 22–23 апр. 2021 г. : в 2 ч. – Гомель : ГГТУ им. П. О. Сухого, 2021. – Ч. 1. – С. 125–127.
3. Применение трехмерных технологий для индивидуального эндопротезирования височно-нижнечелюстного сустава / Ж. В. Кадолич [и др.] // Полимер. материалы и технологии. – 2023. – Т. 9, № 2. – С. 68–77.
4. Опыт разработки материалов и изделий медицинского и технического назначения с использованием аддитивных технологий / В. В. Дубровский [и др.] // Полимер. материалы и технологии. – 2020. – Т. 6, № 2. – С. 78–85.
5. Алексеев, С. А. Основы колопроктологии: учеб. пособие / С. А. Алексеев, В. А. Гинюк. – Минск : Выш. шк., 2019. – 160 с.
6. Поздняков, Е.П. Материалы аддитивного синтеза : пособие / Е. П. Поздняков. – Гомель : ГГТУ им. П. О. Сухого, 2021. – 283 с.

МИКРОСТРУКТУРА И СВОЙСТВА ЦЕМЕНТОВАННЫХ СЛОЕВ СТАЛЕЙ 18ХГТ И 16CrMnS5

А. Д. Лёвкина, 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

Открытое акционерное общество «Белорусский металлургический завод – управляющая компания холдинга «Белорусская металлургическая компания», г. Жлобин

А. Б. Найзабеков, С. Н. Лежнев

Рудненский индустриальный институт, Казахстан

Научный руководитель И. Н. Степанкин

Приведены результаты исследований влияния длительности цементации с последующей термической обработкой на структурообразование и микротвердость поверхностных слоев, сформированных на стали 18ХГТ и ее зарубежного аналога 16CrMnS5. Установлено, что слои стали 18ХГТ имеют более развитую карбидную фазу по отношению к аналогичным слоям стали 16CrMnS5.

Ключевые слова: цементация, конструкционная сталь, карбиды, морфология, микроструктура, микротвердость.

Для повышения срока службы различных деталей, работающих в условиях усталостного изнашивания, используют методы термодиффузионного упрочнения

поверхностного слоя. Самым распространенным в промышленности является процесс имплантации углерода – цементация. Помимо высокой твердости поверхности необходимо учитывать и способность материала сердцевины противостоять продвижению трещин контактной усталости [1]. Для таких деталей широко распространена конструкционная низколегированная сталь 18ХГТ. В настоящее время на ОАО «БМЗ – управляющая компания холдинга «БМК» (г. Жлобин) отлажена технология плавки новой марки стали 16CrMnS5 в соответствии с DIN EN 10084, экспортируемой в страны Европейского Союза. Однако на территории Республики Беларусь и стран ближнего зарубежья она не получила широкого распространения, что связано с недостаточной информативностью о ее свойствах.

Целью работы является установление длительности цементации на структурообразование поверхностного слоя конструкционной стали 18ХГТ и ее аналога 16CrMnS5.

Объектом исследований являлись науглероженные слои, сформированные на сталях 18ХГТ и 16CrMnS5. Диффузионное насыщение сплавов осуществлялось путем проведения цементации в твердом карбюризаторе при температуре 920 °С в течение 8-ми и 12-ти часов. После ХТО проводилась закалка в масле с температуры 860 °С и отпуск при 200 °С в течение 1 часа. Исследование микроструктуры осуществлялось на оптическом микроскопе Метам РВ-22. Травление микрошлифов проводилось в 2,5%-ном спиртовом растворе азотной кислоты. Распределение микротвердости по сечению диффузионных слоев определялось на микротвердомере ПМТ-3 при нагрузке 1,962Н. Определение объемной доли карбидной фазы, в диффузионном слое толщиной 0,1 мм от поверхности, определялось методом случайных секущих. Химический состав сталей приведен в таблице.

Химический состав исследуемых сталей

Марка стали	Массовая доля элементов, %						
	C	Si	Mn	Cr	Ti	P	S
16CrMnS5	0,20	0,25	1,20	1,22	0,003	0,014	0,031
18ХГТ	0,22	0,21	1,15	1,29	0,070	0,015	0,028

Микроструктура цементованных слоев сталей 18ХГТ и 16CrMnS5 после термической обработки представляет мартенситную основу с включениями остаточного аустенита и карбидов (рис. 1).

В диффузионном слое стали 18ХГТ при увеличении длительности цементации с 8 до 12 часов обнаружена коагуляция карбидной фазы. Заэвтектоидный слой структурно разделен на две зоны. В первой зоне карбиды представлены в виде отдельных сферических и вытянутых включений, максимальная длина которых не превышает 20 мкм. При увеличении времени диффузионного насыщения углеродом данная зона увеличивается с 90–100 мкм (рис. 1, а) до 120–140 мкм (рис. 1, б). Объемная доля карбидной фазы при изменении времени насыщения увеличилась с 35 до 50 об. %. Во второй зоне карбидная фаза представляет собой цементитную сетку.

Науглероженные слои, сформированные в стали 16CrMnS5, значительно различаются морфологически от слоев стали 18ХГТ. Объемная доля карбидной фазы составила 18 об. % после 8-часового насыщения и повысилась до 26 об. % при увеличении длительности ХТО до 12 часов (рис. 1, в, г). Обнаружено, что в стали 16CrMnS5 формируются более крупные включения неправильной вытянутой и остроугольной

формы, размеры которых достигают 40 мкм. Глубина их распространения составила около 80–100 мкм после 8-часовой цементации и достигла 100–110 мкм после 12-часовой цементации. Под ними формируется зона заэвтектоидного строения, которая характеризуется практически полным отсутствием скелетообразной сетки карбидов вокруг зерен δ -фазы. Общая толщина слоев с заэвтектоидным строением для обеих сталей составила 300–400 мкм.

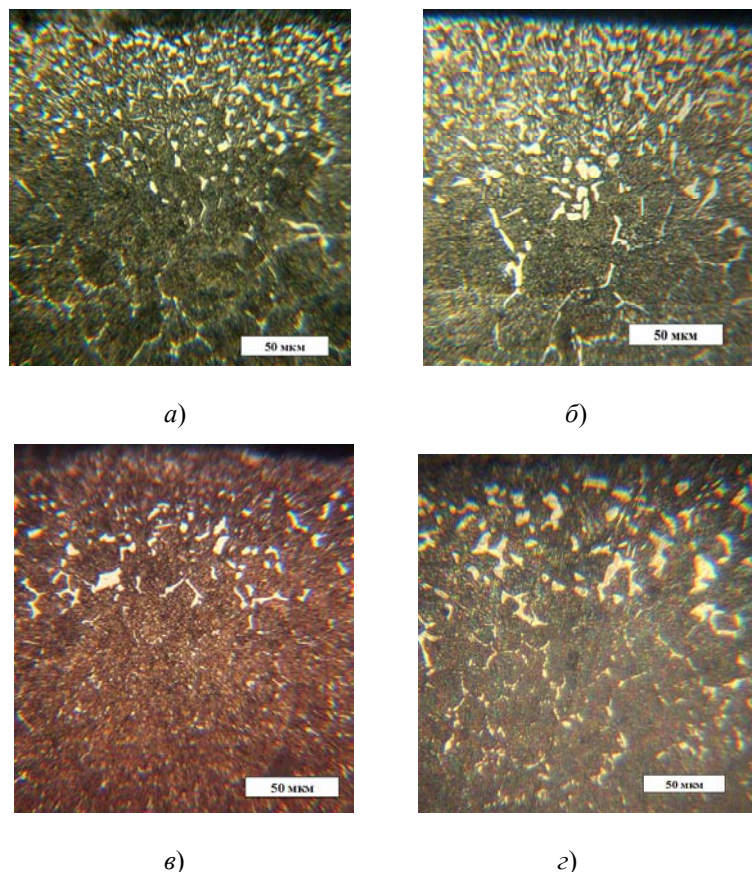


Рис. 1. Морфология карбидной фазы в заэвтектоидных слоях сталей 18ХГТ (а, б) и 16CrMnS5 (в, з) после проведения цементации в течение 8 (а, в) и 12 (б, з) часов

Изучение графиков распределения микротвердости по сечению науглероженных слоев стали 18ХГТ показало, что их зависимости имеют достаточно близкое распределение (рис. 2, а). Микротвердость поверхности при увеличении длительности цементации повысилась с 8000 до 8400 МПа. Микротвердость сердцевины составила 4500–4600 МПа в обоих случаях диффузионного насыщения. Общая толщина слоя повысилась с 1,8 до 2,0 мм при увеличении времени ХТО.

При определении микротвердости цементованных слоев, сформированных на стали 16CrMnS5, оказалось, что микротвердость значительно ниже и имеет большее отклонение, чем у аналогичных слоев стали 18ХГТ. Микротвердость поверхности составила 7100 МПа и 7500 МПа при увеличении времени цементации. Микротвердость сердцевины – 3800–4200 МПа. Общая толщина цементованных слоев оказалась на уровне около 1,9–2,0 мм.

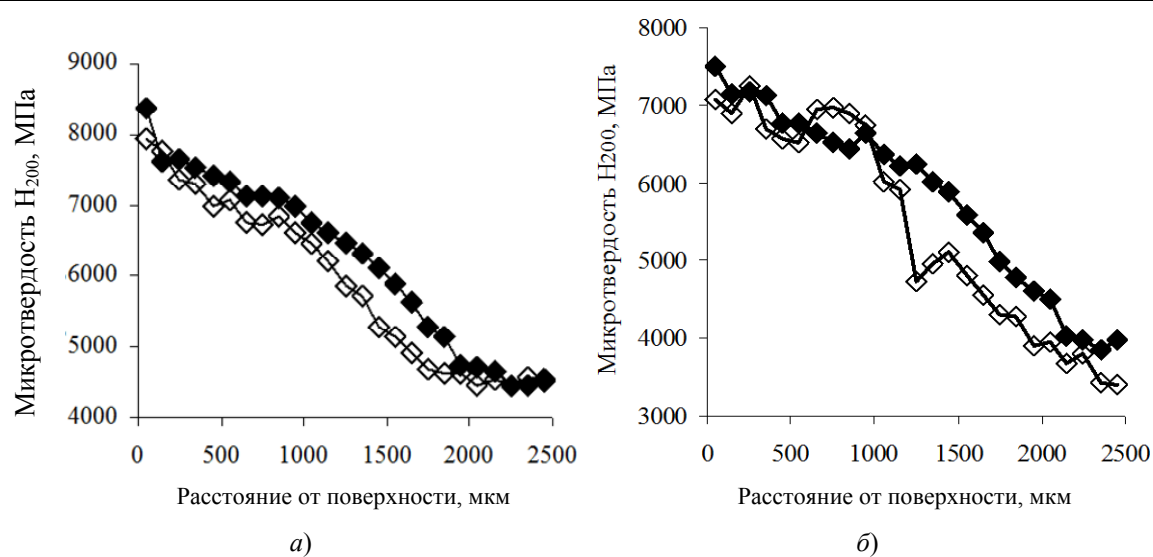


Рис. 2. Распределение микротвердости науглероженных слоев стали 18ХГТ (а) и 16CrMnS5 (б):
 $\diamond$ – 8-часовая цементация; $\blacklozenge$ – 12-часовая цементация

В результате изучения структуры и свойств цементованных слоев, сформированных на сталях 18ХГТ и 16CrMnS5, можно сделать следующие выводы:

1. Проведение цементации с последующей термической обработкой формирует мартенситно-аустенитную матрицу с различным содержанием объемной доли и морфологией карбидной фазы. В слоях стали 18ХГТ карбиды имеют сферическую и продолговатую форму, а в стали 16CrMnS5 – неправильную остроугольную. Их максимальные размеры не превышают 20 μm в стали 18ХГТ, а в стали 16CrMnS5 достигают 40 μm . Объемная доля карбидов в металлической матрице при увеличении длительности ХТО повысилась с 35 до 50 % в слоях стали 18ХГТ и с 18 до 26 % в слоях стали 16CrMnS5.

2. Микротвердость слоев стали 18ХГТ значительно превышает аналогичные слои стали 16CrMnS5. Данный показатель на поверхности слоев стали 18ХГТ составил 8000–8400 МПа, а у стали 16CrMnS5 – 7100–7500 МПа. Общая толщина слоев составила порядка 1,8–2,0 мм для всех исследованных случаев. Большие значения микротвердости и толщины слоев соответствуют 12-часовому диффузионному насыщению.

3. Установленные различия в количестве и морфологии карбидной фазы, а также в различии микротвердости слоев могут значительно повлиять на способность сплавов противостоять усталостному изнашиванию.

Литература

1. Материаловедение : учеб. пособие для вузов / И. М. Жарский [и др.]. – Минск : Выш. шк., 2015. – 557 с.