

УДК 620.178

ИЗНОСОСТОЙКОСТЬ ТЕРМОДИФФУЗИОННО-УПРОЧНЕННЫХ СЛОЕВ СТАЛЕЙ 18ХГТ И 16СrMnS5

Е. П. Поздняков¹, И. Н. Степанкин², А. Д. Левкина¹, Д. В. Куис³,
С. Н. Лежнев⁴

¹ Учреждение образования «Гомельский государственный технический университет им. П.О.Сухого», г. Гомель, Республика Беларусь;

² ООО «ЭлитПартнер», г. Минск, Республика Беларусь;

³ Учреждение образования «Белорусский государственный технологический университет», г. Минск, Республика Беларусь;

⁴ Некоммерческое акционерное общество «Рудненский индустриальный институт», г. Рудный, Республика Казахстан

При решении производственных задач инженер-конструктор руководствуется справочной литературой, в которой сведены свойства материалов и способы их повышения. Износ деталей, таких как зубчатые колеса, шестерни, вал-шестерни, пальцы и др., происходит в процессе их эксплуатации под действием циклических напряжений. Определяющим свойством, влияющим на долговечность данного рода изделий, является твердость сплава [1], а также определенное соотношение структурно-фазовых составляющих [2, 3]. Максимальную твердость материала можно получить посредством проведения диффузионного упрочнения поверхности деталей. Наиболее распространенными материалами для изготовления данного рода деталей являются цементуемые стали 20Х, 18ХГТ, 12ХНЗА, 20ХНЗА, 20ХГР и др. В настоящее время на ОАО «БМЗ – управляющая компания холдинга БМК» отлажена технология плавки новой марки стали 16СrMnS5 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 вследствие недостаточной информативности о ее свойствах.

Целью работы являлось сравнение влияния длительности цементации и нитроцементации на микроструктуру и свойства конструкционных низкоуглеродистых сталей 18ХГТ и 16rMnS5, химический состав которых приведен в таблице 1. Объектом исследований являлись цементованные и нитроцементованные слои. Упрочнение поверхностного слоя сталей осуществлялось путем проведения цементации или нитроцементации. Цементация проводилась в древесноугольном карбюризаторе с добавкой карбоната бария при температуре 920°С с длительностью активного насыщения 8 и 12 часов. Нитроцементация проводилась в древесноугольном карбюризаторе с добавкой карбамида при температуре 860°С с длительностью активного

насыщения 6 и 8 часов. Окончательные свойства формировались закалкой в масле с температуры 860 °С и последующим низким отпуском при температуре 200 °С в течение 1 часа. Исследование микроструктуры осуществлялось на оптическом микроскопе Метам РВ-22 по стандартной методике. Величину микротвердости диффузионных слоев определяли на микротвердомере ПМТ-3 при нагрузке 1,962Н. Определение объемной доли включений определяли методом случайных секущих в слое толщиной 0,2 мм от поверхности образцов. Интенсивность накопления усталостных повреждений в поверхностном слое образцов при многократном контактном воздействии на материал исследовали на установке для испытаний на контактную усталость и износ [4] при напряжениях 1100±55 МПа.

Таблица 1 - Химический состав сталей

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

Металлическая матрица всех исследованных слоев после полного цикла упрочнения состоит из мартенсита и остаточного аустенита (рис. 1). В структуре цементованных слоев обеих сталей сформировалась избыточная фаза в виде карбидов (рис. 1 а-г). Анализ микроструктуры показал, что науглероженные слои стали 18ХГТ имеют более развитое строение карбидной фазы, чем аналогичные слои стали 16CrMnS5. Содержание объемной доли включений у слоев стали 16CrMnS5 в 2 раза меньше, чем у слоев стали 18ХГТ (таблица 2). При этом максимальный размер карбидов увеличен в 1,7...2 раза, а значения эффективной толщины слоя, отмеченные на уровне 5,5 ГПа (550HV), близки. Следует отметить, что микротвердость поверхности слоев стали 18ХГТ на 0,9ГПа выше, чем у стали 16CrMnS5, а сердцевины – на 0,3...0,7 ГПа.

При исследовании нитроцементованных слоев установлено, что в поверхностных слоях обеих сталей так же присутствуют включения, которые по своим размерам не превышают 10 мкм (рис. 1 д-и). Как и в случае с цементацией, в нитроцементованных слоях стали 18ХГТ формируется более развитая фаза избыточных включений, которые по размерам значительно меньше (таблице 2). Их меньшее содержание отразилось на снижении твердости поверхности. После проведения нитроцементации формируется эффективная толщина диффузионно-упрочненного слоя, которая в 2 раза меньше у слоев стали 18ХГТ и в 2,3 раза у слоев стали 16CrMnS5.

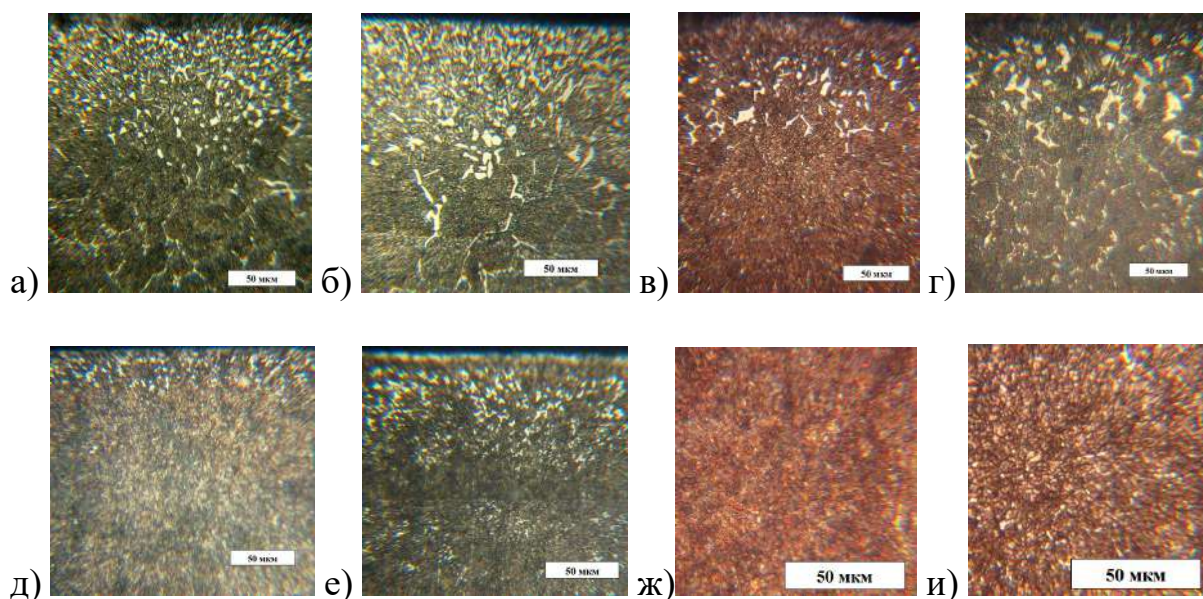


Рис. 1 – Микроструктура поверхностных слоев стали 18ХГТ (а, б, д, е) и 16CrMnS5 (в, г, ж, и): а, в – 8-часовая цементация; б, г – 12-часовая цементация; д, ж – 6-часовая нитроцементация; е, и – 12-часовая нитроцементация

Таблица 2 - Показатели термодиффузионно-упрочненных слоев сталей

Марка стали	Вид диффузионного насыщения	Длительность активного насыщения	Показатель			
			Микротвердость поверхности / сердцевины, ГПа	Эффективная толщина слоя, мм	Объемная доля включений, об.%	Максимальный размер включений, мкм
18ХГТ	Цементация	8	8,0 / 4,5	1,4	35	20
		12	8,4 / 4,5	1,6	50	30
	Нитроцементация	6	7,3 / 4,5	0,75	10	10
		8	7,3 / 4,5	0,75	17	10
16CrMnS5	Цементация	8	7,1 / 3,8	1,3	18	40
		12	7,5 / 4,2	1,5	26	50
	Нитроцементация	6	6,9 / 3,3	0,55	1	3
		8	7,5 / 3,5	0,65	3	5

После проведения испытаний на контактную усталость установлено, что износ слоев стали 18ХГТ и 16CrMnS5 происходит по различным зависимостям (рис. 2).

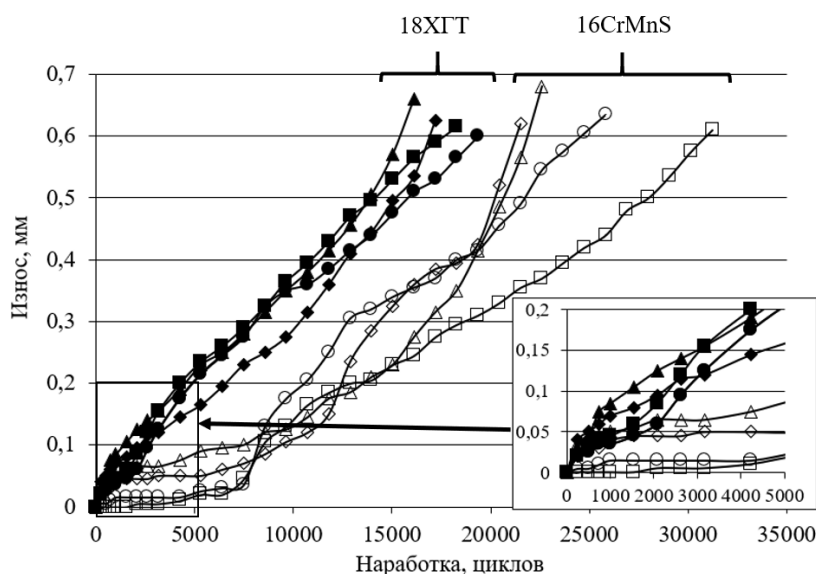


Рис. 2 – Зависимости износа от числа циклов нагружения термодиффузионно-упрочненных слоёв стали 18ХГТ (темные маркеры) и 16CrMnS5 (светлые маркеры) при амплитуде напряжений 1100 МПа: ●, ○ – 8-часовая цементация; ■, □ – 12-часовая цементация; ◆, ◇ – 6-часовая нитроцементация; ▲, Δ – 12-часовая нитроцементация

Изнашивание всех слоёв стали 18ХГТ характеризуются линейной зависимостью. При первых воздействиях контртела (около 1000 циклов) на поверхность упрочненных образцов в упрочненном сплаве образуются трещины контактной усталости, которые по мере их накопления и роста приводят к формированию крупных питтингов (рис. 3 а). Их формирование способствует уменьшению контактной площади образцов, увеличению действующих напряжений и интенсивному изнашиванию сплава. Максимальная стойкость (19300 циклов) при достижении глубины лунки износа 0,6 мм. отмечена у цементованного слоя, подвергнутого 8-часовому насыщению.

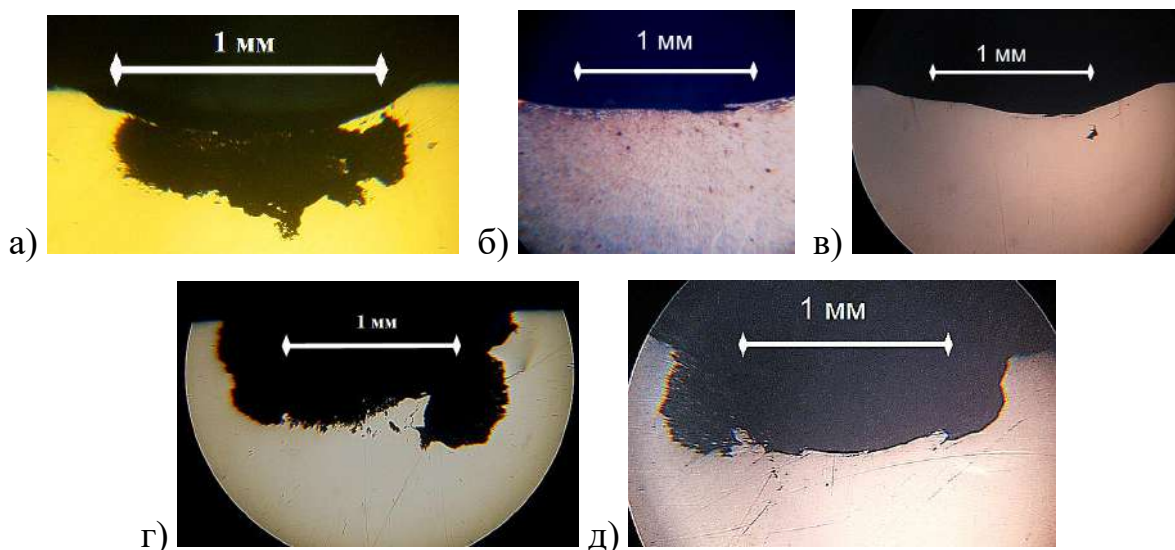


Рис. 3 – Особенности разрушения сталей: а, г – 18ХГТ; б, в, д – 16CrMnS5

У всех слоев стали 16CrMnS5 на кривых износа имеется этап, характеризующийся минимальным (установившимся) износом. Для цементованных слоев этот этап длится 7500 циклов нагружения при достижении глубины лунки износа 0,05 мм. Изнашивание происходит за счет удаления мелких элементов деформированного сплава с контактной поверхности образцов (рис. 3 б). У нитроцементованных образцов стали 16CrMnS5 в начале отмечена высокая скорость изнашивания – этап приработки. Это явление свидетельствует о том, что на поверхности образцов может сформироваться дефектная структура с низкой твердостью [5]. После этого наступает этап минимального износа, длительность которого составила 7500 циклов нагружения при достижении глубины износа 0,10 мм. для образцов после 6-часовой нитроцементации и 0,07 мм после 8-часовой. По мере увеличения числа циклов нагружения в подповерхностных слоях сталей формируются питтинги (рис. 3 в). На данном этапе в материале накапливаются трещины контактной усталости и скорость изнашивания возрастает. Малая толщина эффективного слоя и низкая твердость сердцевины нитроцементованных слоев стали 16CrMnS5 (таблица 2) формируют условия, приводящие к возникновению катастрофического этапа изнашивания.

При достижении глубины лунки износа 0,6 мм в упрочненном материале всех исследованных слоев обнаружено большое количество повреждений материала (рис. 3 г, д). Максимальную износостойкость показал слой стали 16CrMnS5 после 12-часовой цементации при наработке 31200 циклов нагружения.

Полученные результаты исследований позволяет сделать следующие выводы:

- Проведение диффузионного упрочнения формирует в слоях сталей 18ХГТ и 16CrMnS5 мартенситно-аустенитную матрицу с включениями. В слоях стали 18ХГТ формируются более мелкие включения с большим содержанием объемной доли, чем в аналогичных слоях стали 16CrMnS5.

- Микротвердость поверхности и сердцевины у стали 18ХГТ выше, чем у стали 16CrMnS5. У нитроцементованных слоев обеих сталей наблюдается снижение микротвердости поверхности по отношению к цементованным слоям.

- Не смотря на меньшую твердость поверхностного слоя и сердцевины и содержание более крупных включений диффузионные слои стали 16CrMnS5 показали повышенную износостойкость по отношению к аналогичным слоям стали 18ХГТ.

- Зависимости изнашивания слоев стали 16CrMnS5 имеют этап установившегося износа, длительность которого составила порядка 7500 циклов нагружения при амплитуде контактных напряжений 1100 МПа. Максимальная износостойкость при достижении глубины лунки износа 0,6

мм. зарегистрирована у цементованного слоя 16CrMnS5 после 12-часового насыщения. Его наработка достигла 31200 циклов нагружения. Повышение стойкости по отношению к слою стали 18ХГТ после 8-часовой цементации, показавшего максимальную износостойкость, произошло в 1,6 раза.

- Полученные результаты исследований термодиффузионно-упрочненных слоев сталей 18ХГТ и 16CrMnS5 носят рекомендательный характер для предприятий машиностроительной отрасли.

ЛИТЕРАТУРА

1. Геллер Ю. А. Инструментальные стали: справочник / Ю.А. Геллер. – М. : Металлургия, 1984. – 584 с.
2. Поздняков Е. П. Влияние длительности цементации на структуру и свойства конструкционных среднеуглеродистых сталей 40Х, 35ХГСА и 42CrMoS4 / Е.П. Поздняков, И.Н. Степанкин // Литье и металлургия. – 2024. - №1, - С. 69-77
3. Степанкин И. Н. Контактное изнашивание инструментальных сталей Х12М, 9ХС и У8А / И.Н. Степанкин, Е.П. Поздняков // Вестник ГГТУ им. П.О. Сухого. – 2015. – № 3. – С. 19-24.
4. Устройство для испытания на контактную усталость и износ: полез. модель ВУ 8260 / И.Н. Степанкин, И.А. Панкратов, В.М. Кенько, Е.П. Поздняков, Степанкина Л.В. – Оpubл. 30.06.2012
5. Лахтин Ю. М. Химико-термическая обработка металлов / Ю.М. Лахтин, Б.Н. Арзамасов. – М.: Металлургия, 1985. – 256 с.