

УДК 620.178

ИЗНОСОСТОЙКОСТЬ ЦЕМЕНТОВАННЫХ СЛОЕВ СТАЛЕЙ 18ХГТ, 20ХН3А 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 НАО «Рудненский индустриальный институт», г. Рудный, Казахстан

Определяющим свойством машиностроительных изделий, влияющим на их долговечность, является не только твердость сплава, но и параметры структурных составляющих [1, 2]. Управление структурными параметрами сталей можно осуществлять в процессе цементации. Наиболее распространенными среди являются традиционно цементуемые стали 15Х, 18ХГТ, 12ХН3А, 20ХН3А, 20ХГР и др. В нашей стране изготавливается сталь 16CrMnS5 в соответствии с Европейским стандартом, 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 на контактную усталость конструкционных низкоуглеродистых сталей 18ХГТ, 20ХН3А и 16CrMnS5, химический состав которых приведен в табл. 1. Упрочнение поверхностного слоя сталей осуществлялось путем проведения цементации при температуре 920°C с длительностью активного насыщения 8 и 12 часов с последующей закалкой в масле с температуры 860 °С и 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. Зависимости изнашивания определяли на оригинальной установке для испытаний на контактную усталость и износ [3] при напряжениях 1100±55 МПа.

Табл. 1. Химический состав исследуемых сталей

Марка стали	Массовая доля элементов, %							
	C	Si	Mn	Cr	Ni	Ti	P	S
18ХГТ	0,22	0,21	1,15	1,29	0,12	0,070	0,015	0,028
20ХН3А	0,18	0,20	0,48	0,69	2,85	0,002	0,012	0,012
16CrMnS5	0,20	0,25	1,20	1,22	0,11	0,003	0,014	0,031

Металлическая матрица термодиффузионно-упрочненных слоев состоит из мартенсита и остаточного аустенита с включениями карбидов (рис. 1). Карбидная фаза в науглероженных слоях стали 18ХГТ имеют более развитое строение. Содержание объемной доли включений у слоев стали 20ХН3А значительно меньше, чем у аналогичных слоев сталей 18ХГТ и 16CrMnS5 (табл. 2). Немаловажным является размер карбидов, которые являются мелкодисперсными. Такая особенность карбидов в науглероженных слоях конструкционных сталей способствует повышению стойкости к усталостному износу в условиях воздействия пульсирующих напряжений [2]. При этом стоит отметить высокую микротвердость диффузионно-упрочненных слоев – микротвердость поверхности и сердцевины при увеличении длительности цементации с 8 до 12 часов оказалась на уровне 8,0 ГПа и 4,3 ГПа соответственно, а эффективная толщины слоя оказалась равной с остальными сталями.

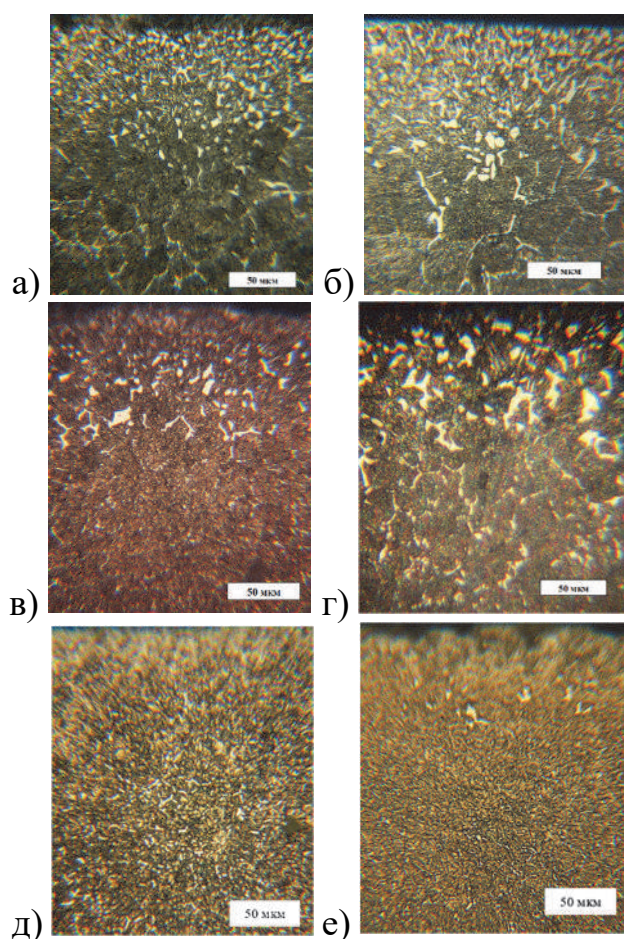


Рис. 1 – Микроструктура поверхностных слоев стали 18ХГТ (а, б), 16CrMnS5 (в, г) и 20ХН3А (д, е):

а, в, д – 8-часовая цементация; б, г, е – 12-часовая цементация;

Табл. 2. Показатели цементованных слоев исследуемых сталей

Марка стали	Длительность активного насыщения	Показатель			
		Микротвердость поверхности / сердцевины, ГПа	Эффективная толщина слоя, мм	Объемная доля включений, об. %	Максимальный размер включений, мкм
18ХГТ	8	8,0 / 4,5	1,4	35	20
	12	8,4 / 4,5	1,6	50	30
20ХН3А	8	8,0 / 4,3	1,3	5	3
	12	8,0 / 4,3	1,5	5	10
16CrMnS5	8	7,1 / 3,8	1,3	18	40
	12	7,5 / 4,2	1,5	26	50

Экспериментальные испытания образцов на контактную усталость при величине контактных напряжений 1100 МПа показали, что интенсивность износа слоев стали 16CrMnS5 значительно меньше интенсивности износа слоев сталей 18ХГТ и 20ХН3А (рис. 2).

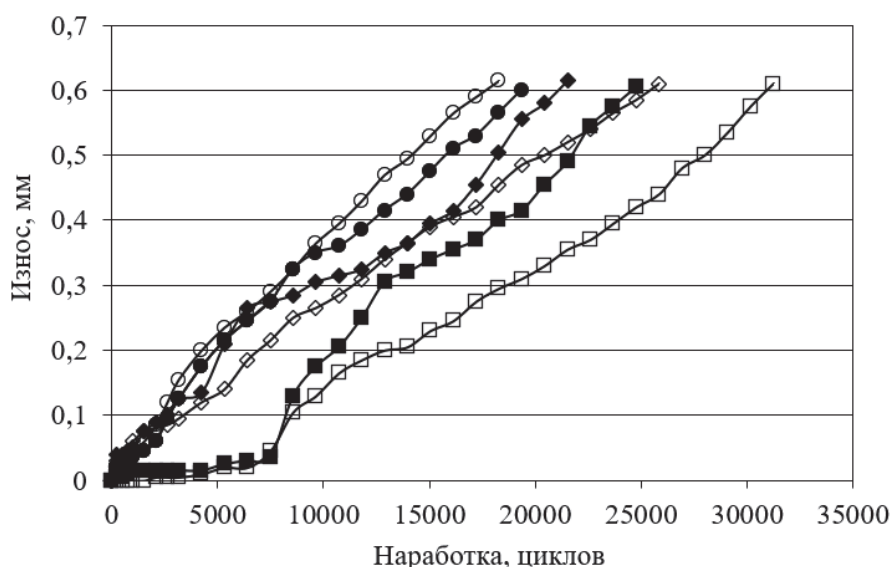


Рис. 2 – Зависимости износа от числа циклов нагружения цементованных слоёв стали 18ХГТ (●, ○), 16CrMnS5 (■, □) и 20ХН3А (◆, ◇) при амплитуде напряжений 1100 МПа:

(●, ■, ◆) – 8-часовая цементация; (○, □, ◇) – 12-часовая цементация

У слоев стали 16CrMnS5 на кривых износа имеется этап, характеризующийся минимальным износом, который длится порядка 7500 циклов нагружения до достижения глубины лунки износа 0,05 мм. Изнашивание происходит за счет удаления мелких элементов деформированного сплава с контактной поверхности образцов (рис. 3 а). По мере увеличения числа циклов нагружения в подповерхностных слоях происходит накопление трещин контактной усталости, их объединение и формирование питтингов (рис. 3 б). Их образование приводит к

уменьшению контактной поверхности и, соответственно, увеличению действующих напряжений. Этот процесс провоцирует увеличение интенсивности износа. Наибольшая стойкость, зарегистрированная при достижении глубины лунки износа 0,6 мм, отмечена у образцов после 12-часовой цементации. Нарботка составила более 31 тысячи циклов нагружения.

Для слоев сталей 18ХГТ и 20ХН3А этап высокой износостойкости отсутствует, а зависимости износа имеют линейную характеристику. При первых воздействиях контртела на поверхность упрочненных образцов в диффузионном слое активно образуются трещины контактной усталости, которые по мере их накопления и роста приводят к формированию крупных питтингов (рис. 3 в). Их износостойкость оказалась ниже в 1,17...1,41 раза по отношению к слою стали 16CrMnS5 после 12-часового диффузионного упрочнения.

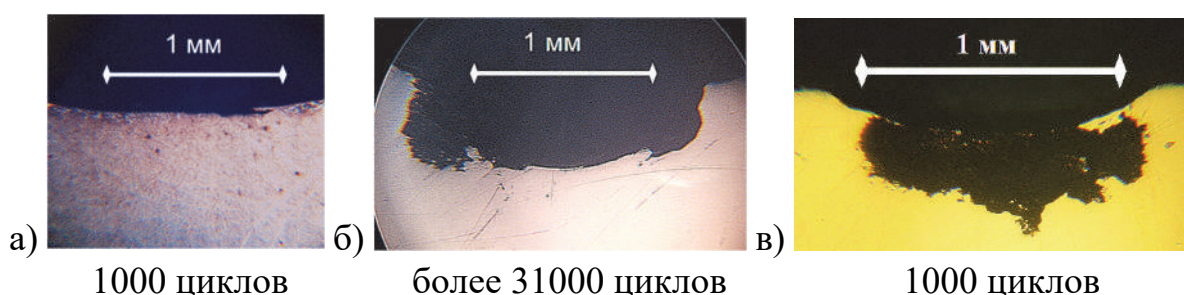


Рис. 3– Особенности разрушения термоупрочненных цементованных слоев сталей: а, б – 16CrMnS5; в – 18ХГТ, 20ХН3А

Анализ полученных результатов исследований термоупрочненных цементованных слоев сталей 18ХГТ, 20ХН3А и 16CrMnS5, сформированных в течение 8 и 12 часов, позволяет сделать следующие выводы:

- наиболее оптимальная структура, состоящая из мартенсита, остаточного аустенита с наличием наиболее мелких карбидов (до 10 мкм) и их минимальным содержанием (до 5 %) сформированы в слоях стали 20ХН3А. При этом микротвердость поверхности данных слоев имеет высокое значение – 8,0 ГПа.

- несмотря на меньшую твердость поверхностного слоя (7,1...7,5 ГПа) и сердцевины (3,8...4,2 ГПа), а так же высокое содержание (18...26 %) более крупных включений, размером 40...50 мкм, цементованные слои стали 16CrMnS5 показали повышенную износостойкость по отношению к аналогичным слоям сталей 18ХГТ и 20ХН3А. Эти слои отличаются наличием этапа минимального износа на уровне 7500 циклов нагружения контактными напряжениями 1100 МПа.

- максимальной износостойкостью в условиях малоциклового усталости обладает термоупрочненный науглероженный слой стали

16CrMnS5, сформированный в процессе 12-часового диффузионного насыщения. Его стойкость, при достижении глубины лунки износа 0,6 мм, составила более 31 тыс. циклов нагружения. Его стойкость в 1,17...1,41 раза выше, чем стойкость остальных слоев.

ЛИТЕРАТУРА

1. Степанкин, И.Н. Контактное изнашивание инструментальных сталей X12M, 9XC и У8А / И.Н. Степанкин, Е.П. Поздняков // Вестник ГГТУ им. П.О. Сухого. – 2015. – № 3. – С. 19-24.

2. Поздняков, Е.П. Влияние длительности цементации на структуру и свойства конструкционных среднеуглеродистых сталей 40X, 35XГСА и 42CrMoS4 / Е.П. Поздняков, И.Н. Степанкин // Литье и металлургия. – 2024. - №1, - С. 69-77

3. 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