

По результатам измерений видно, что образцы, у которых ниже концентрация легирующих оксидов, имеют более высокую сорбционную способность по сравнению с образцами, имеющими высокие концентрации. При этом оптимальной концентрацией легирующих элементов является концентрация 0,05 мол. %.

Таким образом, установлено, что композиционные материалы на основе MgO, легированные ZnO и Fe₂O₃, обладают высокой сорбционной способностью к нефтепродуктам и могут быть использованы в качестве не только фильтров, но и для сбора разлившихся нефтепродуктов.

Л и т е р а т у р а

1. Аль-Камали, М. Ф. С. Х. Композиционные материалы на основе оксида магния для сорбции нефтепродуктов, полученные золь-гель методом / М. Ф. С. Х. Аль-Камали, А. А. Бойко, С. М. Э. Эльшербини // Вестник Гомельского государственного технического университета имени П. О. Сухого. – 2023. – № 3. – С. 28–35.
2. Аль-Камали, М. Ф. С. Х. Мишени SiO₂ : CuO (Cu⁰) для нанесения тонких пленок ионно-лучевого распыления, полученные золь-гель методом / М. Ф. С. Х. Аль-Камали, А. А. Бойко, Хамдан А. С. Аль-Шаамири // Доклады Национальной академии наук Беларуси. – 2022. – Т. 66, № 3. – С. 348–355.

УДК 620.178

СРАВНЕНИЕ ИЗНОСОСТОЙКОСТИ НАУГЛЕРОЖЕННЫХ СЛОЕВ КОНСТРУКЦИОННЫХ СТАЛЕЙ 18ХГТ И 16СМН5

Е. П. Поздняков, И. Н. Степанкин, А. Д. Левкина

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

Д. В. Куйс

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

С. Н. Лежнев

Некоммерческое акционерное общество «Рудненский индустриальный институт», Республика Казахстан

Отображены результаты исследований цементованных слоев, сформированных на сталях 18ХГТ и 16CrMnS5 в процессе 8- и 12-часового насыщения с последующей закалкой и отпуском. Испытаниями на контактную усталость установлено, что при напряжениях 1100 МПа износостойкость стали 16CrMnS5 значительно выше, чем у стали 18ХГТ. При снижении напряжений до 950 МПа эта закономерность сохраняется. Установлено, что износостойкость слоев стали 16CrMnS5 увеличивается в 2,3 раза при снижении напряжений с 1100 до 950 МПа.

Ключевые слова: конструкционная сталь, цементация, износостойкость, износ.

COMPARISON OF WEAR RESISTANCE OF CARBONIZED LAYERS OF STRUCTURAL STEELS 18ХГТ AND 16СМН5

E. P. Pozdnyakov, I. N. Stepankin, A. D. Levkina

Sukhoi State Technical University of Gomel, the Republic of Belarus

D. V. Kuis

Educational Institution “Belarusian State Technological University”, Minsk

S. N. Lezhnev

*Non-commercial joint stock company "Rudny Industrial Institute",
the Republic of Kazakhstan*

The paper presents the results of studies of carburized layers formed on 18HGT and 16CrMnS5 steels during 8- and 12-hour saturation with subsequent quenching and tempering. Contact fatigue tests have shown that at stresses of 1100 MPa, the wear resistance of 16CrMnS5 steel is significantly higher than that of 18HGT steel. This pattern remains the same when stresses are reduced to 950 MPa. It has been established that the wear resistance of 16CrMnS5 steel layers increases by 2.3 times when stresses are reduced from 1100 to 950 MPa.

Keywords: structural steel, carburizing, wear resistance, wear.

При конструировании техники, оборудования и штамповой оснастки инженер выбирает материалы для разных деталей по свойствам. Стойкостные характеристики таких деталей, как зубчатые колеса, шестерни, подшипники качения и других деталей зависят, в первую очередь, от твердости [1]. Максимальную твердость поверхностных слоев можно получить посредством проведения цементации. Наиболее распространенными являются низкоуглеродистые стали 20X, 18ХГТ, 20ХН3А и др. В настоящее время известна новая марка стали 16CrMnS5. Однако свойства этой стали мало изучены, поэтому инженеры ее не рассматривают в качестве заменителя.

Целью работы являлось установление влияния длительности цементации на износостойкость конструкционных сталей 18ХГТ и 16CrMnS5.

Методика проведения исследований. Объектом исследований являлись цементованные слои конструкционных сталей 18ХГТ и 16CrMnS5, химический состав которых приведен в табл. 1. Упрочнение поверхностного слоя проводилось цементацией в древесно-угольном карбюризаторе при температуре 920 °С с длительностью активного насыщения 8 и 12 ч с последующей закалкой в масле с температуры 860 °С и низкотемпературным отпуском при температуре 200 °С в течение 1 ч. Металлографические исследования проводили на оптическом микроскопе Метам-РВ22. Объемная доля карбидной фазы определялась в слое толщиной 0,1 мм от поверхности образцов. Перед исследованием проводилось травление по стандартной методике. Измерение микротвердости проводилось на микротвердомере ПМТ-3 при нагрузке на индентор 1,962 Н. Интенсивность накопления усталостных повреждений в поверхностном слое образцов при многократном контактом воздействии на материал исследовали на установке для испытаний на контактную усталость и износ [2] при напряжениях 950 и 1100 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

Результаты исследований и их обсуждение. После проведения полного цикла упрочнения металлическая матрица всех исследованных слоев состоит из мартенсита отпуска и остаточного аустенита, в которой распределена карбидная фаза (рис. 1).

Видно, что в поверхностных слоях стали 18ХГТ формируется более развитая карбидная фаза, чем у стали 16CrMnS5. Параметры включений и микротвердость слоев приведены в табл. 2.

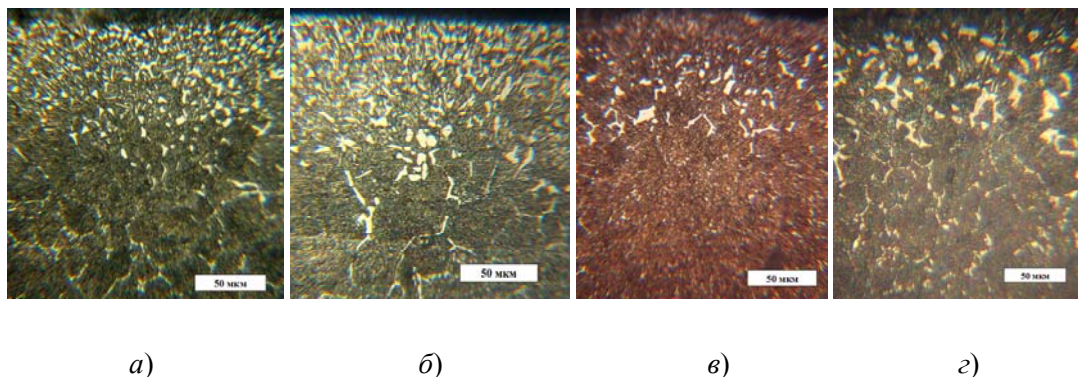


Рис. 1. Морфология карбидной фазы в заэвтектидных слоях сталей 18ХГТ (а, б) и 16CrMnS5 (в, з) после проведения цементации в течение 8 (а, в) и 12 (б, з) ч

Таблица 2

Объемная доля карбидной фазы и максимальный размер включений в науглероженных слоях

Длительность ХТО, ч	Марка стали					
	18ХГТ			16CrMnS5		
	Объемная доля, %	Максимальный размер включений, мкм	Микротвердость поверхности/сердцевины, ГПа	Объемная доля, %	Максимальный размер включений, мкм	Микротвердость поверхности/сердцевины, ГПа
8	35	20	8,0/4,6	18	40	7,1/3,8
12	50	30	8,4/4,6	26	50	7,5/4,2

Испытаниями на контактную усталость установлено, что у всех исследованных партий образцов зависимости изнашивания различны (рис. 2). У образцов стали 18ХГТ при напряжениях 1100 МПа зависимости изнашивания имеют линейный характер. Это явление объясняется тем, что уже при первых циклах нагружения формируются крупные питтинги по всей ширине контактной зоны, которые уменьшают толщину образца, приводящие к интенсивному изнашиванию (рис. 3, а). У слоев стали 16CrMnS5 имеется этап прецизионной стойкости из-за отсутствия интенсивного выкрашивания объемов упрочненного сплава (рис. 3, б). Этот этап сохраняется до 7500 циклов, после чего скорость изнашивания резко увеличивается вследствие накопления трещин контактной усталости и последующего формирования питтингов. При достижении глубины износа 0,6 мм максимальная стойкость (31 тыс. циклов) установлена у образцов стали 16CrMnS5 после 12-часовой цементации. У всех исследованных образцов на этом этапе обнаружено выкрашивание крупных частиц деформированного сплава (рис. 3, в).

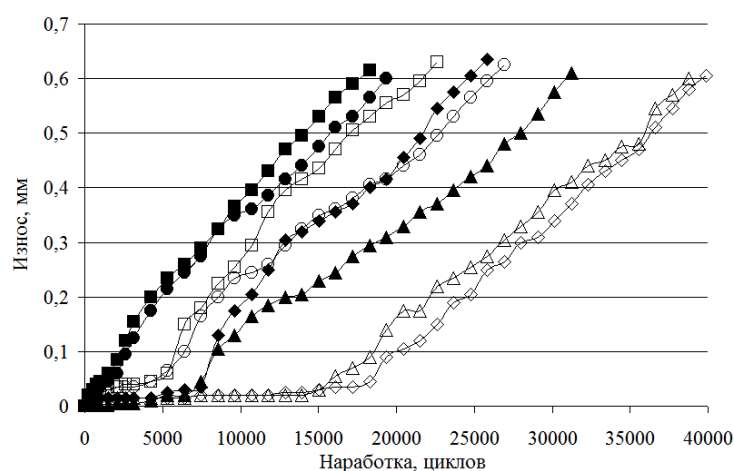


Рис. 1. Кривые износа науглероженных слоев стали 18ХГТ (●, ○ – 8 ч, ■, □ – 12 ч) и 16CrMnS5 (◆, ◇ – 8 ч, ▲, △ – 12 ч); светлые маркеры – 950 МПа; темные маркеры – 1100 МПа

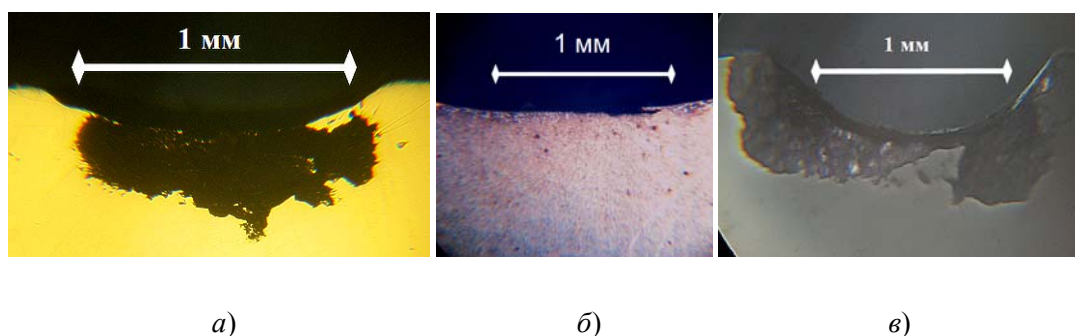


Рис. 3. Особенности разрушения сталей:
а – 18ХГТ (1000 циклов); б – 16CrMnS5 (1000 циклов); в – все стали

При снижении контактных напряжений до 950 МПа стойкость ожидаемо повысилась. У слоев стали 18ХГТ появился этап высокой износостойкости, который сохранился до 5300 циклов нагружения. Однако у стали 16CrMnS5 этот этап составил около 17500 циклов, что повысило стойкость в 3,3 раза. При достижении глубины лунки износа 0,6 мм максимальную износоустойчивость имеют слои после 8-часового насыщения. Их наработка составила 40 тыс. циклов.

Анализ полученных результатов позволяет сделать следующие выводы:

1. Выявлено, что при одинаковых режимах упрочнения формируются значительно отличающиеся по объемной доле и размерам карбидов образцы стали.
2. Более высокая, чем слоев стали 16CrMnS5, микротвердость слоев стали 18ХГТ не привела к повышению их стойкости.
3. Установлено, что прецизионной стойкостью обладают образцы стали 18ХГТ. При снижении контактных напряжений с 1100 до 950 МПа их стойкость увеличилась в 2,3 раза. Образцы из стали 16CrMnS5 имеют значительно меньшую стойкость.
4. Полученные результаты позволяют рекомендовать сталь 16CrMnS5 в качестве заменителя стали 18ХГТ для изготовления цементуемых деталей.

Литература

1. Геллер, Ю. А. Инструментальные стали : справочник / Ю. А. Геллер. – Москва : Металлургия, 1984. – 584 с.
2. Полезная модель BY 8260, МПК G 01 N 3/00 (2006.01). Устройство для испытания на контактную усталость и износ : опубл. 30.06.2012 / Степанкин И. Н., Панкратов И. А., Кенько В. М., Поздняков Е. П., Степанкина Л. В. ; заявитель Гомел. гос. техн. ун-т им. П. О. Сухого. – URL: <https://elib.gstu.by/handle/220612/23227> (дата обращения: 04.10.2024).

УДК 546:54.057

**ВЛИЯНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ РЕЖИМОВ НА СИНТЕЗ
ПОРОШКОВ $\text{MgO} : \text{CoO}$ И $\text{ZnO} : \text{CoO}$: СТРУКТУРА,
ВАЛЕНТНОЕ СОСТОЯНИЕ ИОНОВ КОБАЛЬТА
И РАСПРЕДЕЛЕНИЕ В МАТРИЦЕ ОКСИДОВ**

М. Ф. С. Х. Аль-Камали, А. А. Бойко

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

Представлено исследование воздействия технологических режимов синтеза порошков $\text{MgO} : \text{CoO}$ и $\text{ZnO} : \text{CoO}$ на их структурные параметры и валентное состояние ионов кобальта. Установлено, что размеры частиц $\text{ZnO} : \text{CoO}$ варьируются от 390 до 800 нм, а размеры частиц $\text{MgO} : \text{CoO}$ находятся в диапазоне от 430 до 810 нм. В процессе прессования полученных порошков для формирования мишеней наблюдается трансформация валентного состояния ионов кобальта с образованием Co_2O_3 . Результаты EDX-анализа подтверждают интегральную однородность распределения ионов кобальта в матрицах оксидов цинка и магния, при этом концентрация кобальта соответствует расчетным значениям. Данные результаты подчеркивают важность контроля технологических параметров для достижения заданных свойств композитных материалов.

Ключевые слова: $\text{MgO} : \text{CoO}$, $\text{ZnO} : \text{CoO}$, структура, золь-гель метод, EDX-анализ, НЧ металлов, СЭМ.

**THE INFLUENCE OF TECHNOLOGICAL MODES
ON THE SYNTHESIS OF $\text{MgO} : \text{CoO}$ AND $\text{ZNO} : \text{CoO}$ POWDERS:
STRUCTURE, VALENCE STATE OF COBALT IONS
AND DISTRIBUTION IN THE OXIDE MATRIX**

M. F. S. H. AL-Kamali, A. A. Boika

Sukhoi State Technical University of Gomel, the Republic of Belarus

This paper presents a study of the impact of $\text{MgO} : \text{CoO}$ and $\text{ZnO} : \text{CoO}$ powder synthesis process modes on their structural parameters and the valence state of cobalt ions. It was found that the $\text{ZnO} : \text{CoO}$ particle sizes range from 390 to 800 nm, while the $\text{MgO} : \text{CoO}$ particle sizes are in the range from 430 to 810 nm. During the pressing of the obtained powders to form targets, a transformation of the valence state of cobalt ions is observed with the formation of Co_2O_3 . The results of EDX analysis confirm the integral uniformity of the distribution of cobalt ions in matrices of zinc and magnesium oxides, while the cobalt concentration corresponds to the calculated values. These results highlight the importance of controlling process parameters to achieve the desired properties of composite materials.

Keywords: $\text{MgO} : \text{CoO}$, $\text{ZnO} : \text{CoO}$, structure, sol-gel method, EDX-analysis, NPs, SEM.

Многофункциональные гибридные композиционные материалы на основе оксидов переходных металлов привлекают значительное внимание благодаря своим