

Данная оптимизированная конструкция детали из пластика практически не уступает оригинальной металлической как в плане технологических, механических свойств, так и эксплуатационных нагрузок, поскольку:

– напряжения, возникающие в ходе приложения нагрузки в 200 кг на ступеньку, как металлическую, так и пластиковую, не превышают предела текучести заданного материала;

– деформации металлической ступеньки равны 8 мм в зоне приложения нагрузки, а пластиковой – 11 мм, что является отличным показателем для альтернативной конструкции, так как разница незначительна и составляет всего лишь 3 мм;

– оптимизированная конструкция ступеньки трапа получила возможность быстрого демонтажа и замены в случае поломки в связи с добавлением отверстий под болты, чего не скажешь о приваренной металлической ступеньке;

– толщины металлической и пластиковой конструкции трапа варьируются от 2 до 6 мм и являются практически идентичными;

– масса исходной конструкции ступеньки трапа составляет 1,9 кг металлической массы, в то время как масса альтернативной пластиковой – 1,3 кг.

Для получения результатов разрабатывалась САД-модель технологического процесса 3D-печати, проводился расчет прочностных характеристик с использованием лицензионных программных пакетов Pro/ENGINEER, Ansys Workbench, программы Ultimaker Cura и стандартных методик, что обусловило достоверность полученных результатов.

#### Л и т е р а т у р а

1. Бондалетова, Л. И. Полимерные композиционные материалы : учеб. пособие / Л. И. Бондалетова, В. Г. Бондалетов. – Томск : Том. политехн. ун-т, 2013. – 118 с.
2. Бобрышева, С. Н. Способы снижения пожароопасности наиболее распространенных полимерных материалов / С. Н. Бобрышева // Современные проблемы машиноведения : сб. материалов XIV Междунар. науч. техн. конф., Гомель, 27–28 окт. 2022 г. / Гомел. гос. техн. ун-т им. П. О. Сухого. – Гомель, 2023. – С. 35–38.

УДК 620.178

### **СТРУКТУРА, МИКРОТВЕРДОСТЬ И ИЗНОСОСТОЙКОСТЬ ДИФфуЗИОННО-УПРОЧНЕННЫХ СЛОЕВ КОРОЗИОННОСТОЙКИХ СТАЛЕЙ 40X13 И BOHLER M303 EXTRA**

**И. Н. Степанкин<sup>1</sup>, Е. П. Поздняков<sup>2</sup>, А. В. Рабков<sup>2</sup>,  
Д. В. Куис<sup>3</sup>, А. Б. Найзабеков<sup>4</sup>, С. Н. Лежнев<sup>4</sup> б ь**

<sup>1</sup>*Гомельский государственный технический университет  
имени П. О. Сухого, Республика Беларусь*

<sup>2</sup>*Белорусский научно-исследовательский институт нефти*

*РУП «Производственное объединение «Белоруснефть», г. Гомель*

<sup>3</sup>*Белорусский государственный технологический университет, г. Минск*

<sup>4</sup>*НАО «Рудненский индустриальный институт», Республика Казахстан*

При изготовлении различного рода деталей конструкционного назначения и инструментальной оснастки наряду с традиционно применяемыми сталями 40X, 35ХГСА могут быть использованы стали с особыми свойствами 40X13 и BOHLER M303 Extra. Их необходимость применения определяется в первую очередь заказчи-

ком. Однако влияние различного рода термической и химико-термической обработок на структуру и свойства указанных сплавов недостаточно исследовано.

Химический состав стали 40X13 соответствует ГОСТ5632 и содержит около 0,4 % С и 13 % Cr. Состав стали BOHLER M303 Extra приведен в табл. 1. В табл. 2 представлены режимы термической и химико-термической обработок.

Таблица 1

Химический состав стали BOHLER M303 Extra, мас. %

С	Si	Mn	Cr	Ni	Mo
0,27	0,30	0,65	14,50	0,85	1,00

Таблица 2

Режимы термодиффузионного упрочнения и твердость сталей BOHLER M303 Extra и 40X13

Марка стали	Обозначение партии	Режимы термохимической обработки			Режимы термической обработки		Микротвердость поверхности/сердцевины, ГПа
		Вид обработки	Время, час	Температура, °С	Температура закалки, °С	Температура отпуска, °С	
BOHLER M303 Extra	△	–	–	–	1060	200	48**
	○	Цементация	6	900	950	200	4,5/4,2
	◇	Нитроцементация	6	900	950	200	6,3/4,2
	□	Нитроцементация*	6	500	1060	400	5,6/4,4
40X13	▲	–	–	–	1050	200	51–53**
	●	Цементация	8	900	980	200	5,1/4,9
	◆	Нитроцементация	6	880	980	200	7,7/5,2
	■	Нитроцементация*	6	500	1050	200	5,1/4,9

\*Нитроцементация проводилась после закалки и отпуска.

\*\*Твердость HRC

После всего цикла упрочнения оказалось, что максимальная микротвердость поверхности зарегистрирована у образцов стали 40X13 после предварительной нитроцементации. Способность стали BOHLER M303 Extra приобретать наибольшую микротвердость также отмечена у образцов после предварительной нитроцементации. При этом следует отметить, что микротвердость сердцевины у образцов из стали 40X13 оказалась выше, чем у стали BOHLER M303 Extra. Проведение только закалки с последующим низкотемпературным отпуском позволяет получить твердость для стали BOHLER M303 Extra на уровне 48HRC, а для стали 40X13 – 53HRC.

В процессе испытаний на контактную усталость на установке [1] получены кривые износа от числа циклов нагружения при амплитуде контактных напряжений 950МПа (рис. 1). Наибольшей стойкостью к усталостному изнашиванию обладает сталь 40X13, подвергнутая лишь закалке и низкому отпуску. Нарботка на отказ при достижении глубины лунки износа данной партии образцов составила 13960 циклов

нагрузки. Удовлетворительную износостойкость показали образцы стали 40X13 после предварительной нитроцементации, наработка которых зарегистрирована на уровне 7480 циклов. Их стойкость оказалась в 2,4 раза выше, чем стойкость аналогичного слоя стали BOHLER M303 Extra. У остальных партий образцов износостойчивость оказалась очень низкой вследствие низкой микротвердости поверхностного слоя и сердцевины, а также малой толщины диффузионных слоев.

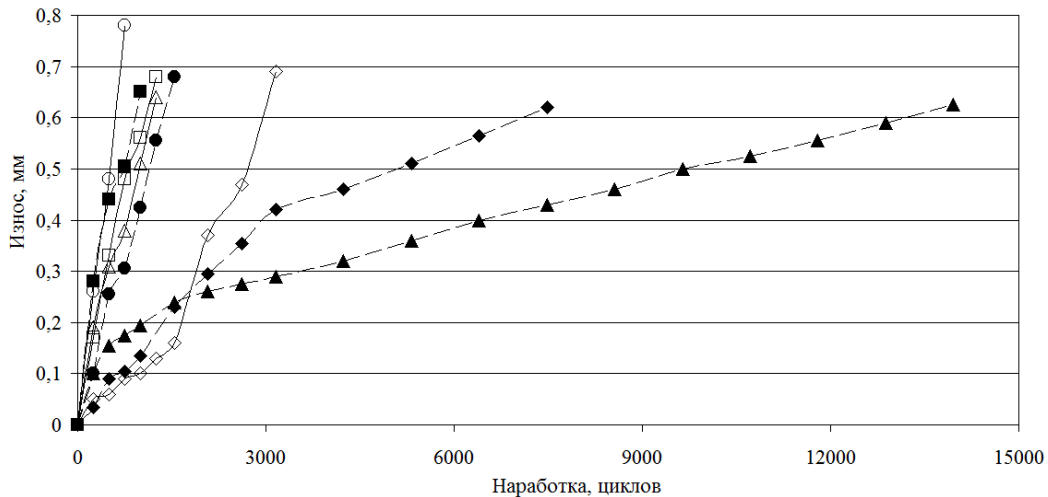


Рис. 1. Кривые износа образцов из стали 40X13 (темные маркеры) и BOHLER M303 Extra (светлые маркеры) при амплитуде контактных напряжений 950 МПа

Исследование структуры образцов в процессе испытаний показало, что материал в области контакта с контртелом на начальном этапе подвергается пластической деформации, приводящей к образованию наклепа. При дальнейшем воздействии на образцы образуются трещины контактной усталости, формирующие в итоге питтинги.

#### Литература

1. Устройство испытания материалов на контактную усталость и износ : пат. 8260 U Респ. Беларусь : МПК G01N 3/00 / И. Н. Степанкин, И. А. Панкратов, В. М. Кенько, Е. П. Поздняков, Л. В. Степанкина ; заявитель Гомел. гос. техн. ун-т им. П. О. Сухого. – № u 20110940 ; заявл. 23.11.2011 ; опубл. 30.06.2012.

УДК 669.14.018.298.2:620.178

### ИЗНОСОСТОЙКОСТЬ ЦЕМЕНТОВАННЫХ СЛОЕВ КОНСТРУКЦИОННЫХ СТАЛЕЙ 35ХГСА, 40Х И 42СRМO54

Е. П. Поздняков<sup>1</sup>, И. Н. Степанкин<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Гомельский государственный технический университет  
имени П. О. Сухого, Республика Беларусь

<sup>2</sup>Белорусский научно-исследовательский институт нефти  
РУП «Производственное объединение «Белоруснефть», г. Гомель

Традиционно для использования штампового инструмента применяются легированные инструментальные стали 5ХВ2С, Х12М, Р6М5, 6Х4М2ФС и т. д. В их химическом составе содержатся сильные карбидообразующие элементы (Cr, V, W, Mo),