

Соответствие сосудов контейнера-цистерны для перевозки и хранения неохлажденных сжиженных газов и продуктов химическим требованиям [1] обеспечивается путем непосредственного выполнения этих требований или путем выполнения требований стандартов, включенных в перечень стандартов, в результате применения которых на добровольной основе обеспечивается соблюдение требований [1]. Аналогичным образом могут быть установлены требования безопасности для оборудования железнодорожного подвижного состава, работающего под давлением.

#### Список литературы

1 ТР ТС 032/2013. О безопасности оборудования, работающего под избыточным давлением / Евразийская экономическая комиссия. – Минск : БелГИСС, 2023. – 33 с.

УДК 620.178.152.4

### ИССЛЕДОВАНИЕ МЕХАНИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ВЫСОКОПРОЧНОГО ЧУГУНА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МЕТОДА МИКРОУДАРНОГО ИНДЕНТИРОВАНИЯ

*Н. К. ТУРСУНОВ*

*Ташкентский государственный транспортный университет, Республика Узбекистан*

*А. П. КРЕНЬ*

*Институт прикладной физики НАН Беларуси, г. Минск*

*Т. Т. УРАЗБАЕВ, У. Т. РАХИМОВ*

*Ташкентский государственный транспортный университет, Республика Узбекистан*

Инденитрование с высокой скоростью деформации осуществлялось с помощью оборудования, разработанного в Институте прикладной физики НАН Беларуси, позволяющего регистрировать текущую скорость индентора и всю кривую динамического нагружения (рисунок 1). Оборудование включает динамический портативный твердомер и электронный блок для регистрации и записи сигнала. Регистрация сигнала производилась по традиционной для динамических твердомеров схеме с помощью катушки индуктивности. Далее осуществлялся переход от ЭДС к скорости  $V$ , глубине внедрения  $h$  и контактному усилию  $P$ , развиваемому при ударе. Более подробно со способом регистрации кривой нагружения можно ознакомиться в [1], где описан подробный алгоритм получения диаграммы нагружения.

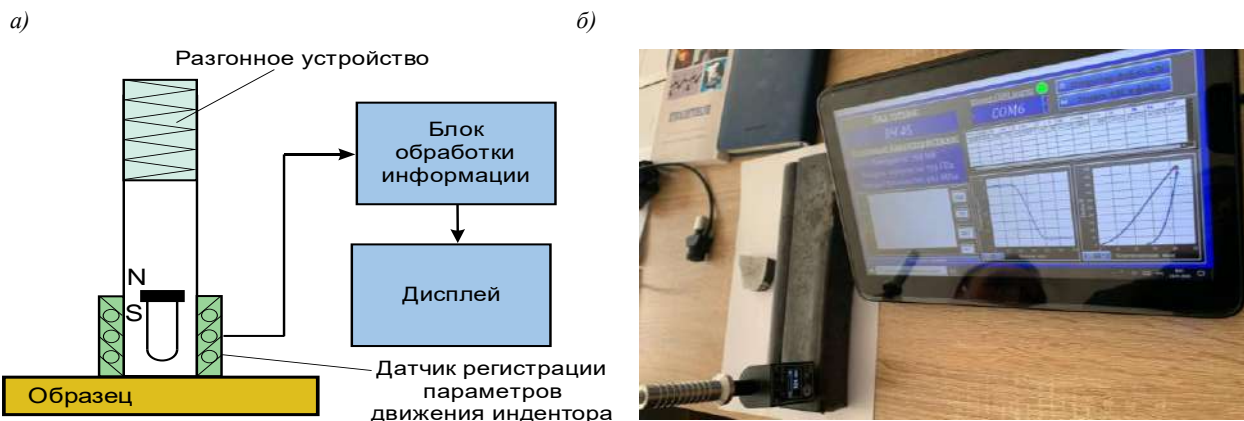


Рисунок 1 – Схема оборудования (а) и внешний вид прибора (б)

Экспериментальные исследования получения высокопрочного чугуна ВЧ50 проведены в шести вариантах. Первый и второй варианты – традиционная модификация в ковше магниевым ферросплавом (ФСМg5 – 2 %) либо с добавлением силикокальция (ФСМg5 – 2 % + СК30 – 0,5 %). Для улучшения эксплуатационных и механических свойств жидкий чугун дополнительно обрабатывали

в реакционной камере по «сэндвич-процессу» с использованием комплексных модификаторов и стальной дроби. Третий и четвертый варианты включали модификаторы КМ-Si46Mg6AlCa2(Ce+La)0,5 и КМ-Si70Al1,5Ca0,65Ba4 в различных дозировках. По результатам оценивали эффективность модификации, оптимальное количество добавок, формирование графита и механические свойства отливок [2]. Результаты обработки чугуна представлены в таблице 1 и сопоставлены с традиционной предлагаемой технологией.

Таблица 1 – Результаты экспериментальных исследований процесса ковшовой обработки чугуна

Вариант обработки	Содержание модификаторов, %	[Mg] <sub>qol</sub> , %	[Al] <sub>qol</sub> , %	[S] <sub>qol</sub> , %	[O] <sub>Σ</sub> , ppm
<b>ИТП</b>	<b>Чугун</b>	<b>0,005</b>	<b>0,007</b>	<b>0,025</b>	<b>80</b>
1 (ТТ)	ФСМг5 – 2 %	0,040	0,009	0,022	40
2 (ТТ)	ФСМг5 – 2 % + СК30 – 0,5 %	0,045	0,0010	0,020	35
3 (ПТ)	КМ-Si46Mg6AlCa2(Ce+La)0,5 – 1,4 % КМ-Si70Al1,5Ca0,65Ba4 – 0,15 % ВКМ-Si75Al4Ca0,9 – 0,6 %	0,045	0,021	0,014	20
4 (ПТ)	КМ-Si46Mg6AlCa2(Ce+La)0,5 – 1,6 % КМ-Si70Al1,5Ca0,65Ba4 – 0,20 % ВКМ-Si75Al4Ca0,9 – 0,8 %	0,048	0,022	0,012	18
<b>5 (ПТ)</b>	<b>КМ-Si46Mg6AlCa2(Ce+La)0,5 – 1,8 %</b> <b>КМ-Si70Al1,5Ca0,65Ba4 – 0,30 %</b> <b>ВКМ-Si75Al4Ca0,9 – 1 %</b>	<b>0,052</b>	<b>0,023</b>	<b>0,010</b>	<b>15</b>
6 (ПТ)	КМ-Si46Mg6AlCa2(Ce+La)0,5 – 2 % КМ-Si70Al1,5Ca0,65Ba4 – 0,35 % ВКМ-Si75Al4Ca0,9 – 1,2 %	0,055	0,025	0,009	12
<i>Примечание</i> – ТТ – традиционная технология; ПТ – предложенная технология; КМ – комплексные модификаторы; ВКМ – брикетированные комплексные модификаторы.					

Результаты исследования механических свойств чугуна марки ВЧ50, обладающего высокой прочностью после процесса комплексной модификации чугуна, представлены в таблице 2, предлагаемая технология сопоставлена с традиционной.

Таблица 2 – Обработка чугуна в ковше и литейной системе и результаты экспериментальных исследований процесса подачи

Вариант	Категория свойств			
	Предел прочности при растяжении $\sigma_B$ , МПа, кг/мм <sup>2</sup>	Предел текучести $\sigma_{0,2}$ , МПа, кг/мм <sup>2</sup>	Относительное удлинение $\delta$ , %	Твердость по Бринеллю, НВ
<b>ГОСТ 7293-85</b>	не менее			
	<b>500</b>	<b>320</b>	<b>7,0</b>	<b>153-245</b>
1 (ТТ)	480/485	300	5,8	180/183
2 (ТТ)	500/503	325	6,1	190/192
3 (ПТ)	557/560	678	7,5	205/206
4 (ПТ)	606/600	370	7,7	228/226
<b>5 (ПТ)</b>	<b>610/615</b>	<b>375</b>	<b>8,5</b>	<b>230/232</b>
6 (ПТ)	620/630	380	6	250/255
<i>Примечание</i> – Значения прочности и твёрдости были получены на установке УзБел ИФЧХ-Ч путём неразрушающего контроля отливки.				

Наивысшие механические свойства получены при применении комплексных модификаторов КМ-Si46Mg6AlCa2(Ce+La)0,5, КМ-Si70Al1,5Ca0,65Ba4 и ВКМ-Si75Al4Ca0,9 (варианты 3–6). Однако вариант 6 не соответствует требованиям ГОСТ 7293-85 по твёрдости и удлинению. Наилучшие результаты показали варианты 4 и 5, причём вариант 5 признан оптимальным: предел прочности увеличился на 27 %, текучести – на 25 %, твёрдость – на 28 %.

#### Список литературы

- 1 **Kren, A.** Non-destructive evaluation of metal plasticity using a single impact microindentation / A. Kren, M. Delendik, A. Machikhin // International Journal of Impact Engineering. – 2022. – № 162. – P. 104141.
- 2 Improvement of the technology for obtaining synthetic cast iron using local secondary waste raw materials / U. Rakhimov, N. Tursunov, S. Tursunov [et al.] // Универсум: технические науки. 2025. – № 4 (133), Ч. 8. – DOI: 10.32743/УниТеч.2025.133.4.