

**Мальков Михаил Владимирович**

магистрант

**Мишуров Максим Вячеславович**

магистрант

**Казанков Виталий Александрович**

магистрант

**Шишлопанова Алена Николаевна**

магистрант

ФГБОУ ВО «Магнитогорский государственный

технический университет им. Г.И. Носова»

г. Магнитогорск, Челябинская область

**РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИИ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ВЫСОКОПРОЧНОГО  
ТОЛСТОГО ЛИСТА, ТВЕРДОСТЬЮ HBW  $\geq 450$  И УДАРНОЙ  
ВЯЗКОСТЬЮ KCV<sup>-40</sup>  $\geq 30$  ДЖ/СМ<sup>2</sup>, В УСЛОВИЯХ ЛАБОРАТОРНОГО  
КОМПЛЕКСА ООО «ТЕРМОДЕФОРМ-МГТУ»**

*Аннотация:* как отмечают авторы, в связи с интенсивным освоением районов Севера и Сибири требуется создание нового класса металлических материалов, способных безаварийно работать в экстремальных условиях при низких климатических температурах. При создании таких материалов в промышленных условиях необходимы многомилионные вложения с относительно большими затратами труда и времени. Наиболее недорогим и быстрым способом решения такого рода задачи является использование физического моделирования, которое описывает сложные многофакторные процессы. В результате в условиях лабораторного комплекса ООО «Термодеформ-МГТУ» была разработана технология производства высокопрочного толстого листа, твердостью HBW  $\geq 450$  и ударной вязкостью KCV<sup>-40</sup>  $\geq 30$  Дж/см<sup>2</sup>.

*Ключевые слова:* горячая прокатка, высокопрочные стали, механические свойства, физическое моделирование, лабораторный комплекс, ООО «Термодеформ-МГТУ».

Как показывает практика, исчерпание работоспособности машин и механизмов на Севере имеет ускоренный характер [1]. Экстремальные климатические условия значительно влияют на эксплуатацию техники и конструкций. В основном аварии конструкций сопровождаются их хрупким разрушением при отрицательных температурах эксплуатации. Так, например, по опыту эксплуатации техники на территории Якутии установлено, что поток отказов ряда деталей и узлов машин, большегрузных самосвалов, карьерных и шагающих экскаваторов и металлоконструкций увеличивается в 2–3 раза, по некоторым данным до 4–6 раз, что наносит экономике России большие убытки.

По данным автора [2], кузов большегрузных карьерных автосамосвалов изготавливают из низколегированных высокопрочных сталей марок 14ХМНДФР, 14Х2ГМР ( $\sigma_s = 600$  МПа,  $\sigma_b = 700$  МПа, ударная вязкость при  $-40$  °С до  $KCV = 0,4$  МДж/м<sup>2</sup>), 14ХГНМДАФР ( $\sigma_s = 800$  МПа,  $\sigma_b = 1000$  МПа, ударная вязкость при  $-40$  °С до  $KCV = 0,42$  МДж/м<sup>2</sup>), 14Х2ГМ, 14ХГНМД, 09Г2С (временное сопротивление  $\sigma_b = 480$  МПа, предел текучести  $\sigma_T = 480$  МПа), Т-1 ( $\sigma_s = 700$  МПа,  $\sigma_b = 800\text{--}950$  МПа, ударная вязкость при  $-40$  °С до  $KCV = 0,42$  МДж/м<sup>2</sup>), KN-360, SHT 490, SH490A, SHT 590 (прочность на растяжение  $\sigma_s = 490\text{--}1270$  МПа,  $\sigma_T = 320\text{--}450$  МПа, твердость HB = 140–360. Перечисленные марки стали, являются не долговечными в условиях Крайнего Севера и приводят к поломкам дорогостоящей техники.

Задняя стенка ковша изготавливается из низколегированной стали 10ХСНД. Преждевременный выход из строя металлоконструкций из стали 10ХСНД происходит из-за высокой ее чувствительности к наличию концентраторов напряжений и росту трещин при температурах ниже  $-30$  °С, зарождающихся в дефектах, угловых швах, а также в зоне термического влияния. Исследования этой стали, проведенные в Институте физико-технических проблем Севера, показали, что ее прочностные и пластические свойства при различных температурах укладываются в нормы, а результаты на ударный изгиб по величине ударной вязкости при низких температурах не соответствуют требованиям ГОСТ 19828–73. Так, по

ГОСТу 19828–73, ударная вязкость при температуре  $-40^{\circ}\text{C}$  должна быть в пределах (0,4–0,5) МДж/мм<sup>2</sup>, а фактически (0,14–0,20) МДж/мм<sup>2</sup>. При температуре  $-60^{\circ}\text{C}$  вместо (0,30–0,35) МДж/мм<sup>2</sup> она составляет (0,06–0,61) МДж/мм<sup>2</sup>. Такие расхождения значений ударной вязкости для соответствующих конструкций недопустимы [3–4].

С учетом изложенного, была поставлена задача, разработать сталь, которая будет способна обеспечить надежность и живучесть металлоконструкций, работающих в условиях вечной мерзлоты при воздействии абразивного износа и дополнительных динамических нагрузках.

Литературный обзор и патентный поиск, позволили конкретизировать требования к разрабатываемой стали: ударная вязкость  $\text{KCV}^{-40} \geq 30 \text{ Дж/см}^2$ ; твердость  $\text{HBW} \geq 450$ ; предел прочности  $\sigma_b \geq 1200 \text{ Н/мм}^2$ ; относительное удлинение  $\delta_5 \geq 11\%$ ;

Технология производства высокопрочной износостойкой стали осуществлялась на оборудование лабораторного комплекса ООО «Термодеформ-МГТУ» и заключалось в следующем [3]:

1. С применением индукционной плавильной печи ИСТ 0,03/0,05 И1 произвели выплавку слитков, размерами 70 x 100 x 300 мм различного химического состава. Далее полученные слитки охлаждались до комнатной температуры на воздухе.

2. После охлаждения слитков до комнатной температуры их подвергали нагреву в камерной печи ПКМ 3.6.2 до температуры 1200–1230 °C.

3. Обжатие слитков осуществляли на гидравлическом прессе П6334 (моделирующий процесс черновой стадии прокатки) и на одноклетевом реверсивном стане горячей прокатки 500 «ДУО» (моделирующий процесс чистовой стадии прокатки). Слитки прокатывали до толщины 6, 10, 20, 30 мм. Полученные раскаты охлаждали на воздухе.

4. Термическая обработка образцов проката заключалась в закалке и последующем отпуске, после чего производили раскрой полученных раскатов для проведения испытаний.

5. Механические свойства сталей (таблица 1) определяли на поперечных образцах в соответствии с общепринятыми условиями по ГОСТ 1497, ГОСТ 9012, ГОСТ 9454.

Таблица 1

## Механические свойства экспериментальных сталей

Вариант плавки	$\sigma_{0,2}$ , Н/мм <sup>2</sup>	$\sigma_b$ , Н/мм <sup>2</sup>	$\delta_5$ , %	KCV <sup>-40</sup> , Дж/см <sup>2</sup>	HBW	Изгиб до угла 90°
1	1042	1095	10	35	340	годен
2	1205	1415	13	48	420	годен
3	1220	1425	14	52	444	годен
4	1255	1470	13	47	477	годен
5	1250	1465	12	45	475	годен
6	1230	1435	11	30	450	годен

*Заключение*

Результаты испытаний экспериментальных образцов №3,4,5,6 (таблица 7) на растяжение, изгиб (90°), твердость и ударную вязкость (KCV<sup>-40</sup> °C) подтверждают возможность обеспечения требуемых механических свойств: предел текучести  $\sigma_{0,2}$  не менее 1100 Н/мм<sup>2</sup>, временное сопротивление разрыву  $\sigma_b$  не менее 1200 Н/мм<sup>2</sup>, твердость HBW не менее 450, относительное удлинение  $\delta_5$  не менее 11%, ударная вязкость KCV<sup>-40</sup> не менее 30 Дж/см<sup>2</sup>.

Применение такой стали позволит увеличить срок службы изделий из данного металлопроката, в сравнении с традиционными применяемыми материалами, а также обеспечит высокую устойчивость к абразивному износу и ударную вязкость при пониженных температурах.

*Список литературы*

1. Сараев Ю.Н. Разработка научных основ повышения эксплуатационных свойств металлоконструкций, используемых в условиях низких температур и арктических льдов, применением адаптивной импульсно-дуговой сварки, модификации и механической обработки зон неразъемных соединений / Ю.Н. Сараев, В.П. Безбородов, А.А. Григорьева, А.И. Дмитриев, А.Г. Лунев // Институт

физико-технических проблем Севера им. В.П. Ларионова СО РАН. – Якутск, 2014. – №2. – С. 23–25.

2. Квагинидзе В.С. Экскаваторы на карьерах. Конструкции, эксплуатация, расчет: Учебное пособие / В.С. Квагинидзе, Ю.А. Антонов, В.Б. Корецкий, Н.Н. Чупейкина. – М.: ГОУ ВПО «МГГУ», 2011. – 416 с.

3. Квагинидзе В.С. Восстановление металлоконструкций горнотранспортного оборудования: Учебное пособие / В.С. Квагинидзе, Н.Н. Чупейкина, В.Ф. Петров. – М.: ГОУ ВПО «МГГУ», 2007. – 236 с.

4. Квагинидзе В.С. Автомобильный транспорт на карьерах. Конструкции, эксплуатация, расчет: Учебное пособие / В.С. Квагинидзе, Ю.А. Антонов, В.Б. Корецкий, Г.И. Козовой, Ф.А. Чакветадзе. – М.: ГОУ ВПО «МГГУ», 2011. – 408 с.

5. Федеральный ресурс промышленной собственности [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [http://www1.fips.ru/fips\\_serv1/fips\\_servlet?DB=RUPAT&DocNumber=2603404&TypeFile=html](http://www1.fips.ru/fips_serv1/fips_servlet?DB=RUPAT&DocNumber=2603404&TypeFile=html) (дата обращения: 07.04.2017).