

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РЕСПУБЛИКИ КАЗАХСТАН
КАЗАХСКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ ИМЕНИ К. И. САТПАЕВА

ИНСТИТУТ МЕТАЛЛУРГИИ И ОБОГАЩЕНИЯ

МАТЕРИАЛЫ

Международной научно-практической конференции
ЭФФЕКТИВНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ ПРОИЗВОДСТВА ЦВЕТНЫХ,
РЕДКИХ И БЛАГОРОДНЫХ МЕТАЛЛОВ



Алматы 2018 Almaty

**МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РЕСПУБЛИКИ КАЗАХСТАН
КАЗАХСКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ ИМЕНИ К. И. САТПАЕВА
ИНСТИТУТ МЕТАЛЛУРГИИ И ОБОГАЩЕНИЯ**

**Металлургия ғылымы мен өнеркәсібінің мәселелеріне және белгілі
ғалым металлург, ҚР ҰҒА корреспондент мүшесі,
Қазақстан Республикасы Мемлекеттік сыйлығының иегері
Болат Балтақайұлы Бейсембаевті еске алуға арналған
«Түсті, сирек және асыл металдарды өндірудің тиімді технологиялары»
атты Халықаралық ғылыми-практикалық конференцияның**

МАТЕРИАЛДАРЫ

МАТЕРИАЛЫ

**Международной научно-практической конференции
«Эффективные технологии производства цветных, редких и
благородных металлов», посвященной проблемам металлургической
науки и промышленности и памяти известного ученого-металлурга,
члена-корреспондента Академии наук РК,
лауреата Государственной премии Республики Казахстан
Булата Балтакаевича Бейсембаева**

PROCEEDINGS

**of International scientific and practical conference
“The Effective Technologies of Non-Ferrous,
Rare and Precious Metals Manufacturing” devoted to the metallurgy
science and industry concerns and in memory of well-known scientist
of metallurgy, Associate Member of the National Academy
of Sciences of Kazakhstan, the honoree of the State Prize of the
Republic of Kazakhstan Bulat Baltakayevich Beisembayev**

Алматы 2018

УДК 669
ББК 34.3
Э94

Ответственный редактор: д.т.н., проф. Кенжалиев Б.К.

Жауапты редактор: т.ғ.д., проф. Кенжалиев Б.К.

Редакционный совет: д.т.н., проф. Кенжалиев Б.К., д.т.н., проф. Загородняя А.Н., д.т.н. Квятковский С.А., к.т.н. Кульдеев Е.И., к.х.н. Темирова С.С., PhD Касымова Г.К.

Редакциялық алқа: т.ғ.д., проф. Кенжалиев Б.К., т.ғ.д., проф. Загородняя А.Н., т.ғ.д. Квятковский С.А., т.ғ.к. Көлдеев Е.И., х.ғ.к. Темирова С.С., PhD Касымова Г.К.

«Эффективные технологии производства цветных, редких и благородных металлов»: Материалы Межд. научно-практ. конф. / Сост.: к.х.н. Темирова С.С., к.т.н. Кульдеев Е.И., Садыкова Т.С. – Алматы, 2018. – 440 с.

«Түсті, сирек және асыл металдарды өндірудің тиімді технологиялары»: Халықар. ғыл. практ. конф. материалдары / Құраст.: х.ғ.к. Темирова С.С., т.ғ.к. Көлдеев Е.И., Садыкова Т.С. – Алматы, 2018. – 440 б.

ISBN 978-601-323-132-7

В Материалах конференции «Эффективные технологии производства цветных, редких и благородных металлов» представлены результаты фундаментальных и прикладных исследований в области металлургии цветных, редких и благородных металлов, обогащения минерального и техногенного сырья, получения высокочистых металлов и перспективных материалов, а также разработки новых и усовершенствования существующих технологических схем, процессов и аппаратов.

Материалы конференции предназначены для ученых и специалистов, работающих в области переработки минерального сырья и материаловедения.

«Түсті, сирек және асыл металдарды өндірудің тиімді технологиялары» атты конференцияның материалдарында түсті, сирек және асыл металдар металлургиясы, минералдық және техногенді шикізаттарды байыту, тазалығы жоғары металдар мен келешегі зор материалдарды алу, сонымен қатар жаңа технологиялық схемаларды, үрдістерді және аппараттарды жасап шығару және олардың бұрыннан келе жатқан түрлерін жетілдіру салаларындағы іргелі және қолданбалы зерттеулердің нәтижелері келтірілген.

Конференция материалдары материалтану және минералды шикізаттарды өңдеу саласында жұмыс жасайтын ғалымдар мен мамандарға арналған.

УДК 669
ББК 34.3

ISBN 978-601-323-132-7

© АО «ИМиО», 2018

СОВРЕМЕННЫЕ НИЗКОЛЕГИРОВАННЫЕ ИЗНОСОСТОЙКИЕ СТАЛИ ДЛЯ ВЫСОКОПРОЧНОГО ОБОРУДОВАНИЯ ГОРНЫХ МАШИН

<https://doi.org/10.31643/2018-7.35>

*Мускенова К.М., Ахметов А.Б., Кусаинова Г.Д.

ORCID: 0000-0002-9175-8049 0000-0003-2534-9973 0000-0002-3294-3359

Филиал РГП НЦ КПМС РК «Химико-металлургический институт
имени Ж. Абишева», г. Караганда, Казахстан, *
*hmi-2013@mail.ru

Аннотация. Проведено сравнение между классической и современной высококачественными и износостойкими сталями для горно-шахтного оборудования. Для изготовления горно-шахтного оборудования должны использоваться стали с особыми свойствами: высокопрочные, износо- и коррозионностойкие, что достигается за счет определенного химического состава. Одним из таких широко применяемых износостойких материалов являлась марганцовистая аустенитная сталь 110Г13Л. Однако получение стали 110Г13Л по сравнению с современной сталью типа Hardox представляет большие затраты. Современная сталь типа Hardox отличается низкой себестоимостью и более высокой технологичностью в эксплуатации при сопоставимых свойствах. Отмечена актуальность разработки и освоения в Казахстане технологии выплавки новых видов износостойких сталей.

Развитие современной техники невозможно без новых материалов, обеспечивающих качество, надежность, долговечность машин и оборудования. Этим требованиям отвечали легированные износостойкие стали, получаемые на литейных предприятиях.

Надежность и долговечность работы горно-шахтного оборудования в значительной степени зависит от износостойкости его узлов и механизмов (траков, передней стенки ковшей экскаваторов, коронок зубьев, кузовов самосвалов и т.д.), которые в процессе горных работ подвергаются интенсивному абразивному или же ударно-абразивному износу. Выход из строя перечисленных выше узлов и механизмов, вызванный их поломкой или быстрым износом, является основным фактором, определяющим межремонтный срок службы оборудования, и ведет к сокращению объемов добычи сырья, снижает производительность и эффективность производства [1].

Для горно-шахтного оборудования до сих пор используются традиционные стали, такие, как 35Л, 45Л, 110Г13Л, 35ХГСЛ, высококачественные легированные стали, которые обеспечивают высокую вязкость и износостойкость.

По износостойкости, отпускной хрупкости, устойчивости к высоким статическим и динамическим нагрузкам особо отличается высокомарганцовистая аустенитная сталь Гадфильда (110Г13Л), которая в процессе эксплуатации самоупрочняется с 200 МПа до 600 МПа.

Известно, что сталь с аустенитной структурой характеризуется низким пределом текучести, составляющим примерно одну треть от предела прочности и сильно упрочняется под действием холодной деформации. По этой причине сталь 110Г13Л плохо обрабатывается резанием. Такого рода поведение стали 110Г13Л вызвано повышенной способностью составляющего ее марганцовистого аустенита к упрочнению (наклепу) при резании с повышением твердости до 230 НВ, это связывают с возникновением большого количества дефектов в кристаллической решетке стали или же превращением аустенита в мартенсит [2, 4, 6].

Учитывая эти свойства изделия из этой стали производятся преимущественно методом литья. Из нее делают крестовины и стрелки железнодорожных и трамвайных путей, траки гусеничных машин, зубья ковшей экскаваторов, футеровку шаровых мельниц, била и броню дробилок и др.

Несмотря на то, что сталь предназначена для работы в условиях больших нагрузок и ударных воздействий, как показывает практика, в ряде случаев конструкции из стали 110Г13Л в условиях эксплуатации показывают недостаточную износостойкость. Например, при эксплуатации одних и тех же конструкций шаровых мельниц, срок службы их брони из стали Гадфильда при работе на известняке составляет более 10 лет, в то время как на железной руде не достигает и двух лет, хотя в обоих случаях броня подвергается воздействию примерно одних и тех же ударных нагрузок [1].

Основной причиной износа стали 110Г13Л является истирание в результате недостаточной стойкости ее поверхности при действии абразивного материала. Существенными дефектами, приводящими к поломке этих изделий, отлитых из аустенитной стали, являются наличие пористости и неметаллических включений, неоднородность структуры по сечению. Для повышения стойкости поверхностных слоев необходимо увеличить ее твердость. Причем, повышение твердости должно происходить в результате приложения нагрузок. Для достижения этого целесообразно использовать метастабильные аустенитные стали, способные к деформационным мартенситным превращениям [3].

Существенным недостатком данной марки стали при использовании её в горном машиностроении в качестве материала для изготовления, например, зубьев ковша являются: сложность контроля качества структуры литья; высокое содержание марганца и других легирующих элементов; низкий выход годного литья - около 50-65%; при заливке в металлические формы (кокили) расход металла в зависимости от формы и размера колеблется от 20 до 45 %; отсутствие магнитных свойств, что не позволяет при поломке зубьев выделить их части из транспортируемой железной руды, это приводит к выходу из строя обогатительного оборудования, в частности, дробилок крупного и среднего дробления.

Кроме того, высокомарганцевая сталь аустенитного класса совмещает в себе низкую теплопроводность, имеет повышенную склонность к столбчатой кристаллизации, имеет крупнозернистое строение с карбидами, расположенными в основном по границам зерен металла. Изменить (структуру) строение последующей термической обработкой практически неосуществимо, так как сталь не претерпевает фазовых превращений.

Широкие пределы концентраций углерода и марганца при прочих равных условиях не гарантируют постоянства свойств даже для деталей одного и того же назначения.

Достижение высокого качества стали 110Г13Л требует строгого совершенствования процесса ее выплавки, раскисления, легирования и модифицирования с целью улучшения свойств жидкого металла за счет снижения количества неметаллических включений, изменения их формы и размеров [3]. Не менее значимыми являются операции по ее термообработке.

Исходя из перечисленных недостатков, с развитием металлургической науки, было разработано новое поколение сталей. Новые виды сталей, обладая сопоставимыми эксплуатационными свойствами с литой сталью Гадфильда, почти в 1,5-2,0 раза дешевле и технологичней в применении. Наиболее широко известна сталь Hardox производства фирмы SSAB Oxelosund AB (Швеция) и аналогичные стали других предприятий. Эти стали обладают высокой прочностью, износостойкостью и хорошей свариваемостью, что обеспечивает значительную экономию средств предприятий при их использовании [5].

Сталь марки Hardox представляет собой низколегированную сталь, улучшенную закалкой и отпуском, что позволяет противостоять большинству видов износа, а также обеспечивает легкость замены деталей в ремонтных цехах горных предприятий. У стали есть 6 классов твердости (по Бриннеллю): 350НВ, 400НВ, 450 НВ, 500 НВ, 550 НВ, 600 НВ. Твёрдость придает стали износостойкость и прочность, а ударная вязкость обеспечивает возможность сгиба, формовки и сварки стали Hardox без образования

трещин. Пределы химических составов и механических свойств сталей Hardox приведены в таблице 1 и 2 по данным [5].

Таблица 1 - Химический состав сталей HARDOX

C	Si	Mn	P	S	Cr	Ni	Mo
0,150-0,470	0,250-0,700	1,000-1,600	0,015-0,025	0,004-0,020	0,100-1,500	0,100-2,500	0,040-0,800

Таблица 2 - Механические свойства сталей Hardox

Твердость, (НВ)	Предел текучести, (МПа)	Относительно удлинение A ₅ , (%)	Работа удара продольного образца 10x10 мм с V-образным надрезом при -40°С, (Дж)	CEV/CET ¹	Толщина, (мм)
310-640	850-1300	10-14	15-95	0,39-0,84/ 0,29-0,59	0,7-160

$$CEV = C + Mn/6 + (Cr + Mo + V)/5 + (Ni + Cu)/15; CET = C + (Mn + Mo)10 + (Cr + Cu)20 + Ni/40$$

В указанных пределах производится несколько классов стали, как указано выше, отличающихся составом и свойствами – каждая со своими строго ограниченными параметрами. Одной из основных особенностей стали Hardox является применение для ее изготовления чистого сырья, без добавления вторичных металлов, что также влияет на высокую прочность. Чем выше твердость износостойкой стали, тем меньше общие затраты на материал.

Например, предел прочности стали Hardox в три раза выше, чем предел прочности стали марки 10 ХСНД. Это позволяет снизить вес кузова самосвала и значительно увеличить срок его службы. Также марка стали Hardox обеспечит экономию за счет сокращения количества используемого материала при изготовлении изделия.

Для эффективного производства стали Hardox необходимо знать особенности технологии плавки, деформации, термообработки и секреты резки металлов такого типа. Каждый этап обработки специфичен и требует глубокого научного подхода.

Чистое сырье, уникальный процесс закалки и хорошо сбалансированный химический состав обеспечивает высшее качество и мелкозернистость стали Hardox. В Швеции из годового объема производства в 500 000 тонн 80-90 % отправляются на экспорт.

Сталь Hardox позволяет снижать затраты на замену запчастей и служит в 5 раз дольше чем аналогичные износостойкие литые стали предыдущего поколения, например, типа 110Г13Л. Благодаря своей прочности, долговечности и хорошей обрабатываемости сталь Hardox предоставляет возможность применения нетрадиционных конструкционных решений. Замена сталью Hardox позволит сократить экономические затраты на добычу и переработку руд горнодобывающей промышленности [5].

Изучение опыта получения аналогичных сталей на заводах СНГ показывает, что крайне необходимо проведение металлургических исследований применительно к сырью и конкретным условиям производств.

Так, например, аналогичная сталь, предназначенная заменить импорт стали Hardox, полученная на крупных металлургических предприятиях России по своим механическим и эксплуатационным свойствам не достигла свойств Hardox. Фирма SSAB выпускает высокопрочную сталь с пределом текучести от 355 МПа до 1500 МПа, а российские производители только до 500 МПа, отмечается их плохая свариваемость, третинообразование по окошечным зонам.

Использование новых высококачественных материалов играет немаловажную роль в повышении производительности сталеплавильных и других металлургических предприятий. В связи с этим получение стали с повышенными требованиями к ее качеству и свойствам в условиях казахстанских предприятий требует разработки и применения способов выплавки, отличающихся от способов, освоенных сталеплавильными предприятиями Швеции, России.

Расширение сортамента стали в сторону увеличения доли марок востребованных сталей нового поколения, в первую очередь, направлено на удовлетворение нужд предприятий металлопереработки и машиностроения Казахстана. Высокая по качеству и доступная по ценам стальная продукция отечественного производства соответственно обеспечит высокую конкурентоспособность выпускаемой продукции.

В ХМИ имени Ж.Абишева разрабатываются технологии получения высокопрочных сталей нового поколения типа Hardox для условий казахстанских литейных предприятий. Первым шагом по изучению возможности получения сталей типа Hardox, сделанным ХМИ имени Ж.Абишева, было выполнение исследований химического, структурного и фазового составов опытной пробы стали Hardox класса 450, представленной ТОО «Maker(Мэйкер)» (ТОО «Корпорация Казахмыс») для оценки ее пригодности в качестве деталей гребенки, ножей для бульдозера и ковшей экскаваторов.

Проба представляла катаный толстый лист с толщиной 50 мм. В таблице 3 представлен химический состав, определенный в Испытательном Центре ХМИ имени Ж.Абишева, который соответствовал сертификату фирмы SSAB.

Таблица 3 - Химический состав, требуемый по сертификату и данные анализа ИЦ ХМИ им Ж.Абишева

Содержание элементов, % масс							
Требования сертификата							
C	Si	Mn	P	S	Cr	Ni	Mo
0,190	0,240	1,100	0,008	0,001	0,810	0,040	0,297
Данные анализа ИЦ ХМИ им Ж.Абишева							
0,187	0,225	1,080	0,009	0,004	0,760	0,050	0,270
Углеродный эквивалент по сертификату фирмы SSAB: $CEV = C + Mn/6 + (Cr + Mo + V)/5 + (Ni + Cu)/15 = 0,60;$ $SET = C + (Mn + Mo)10 + (Cr + Cu)20 + Ni/40 = 0,369.$ Углеродный эквивалент образца стали Hardox: $CEV = C + Mn/6 + (Cr + Mo + V)/5 + (Ni + Cu)/15 = 0,58$ $SET = C + (Mn + Mo)10 + (Cr + Cu)20 + Ni/40 = 0,361$							

Несмотря на то, что содержание углеродного эквивалента выше, свариваемость стали применительно к детали «гребенка», по условиям эксплуатации не предусматривается.

Из пробы изготовили шлифы металла для определения структуры и состава фаз. Подготовку образца для исследования структуры проводили на шлифовальном станке EсоMet 250/300. Микроструктуру образца, после травления в 4 %-ном растворе азотной кислоты в этиловом спирте, исследовали на оптическом микроскопе Olympus BX51(TRF).

Микроструктура исследуемой стали Hardox представлена на рисунке 1. Металлографическим анализом установлено, что структура образца представляет собой равномерно распределенный по всей площади мелкоигльчатый сорбит.

Были проведены испытания образца стали на твердость по методу Бринелля. Результаты соответствовал сертификату фирмы SSAB.



Рисунок 1 – Микроструктура образца, x200

Твердость исследуемой стали Hardox по методу Бринелля (ГОСТ 9012-59) составила по данным сертификата 454, что в целом соответствует требованиям сертификата фирмы SSAB 425-475 НВ.

ЛИТЕРАТУРА

1. В.И. Болобов, А.П. Баталов, В.С. Бочков, С.А. Чупин. Износостойкость стали 110Г13Л в различных абразивных средах // Записи Горного института. Т.209. Санкт-Петербург, 2014.
2. А.П. Зыкова, С.Н. Федосеева, Д.В. Лычагин. Модифицирование стали 110Г13Л //Матер. VII Межд. научно-техн. конф. «Современные проблемы машиностроения». Курск, 2015. 86-90 с.
3. Н.М. Мулякко. Анализ эксплуатационной стойкости отливок из стали 110Г13Л // Известия Челябинского научного центра. – 2001. - №4 (13). - 28-30 с.
4. Гребнев, В.Ф. Жаркова, Л.В. Палаткина, Е.В. Соколова, Е.В. Кучеренко Дефосфорация стали 110Г13Л в восстановительный период плавки // Известия ВолГТУ, 2016. – С. 126-128.
5. Сайт сталелитейной компании SSAB / Режим доступа: <http://www.ssab.com/ru>
6. А.Б. Ахметов, Г.Д. Кусаинова, А.А. Кусжанова, А.Э. Ильясов, С.Н.Шаркаев. Влияние модифицирования кальцием на структуру стали Гадфильда и морфологию образующихся в ней неметаллических включений // Электрометаллургия. - 2017. - №3. - С.8-12.

MODERN LOW-ALLOY WEAR-RESISTANT STEEL FOR HIGH-STRENGTH EQUIPMENT OF MINING MACHINES

***Muskenova K.M., Akhmetov A.B., Kusainova G.D.**

ORCID: 0000-0002-9175-8049 0000-0003-2534-9973 0000-0002-3294-3359

Branch of the RSE “National Center on complex processing of mineral raw materials of the RK “Zh. Abishev Chemical-Metallurgical Institute”, Karaganda, Kazakhstan,
*hmi-2013@mail.ru

Abstract. *The article compares classical and modern high-quality and wear-resistant steels for mining equipment. For the manufacture of mining equipment should be used steel with special properties: high-strength, wear and corrosion-resistant, which is achieved by a certain chemical composition. One of such widely used wear-resistant materials was manganese austenitic steel 110G13L. However, the production of steel 110G13L compared with modern steel type Hardox represents a large cost. Modern steel type Hardox is characterized by low cost and higher processability in operation with comparable properties. The article highlights the urgency of development and development of technology in Kazakhstan for smelting new types of wear-resistant steels.*