

На правах рукописи

СЕРДИТОВ АНТОН ЕВГЕНЬЕВИЧ

**РАЦИОНАЛЬНЫЕ ЛИТЫЕ ХЛАДО- И ИЗНОСОСТОЙКИЕ
СТАЛИ ДЛЯ ГОРНОДОБЫВАЮЩЕЙ ТЕХНИКИ И
ТЕХНОЛОГИЯ ИХ ПРОИЗВОДСТВА**

Специальность 05.02.01 – «Материаловедение (машиностроение)»

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени

кандидата технических наук

Санкт-Петербург – 2007

Работа выполнена в Государственном образовательном учреждении высшего профессионального образования «Санкт-Петербургский государственный университет низкотемпературных и пищевых технологий»

Научный руководитель: Заслуженный деятель науки и техники РФ,
доктор технических наук, профессор
Солнцев Юрий Порфирьевич

Официальные оппоненты: доктор технических наук, профессор,
ГОУ ВПО «Северо-Западный государственный
заочный Технический Университет»
Пряхин Евгений Иванович,

кандидат технических наук,
ФГУП «Центральный научно-исследовательский ин-
ститут материалов» (ЦНИИМ)
Шемонаева Галина Александровна

Ведущая организация: Проектно-технологический институт ЛИТПРОМ

Защита состоится «13» ноября 2007г. в 16⁰⁰ на заседании диссертационного совета Д 212.229.19 при ГОУ ВПО «Санкт-Петербургский Государственный Политехнический Университет» (ГОУ «СПбГПУ»),
по адресу: 195251, г. Санкт-Петербург, ул. Политехническая, д.29.

С диссертацией можно ознакомиться в фундаментальной библиотеке ГОУ ВПО «Санкт-Петербургский Государственный Политехнический Университет».

Автореферат разослан «___» _____ 2007г.

Ученый секретарь диссертационного совета
доктор технических наук,
профессор _____ Востров В.Н.

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность работы. Особую актуальность проблема хладноломкости приобрела в связи с освоением Сибири и Крайнего Севера. Более половины территории России расположено севернее изотермы января с температурой -20°C . Такие районы, как Сибирь, Заполярье, Якутия, Дальний Восток, шельф Северного Ледовитого океана, характеризуются большими запасами полезных ископаемых и перспективны в промышленном отношении.

Эффективность работы оборудования и транспорта в зимнее время в этих районах резко снижается. Анализ работы автохозяйств зоны с суровым климатом показал, что срок службы автомобилей в этой зоне по сравнению с европейской частью России сокращается в 2 раза, а аварии и поломки, связанные с климатическими условиями, выводят из строя до 25 % парка машин. Поток отказов (по сравнению с летним периодом) деталей тракторов и бульдозеров увеличивается в зимнее время в 2-6 раз, деталей экскаваторов - в 5-7 раз. Особенно опасным является период пуска машин в работу после остановки.

На промыслах Сибири частота отказов буровых установок зимой возрастает по сравнению с летним периодом более чем в 2 раза. При температурах ниже -35°C во избежание крупных поломок приходится останавливать мощные экскаваторы, буровые установки, некоторые строительные машины, хотя регламентом работы северных горнодобывающих предприятий предусмотрена круглогодичная эксплуатация.

Основной поток отказов по износу падает на детали из литых сталей, подвергающиеся контакту с горными породами.

По данным ИФТПС ЯФ СО РАН, при сроке списания 10 лет фактический срок службы узлов экскаватора ЭКГ-8И составляет: для траков 2 года; для ковша 1,5 года. В зависимости от категории грунта и климатических условий стойкость зубьев ковша колеблется от 3 суток до 6 месяцев.

Низкая стойкость в зимнее время наблюдается как у отечественных экскаваторов, так и у экскаваторов зарубежного производства. Отказы зубьев составляют до 50 % отказов всех элементов механических систем экскаваторов, причем в холодный период эксплуатации число отказов возрастает в 2-3 раза.

Снижение работоспособности обусловлено не только усилением склонности металла рабочих частей к хрупкому разрушению, но и увеличением действующих нагрузок из-за смерзания грунтов.

Неудовлетворительная стойкость литых деталей при низких температурах приводит к простоям техники и большим экономическим потерям. Так масса зуба экскаватора ЭЖГ-10 составляет 0,3% от массы всей машины, а затраты на их приобретение - 25-30% годовой стоимости запасных частей к этой машине. Потери усугубляются при повышении единичной мощности машин, при которых увеличиваются нагрузки на детали и стоимость часа простоя.

Вышеизложенное показывает актуальность данной работы, ее практическую направленность и востребованность результатов для решения актуальных вопросов повышения надежности рабочего оборудования горнодобывающей техники.

Цель работы: Целью работы явилась разработка рациональных литых хладо- и износостойких сталей для горнодобывающей техники и технологии их производства.

В ходе работы для достижения поставленной цели были решены следующие задачи:

- проведен анализ причин выхода из строя по износу и разрушению рабочего оборудования карьерных экскаваторов;
- проведен анализ механических свойств и износостойкости применяемых отечественных и зарубежных сталей;
- проведены испытания на абразивную износостойкость литых сталей разного состава в условиях Университета г. Зиген (ФРГ) и сравнены полученные результаты с данными о работоспособности применяемых в настоящее время материалов;
- на основании полученных данных разработаны две новые марки износостойких и хладостойких литейных сталей для рабочего оборудования горнодобывающей техники в зависимости от характеристик добываемых пород по абразивности;
- по результатам работы сформулированы рекомендации по режимам изготовления и обработки. Утверждены технические условия на изготовление стальных фасонных отливок из предложенных марок сталей ТУ 4112-003-33902054-2005.

Научная новизна. Проведены исследования абразивной износостойкости различных марок литейных сталей, в том числе при низких температурах.

Установлены причины выхода из строя зубьев ковшей карьерных экскаваторов, в том числе из-за неудовлетворительных свойств применяемых материалов.

Разработаны две марки литейных сталей для изготовления рабочего оборудования горнодобывающей техники в зависимости от характеристик добываемых пород по абразивности, обеспечивающие повышение надежности по параметру безотказности на 20-30%.

Получены два патента на изобретения (№2303076 от 20.07.2007г. и №2303077 от 20.07.2007г.).

Практическая значимость работы заключается в разработке и внедрении двух литых сталей для изготовления зубьев ковшей карьерных экскаваторов в зависимости от характеристик добываемых пород по абразивности.

Разработаны рекомендации по выбору материалов для изготовления зубьев ковшей экскаваторов.

Разработана установка для проведения ускоренных испытаний абразивной износостойкости материалов рабочего оборудования горнодобывающей техники при низких температурах.

Результаты исследований внедрены в компании «Объединенные машиностроительные заводы».

Достоверность результатов работы обеспечивается использованием фундаментальных положений физики твердого тела, теории трения и современных методов численного анализа. Научные положения, результаты экспериментов и выводы, полученные аналитически, подтверждены экспериментально и сопоставлены с экспериментальными и теоретическими данными, полученными другими исследователями.

Апробация работы. Результаты диссертационной работы докладывались и обсуждались на 5 конференциях и семинарах, в том числе: IX научно-технической конференции «Проблемы ресурса и безопасной эксплуатации материалов», СПб, 2003г.; II научно-технической конференции «Низкотемпературные и пищевые технологии в XXI веке», СПб, 2003г.; X научно-технической конференции «Проблемы ресурса и безопасной эксплуатации материалов», СПб, 2004г.; XI научно-технической конференции «Проблемы ресурса и безопасной эксплуатации материалов», СПб, 2005г.; XII научно-технической конференции «Проблемы ресурса и безопасной эксплуатации материалов», СПб, 2006г.

Публикации. По материалам работы опубликовано 9 печатных работ, библиографический список которых приведен в конце реферата.

Объем и структура и работы. Диссертационная работа состоит из введения, пяти глав, и общих выводов. Основное содержание работы и выводы изложены на 135 страницах машинописного текста. Диссертация содержит 46 рисунков, 17 таблиц. Список литературы содержит 162 наименования.

Содержание работы

Во введении обоснована актуальность работы, сформулирована цель предполагаемого исследования, поставлены основные задачи. Показана научная новизна и практическая значимость полученных результатов.

В первой главе приведены сведения по анализу состояния существующих и развитию новых подходов к проблеме повышения износостойкости рабочего оборудования горнодобывающей техники, работающей в северных условиях.

Публикуемые в большинстве литературы данные справедливы только для ограниченных обстоятельств и конкретных условий эксплуатации и часто оказываются противоречивыми. По сей день нет единого мнения о характеристиках, могущих служить критериями оценки износостойкости. Однако большинство авторов считают, что этот критерий должен быть комплексным, включающим твердость, прочностные, пластические и вязкие свойства стали, а также температуру проведения испытаний.

Анализ опыта эксплуатации карьерных экскаваторов показывает, что эффективность работы в зимнее время в северных районах резко снижается. Зимой увеличивается расход запчастей даже тех деталей, разрушения которых при понижении температуры не происходит. Удельный расход зубьев экскаватора ЭКГ-8 при понижении температуры увеличивается почти в 3 раза. При этом доля разрушившихся зубьев резко возрастает, и в интервале температур от -30 до -45°C она превышает 50% их удельного расхода на 1 тыс. тонн горной массы. Расход износившихся зубьев с понижением температуры увеличивается почти в 2 раза. Это указывает на снижение износостойкости стали, так как нельзя ожидать резкого увеличения абразивной способности горных пород при понижении температуры. Однако, не смотря на определенное развитие теории трения и изнашивания в последние годы, до сих пор остается ряд вопросов требующих уточнения.

В отечественной практике зубья ковша изготавливаются из стали 110Г13Л, химический состав которой по ГОСТ 2176-77: С - 0,9-1,4%, Si - 0,8-1,0%, Mn - 11,5-15,0%, Cr \leq 1,0%, Ni \leq 1,0%, Cu \leq 0,3%, S \leq 0,05%, P \leq 0,12%. Механические свойства стали 110Г13Л: $\sigma_{\text{T}} \geq 400$ МПа, $\sigma_{\text{в}} \geq 800$ МПа, $\delta \geq 25\%$, $\psi \geq 35\%$, $\text{KCV}^{-60} \geq 70$ Дж/см², HB ≥ 190 .

Марганцевый аустенит хорошо наклёпывается при высоких удельных давлениях и ударных нагрузках. После деформации его твердость может достигать 50-55 HRC, однако большинство опубликованных в литературе данных свидетельствуют о недостаточной износо- и хладостойкости рабочего оборудования горнодобывающей техники, изготовленного из стали 110Г13Л. Кроме того, сталь Гадфильда и все ее современные модификации являются экологически опасными при выплавке и ремонте, так, например, при

сварке плавлением содержание оксида марганца более чем в 4 раза превышает предельно допустимые нормы.

В работе проведен анализ патентной литературы и других источников информации с целью уточнения направления исследований по выбору материала, удовлетворяющего современным эксплуатационным свойствам зубьев ковшей экскаваторов. Установлено, что в России и ряде стран ведутся интенсивные разработки среднеуглеродистых сталей повышенной износостойкости и показана целесообразность разработки новых марок среднеуглеродистых низколегированных сталей с добавками хрома, никеля и молибдена. Однако, информация о применении таких материалов для изготовления рабочего оборудования горнодобывающей техники носит противоречивый либо отрывочный характер.

Во второй главе обосновывается выбор материалов для исследования, описываются технологии и режимы их выплавки, термической обработки, технологии изготовления образцов для механических испытаний и испытаний на износостойкость. В работе были использованы как стали промышленной плавки, в частности, материалы рабочего оборудования горнодобывающей техники после эксплуатации, так и опытные плавки, которые были выплавлены на ОАО «Ижорские заводы» в открытой высокочастотной индукционной печи с основной футеровкой. Температура стали при выпуске из печи 1600-1610 °С, температура разливки около 1550 °С. Предварительное раскисление в печи осуществляли 45 % ферросилицием. Для окончательного раскисления на дно ковша помещали 0,1 % Al от массы металла. Разливка осуществлялась заполнением предварительно просушенных песчано-глинистых форм. Бруски подвергались гомогенизации при температуре 1100 – 1120 °С, в течении 0,5 ч., закалке с температуры 890-920°С с охлаждением в масле с последующим отпуском при температуре 200°С и 600°С.

В исследовании использовались микроскопы МИМ-8, ММР-2 и электронный микроскоп JSM-35.

На основании анализа существующих методов для исследования износостойкости были разработаны и приняты следующие схемы и методики испытаний.

1. На базе Университета г. Зиген (ФРГ) при участии автора была разработана установка для испытания металлов на абразивное изнашивание о закрепленные на бумаге абразивные частицы. Схема испытания представлена на рис. 1.

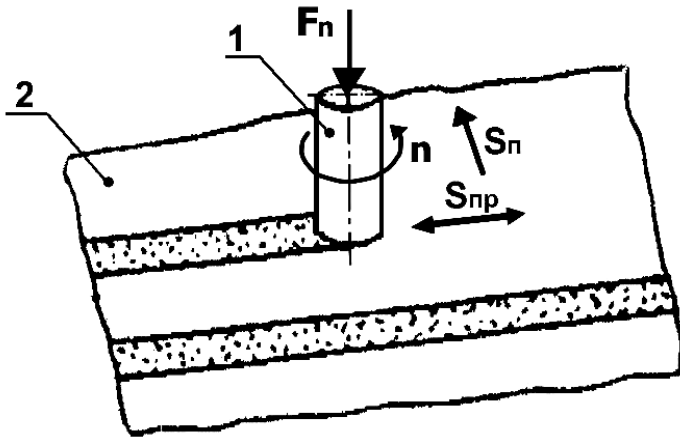


Рис. 1. Схема испытания износостойкости при низких температурах:

1 – образец; 2 – абразивная бумага;

F_n – нагрузка на образец; n – вращение образца вокруг оси; $S_{пр}$ – продольное перемещение стола с абразивной бумагой; S_n – поперечное перемещение образца

Стол станка с закрепленной на нем абразивной бумагой, совершает продольное перемещение, а закрепленный в шпинделе станка образец совершает поперечное движение и одновременно вращается вокруг своей оси. Благодаря этому образец не только всегда движется по новому абразиву, но и стачивается равномерно, имея неизменную площадь контакта. Оценку износа определяли по потере массы образца, отнесенной к длине пробега.

Для испытаний были выбраны следующие характеристики образцов: диаметр образца 6 мм; длина образца – 40 мм; площадь контакта 0,283 см². Были использованы абразивные бумаги на основе SiO₂ - оксида кремния (HV 1000), SiC - карбида кремния (HV 2700), Al₂O₃ - корунда (HV 1800), причем размер абразивных частиц составлял 70 мкм и 200 мкм. Испытания проводились при начальных температурах +20°C и -80°C. Путь трения образца был выбран равным 10м; удельная нагрузка – 1,75 и 3,10 МПа (нагрузка на образец диаметром 6 мм составляла соответственно 5 и 9 кг); скорость скольжения - 10 м/мин. Эти режимы обеспечивали постоянство температуры в зоне трения и минимальный разброс значений величины износа испытываемых материалов.

2. На базе ОАО «Ижорские заводы» была разработана установка для испытания металлов на ударно-абразивный износ. За основу была взята испытательная машина Instron, на которой в циклическом режиме с частотой 2 Гц и усилием около 1500 кг в емкость с гранитным щебнем внедрялся образец сечением 10x10 мм. Оценка износа определялась по потере массы образца.

В третьей главе приведена анализ причин выхода из строя рабочих органов горнодобывающей техники, изготовленных из стали 110Г13Л и разработка нового состава сталей для зубьев ковшей экскаваторов.

Для легирования стали 110Г13Л, как правило, используется высокоуглеродистый ферромарганец с массовой долей фосфора до 0,70%. Однако при таком варианте легирования в структуре стали появляется зернограничные карбофосфидные выделения, которые оказывают отрицательное влияние на хладостойкость, в результате чего реализуется механизм хрупкого разрушения в стали с аустенитной структурой.

Основным достоинством стали Гадфильда считается её высокая износостойкость при приложении особо высоких удельных давлений, обеспечивающих наклеп аустенитной структуры. При других условиях эксплуатации износостойкость данного типа сталей практически не отличается от износостойкости обычных углеродистых сталей.

Для оценки износостойкости зубьев ковшей экскаваторов, изготовленных из стали 110Г13Л был проведен анализ условий работы экскаваторов типа ЭКГ. Для карьерных экскаваторов типа ЭКГ основным параметром, определяющим нагрузки на рабочий орган, является наибольшее усилие на подвеске ковша, которое в зависимости от типа экскаватора может колебаться от 490 кН (ЭКГ-5) до 2000 кН (ЭКГ-20). Расчеты показали, что в момент касания зубьями породы напряжения в них составят менее 30% от величины $\sigma_{0,2}=360-380$ МПа, что недостаточно для существенного увеличения за счет наклепа исходной твердости стали 110Г13Л, которая составляет 200-230 НВ. Проведенные эксперименты показали, что для увеличения твердости хотя бы до 420 НВ, на подвеске ковша необходимо усилие в 18 раз превышающее предусмотренное конструкцией. Это подтверждается результатами замеров твердости на наружной поверхности передней стенки ковша экскаватора ЭКГ-10 изготовленной из стали 110Г13Л и отработавшей в ОАО «Качканарский ГОК». В местах контакта с горной породой твердость стали составляла 240 НВ.

Разработка рациональных химических составов сталей проводилась на основании анализа результатов патентных и литературных данных, исследований, проведенных автором в Университете г. Зиген (ФРГ), исследований проведенных на ОАО «Ижорские заводы», ООО «ОМЗ-Спецсталь» и на кафедре технологии металлов и металловедения СПбГУНиПТ. Сравнительные исследования показали, что наиболее перспективными с точки зрения повышения хладо- и износостойкости являются среднеуглеродистые стали, упрочняемые закалкой.

На основании проведенных исследований установлено, что увеличение содержания углерода, а также введение в сталь хрома и молибдена благоприятно сказывается на износостойкости стали. Однако, содержание этих элементов должно быть строго ограничено исходя из экономических и технологических аспектов решения вопроса о разработке

материала. Введение кремния неблагоприятно сказывается на износостойкости, поэтому желательно, чтобы его содержание в стали было по возможности минимальным. Основными ограничениями, препятствующими уменьшению его содержания, являются технологические особенности выплавки стали, в частности, необходимость ее полного раскисления.

Для составления матрицы и проведения математического планирования эксперимента по разработке рациональных химических составов сталей были установлены следующие границы варьирования опытных сталей, %: 0,30 - 0,50 C; 0,90 – 3,50 Cr; 1,0 - 2,5 Ni; 0,20-0,60 Mo. Содержание остальных элементов закреплено на постоянном уровне и составляло: 0,30-0,50 Si; 0,80-1,00 Mn; 0,10-0,15 V; 0,03-0,06 Al; $\leq 0,30$ Cu; $\leq 0,02$ S; $\leq 0,02$ P.

При построении математической модели был использован квази-D-оптимальный план второго порядка (табл. 1).

Таблица 1

Химический состав опытных плавок по матрице планирования экспериментов

№ опыта	Матрица				Составы опытных плавок, масс.%			
	X ₁	X ₂	X ₃	X ₄	C	Cr	Ni	Mo
1	+	+	+	–	0,48	3,47	2,50	0,21
2	+	–	+	+	0,50	0,92	2,48	0,57
3	+	+	–	+	0,50	3,45	1,02	0,58
4	–	+	–	+	0,31	3,51	1,04	0,58
5	+	–	+	+	0,48	0,91	2,47	0,57
6	–	–	–	–	0,31	0,90	0,98	0,22
7	+	–	–	0	0,52	0,90	1,05	0,44
8	–	+	+	0	0,30	3,45	2,47	0,40
9	–	0	+	–	0,29	2,18	2,51	0,25
10	–	+	0	–	0,30	3,50	1,72	0,27
11	0	–	–	+	0,41	0,94	0,98	0,56
12	0	+	–	–	0,41	3,47	1,00	0,23
13	0	–	+	–	0,39	0,93	2,48	0,20
14	0	+	+	+	0,40	3,52	2,50	0,55
15	0	0	0	0	0,40	2,20	1,77	0,38
16	+	+	–	0	0,48	3,48	1,02	0,42

На основании реализации матрицы были получены уравнения регрессии по износостойкости материалов, которые показали, что основной вклад в увеличение износостойкости вносит содержание углерода, сопротивление хрупкому разрушению обеспечивается дополнительным легированием Ni, Cr и Mo.

В случае оценки по параметру «Износостойкость – тах» и выполнении условий $KCV^{40} \geq 20$ Дж/см² и $KCV^{40} \geq 25$ Дж/см², для условий различных горных пород были получены соответствующие группы материалов (табл. 2).

Таблица 2
Область оптимального легирования износостойких сталей

Составы	Легировующие элементы, масс %									
	C	Cr	Ni	Mo	Si	Mn	V	Al	P	S
									не более	
Малоабразивные породы	0,30-0,35	0,95-1,40	0,80-1,10	0,20-0,30	0,30-0,50	0,80-1,20	0,10-0,15	0,03-0,06	0,020	0,015
Высокоабразивные породы	0,38-0,45	2,0-2,50	1,30-1,60	0,20-0,30	0,30-0,50	0,80-1,20	0,10-0,15	0,03-0,06	0,020	0,015

В четвертой главе проведено исследование механизма абразивного изнашивания литых хладостойких сталей горнодобывающей техники. Приведены фрактограммы поверхностей шлифов сталей с различной прочностью, из которых следует, что при испытаниях наблюдаются все известные механизмы повреждения поверхности при абразивном износе: упругое оттеснение, пластическое оттеснение и срез. Наиболее часто встречающимся механизмом является микрорезание, которое сопровождается первоначальным внедрением абразивных частиц породы в металл и при дальнейшем перемещении происходит микрорезание. Однако если частице не удастся проникнуть в металл на достаточную глубину, то основным видом повреждений становится пластическое оттеснение (царапание) – образование углублений на поверхности трения в направлении скольжения при взаимодействии твердых частиц. Это, скорее всего, образование пластически выдавленных канавок с последующим деформированием поверхностных слоев и отделением частиц металла в результате отслаивания или выкрашивания. На рис. 2 приведены типичные фрактограммы поверхности шлифа из стали 30ХГНМФЛ.



Рис. 2 Фрактограммы поверхности шлифа из стали 30XГНМФЛ

а – типичный участок поврежденной поверхности микрошлифа. Видны внедрившиеся частицы минерала и грубые риски.

б – при большем увеличении на участках грубых рисков выявлены два механизма их образования: - в результате микрорезания; - в результате царапания с пластическим оттеснением металла в виде гребешков на боковые стенки рисков.

в – участок поврежденной поверхности, где частица минерала начала царапать поверхность, затем произошло микрорезание и обломок частицы внедрился в металл с пластическим оттеснением металла в виде гребня.

Фрактографическими исследованиями показано, что при изменении твердости металла происходит переход от микрорезания к пластическому оттеснению. Эта смена механизма объясняется глубиной проникновения абразива в металл. На рис. 3 показано влияние твердости стали на износостойкость.

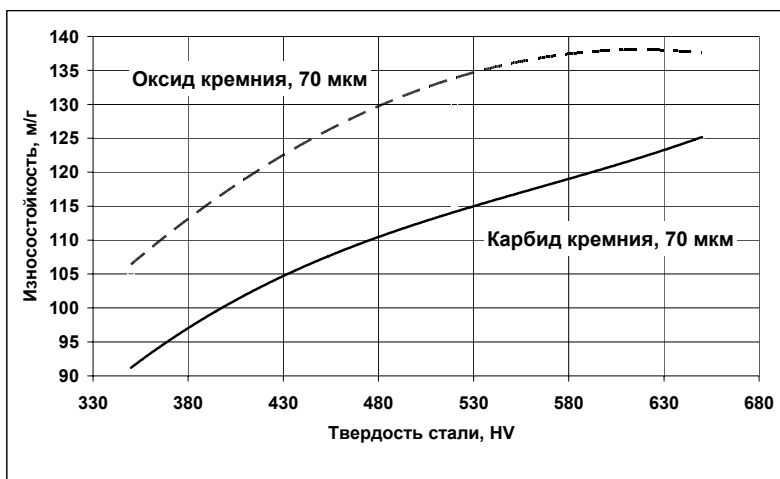


Рис. 3 Влияние твердости стали на износостойкость

Анализ испытаний на абразивный износ показал, что при абразивном износе в условиях малоабразивных пород необходимо и достаточно иметь твердость стали порядка 520 HV, однако при работе в высокоабразивных породах необходимо стремиться к обеспечению твердости порядка 600 HV. Это же подтверждается и рис. 4, где видно, что при твердости свыше 600 HV внедрение абразивной частицы мало и поэтому износ будет происходить по механизму пластического оттеснения при многократном циклическом воздействии, а дальнейшее увеличение твердости металла не приводит к значительному уменьшению глубины внедрения частиц.

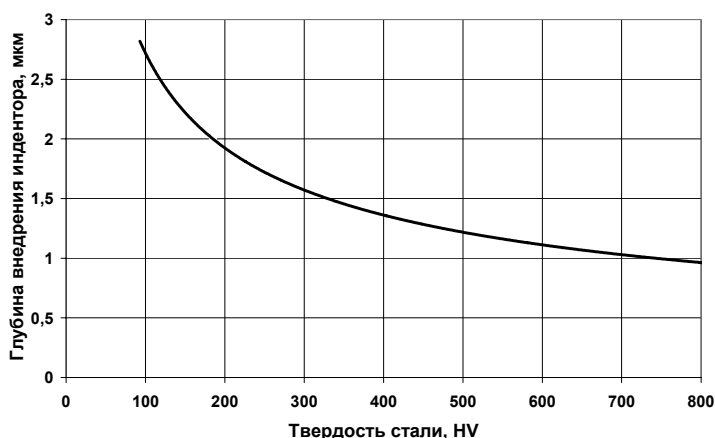


Рис. 4 Влияние твердости стали на глубину внедрения алмазного индентора

Таким образом, металл не только должен иметь высокую твердость, но и высокую усталостную прочность при знакопеременных нагрузках, что должно обеспечиваться высокой чистотой по вредным примесям и гомогенностью металла.

Пятая глава диссертации посвящена исследованию опытных марок сталей, химический состав которых был определен в главе 3. Были разработаны и утверждены технические условия на опытную партию отливок ТУ 4112-003-33902054-2005.

Проведены исследования влияния термической обработки на свойства сталей, определены режимы термической обработки состоящей из закалки с 890-920 °С с охлаждением в масле и низкого отпуска 200-220 °С или высокого отпуска 600-630 °С (табл. 3). Выбор температуры отпуска зависит от конкретных условий, в которых происходит эксплуатация оборудования горнодобывающей техники.

Механические свойства и ударная вязкость сталей
после закалки и низкого отпуска (а) и высокого отпуска (б)

Свойства	Породы			
	Малоабразивные		Высокоабразивные	
	а	б	а	б
σ_B , МПа	1650	1000	1750	950
$\sigma_{0,2}$, МПа	1450	900	1600	850
δ , %	8	15	5	12
ψ , %	20	40	10	25
KCV ^{+20 °C} , Дж/см ²	39	45	33	40
KCV ^{-40 °C} , Дж/см ²	25	30	20	25
НВ	520	280	600	300

На основании исследований проведенных на кафедре технологии металлов и металловедения СПбГУНИИПТ и практических наблюдений было рекомендовано введение в разработанные стали кальция в количестве 0,005-0,010% и церия в количестве 0,005-0,010%. Модифицирование стали ЦЗМ и РЗМ позволило уменьшить развитие химической и структурной неоднородности, благоприятно изменить природу и форму неметаллических включений, повысить комплекс технологических, механических и эксплуатационных свойств.

Из опытной стали ООО «ОМЗ-Спецсталь» были изготовлены зубья для ковшей экскаваторов. Отливки были изготовлены согласно предложенной технологии и прошли опытно-промышленное опробование на ряде предприятий России, показав увеличение износостойкости на 20-30% по сравнению со сталью 110Г13Л.

Разработана технология изготовления фасонных отливок зубьев ковшей экскаваторов типа ЭКГ, включающая в себя подготовительные операции по литью, сам процесс литья и термическую обработку.

Основные выводы по работе:

1. В зависимости от категории грунта и климатических условий стойкость зубьев ковша колеблется от 3 суток до 6 месяцев. Отказы зубьев составляют до 50 % отказов всех элементов механических систем экскаватора, причем в холодный период эксплуатации число отказов возрастает в 2-3 раза. Неудовлетворительная стойкость зубьев при низких температурах приводит к простоям техники и большим экономическим потерям.
2. Проведены работы по анализу причин выхода из строя зубьев ковшей карьерных экскаваторов изготовленных из стали 110Г13Л. Основным легирующим элементом при-

меняемой сегодня стали 110Г13Л является марганец. Легирование марганцем обычно проводится с помощью более дешевого доменного ферромарганца, содержащего до 0,7% фосфора. При использовании такого высокоуглеродистого ферромарганца в структуре стали появляется карбофосфидные выделения, которые оказывают отрицательное влияние на хладостойкость, в результате чего реализуется механизм хрупкого разрушения.

Показано, что при существующей конструкции экскаваторов и нагрузках на зубья ковша не реализуются условия сильных удельных давлений, в результате чего существенного наклепа не происходит и сталь 110Г13Л с исходной низкой твердостью быстро изнашивается.

3. Разработана методика исследования абразивной износостойкости, учитывающая различные температурно-силовые условия. Фрактографическими исследованиями показано, что при изменении твердости металла происходит переход от одного механизма повреждения поверхности к другому. Эта смена механизма объясняется глубиной проникновения абразива в металл. При достаточно высокой твердости поверхности металла, внедрение абразивной частицы крайне мало и износ происходит по механизму пластического отеснения, а не микрорезания.
4. Разработана установка для проведения ускоренных испытаний абразивной износостойкости материалов рабочего оборудования горнодобывающей техники при низких температурах и проведены испытания на абразивный износ при низких температурах в условиях Университета г.Зиген (ФРГ) и ОАО «Ижорские заводы».
5. В результате испытаний опытных образцов установлено, что в условиях малоабразивных пород необходимо и достаточно иметь твердость стали порядка 520 HV, при работе в высокоабразивных породах следует стремиться к увеличению твердости до 600 HV, одновременно сохраняя достаточный уровень ударной вязкости для предотвращения опасности хрупкого разрушения при низких температурах ($KCV^{+20} \geq 30$ Дж/см², $KCV^{-40} \geq 20$ Дж/см²).
6. Разработаны две рациональные марки литейных сталей для изготовления рабочего оборудования горнодобывающей техники в зависимости от характеристик добываемых пород по абразивности.
7. На разработанные марки сталей получены два патента на изобретение №2303076 от 20.07.2007г. и №2303077 от 20.07.2007г. и предложена технология их изготовления, разработаны и утверждены технические условия ТУ 4112-003-33902054-2005. Выпол-

нены опытно-промышленные испытания сталей, показавшие повышение надежности по параметру безотказности на 20-30%.

Публикации:

1. Сердитов А.Е., Лебедев В.В., Солнцев Ю.П. Литые износостойкие стали для горнодобывающей техники, работоспособность некоторых литых деталей северной техники // Проблемы ресурса и безопасной эксплуатации материалов. Сборник трудов. СПб: СПбГУНиПТ, 2003. – С. 70-77
2. Сердитов А.Е., Лебедев В.В., Солнцев Ю.П. Литые износостойкие стали для деталей северной техники // Низкотемпературные и пищевые технологии в XXI веке: Сборник трудов 2-й международной конференции. СПб: СПбГУНиПТ, 2003. Т.1. – С. 129-135
3. Сердитов А.Е., Лебедев В.В. Исследование износостойкости хладостойких литейных сталей на различных горных породах // Проблемы ресурса и безопасной эксплуатации материалов. Сборник трудов. СПб: СПбГУНиПТ, 2004. – С. 97-102
4. Сердитов А.Е. Исследование сталей для литых износостойких деталей техники пищевых производств / Санкт-Петербургский гос. универс. низкотемп. и пищ. техн. – СПб, 2005. – 156 с. Деп. ВИНТИ 07.04.2005 №465-B2005
5. Разработка и исследование литых износостойких сталей, работающих в условиях Севера и Сибири / Сердитов А.Е., Лебедев В.В., Солнцев Ю.П., Weiß H., Kern E. // Проблемы ресурса и безопасной эксплуатации материалов. Сборник трудов. СПб: СПбГУНиПТ, 2005. – С. 146-151
6. Лебедев В.В., Сердитов А.Е., Солнцев Ю.П. Повышение ресурса зубьев ковшей экскаваторов северного исполнения // Проблемы ресурса и безопасной эксплуатации материалов. Сборник трудов. СПб: СПбГУНиПТ, 2006. –С. 194-201
7. Сталь износостойкая ССИЛ-500: пат. 2303077 Рос. Федерация : МПК⁷ С22С 38/46/ Дурьнин В.А., Лебедев В.В., Солнцев Ю.П., Сердитов А.Е., Х.Вайс, Е.Керн, Габов В.В., Болобов В.И; заявитель и патентообладатель Общ. с огранич. ответств. «ОМЗ-Спецсталь». – № 2005132773/02; заявл. 24.10.05; опубл. 20.07.07, Бюл. №20
8. Сталь износостойкая ССИЛ-600: пат. 2303076 Рос. Федерация : МПК⁷ С22С 38/46/ Дурьнин В.А., Лебедев В.В., Солнцев Ю.П., Сердитов А.Е., Х.Вайс, Е.Керн, Габов В.В., Болобов В.И; заявитель и патентообладатель Общ. с огранич. ответств. «ОМЗ-Спецсталь». – № 2005132698/02; заявл. 24.10.05; опубл. 20.07.07, Бюл. №20
9. Солнцев Ю.П., Сердитов А.Е., Лебедев В.В. Повышение ресурса литых деталей экскаваторов северного исполнения // Известия высших учебных заведений. Черная металлургия. 2007. –№3. –С. 35-39

