

МИНИСТЕРСТВО ПРОСВЕЩЕНИЯ УКРАИНЫ

Запорожский ордена "Знак Почета" машиностроительный
институт им. В. Я. Губаря

На правах рукописи

ШЕЙКО Сергей Петрович

УДК. 669.14.018.252.3:666.1.031.848.

РАЗРАБОТКА И ИСПЫТАНИЕ МАТЕРИАЛОВ ДЛЯ НОЖЕЙ КАПЕЛЬНЫХ
ПИТАТЕЛЕЙ СТЕКЛОФОРМУЮЩИХ МАШИН

Специальность 65.02.01. - материаловедение в машиностроении
/промышленность/

А В Т О Р Е Ф Е Р А Т

диссертации на соискание ученой степени кандидата
технических наук

Запорожье - 1993г.

21

АВ 28.065

Работа выполнена в Запорожском ордена "Знак Почета" машиностроительном институте им. В. Я. Чубаря.

Научный руководитель - доктор технических наук, профессор, заслуженный деятель науки и техники Украины
Волчок Г. П.

Научный консультант - кандидат технических наук, старший научный сотрудник Колотилкин О. Б.

Официальные оппоненты - д. т. н., профессор Коваль А. Д.
к. т. н., с. н. с. Соколюк К. Ю.

Ведущее предприятие - Киевский завод стеклоизделий.

Защита состоится "5" октября 1993г. в ауд. 253 в 16³⁰ час. на заседании специализированного совета К 068.38.01 при Запорожском ордена "Знак Почета" машиностроительном институте им. В. Я. Чубаря по адресу: 330063, г. Запорожье, ГСП-39, ул. Луковского, 64.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Запорожского ордена "Знак Почета" машиностроительного института им. В. Я. Чубаря. Автореферат разослан "18" августа 1993г.

Ученый секретарь
специализированного совета,
доктор технических наук,
профессор

ЛНБ України ім. В. Стефаника



00802347 (0)

Г. П. Волчок — И. П. Волчок.

ЛНБ ім. В. Стефаника

Общая характеристика работы

Актуальность проблемы. В процессе производства стеклотехнологий ряд деталей стеклоформующего оборудования работает в контакте с расплавленным стеклом. К числу таких деталей относятся ножи капельных пилателей, которые предназначены для резки на дозированные части /капли/ струи расплавленной стекломассы, непрерывно вытекающей из печи. Практикой производства установлено, что наиболее эффективным материалом для изготовления ножей является быстрорежущая сталь. В настоящее время в стране и за рубежом основную массу ножей изготавливают из наиболее распространенной стали типа Р6М5. Основными недостатками существующей технологии являются: высокая стоимость и дефицит быстрорежущей стали, в ряде случаев неудовлетворительная стойкость ножей.

Основные этапы работы выполнены в соответствии с планом научно-исследовательских работ по программе РИДП "Материалоземкости" №.82.02.Ц.07.01.07 "Исследовать закономерности изнашивания материалов и накопление повреждений, разработать и внедрить низколегированные сплавы и технологию изготовления из них деталей для конкретных условий эксплуатации" и по заданию корпорации "Укроборинструменталы" 3.16.036.07 "Разработать и внедрить в производство новые материалы для деталей стеклоформующего оборудования, работающих в условиях термодинамических нагрузок, поверхностно-активных сред, коррозионного износа, а также технологии их изготовления и восстановления", № гос.рег. 01860064695.

Цель работы заключалась в разработке экономизированной стали с повышенными эксплуатационными характеристиками и в освоении технологии производства литейных ножей с целью использования на

предприятиях отрасли отходов быстрорежущей стали.

Для достижения поставленной в работе цели были решены следующие задачи:

- в производственных условиях определен температурный режим работы ножей и выполнен анализ причин их выхода из строя;
- с применением методов математического планирования эксперимента второго порядка получены уравнения регрессий, описывающие влияние вольфрама, молибдена и ванадия на механические и служебные свойства стали при комнатной и высоких температурах;
- изучено влияние легирования и модифицирования на структуру, строение карбидной фазы, механические и служебные свойства стали при комнатной и высоких температурах;
- предложен состав экономьслегированной стали для производства ножей методом литья;
- разработана конструкция литого ножа повышенной стойкости;
- проведено опробование и внедрение предложенного сплава в производство;
- увеличен ресурс работы ножей в 1,5 - 2,0 раза и снижен расход дефицитной быстрорежущей стали.

Научная новизна. Уточнен механизм разрушения материала ножей при контакте с расплавленной стекломассой.

Получены зависимости, описывающие влияние основных легирующих элементов /вольфрама, молибдена и ванадия/ на механические и служебные свойства быстрорежущей стали при комнатной и высокой температурах.

Получены дополнительные данные о влиянии легирования и мо-

диффизирования /титан, ниобий, цирконий, бор, легатура АКЦе/ на формирование структуры и карбидной фазы, а также на характер разрушения, механические и служебные свойства быстрорежущей стали при комнатной и высоких температурах.

Практическая ценность и реализация результатов работы.

Полученные в работе зависимости позволили разработать экономно-легированную сталь для изготовления ножей капельных питателей следующего состава, масс.-%: 0,85-0,95 углерода; 0,3-0,6 марганца; 0,5-0,8 кремния; 4,0-5,0 хрома; 1,7-2,0 молибдена; 2,0-2,5 вольфрама; 1,6-1,8 ванадия; 0,3-0,5 никеля; 0,05-0,15 ниобия; 0,002-0,006 бора; железо - основа.

Внедрение сталей в производство позволило в 1,5-2,0 раза увеличить ресурс работы ножей и получить экономический эффект.

Экономическая эффективность работы. Годовой экономический эффект от внедрения результатов работы составил /в ценах до 1990 года/ на Песковском заводе стеклоизделий 49709 рублей; на Мерефинском стекольном заводе 11225 рублей.

Автор защищает:

- зависимости механических и служебных свойств стали от ее состава при 20° С и 750° С;
- сведения о влиянии легирования и модифицирования на фор-

мирование структуры и карбидной фазы при 20° С и 750° С;

- состав экономнолегированной стали /а.с. №1446191.

а.с. №1525229/;

- состав шихты для быстрорежущей стали /а.с. №1786104/;

- конструкцию литого ножа повышенной стойкости /а.с.

№148648/;

- результаты промышленного опробования и внедрения.

Апробация работ. Основные материалы диссертации докладывались и обсуждались на всесоюзных научно-технических конференциях: "Новые конструкционные стали и сплавы и методы их обработки для повышения надежности и долговечности деталей", /Запорожье, 1986; 1989/; республиканских научно-технических конференциях "Неметаллические включения и газы в литейных сплавах", /Запорожье, 1988; 1991/; "Повышение технического уровня и совершенствование технологических процессов производства отливок", /Днепропетровск, 1990/; областных научно-технических конференциях молодых ученых "Молодые ученые и специалисты - реализации региональных, целевых комплексных программ, ускорению научно-технического прогресса", /Запорожье, 1986; 1988/.

Публикации. По материалам диссертации опубликовано 19 работ, получено четыре авторских свидетельства на изобретения.

Ученые работы. Диссертационная работа состоит из введения,

4 глав, основных выводов и приложений; она состоит из 163 страниц машинописного текста, 28 рисунков, 20 таблиц, 5 приложений.

Список литературы включает 115 источников. В приложения включены акты о внедрении и расчеты экономической эффективности.

Содержание работы

Во введении обоснована актуальность темы, сформулированы цели и задачи исследований, изложены научная новизна, практическая ценность и экономическая эффективность выполненной работы.

В первой главе дан обзор литературы по теме диссертационного исследования. Показано, что условия работы ножей каплевидных питателей существенно отличаются от условий работы металлорежущего инструмента. Ножи периодически, в течении долей секунды, соприкасаются с расплавленной стекломассой, после чего подвергаются охлаждению. Режущая кромка ножа нагревается до более высоких температур /30-800°С/, чем кромка инструмента из быстрорежущей стали /500-650°С/. В то же время усилия резания расплавленного стекла значительно ниже, чем усилия резания металла.

Установлено, что в отличие от металлорежущего инструмента материал ножей каплевидных питателей подвергается воздействию термохимической эрозии и термоциклическим нагрузкам. Поэтому при разработке материала для ножей, кроме стандартных, необходимы специальные виды испытаний, характеризирующие сопротивление термохимической эрозии и термостойкость материала.

Производственным опытом установлено, что наиболее перспективным материалом для изготовления ножей является быстрорежущие стали. В связи с этим представляется перспективной опти-

зация состава стали с учетом условий работы ножей.

Во второй главе проводится описание материалов и методов их испытаний.

Объектами исследований были литые быстрорежущие стали с различной степенью легирования вольфрамом, молибденом и ванадием, а также модифицированные элементами, обладающими высоким химическим сродством к углероду /титан, цирконий, ниобий, бор/, кислороду и сере /кальций и РЗМ/.

Плавки стали осуществляли в индукционных печах типа ИСТ с основной футеровкой емкостью 25 и 120 кг. Отливки получали методом фракционной разливки стали постоянного состава. Для предотвращения насыщения металла газами наводили искусственный шлак из кварцевого песка и плавикового шпата. Заливку металла опытных плавков осуществляли в сухих песчаных формах. Температура металла на выпуске составляла 1720°C , температура заливки форм -1650°C . Из металла отливали заготовки, из которых вырезали образцы для контроля структуры, механических свойств и других показателей.

Состав сталей контролировали химическим и спектральным методами, металлографический анализ осуществляли на оптических микроскопах. Микрорентгеноспектральный анализ состава карбидов * выполняли на микрозонде "Самека М-46", фратографический анализ свежих изломов образцов $10 \times 10 \times 15$ мм изучали на растровом микроскопе JS MT-300.

Для определения предела прочности при растяжении при комнатной и повышенной температурах проводили испытания на машине УМЗ-10 т на пятикратных образцах диаметром 5 мм.

Твердость определяли на твердомере ТК-2. Для определения твердости при повышенных температурах использовали приспособление,

* В работе принимали участие с.н.с. А.Л.Хвалин и и.с. В.Мороз

позволяющее производить нагрев образцов до 800°C .

Испытание материалов на изнашивание проводили на типовой машине МИ-1 в условиях трения скольжения при нагрузке $P=500\text{ Н}$, частота вращения верхнего образца 300 мин^{-1} и неподвижном нижнем образце. Время испытаний образцов под нагрузкой составляло 10 мин. Перед началом испытаний образцы предварительно прирабатывались друг к другу.

Способность сталей сопротивляться термохимической эрозии при периодическом контакте с расплавленным стеклом определяли при помощи специальной установки, имитирующей условия работы ножей.

В третьей главе приводятся результаты исследований по оптимизации состава экономнолегированной стали для ножей капельных питателей.

Анализ условий эксплуатации ножей показал, что одной из основных причин выхода их из строя является окисление рабочих поверхностей, контактирующих с расплавленным стеклом. В то же время хорошо известно, что основные легирующие элементы быстрорежущих сталей вольфрам и молибден ускоряют окисление на воздухе сплавов железа при высоких температурах. Это делает перспективным поиск и разработку экономнолегированных сталей для изготовления ножей капельных питателей.

Оптимизацию содержания вольфрама, молибдена и ванадия в литой быстрорежущей стали осуществляли методом математического планирования эксперимента. План эксперимента содержал полный многофакторный эксперимент второго порядка.

Пределы варьирования вольфрама /0,5-5,5%/, молибдена /1,64-8,36%/, ванадия /0,65-4,85%/, были выбраны на основе литературных данных и опыта производства. В качестве функции отклика приняли показатели механических свойств при комнатной и

повышенной температурах /20°C, 750°C/, износостойкость и скорость эрозии в расплавленной стекломассе.

Регрессионный анализ полученных результатов механических и служебных свойств стали позволил установить ряд корреляционных зависимостей, описывающих влияние вольфрама, молибдена и ванадия на исследуемые показатели свойств:

$$\text{HRC}_{20} = 47,669 + 8,117 \text{ Mo} - 2,51\text{W} + 4,12\text{V} - 0,812 \text{ Mo}^2 + 0,209 \text{ MoW} - 0,851 \text{ MoV} - 0,341 \text{ W}^2 + 1,668\text{WV} - 1,625 \text{ V}^2 \quad /1/$$

$$\text{HRC}_{750} = 59,573 - 8,675 \text{ Mo} - 10,762\text{W} - 4,469\text{V} + 0,637 \text{ Mo}^2 + 0,667 \text{ MoW} + 0,504\text{W}^2 + 1,601\text{WV} - 0,407 \text{ V}^2 \quad /2/$$

$$G_{20} = 946,643 + 56,042 \text{ Mo} - 165,593\text{W} - 14,41\text{V} + 0,06 \text{ Mo}^2 + 3,04 \text{ MoW} - 32,477 \text{ MoV} + 2,074 \text{ W}^2 + 40,767\text{WV} + 16,696 \text{ V}^2 \quad /3/$$

$$G_{750} = 709,344 + 322 \text{ Mo} + 183,54\text{W} + 194,915\text{V} - 24,979 \text{ Mo}^2 - 9,174 \text{ MoW} - 19,11 \text{ MoV} - 19,238\text{W}^2 - 0,934\text{WV} - 13,663 \text{ V}^2 \quad /4/$$

$$\text{KC}_{20} = 0,042 + 0,013 \text{ Mo} + 0,0171\text{W} + 0,0246\text{V} - 0,001 \text{ Mo}^2 + 0,0026 \text{ MoW} - 0,0036 \text{ MoV} - 0,0035\text{W}^2 - 0,0021\text{WV} - 0,0006 \text{ V}^2 \quad /5/$$

$$\text{KC}_{750} = 2414 - 0,345 \text{ Mo} - 0,0436\text{W} + 0,126\text{V} + 0,0097 \text{ Mo}^2 + 0,002 \text{ MoW} - 0,0244 \text{ MoV} + 0,0142\text{W}^2 - 0,0202\text{WV} + 0,00768 \text{ V}^2 \quad /6/$$

$$U = 34,3246 - 3,63 \text{ Mo} - 0,4516\text{W} - 6,847\text{V} + 0,3637 \text{ Mo}^2 + 0,654\text{WV} + 0,9785 \text{ V}^2 \quad /7/$$

$$G = 257 - 169,51 \text{ Mo} + 163,4\text{W} - 78,2\text{V} + 18,52 \text{ Mo}^2 - 15,11 \text{ MoW} + 27,98 \text{ MoV} + 2,21\text{W}^2 + 45,29\text{WV} + 28,49 \text{ V}^2 \quad /8/$$

Решение уравнений 1 - 8 не позволило однозначно определять состав стали, обеспечивающий высокий уровень всех показателей свойств стали. Поэтому были проведены металлографические, фрактографические и микрорентгеноспектральные исследования стали, а также выполнен графоаналитический анализ уравнений 1 - 8. При этом были выбраны концентрации вольфрама и молибдена /аналитические варианты, табл.1/, близкие к составам, полученным при проведении многофакторного эксперимента второго порядка.

Микроструктура и свойства последних использовались для объяснения графоаналитических зависимостей /рис.1 ч 2/.

Таблица 1

Химический состав стали, % /масс./

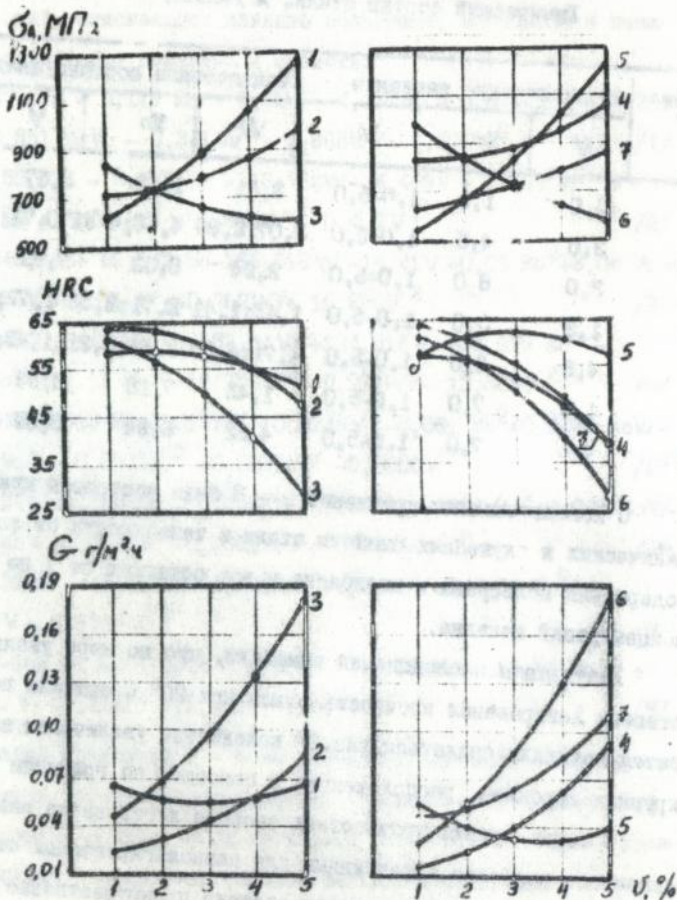
Вариант	Аналитические варианты			Фактические составы/аналоги/		
	W	Mn	V	W	Mn	V
1	3,0	1,5	1,0-5,0	3,31	1,63	3,07
2	3,0	4,5	1,0-5,0	3,07;2,98	4,58;4,81	0,71;4,62
3	3,0	8,0	1,0-5,0	2,94	8,32	2,99
4	1,5	3,0	1,0-5,0	1,48;1,41	2,71;2,38	1,77;3,91
5	4,5	3,0	1,0-5,0	4,71;4,65	2,82;3,21	1,43;4,06
6	1,5	7,0	1,0-5,0	1,43	7,16	3,86
7	4,5	7,0	1,0-5,0	4,32	6,94	3,87

С использованием уречнений 1 - 8 были построены кривые механических и лужбных свойств стали в зависимости от заданного содержания вольфрама и молибдена и воэ остающих от 1 до 5 % концентраций ванадия.

Результаты исследований показали, что по мере увеличения степени легирования прочность стали при 20° с сначала возрастала, затем начинала снижаться/рис.1/ вследствие увеличения количества крупных карбидов, расположенных в основном по границам зерен.

С точки зрения прочностных свойств легирование ванадием оказалось наиболее эффективным для низколегированных сталей /вар.1,2,4,5/, имеющих в своем составе преимущественно легко растворимые при температура аустенизации карбиды M_3C и M_7C_6 . В результате растворения карбидов происходит легирование твердого раствора вольфрамом и молибденом, приводящие к его упрочнению и повышению предела прочности стали.

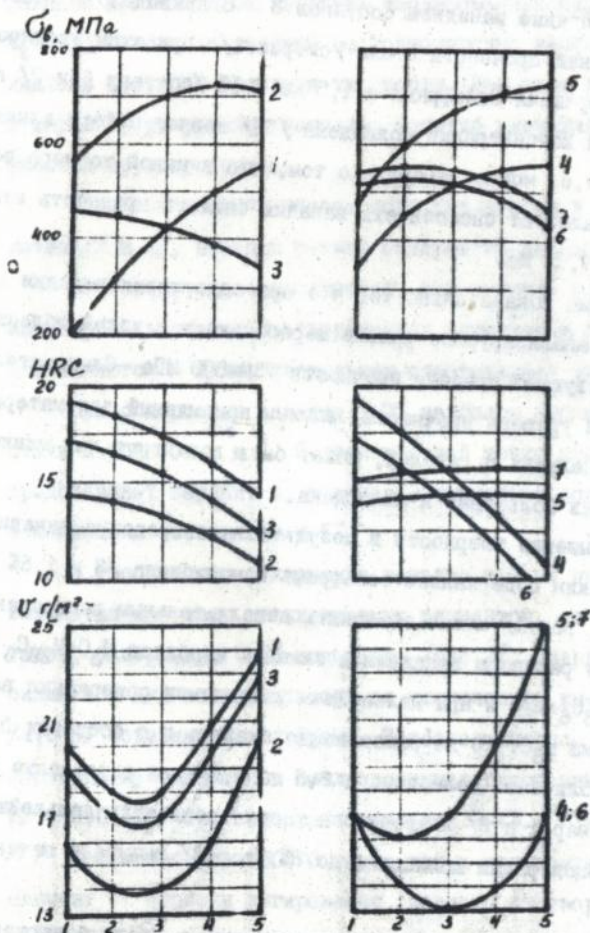
Влияние легирования на свойства сталей при температуре 20° С



Содержание легирующих элементов, %: 1 - 3,0W, 1,5 Mo; 2 - 3,0W, 4,5 Mo; 3 - 3,0W, 8,0 Mo; 4 - 1,5W, 3,0 Mo; 5 - 4,5W, 3,0 Mo; 6 - 1,5W, 7,0 Mo; 7 - 4,5W, 7,0 Mo.

Рис. 1.

Аналитические зависимости описывающие влияние легирования
на свойства сталей при температуре 750° С



Содержание легирующих элементов, %: 1 - 3,0W, 1,7 Mo;
2 - 3,0W, 4,5 Mo; 3 - 3,0W, 8,0 Mo; 4 - 1,5W, 3,0 Mo;
5 - 4,5W, 3,0 Mo; 6 - 1,5W, 7,0 Mo; 7 - 4,5W, 7,0 Mo.

Рис.2.

Легирование ванадием составов 3 - 6 приводило к монотонному снижению прочности стали /см.рис.1/. При этом увеличение в стали содержания вольфрама с 1,5 до 4,5% /составы 6 и 7/ при неизменной концентрации молибдена /7%/ меняет эффект влияния ванадия т.е. можно говорить о том, что в какой-то мере вольфрам нейтрализует способность ванадия снижать прочность стали с 1,5%W и 7,3% Mo.

Весьма показательны то, что при содержании ванадия 1,8-2,5% все анализируемые кривые пересекались в узкой области, соответствующей пределу прочности 750-800 МПа. Следовательно, указанный уровень прочности, вполне приемлемый для материала ножей капельных плателей, может быть достигнут при минимальном содержании вольфрама и молибдена.

Повышение твердости в результате легирования ванадием стали с низким содержанием вольфрама и молибдена /3 и 1,5% соответственно, вар.1/ можно объяснить дополнительным легированием твердого раствора ванадием и заменой карбидов $M_3C + M_{23}C_6$ карбидами $M_{23}C_6 + M_6C$ и при дальнейшем увеличении содержания ванадия карбидами M_6C . То же самое можно сказать и о составах 5 и 7.

Увеличение молибдена с 1,5 до 4,5% при содержании вольфрама 3% /вар.1 и 2/ приводило к росту твердости; дальнейшее повышение концентрации молибдена до 8% /вар.3/ вызывало падение твердости.

Снижение твердости при увеличении в стали содержания ванадия при неизменном содержании вольфрама и молибдена можно объяснить следующим образом: в стали с меньшим содержанием ванадия эвтектические карбиды образуют сплошную сетку на границах зерен, количество карбидов M_6C и MC невелико, что положительно сказывается на твердости металла. Увеличение количества карбидов

ванадия привело к образованию изолированных округлых карбидов M_6C и большого количества мелкодисперсных карбидов MC , что явилось причиной снижения твердости. При этом изменился также и характер разрушения металла: заметно уменьшилось количество фасеток хрупкого скола.

Подобные закономерности были характерны и для других вариантов /2 и 5/, имеющих разное содержание ванадия.

Достоверность зависимостей, описывающих влияние легирования на твердость стали, подтверждается характером кривых износа: они являются в целом зеркальным отображением кривых твердости.

При содержании ванадия 1-2% наиболее высокую твердость имели стали вариантов 1 и 6. С практической точки зрения интерес представляет вариант 1, в котором суммарное содержание вольфрама и молибдена составляет 4,5%.

С увеличением содержания ванадия предел прочности при $750^{\circ}C$ возрастал для всех анализируемых вариантов, за исключением составов, содержащих 7-8% молибдена /рис.2/. Твердость, наоборот, снижалась для всех составов, за исключением имеющих повышенное /4,5 %/ содержание вольфрама. Наиболее высокое сопротивление эрозионному разрушению имел экономнолегированный состав 4 /1,5% W ; 3,0% Mo/ при содержании ванадия 2-4%.

Прочность при $750^{\circ}C$ также, как и при комнатной температуре, зависит от степени легирования твердого раствора и количества карбидов; кроме того, при высокой температуре на прочность значительное влияние оказали продукты распада мартенсита. Повышение предела прочности в результате легирования ванадием наблюдалось для сталей с низким содержанием легирующих элементов за счет увеличения количества карбидной фазы и повышения степени легирования твердого раствора. В сталях с достаточно высоким

содержанием легирующих элементов, например состава 3 /3% W, 8% Mo/, по мере увеличения концентрации ванадия происходило снижение прочности вследствие увеличения количества перлита и феррита в металлической матрице.

Горячая твердость, прежде всего, определялась степенью распада мартенсита: с увеличением содержания ванадия твердость снижалась.

Наиболее высокую твердость НКС 58,5 ед. после нагрева и охлаждения имела сталь с 1,48% W, 2,71% Mo и 1,77% V. Сталь примерно такого же состава обладала максимальным сопротивлением термохимической эрозии.

На основании приведенных результатов исследований содержание вольфрама приняли равным 2,0-2,5%, молибдена 1,7-2,0% и ванадия 1,5-1,8%, что соответствовало стали типа Г.М202Л.

Следующий этап работы заключался в повышении механических и служебных свойств разработанной стали путем ее модифицирования. При этом ставилась задача добиться измельчения и более равномерного распределения карбидной фазы, а также снижения отрицательного влияния вредных примесей в стали.

Результаты рентгеноспектрального микроанализа показали, что титан, цирконий и ниобий образуют собственные карбиды: содержание титана, циркония и ниобия в карбидах этих элементов превышало 70% /табл.2/. Не обнаружено влияние лигатуры АКЦе и бора на состав карбидной фазы.

Несмотря на незначительное количество, карбиды титана, циркония и ниобия оказали существенное влияние на процессы карбидообразования и, как следствие, на свойства стали.

В немодифицированной стали карбиды M_6C располагались исключительно по границам зерен, образуя в ряде случаев сплошную сетку, что способствовало хрупкому разрушению стали. Присадка титана,

Таблица 2.

Состав карбидной фазы в стали P2M212L

Содержание легирующего элемента, %	Тип карбида	Массовая доля элементов, %							
		Fe	Сг	W	Mo	V	Ti	Zr	Nb
	M ₆ C	8,5	10,9	29,4	35,5	10,3	-	-	-
	MC/ванадиевый	4,8	3,7	16,9	19,02	52,4	-	-	-
0,16% Ti	M ₆ C	9,4	10,5	27,1	35,1	10,01	1,3	-	-
	MC/титановый	1,05	0,5	0,02	2,8	14,7	70,1	-	-
	MC/ванадиевый	5,2	3,7	15,7	17,1	55,6	0,1	-	-
0,12% Zr	M ₆ C	11,4	1,3	26,8	33,2	9,7	-	1,2	-
	MC/циркониевый	1,2	0,9	0,06	2,1	13,1	-	71,4	-
	MC/ванадиевый	3,1	4,2	16,1	16,8	56,9	-	0,4	-
0,15% Nb	M ₆ C	5,3	4,06	28,9	25,5	2,8	0,02	-	0,8
	MC/ниобиевый	1,6	0,4	1,9	2,02	8,9	0,4	-	77,3
	MC/ванадиевый	5,01	4,02	16,7	18,1	34,6	0,6	-	11,7
0,006% B	M ₆ C	36,	4,8	29,3	26,4	2,8	-	-	-
	C/вагалиевый	5,3	4,8	16,01	18,2	44,6	-	-	-
0,2% АКЛе *	M ₆ C	10,02	11,5	28,4	36,1	11,1	-	-	-
	MC/ванадиевый	6,4	3,9	16,4	16,1	56,8	-	-	-

* Указана величина присадки лигагуры.

циркония и ниобия способствовали измельчению размеров зерна и эвтектических карбидов, а также получению разогранной карбидной сетки на границах зерен. Это привело к изменению характера разрушения от межзеренного к внутривзеренному.

Карбидообразующие элементы цирконий, бор и ниобий обеспечили повышение прочности и твердости стали. Особенно заметно было повышение твердости при температуре 750°C , что имеет большое значение для ножей, работающих в условиях высоких температур и механического износа. Эти же модификаторы обеспечили повышение износостойкости в два раза. Повышение прочности, твердости и износостойкости стали можно объяснить уменьшением размеров зерна стали и увеличением дисперсности карбидов.

Как отмечалось ранее, основной причиной выхода ножей из строя, является термохимическая эрозия — окисление и растворение режущих кромок в расплавленном стекле. Применительно к этому показателю наиболее благоприятными модификаторами оказались ниобий, цирконий и бор, обеспечивающие снижение скорости эрозии на 12–15%. Титан и легатура АКЦе, наоборот, снижали сопротивление стали высокотемпературной эрозии, очевидно, вследствие легкого растворения оксидов титана, кальция и РЗМ в расплавленном стекле.

В целом результаты исследований показали, что для стали Р2М242Л наиболее эффективными модификаторами являются ниобий, цирконий и бор. Оптимальная концентрация в стали этих модификаторов составляет: 0,2% циркония, 0,45% ниобия, 0,003% бора.

Результаты исследований позволили предложить для использования в производстве три марки стали: Р2М242ЦЛ, Р2М242БЛ /а.с. №1525229/, Р2М242РЛ /а.с. №1446191/.

Четвертая глава посвящена вопросам промышленного опробования и внедрения материалов диссертации на стекольных заводах.

С целью экономии быстрорежущей стали разработана технология,

предусматривающая изготовление из быстрорежущей стали только режущей части ножа, а держателя – из листовой углеродистой стали. Соединение составных частей ножа осуществляется аргонно-дуговой сваркой.

Разработанная технология предусматривает также изменение угла заточки режущей кромки ножа, а также изготовление ножей с опорным выступом /а.с. №1486481/, исключающим соударение ножей при эксплуатации и уменьшающим износ граней.

Разработан также состав шихты для быстрорежущей стали /р.с. №1786104/.

В 1986–1990 г.г. ножи прошли слитно-промышленные испытания в различных условиях эксплуатации /табл.3/.

Таблица 3.

Результаты сравнительных слитно-промышленных испытаний литых ножей

№ п/п	Завод	Марка стали	Производительность коп/мин	Срок службы ножей, сут.	
				из стали Р18	из стали Р2М202БЛ
1	Торковичский	К6 6/60	29	1,5	2,0-2,5
2	Мерефинский	АС	200	1,0	1,5
		ЗАСИ	200	1,0	1,5
		2ЛМ	28	3,0	6,0-8,0
3	Константиновский	2ЛМ	17	3,0	6,0-8,0
4	Песковский	АБ-4	19	7,0	14,0

На основании результатов промышленных испытаний разработана технологическая инструкция ТИ -7616-003-90 на производство литых составных ножей из стали типа Р2М202БЛ.

Суммарный годовой экономический эффект от внедрения материалов диссертационной работы на Мерефинском и Песковском стекольных заводах составил 60934 руб. /в ценах до 1990 г./.

Основные выводы

1. Анализ условий эксплуатации ножей капельных питателей показал, что максимальная температура нагрева режущих кромок ножа достигает 750°C . Основными причинами выхода ножей из строя являются: термохимическая эрозия, термоусталостные трещины, коробление и др.

2. Изучен механизм термоэрозионного разрушения быстрорежущей стали, используемой для изготовления ножей. Установлено, что он включает этапы: окисление рабочей поверхности ножей, растворение оксидной пленки в стекломассе, обезуглероживание поверхностного слоя и распад карбидов. Следствием этих процессов является снижение твердости поверхностного слоя стали примерно в 2,5 раза и его ускоренный износ.

Термохимическая эрозия является основной причиной выхода из строя ножей капельных питателей.

3. С применением метода математического планирования эксперимент второго порядка получены уравнения регрессий, описывающие влияние вольфрама, молибдена и ванадия на механические и служебные свойства стали при температурах 20°C и 750°C .

4. С применением современных методов исследований изучено влияние легирования на структуру металлической матрицы, строение карбидной фазы, характер разрушения, механические и служебные свойства экономнолегированных быстрорежущих сталей; с использованием графоаналитического анализа уравнений регрессий определены оптимальные концентрации легирующих элементов, обеспечивающие успешную эксплуатацию литых ножей, предложена сталь типа Р2М232Л.

5. Изучено влияние модифицирования титаном, цирконием, ниобием, бором и лигатурой АКЦе на структуру и свойства разработанной стали; установлены оптимальные концентрации модификаторов.

6. На основании проведенных исследований предложены три состава стали для ножей капельных питателей:

1/.0,85-0,95% C, 0,3-0,6% Mn, 0,5-0,8% Si, 4,0-5,0% Cr, 1,7-2,0% Mo, 2,0-2,5% W, 1,6-1,8% V, 0,3-0,5% Ni, 0,05-0,15% Nb, Fe - осн.

2/.0,85-0,95% C, 0,3-0,6% Mn, 0,5-0,8% Si, 4,0-5,0% Cr, 1,7-2,0% Mo, 2,0-2,5% W, 1,6-1,8% V, 0,3-0,5% Ni, 0,002-0,006% B, Fe - осн.

3/.0,85-0,95% C, 0,3-0,6% Mn, 0,5-0,8% Si, 4,0-5,0% Cr, 1,7-2,0% Mo, 2,0-2,5% W, 1,6-1,8% V, 0,3-0,5% Ni, 0,1-0,3% Zr, Fe - осн.

7. На основании результатов опытно-промышленных испытаний разработана технологическая инструкция ТИ-7616-003-90, регламентирующая процесс производства ножей капельных питателей.

8. Внедрение стали в производство обеспечило экономию быстрорежущей стали в 2,5-3,0 раза, позволило в 1,5-2 раза увеличить ресурс работы ножей.

Фактический экономический эффект от внедрения результатов исследований составил на двух предприятиях Украины 60934 руб. /в ценах до 1990г./.

Основное содержание работы отражено в следующих публикациях:

1. Павлюк С.Н., Шейко С.П., Гандшу Г.А. Повышение надежности и долговечности деталей стеклоформ // Молодые ученые и специалисты - реализации региональных, целевых комплексных программ, ускорению научно-технического прогресса, активизации НТМ: Тез. докл. II сб. научно-технич. конф. - Запорожье, 1986 - С.51.

2. Белоус Л.Л., Шейко С.П., Третьяк В.И. Признание литых жаропрочных сплавов для деталей стеклоформующего оборудования // Новые конструкционные стали и сплавы и методы их обработки для повышения надежности и долговечности изделий: Тез. докл.

III Всес. науч.-техн. конф. - Запорожье - 1986.- С.210.

3. Колотилкин О.Б., Уваров С.А., Гандлу Г.А., Шейко С.П. Приспособление к прибору ПМТ-3 для испытаний по глубине отпечатка //Заводская лаборатория. т.52 - №12.-1986.- С.68-69.

4.Шейко С.П., Третяк В.И. Коррозионная стойкость ножей капельных питателей //Рук. депонир. в УкрНИИТИ. №1850. -Укр.- 86.

5.Литые ножи питателя с стеклоформуемых машин /Колотилкин О.Б., Шейко С.П., Белоус Л.Л. Информ. листок БЕ 04192/ЗНТИ.- Запорожье.- 1987.- 1 с.

6.Шейко С.П., Белоус Л.Л., Третяк В.И. Носки повышенной стойкости для отрезки капель стекломассы //Молодые ученые и специалисты - реализации региональных, целевых комплексных программы, ускорения научно-технического прогресса, активизации НТМ: Тез.докл. III обл.науч.-техн. конф.-Запорожье, 1988.- С.37-38.

7.Шейко С.П., Третяк В.И., Белоус Л.Л. Модифицирование литых жаропрочных сплавов //Неметаллические включения и газы в литейных сплавах: Тез. докл. V Республ. науч.-техн. конф.- Запорожье. 1988.- С.149.

8.Колотилкин О.Б., Бабарыкин С.В., Шейко С.П. Повышение долговечности стеклоформующего оборудования //Молодые ученые и специалисты реализации региональных, целевых комплексных программ, ускорения научно-технического прогресса, активизации НТМ: Тез.докл. III обл. науч.-техн. конф. -Запорожье.- 1988.- С.50.

9.Шейко С.П. Модифицирование литых жаропрочных сплавов //Новые конструкционные материалы и эффективные методы их получения и обработки: Сб. науч. трудов /ЗМИ.-Киев: УМК Во, 1988.- С.96-98.

10.Шейко С.П., Белоус Л.Л., Кулина В.В. Влияние дисперсности

и распределение карбидных фаз на эксплуатационные характеристики жаропрочного сплава // Новые конструкционные стали и сплавы и методы их обработки для повышения надежности и долговечности изделий: Тез. докл. 1У Всес. науч.-техн. конф. - Запорожье, 1989. - С. 79-80.

11. Шейко С.П., Колотилкин О.Б., Кудин И.В. Оптимизация состава литой жаропрочной стали для деталей стеклоформирующего оборудования: Тез. докл. 1У Всес. науч.-техн. конф. - Запорожье, 1989. - С. 25-26.

12. Лисовский А.В., Плескач В.М., Колотилкин О.Б., Шейко С.П. Усовершенствованная конструкция ножей для отрезки капель стекло-массы // Стекло и керамика. №2. - 1990. - С. 5-6.

13. Шейко С.П., Белоус Л.Л. Повышение срока службы литых ножей стеклоформирующих машин // Повышение технического уровня и совершенствование технологических процессов производства отливок: Тез. докл. У Республ. науч.-техн. конф. - Днепропетровск, 1990. - С. 35.

14. Шейко С.П., Белоус Л.Л. Ножи для стеклоформирующих машин // Новые конструкционные материалы и эффективные методы их получения и обработки, повышение надежности и долговечности деталей машин и конструкций: Сб. науч. тр. /ЗМН.-Киев: УМК Во, 1991. - С. 74-75.

15. Шейко С.П., Белоус Л.Л., Бабарикич С.В. Легирование и модифицирование литых быстрорежущих сталей // Неметаллические включения и газы в литейных сплавах: Тез. докл. У1 Республ. науч.-техн. конф. - Запорожье, 1991. - С. 11.

16. А.с. №144.191 СССР МКИ³ С 22 С 38/48, Коррозионноустойчивая инструментальная сталь /И.П. Волчок, С.П. Шейко, О.Б. Колотилкин, А.Н. Гуныкин, Л.Л. Белоус /СССР/. - №4290843/31-02; Заявлено 16.06.1987. Опубликовано 22.08.1988. Бюллетень №47 - С. 128.

17. 17.А.с. №1486481 СССР МКИ³ С 03 В 7/10. Устройство для отрезки капель стекломассы. /О.Б.Колотылкин, И.П.Волчок, С.П.Шейко, А.Н.Гучькин /СССР/.- №4288602/29-23; Заявлено 22.07.1987. Опубликовано 15.02.1989. Бюллетень №22 - С.95.

18.А.с. №1525229 СССР МКИ³ С 22 С 38/54. Чугунная литейная форма /И.П.Волчок, О.Б.Колотылкин, С.П.Шейко /СССР/.- №4426396/31-02; Заявлено 25.11.1989. Опубликовано 01.08.1989. Бюллетень №44.- С.89.

19.А.с. №1786104 СССР МКИ³ С 21 С 5/52. Шихта для быстрорежущей стали /И.П.Волчок, О.Б.Колотылкин, С.П.Шейко, Л.Л.Белоус, В.Э.Хлебко /СССР/.- №4907477/02; Заявлено 04.02.1991. Опубликовано 07.01.1993. Бюллетень №1.

Смирнов

Подписано к печати 17.07.93. Формат 60x84 1/16

Объем 1 п.л. Заказ №316. Тираж 105 экз.

ЗМИ.Ротапринт. 330063, г.Запорожье, ул.Луковського, 64



462890

AB 28.065

AB 28.065