

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ УКРАИНЫ

**ДОНЕЦКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ**

На правах рукописи

БЫКОВСКИХ Сергей Вадимович

**РАЗРАБОТКА И ВНЕДРЕНИЕ МИКРОЛЕГИРОВАНЫХ
СТАЛЕЙ ДЛЯ ВЫСОКОНАГРУЖЕННЫХ РАБОЧИХ
ОРГАНОВ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ МАШИН**

Специальность 05.16.01 — «Металловедение и термическая
обработка металлов»

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

ДОНЕЦК 1993

718 20.20

Диссертационная работа выполнена на кафедре «Технология конструкционных материалов» Донецкого государственного технического университета.

Научный консультант — старший научный сотрудник, кандидат технических наук Ярошевская Е. С.

Официальные оппоненты: профессор, доктор технических наук Алимов В. И.; кандидат технических наук Маняк Л. К.

Ведущее предприятие — НПО «Лан» (г. Кировоград).

Защита состоится «25» ноября 1993 года в 12 час. в аудитории 353 пятого корпуса на заседании специализированного совета Д 068.20.01 в Донецком государственном техническом университете (340000, г. Донецк, ул. Артема, 58).

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Донецкого государственного технического университета.

Автореферат разослан «22» октября 1993 года.

Ученый секретарь
специализированного совета
Д 068.20.01, доктор технических
наук, профессор

С. Л. ЯРОШЕВСКИЙ

ЛННБ України ім.В.Стефаника



00810607 (M)

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность работы. Эффективность сельскохозяйственного производства в значительной мере зависит от технического уровня и долговечности машин, одним из определяющих факторов которых является износостойкость и надежность их рабочих органов. Особую актуальность эти характеристики приобретают при создании новых машин для прогрессивных технологий обработки почвы. Конструкционные стали, применяемые в сельхозмашиностроении, не обладают достаточно высоким комплексом механических свойств, а применение дорогостоящих и трудоемких технологий упрочнения нецелесообразно, так как использование такой техники резко повышает стоимость машин, а, значит, и сельхозпродукции.

Одним из перспективных направлений решения этой проблемы является разработка и использование для изготовления рабочих органов экономнолегированных сталей, обладающих заданным комплексом служебных характеристик.

При промышленном производстве этих сталей существуют технологические трудности: низкое усвоение добавок, затягивание струи и изменение химического состава в течение разливки, — для устранения которых необходимо совершенствовать технологию микролегирования.

Настоящая диссертационная работа направлена на решение задачи повышения долговечности и надежности рабочих органов, применяющихся как для вновь создаваемых машин и воспроизводимых по зарубежным лицензиям, так и для серийных машин, эксплуатируемых в сложных почвенно-климатических условиях с высокими ударными нагрузками.

Цель работы. Целью настоящей диссертационной работы являлся выбор оптимального режима экономного легирования стали, ее термической обработки и промышленное внедрение разработанных сталей, обладающих повышенным комплексом служебных характеристик.

Научная новизна. Экспериментально установлена зависимость изменения структуры и свойств марганцовистой стали с содержанием углерода 0,3–0,7%, марганца 0,7–1,3% от концентрации титана в количестве до 0,18% и бора до 0,01%. Установлен интервал концентраций микродобавок, позволяющий получить гарантированно высокий комплекс механических свойств. Показано, что совместное влияние титана в количестве 0,05–0,11% и бора в количестве 0,0017–0,0045% наиболее эф-

фактивно после закалки и отпуска при 350-425°C, после которого достигается наибольшее диспергирование структуры и проявляется более вязкий характер излома для микролегированных сталей в сравнении с базовыми сталями с содержанием углерода около 0,65%. Уточнен механизм влияния титана и бора на структурные превращения в стали при закалке и отпуске. Обнаружено измельчение субзеренной структуры, повышение микроискажений кристаллической решетки и плотности дислокаций, что способствует повышению комплекса механических свойств. Показано, что износостойкость и ударная вязкость в значительной степени определяется морфологией карбонитридной фазы - равномерным распределением частиц при их оптимальных размерах, составляющих 1-10 мкм. Разработаны составы сталей для высоконагруженных рабочих органов культиваторов (а.с. № 1629348, положительное решение по заявке № 5012805/02). На основании физического моделирования с устройством для автоматического дозирования подачи лигатуры в зависимости от режима разливки (а.с. № 1276608) разработана эффективная технология получения микролегированных сталей, содержащих химически активные ингредиенты, состоящая в подаче лигатуры в центровую с защитой струи разливаемого металла от вторичного окисления. Для реализации предлагаемой технологии в промышленности разработано устройство (а.с. № 1787681). Произведена количественная оценка влияния эффекта модифицирования на параметры карбонитридной фазы и фазовый состав в зависимости от технологического способа получения стали, этапов передела и окончательной термической обработки. Показана существенная роль способа микролегирования стали в повышении комплекса свойств.

Практическая ценность. Разработаны составы двух экономнолегированных сталей. Применение первой стали, произведенной с использованием технологии позднего модифицирования с защитой струи разливаемого металла от вторичного окисления, по результатам полевых испытаний позволило повысить надежность рабочих органов в сравнении с выпускаемыми по серийной технологии в 2-3 раза. Для ножей фрезерных и лап чизельных культиваторов, изготавливаемых с наплавкой лезвия твердым сплавом, применение рекомендуемой стали дало возможность снять операцию наплавки при одновременном повышении эксплуатационных свойств. Сталь позволила внедрить в производство новые машины для прогрессивных технологий обработки почвы, не имеющие отечественных аналогов, где применение известных сталей не обеспечивало

заданного качества выполнения технологического процесса и эксплуатационного ресурса машин. Реализована возможность замены масляной закалочной среды на воду за счет применения второй экономнолегированной стали с пониженным содержанием углерода при сохранении потребительских свойств деталей. Технология позднего модифицирования, примененная для производства экономнолегированных сталей, содержащих химически активные микродобавки, способствовала снижению расхода ферросплавов в 2,0-2,7 раза за счет увеличения степени усвоения и позволила получить повышенный комплекс механических свойств однородного по составу металла.

Реализация результатов работы в промышленности. Разработаны технические условия на поставку листового и полосового проката из экономнолегированных сталей для сельскохозяйственного машиностроения. Заводы поставщики: Алчевский металлургический комбинат (ТУ I4-229-I-9I), Макеевский металлургический комбинат (ТУ I4-23I-44-9I), Донецкий металлургический завод (ТУ I4-234-77-92).

Внедрение стали 65ГТР в производство культиваторов позволило получить в 1989-1990 гг. суммарный экономический эффект 926994 руб. Экономический эффект от внедрения технологии позднего модифицирования с защитой струи разливаемого металла от вторичного окисления составит в условиях ДМЗ 13916210 руб. (в ценах на I.07.92 г.).

Апробация работы. Материалы диссертации доложены и обсуждены на научно-технических конференциях и семинарах: II Всесоюзная конференция ученых, инженеров и рабочих по экономии материальных и энергетических ресурсов (Донецк, 1989), "Новые конструкционные стали и сплавы и методы их обработки для повышения надежности и долговечности изделий" (Запорожье, 1989), "Эффективность производства и применения новых модификаторов, раскислителей и лигатур в металлургии и машиностроении" (Челябинск, 1988), "Повышение качества металлопроката путем термической и термомеханической обработки" (Днепропетровск, 1988), "Совершенствование металлургической технологии в машиностроении" (I-II Всесоюзные конференции, Волгоград, 1989, 1991), "Молодежь и научнотехнический прогресс" (Липецк, 1990), "Процессы разливки, модифицирования и кристаллизации стали и сплавов" (Волгоград, 1990), "Применение методов математического моделирования в научных исследованиях" (Донецк, 1990), "Технологические

методы повышения эффективности и качества механосборочного производства" (Домбай, 1992).

Публикации. Основные положения работы опубликованы в 18 печатных трудах, в том числе 4 авторских свидетельствах.

Объем работы. Диссертация состоит из введения, 4 глав, общих выводов, списка литературы из 196 наименований, 9 приложений; работа изложена на 113 страницах машинописного текста, содержит 60 рисунков, 13 таблиц.

СОСТОЯНИЕ ВОПРОСА

Проблема повышения долговечности рабочих органов сельхозмашин заставила отечественное и зарубежное машиностроение накопить довольно обширный опыт применения различных материалов для сельскохозяйственного производства. В качестве основного материала для изготовления лап культиваторов применяется сталь 65Г. Из аналогичной стали изготавливаются культиваторные лапы в Канаде (С-0,77%, Mn-0,86%, Si-0,8%). В большинстве европейских стран применяют кремнистые и кремниймарганцовистые стали с содержанием С- 0,2-0,5%, Si до 1,5%, Mn до 1,5%.

Данные о влиянии содержания химических элементов на показатели свойств и зависимости эксплуатационных характеристик рабочих органов сельскохозяйственных машин от механических свойств неоднозначны и противоречивы. С целью выбора оптимального состава материала для рабочих органов проанализировано влияние основных легирующих элементов на свойства полосового проката конструкционных сталей, поставляемых по ГОСТ 19281-89, 4543-79, 1050-74, 14959-79, в широких пределах изменения концентраций элементов: С=0,08-0,75%, Mn=0,4-2,0%, Si=0,12-2,0%, S- до 0,05%, P- до 0,05%. Результаты статистической обработки и проведенной оптимизации, приведенные на рис.1 и в табл.1 на примере ГОСТ 4543-79 и 14959-79, показывают, что изменение содержания элементов в исследуемых интервалах концентраций и в запределных содержаниях не приводит к существенному повышению механических свойств и стали не могут обеспечить высокой надежности в работе рабочих органов. Вместе с тем ужесточение требований к граничным условиям по свойствам приводит к такому сниже-

нию интервалов по содержанию легирующих элементов, которые технологически недопустимы.

В настоящее время накоплен опыт воздействия на структуру и свойства сталей введением микродобавок сильных карбидо- и нитридообразующих элементов, в частности, титана и бора. При этом в литературе имеются многочисленные и противоречивые сведения о рациональных пределах содержания микродобавок и соотношений как между ними, так и между количествами микролегирующих и легирующих компонентов.

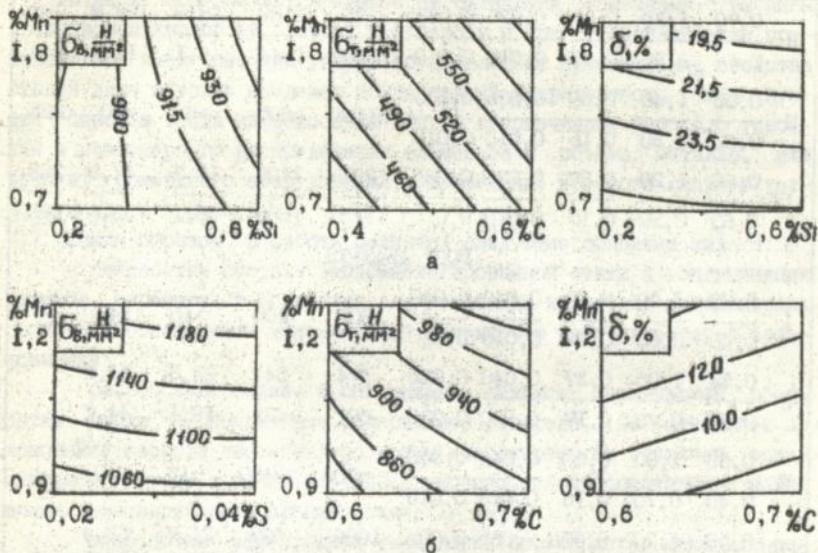


Рис.1. Влияние легирующих элементов на изменение механических свойств выборки промышленных плавок:

а - по ГОСТ 4543-79 (закалка и отпуск при 600°C);

б - по ГОСТ 14959-79 (закалка и отпуск при 470°C).

Влияние титана как микролегирующей добавки связано с большим средством к азоту, измельчением зерна, снижением склонности к образованию камневидного излома и к деформационному старению. Дисперсные включения, выделяющиеся в твердой стали, являются барьерами, тормозящими рост зерна, и способствующими упрочнению.

Таблица I

Результаты оптимизации выборки промышленных плавок*

№**	C	Mn	Si	S	P	$\sigma_{\text{в}}$ Н/мм ²	$\sigma_{\text{т}}$ Н/мм ²	$\delta, \%$	$\phi, \%$	НВ
ГОСТ 14959-79 (сталь 65Г)										
I	0,80	1,40	0,60	0,035	0,035	≥ 1000	≥ 800	>6	>14	<300
	0,60	0,80	0,15	0,010	0,010					
II	0,70	1,20	0,37	0,035	0,035	1438	1169	18,3	52,8	299
	0,62	0,90	0,17	0,010	0,010	1083	1044	6,1	14,9	244
III	0,80	1,40	0,60	0,035	0,035	≥ 1000	≥ 800	>6	>30	<285
	0,60	0,90	0,15	0,010	0,010					
IV	0,66	1,20	0,37	0,035	0,035	1261	1106	18,3	47,9	285
	0,63	0,90	0,17	0,010	0,010	1128	1059	6,1	33,6	260
ГОСТ 4543-79										
I	0,60	1,80	0,60	0,040	0,040	>600	>400	>15	>40	-
	0,40	0,60	0,17	0,010	0,010					
II	0,54	1,00	0,37	0,040	0,040	974	541	23,8	51,5	-
	0,47	0,70	0,17	0,020	0,020	661	425	19,1	44,7	-
III	0,60	1,80	0,60	0,040	0,040	>700	>450	>15	>40	-
	0,40	0,70	0,15	0,015	0,015					
IV	0,58	1,00	0,37	0,035	0,035	1086	627	21,7	52,4	-
	0,50	0,70	0,17	0,015	0,015	725	459	17,3	45,4	-

* в числителе приведены максимальные значения содержания элементов, в знаменателе - минимальные;

** I - исходные данные для расчета;
 II - результаты оптимизации промышленной выборки плавок;
 III - исходные данные для расчета при повышенных требованиях к механическим свойствам;
 IV - результаты оптимизации при исходных условиях III.

Влияние бора на свойства сталей существенно и обусловлено малыми размерами атомов, а также его сильным нитридообразующим действием. Грофильность бора способствует снижению "дефектности" границ и повышению устойчивости переохлажденного аустенита. Этим бор компенсирует снижение прокаливаемости, являющееся следствием измельчения зерна при введении титана. Бор также способствует диспергированию структуры мартенсита путем воздействия на перераспределение углерода и, следовательно, на измельчение структуры отпуса.

Титан и бор являются химически активными элементами с высоким сродством к кислороду, азоту и углероду и при сталеплавильном производстве имеют высокий угар и обуславливают нестабильные свойства сталей даже в узких пределах концентраций микродобавок. Существующие способы ввода микродобавок или не обеспечивают высокого усвоения и равномерного распределения элементов в объеме металла, или требуют громоздкого оборудования, применение которого снижает технологичность процесса.

Таким образом, в работе решаются следующие основные задачи:

- разработка состава экономнолегированной стали и оптимизация режимов термической обработки для повышения комплекса механических свойств и обеспечения максимальной надежности рабочих органов сельхозмашин;
- разработка состава и оптимизация режимов термической обработки стали с пониженным содержанием углерода, не уступающей по комплексу свойств высокоуглеродистым марганцовистым сталям и закаливаемой в воде с целью улучшения экологической обстановки и повышения технологичности производства;
- разработка эффективной технологии производства микролегированных сталей, позволяющей снизить расход легатуры и повысить качество продукции.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЯ

Исследование влияния микролегирования на структуру, свойства и характер разрушения марганцовистых сталей проводили на сталях лабораторной (30 составов) и промышленной (12 составов) выплавки. Химический состав опытных сталей, определялся на квантметре "JOBIN YVON JY 32".

Выплавку сталей лабораторных плавков проводили в открытой индукционной печи с магнетитовой футеровкой и разливали порционно. Слитки массой 25 кг, которые проковывали и затем прокатывали в клетке лабораторного стана 300.

Промышленную выплавку опытных сталей проводили в мартеновских цехах Макеевского и Алчевского металлургических комбинатов и Донецкого металлургического завода. При производстве микролегированной стали производили отработку технологии ввода лигатуры с целью получения максимального усвоения химически активных добавок титана и бора следующими способами:

1. Ферротитана и ферробора в ковш емкостью 300 т при выпуске плавки после подачи раскислителей. Металл второго ковша использовали как базовый для сравнительных исследований.

2. Ферротитана и ферробора при разливке сверху в глухонные изложницы порциями под струю металла при заполнении от 1/4 до 2/3 высоты слитка.

3. Ферротитана и ферробора фракцией 2-10 мм при сифонной разливке под теплоизолирующими смесями в центровую под струю металла при заполнении от 1/4 до 3/4 уровня слитка с защитой струи от вторичного окисления.

Опытные слитки прокатывали на полосу сечением 40x6, 40x5, 60x16, 100x16, 65x16 мм и лист толщиной 4-6 мм, которые использовали для изготовления рабочих органов сельхозмашин.

Испытания на износостойкость проводили по ГОСТ 23.208-79 с использованием в качестве абразивного материала кварцевого песка фракцией 0,15-0,5 мм при 1800 оборотах ролика с усилием на образце 44,1 Н. Эталон - сталь 45 в отожженном состоянии.

Неметаллические включения и микроструктуру изучали на микрошлифах на оптическом микроскопе "Neophot-21". Неметаллические включения изучали точечным методом по полям зрения при увеличении x1000, при этом оценивали суммарную площадь шлифа не менее 1 мм².

Изломы изучали на растровом электронном микроскопе "T-20" фирмы "JEOL", тонкую структуру - на просвечивающем микроскопе "JEOL 100 CX", распределение элементов - на Оже-спектрометре фирмы "JEOL" "Jump IOS".

Тонкую структуру изучали методом рентгеноструктурного анализа на дифрактометре "Дрон-3".

При математической обработке реализована матрица планирования эксперимента, учитывающая изменение содержания элементов в следую-

щих пределах: $T_1=0,002-0,18\%$, $B=0,0005-0,01\%$, $C=0,3-0,7\%$. Температура отпуска изменялась на 5 уровнях.

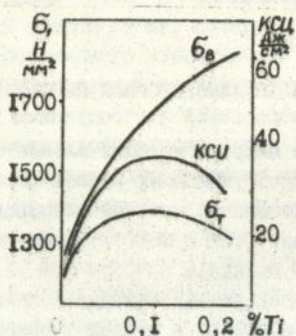
* ИССЛЕДОВАНИЕ МИКРОЛЕГИРОВАННЫХ СТАЛЕЙ ЛАБОРАТОРНОЙ ВЫПЛАВКИ

Влияние содержания легирующих и микролегирующих элементов на структуру и свойства марганцовистых конструкционных сталей рассматривали, разделив опытные стали реализованной матрицы планирования по содержанию углерода на три группы: $0,62-0,68\%C$ (I группа), $0,5-0,56\%C$ (II группа), $0,31-0,38\%C$ (III группа).

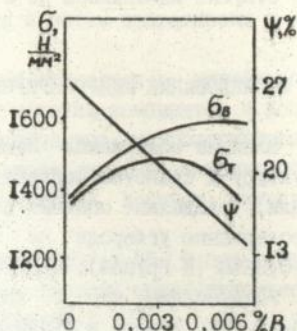
Установлено, что с изменением содержания титана в пределах $0,05-0,11\%$ и бора в пределах $0,0017-0,0045\%$ в сталях происходит существенное измельчение структуры после закалки и отпуска при $350-425^\circ C$ для сталей I-II групп и отпуска при $300-350^\circ C$ для сталей III группы, что соответствует получению оптимального комплекса свойств сталей после такой термообработки. Это объясняется воздействием нескольких факторов.

Титан способствует измельчению зеренной структуры и образованию карбонитридных включений, размеры и распределение которых в значительной степени обуславливает комплекс механических свойств. При содержании титана в стали $0,01\%$ наибольший процент составляют мелкие до 1 мкм включения, наличие которых приводит к увеличению ударной вязкости и не изменяет прочностных свойств. С увеличением концентраций титана в интервале $0,06-0,11\%$ возрастает количество включений размерами $1-10 \text{ мкм}$, способствующих получению оптимальной совокупности прочностных, вязких свойств и износостойкости. При увеличении титана до $0,16\%$ увеличивается доля площади, занимаемая крупными ($>20 \text{ мкм}$) карбонитридами, границы раздела которых с матрицей являются очагами зарождения трещин при разрушении. Таким образом, фактором воздействия на карбонитридную фазу, а также связанную с количеством титана концентрацию углерода в матрице, которая снижается при высоком проценте титана, объясняется экстремальность зависимости показателей механических свойств от содержания титана (рис. 2).

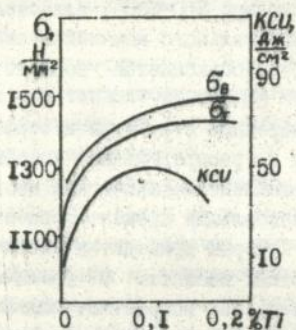
В структуре излома влияние титана проявляется на этапе роста свойств в увеличении доли вязкой составляющей, а затем, в начальной стадии проявления эффекта избыточного легирования, в появлении в изломе крупных карбонитридов и местами связанного с этим транскрис-



а



б



в

Рис. 2. Расчетные зависимости механических свойств:

а - от содержания титана в сталях I-II групп, б - от содержания бора в сталях I-II групп, в - от содержания титана в сталях III группы.

галлитного излома. Сопротивление износу опытных сталей также коррелирует с морфологией карбонитридной фазы, так как при реализуемых условиях изнашивания превалирует полидеформационный механизм, в котором мелкие и средние карбонитриды оказывают "барьерное" воздействие так же, как зеренные и межфазные границы дисперсной структуры.

Титан, увеличивая протяженность границ, реализует возможность повышения эффективного содержания бора, который воздействует в большей степени на металлическую матрицу. Бор, концентрируясь в граничных зонах зерен и субструктуры, вытесняет углерод в центральные участки аустенитных зерен, где он способствует диспергированию возникающей структуры мартенсита за счет увеличения числа локальных

участков с пониженной концентрацией углерода и, следовательно, повышения вероятности одновременного возникновения кристаллов мартенсита во многих участках. Последующее перераспределение атомов углерода, образование сегрегаций углерода на дислокациях и другие процессы, протекающие при отпуске, происходят на фоне более дисперсной структуры и субструктуры мартенсита. Кроме того, если локальная концентрация бора невелика, то релаксация упругих напряжений осуществляется путем перестройки дислокационной структуры с образованием сетки субструктурных границ. С увеличением содержания бора, то есть возрастанием степени пересыщения и объемных эффектов при фазовой перекристаллизации, энергетически выгодным становится формирование мелкозернистой структуры — с высокоразвитой поверхностью и высокой плотностью дислокаций в теле зерен. Перераспределение бора в аустените при аустенитизации вызывает рост упругих напряжений, релаксация которых сопровождается возникновением большого количества хаотично расположенных дислокаций в теле блоков. В свою очередь это способствует увеличению числа центров зарождения цементита и образованию большого количества частиц цементитной фазы. Дисперсные выделения, закрепляющие отдельные дислокации и малоугловые границы, тормозят развитие процессов полигонизации ферритной матрицы и обеспечивают высокую стабильность сформировавшейся структуры.

Изложенная гипотеза является обобщением объяснений аналогичных результатов, полученных при исследовании среднеуглеродистых борсодержащих сталей Л.М.Пятаковой и Е.М.Гринбергом с сотрудниками, и подтверждается результатами проведенного металлографического и рентгеноструктурного анализа. Установлено, что после отпуска при 350°C в образцах стали 65Г величина микроискажений составляет $21,4 \times 10^{-4}$, а в образцах стали 65ГТР-3Г, $0,8 \times 10^{-4}$. Средний размер субзерен в базовой стали составляет 5,2 мкм, в микролегированной стали — 1,8 мкм. Косвенно о более высоком уровне напряжений внутризеренных объемов свидетельствует увеличение количества и уменьшение размеров "вторичных" трещин в изломах микролегированных сталей, несмотря на их более вязкий характер. После отпуска при 500°C различие в величине микроискажений несколько сглаживается: для стали 65Г — $6,0 \times 10^{-4}$, для стали 65ГТР — $6,5 \times 10^{-4}$, что связано с развитием полигонизации, выделением устойчивых карбидов и объясняет тенденции в изменении структуры и комплекса механических свойств.

Горофильность бора подтверждена исследованиями изломов методом Оже-спектроскопии, в которых уже в литом состоянии на границе зерна

в стали 65ГТР обнаружена сегрегация бора: 92,1% В; 3,7% Fe, 4,0% Mn (здесь и далее % ат.).

Бор обнаружен также в сложном по составу карбонитриде (подложка карбонитрида: 0,9% S, 12,0% Mn, 3,1% В, 1,3% N, 14,1% O, 68,4% Fe; наружная часть карбонитрида: 2,3% S, 0,8% P, 28,4% O, 7,1% N, 6,0% Ti, 9,7% C, 45,3% Fe; сегрегация элементов на поверхности включения: 1,7% P, 0,7% S, 0,6% N, 34,4% C, 9,3% Ti, 4,2% O, 38,7% Fe).

Результаты проведенных исследований явились основанием для установления пределов содержания микролегирующих добавок в конструктивных марганцовистых сталях (0,05-0,11%Ti, 0,0017-0,0045%B), обеспечивающих достижение высокого комплекса механических свойств.

ПРОМЫШЛЕННАЯ РЕАЛИЗАЦИЯ СТАЛЕЙ ОПТИМИЗИРОВАННОГО СОСТАВА

При промышленном освоении микролегированных сталей решалась задача разработки эффективной технологии ее производства.

Наиболее распространенным способом микролегирования стали является введение лигатуры в ковш. Однако он имеет ряд недостатков: низкое усвоение добавок (30-50%), затягивание струи (снижение скорости разливки) и изменение химического состава стали в течение разливки. Данные по степени усвоения титана и бора в опытных плавках при различных способах ввода приведены в табл. 2.

Отмеченные недостатки устраняются за счет применения технологии позднего модифицирования, особенностью которой является то, что лигатура подается непосредственно перед началом кристаллизации. На физической модели 100-т ковша с использованием устройства для автоматического дозирования (а.с. № 1276608) отработывались технологические параметры процесса, позволяющие получить равномерное распределение микролегирующих элементов между изложницами. Результаты эксперимента использованы при разработке устройства для осуществления процесса позднего модифицирования в промышленных условиях (а.с. № 1787681).

Благодаря тому, что устройство снабжено регулировочным клапаном, обеспечивается взаимосвязь между степенью открытия разливочного канала затвора и массовым расходом истекающей из разливочного ковша стали. Тем самым достигается автоматическая регулировка подачи сыпучих реагентов по ходу разливки, что способствует равномерному усвоению вводимых лигатур. Запуск и остановка дозатора устройст-

Показатели усвоения микродобавок в опытных плавках

№ сос-тава	Способ ввода	Легирующие компоненты	Расход ферросплавов, кг/т	Остаточное содержание микродобавок в готовой стали	Степень усвоения, %
22	I	ФТи-30 А	4,30	0,0590	40,5
		ФБ-I	0,28	0,0032	54,0
23	2	ФТи-30 А	4,00	0,0930	77,5
		ФБ-I	0,14	0,0020	82,1
24	2	ФТи-30 А	1,26	0,0260	68,6
		ФБ-I	0,14	0,0017	70,1
25	2	ФТи-30 А	2,61	0,0560	71,4
		ФБ-I	0,13	0,0017	73,3
26	2	отходы TI	0,91	0,0083	75,2
		ФБ-I	0,13	0,0018	74,0
27	2	ФТи-30 А	3,69	0,0860	68,5
		ФБ-6	0,14	0,0031	69,7
28	2	отходы TI	0,82	0,0650	79,7
		ФБ-I	0,21	0,0032	80,6
29	2	отходы TI	0,56	0,0450	80,8
		ФБ-I	0,12	0,0015	82,8
30	3	ФТи-30 А	2,80	0,0840	93,8
		ФБ-I	0,13	0,0021	92,8
31	I	ФТи-30 А	5,71	0,0300	17,5
		ФБ-I	0,32	0,0023	41,1
32	3	ФТи-30 А	1,98	0,0560	94,1
		ФБ-I	0,12	0,0020	92,9

ва происходит автоматически при открытии и закрытии шиберного затвора, при этом азот, используемый в качестве энергоносителя для пневмопривода дозатора, способствует устойчивому перемещению частиц ферросплава по гибкому трубопроводу и одновременно с этим осуществляет защиту открытого участка струи металла от вторичного окисления.

Промышленным экспериментом установлено, что эксплуатация устройства обеспечивает получение равномерного по химическому составу

металла, распределение наиболее ликвирующих элементов в котором подчиняется общим закономерностям (рис. 3).

Неравномерность распределения вводимых микродобавок на образцах, отобранных от готового проката, не превышает 0,02% для титана и 0,002% для бора, что допускается техническими условиями на поставку.

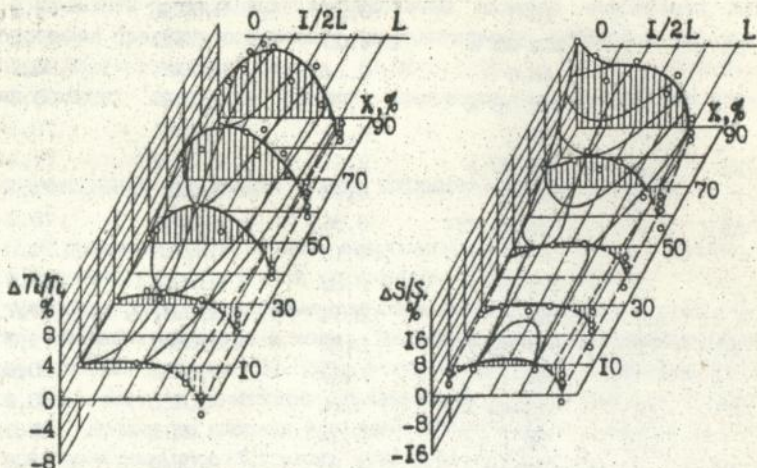


Рис.3. Ликвация элементов в слитке массой 5,5 т микролегированной конструкционной стали 65Г, полученной при вводе лигатуры в центровую (на координатных осях отложены: уровень отбора темплетта по длине раската X , расстояние от центра до края заготовки L отклонение содержания элементов от среднего значения в относительных единицах; пунктирной линией показаны зоны, содержание титана и серы в которых ниже среднего значения).

Исследование механических свойств микролегированных сталей, полученных тремя исследованными способами, показывает, что способ получения оказывает значительное влияние на уровень превышения их свойств над сталью 65Г. Особенно существенно различие в ударной вязкости, которая определяется размерами и распределением карбонитридной фазы. После закалки и отпуска при 425°C ударная вязкость стали, полученной по способу I превышает ударную вязкость стали 65Г

на 20% (доля площади %S, занимаемая крупными >20мкм включениями составляет 92%), а ударная вязкость стали, полученной по способу П-на 91% (%S=67%), по способу Ш- в 2,25 раза (%S=36%).

Полевые испытания рабочих органов культиваторов, изготовленных из высокоуглеродистой микролегированной стали, показывают, что применение стали разработанного состава позволило повысить надежность лап чизельных культиваторов на 80%, рыхлительных лап с уменьшенной на 20% толщиной на 25% в сравнении с серийными. Получение высокого комплекса свойств у микролегированной стали позволило внедрить в производство ножи фрезерных машин, сняв при этом операцию наплавки и повысив надежность в 2,8 раза (ГФ-2,8) и в 6 раз (КВС-3).

Из экономнолегированной стали с пониженным содержанием углерода изготавливали стрелчатые лапы культиваторов, которые при полевых испытаниях превысили по надежности серийные из стали 65Г на 30%.

Таким образом, эксплуатационные испытания рабочих органов сельхозмашин различного назначения, изготовленные из сталей разработанных составов, показали повышенную надежность и целесообразность замены применяемых марок сталей на предлагаемые экономнолегированные. Экономический эффект от замены на ПО "Красный Аксай" и Гуляйпольском ОЗСХМ составил в 1989-1990 г.г. 926994 руб. При внедрении предлагаемой технологии позднего модифицирования в условиях ДМЗ экономический эффект составит 13916210 руб. (в ценах на 1.07.92 г.)

ОБЩИЕ ВЫВОДЫ

1. Показано, что серийно выпускаемые конструкционные стали, применяемые для изготовления деталей и узлов культиваторов, имеют нестабильные показатели механических свойств и в пределах установленных концентраций элементов не могут обеспечить высокой надежности в их работе. Требуемого устойчивого результата невозможно достичь варьированием содержания традиционных легирующих элементов незначительно повышающих стоимость металла и ужесточения требований по технологическим параметрам выплавки сталей.

2. Установлено влияние содержания титана до 0,18% и бора до 0,01% мас. на структуру и механические свойства марганцовистых сталей с содержанием углерода 0,30-0,70%. Показано, что существуют интервалы концентраций титана и бора, при которых стали обладают по-

вышенным комплексом механических свойств. Полученные данные позволили рекомендовать сталь с 0,05-0,11% Ti и 0,0017-0,0045% В для изготовления рабочих органов высокой надежности для почвообрабатывающих машин различных типов.

3. Дана количественная оценка влияния титана на морфологию карбонитридной фазы, распределение легирующих элементов в фазовых и структурных составляющих, фазовый состав марганцовистых сталей и установлено влияние этих показателей на износостойкость и механические свойства сталей. Показано, что введение микродобавок титана и бора способствует диспергированию структуры, образованию благоприятно расположенной в структуре карбонитридной фазы, а также повышению микроискажений кристаллической решетки и плотности дислокаций, очищению зеренных и субзеренных границ и перераспределению элементов в стали.

4. Повышение содержания титана и бора выше указанных концентраций нецелесообразно, т.к. вызывает образование крупных карбонитридов, располагающихся в изломе вблизи источников разрушения и снижающих сопротивление материала воздействию нагрузок.

5. Разработаны новые экономнолегированные стали для изготовления рабочих органов почвообрабатывающих машин (а.с. № 1629348, положительное решение по заявке № 5012805/02), внедренные в производство рабочих органов культиваторов различного назначения.

6. Наиболее эффективным способом производства микролегированных сталей является разработанная на основании модельного эксперимента с автоматической подачей лигатуры в зависимости от режима разливки (а.с. № 1276608), технология позднего модифицирования, включающая ввод лигатуры в центровую с защитой струи металла от вторичного окисления и обеспеченная применением устройства а.с. № 1787681. Исследованиями качественных показателей процесса позднего модифицирования установлено, что степень усвоения титана повышается до 94,1%, бора до 92,9%, а неравномерность распределения микродобавок в объеме металла не превышает неравномерности распределения наиболее сильно ликвидируемых элементов, в частности серы.

7. В ходе промышленного освоения производства микролегированных сталей установлено, что стали, полученные с применением разработанной технологии обладают повышенными механическими свойствами, особенно ударной вязкостью, так как позднее модифицирование положительно влияет на размеры и распределение карбонитридной фазы и

структурных составляющих.

8. Разработаны и внедрены технические условия на производство и поставку микролегированных сталей для сельхозмашиностроения в виде различных прокатных профилей (ТУ I4-234-77-92, ТУ I4-23I-44-9I, ТУ I4-229-I-9I).

9. Фактический экономический эффект от внедрения разработанных сталей в производство рабочих органов культиваторов составил в 1989 - 1990 г.г. 926994 руб. за счет повышения надежности деталей, снижения количества запасных частей и совершенствования их изготовления. Применение технологии позднего модифицирования с защитой струи разливаемого металла от вторичного окисления позволит получить в условиях ДМЗ экономический эффект около I4 млн.руб. (в ценах на I.07.92 г.) за счет экономии ферросплавов и снижения брака I передела.

Основное содержание диссертационной работы отражено в следующих печатных трудах:

I. А.с. № I629348. Сталь/ Ярошевская Е.С., Еронько С.П., Быковских С.В. и др. - Оpubл. 23.02.9I. Бюл. № 7.

2. А.с. № I78768I. Устройство для выпуска металла из разливочного ковша / Еронько С.П., Ярошевская Е.С., Быковских С.В. и др. - Оpubл. I5.0I.93. Бюл. № 2.

3. А.с. № I276608. Устройство для управлением тормоза шахтной подъемной машины/ Е.С.Траубе, В.И.Добрянский, С.В.Быковских и др. Оpubл. I5.I2.86. Бюл. № 46.

4. Ярошевская Е.С., Быковских С.В. Сталь// Положительное решение по заявке № 50I2805/02 от 25.II.9I.

5. Ярошевская Е.С., Быковских С.В., Морозов В.Б., Дворяндин В.В. Повышение степени усвоения титана и бора при микролегировании стали// Сталь. - 1992, № 8. - С.26-29.

6. О причинах образования трещин при горячей пластической деформации марганцовистой стали/ Е.С.Ярошевская, В.И.Гребенников, С.В.Быковских и др.// Рукопись деп. в Черметинформации, 1989, № 2Д/4982. - IO с.

7. Еронько С.П., Ярошевская Е.С., Быковских С.В. Комплексная технология повышения качества стали// Информационный листок №II-93. - Донецк, ДонИнформ.

8. Ярошевская Е.С., Гребенников В.С., Морозов В.Б., Быковских С.В. Эффективность применения титансодержащих добавок для микроле-

гирования марганцовистой стали// Эффективность производства и применения новых модификаторов, раскислителей и лигатур в металлургии и машиностроении: Сб.тез.докл.Всесоюзной н.-т.конф.- Челябинск: УДНТИ. 1988.- С.69.

9. Пилушенко В.Л., Ярошевская Е.С., Гребенников В.И., Быковских С.В. Износостойкая микролегированная сталь для сельхозмашиностроения// Повышение качества металлопроката путем термической и термомеханической обработки: Сб.тез.докл.н.-т.конф.- Днепропетровск: ИЧМ. 1988.- С.17-18.

10. Ярошевская Е.С., Быковских С.В. Снижение металлоемкости рабочих органов почвообрабатывающих машин за счет повышения качества стали// Материалы II Всесоюзной конференции молодых ученых, инженеров и рабочих по экономии материальных и энергетических ресурсов.- Донецк: Донничермет. 1989.- С.132-133.

11. Ярошевская Е.С., Быковских С.В. Повышение долговечности рабочих органов сельхозмашин за счет применения микролегированной стали// Новые конструкционные стали и сплавы и методы их обработки для повышения надежности и долговечности изделий: Тез.докл.Всесоюзной н.-т.конф.- Запорожье, 1989.- С.71.

12. Ярошевская Е.С., Быковских С.В. Повышение комплекса свойств стали 65Г за счет микролегирования// Совершенствование металлургической технологии в машиностроении: Тез.докл. I н.-т.конф.- Волгоград. 1989.- С.78-79.

13. Ярошевская Е.С., Быковских С.В. Усвоение и распределение микродобавок титана и бора при поднеме модифицировании марганцовистой стали// Тез.докл.н.-т.конф.- Молодежь и научно-технический прогресс.-Линецк: ЛПИ.1990.- С.88.

14. Ярошевская Е.С., Быковских С.В. Отработка технологии позднего модифицирования титансодержащей стали с целью высокого усвоения микродобавок// Процессы разливки, модифицирования и кристаллизации стали и сплавов: Тез.докл.н.-т.конф.- Волгоград.- 1990.- С.91.

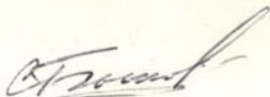
15. Ярошевская Е.С., Быковских С.В. Планирование многофакторного эксперимента при решении задачи оптимизации состава и термообработки стали// Применение методов математического моделирования в научных исследованиях: Тез.докл.н.-т.конф.- Донецк, АН УССР. 1990.- С.17-18.

16. Ярошевская Е.С., Быковских С.В. Повышение надежности ножей фрезерных культиваторов за счет применения микролегированной стали// Совершенствование металлургической технологии в машинострое-

нии: Сб. тез. докл. Второй Всесоюзной н.-т. конф. - Волгоград. 1991. - С. 267-269.

17. Ярошевская Е.С., Быковских С.В. Повышение долговечности быстроизнашивающихся деталей за счет применения микролегированной стали// Технологические методы повышения эффективности и качества механосборочного производства: Сб. тез. докл. конф. - Домбай. 1992. - С. 11-12.

18. Пилюшенко В.Л., Ярошевская Е.С., Быковских С.В. О механизме износа рабочих органов культиваторов// Технологические методы повышения эффективности и качества механосборочного производства: Сб. тез. докл. конф. - Домбай. 1992. - С. 10-11.



Подп. в печать 19.10.93. Формат 60x84 1/16. Бумага типографская.
Офсетная печать. Усл. печ. л. 1,25. Усл. кр.-отт. 1,48. Уч.-изд. л. 1,07.
Тираж 120 экз. Заказ № 4-6958.

Донецкий государственный технический университет,
Донецк, ул. Артема, 58

ДМАШ, 340050, Донецк, ул. Артема, 96

46350

AB 28.269

AB 28.269