

5.16.02

548

ЧЕЛЯБИНСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ
ИМЕНИ ЛЕНИНСКОГО КОМСОМОДА

На правах рукописи

Берг Бруно Николаевич

ВЛИЯНИЕ УСЛОВИЙ РАСКИСЛЕНИЯ НА
ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА СТАЛИ
ДЛЯ БЕСШОВНЫХ ТРУБ

Специальность 05.16.02 - Metallургия черных металлов

Автореферат диссертации
на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Диссертационная работа выполнена в Уральском научно-исследовательском институте трубной промышленности, на Челябинском металлургическом и Первоуральском Новотрубном заводах и кафедре металлургии стали Челябинского политехнического института им. Ленинского комсомола.

Научный руководитель - заслуженный деятель науки и техники РСФСР, лауреат Государственной премии СССР, доктор технических наук, профессор Д.Я. ПОВОЛОЦКИЙ.

Научный консультант - кандидат технических наук, доцент Н.В. МАЛЬКОВ.

Официальные оппоненты: лауреат Ленинской премии, доктор технических наук, профессор А.Н. МОРОЗОВ;
кандидат технических наук Д.И. ЛАПИН.

Ведущее предприятие - Златоустовский металлургический завод.

Защита состоится " _____ " _____ 1980 года, в 15 часов, на заседании специализированного совета К-053.13.03 в Челябинском политехническом институте им. Ленинского комсомола по адресу: 454044, г. Челябинск, проспект им. Ленина, 76.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Челябинского политехнического института им. Ленинского комсомола.

Автореферат разослан " _____ " _____ 1980 г.

Ученый секретарь специализированного совета
кандидат технических наук, доцент

 О.К. ТОКОВОЙ

Актуальность работы. Вопросы повышения качества трубных заготовок являются предметом изучения как зарубежных, так и отечественных металлургов-сталеплавильщиков. Интерес, проявляемый к качеству исходного металла, объясняется большими экономическими потерями от брака труб при прокатке заготовок на прошивных станах. ЭМП, ВДП и другие способы переплава металла существенно повышают технологические свойства трубных заготовок, но относительная дороговизна и невозможность переплава больших масс металла приводит к необходимости повышать качество трубных заготовок за счет совершенствования технологии выплавки металла в открытых дуговых печах. Работа выполнена согласно тематическому плану НИР ВПО "Совзтрубосталь" и УралНИТИ, а также координационному плану по проблеме "Сталь и неметаллические включения" МЧМ СССР.

Цель работы. Определение влияния неметаллических включений на прошиваемость трубных заготовок и на основе полученных результатов разработка технологии выплавки стали 15X5M, способствующей повышению технологической пластичности трубных заготовок из этой стали.

Для выполнения поставленной задачи были проведены исследования в следующих направлениях:

1. Исследование методами математической статистики и изучение в лабораторных условиях влияние неметаллических включений на качество трубных заготовок и бесшовных труб из стали ШХ15.
2. Количественная оценка влияния содержания, состава, типа и размеров неметаллических включений на зарождение и развитие осевого разрушения и образование внутренних дефектов в гильзах.
3. Изучение влияния технологии выплавки, раскисления, внепечной обработки и разливки стали 15X5M на состав, количество и распределение неметаллических включений, качество трубных заготовок и бесшовных труб.
4. Исследование влияния неметаллических включений, состояния макроструктуры, температуры нагрева заготовок и настроечных параметров прошивного стана на осевое разрушение и образование внутренних дефектов в трубах из стали 15X5M.

Научная новизна. Разработаны методики количественной оценки влияния неметаллических включений на прошиваемость, опреде-

ления критических размеров включений, участвующих в осевом разрушении заготовок, исследования поверхности горячего разрушения, характерного для косовалковой прошивки.

Исследовано влияние окисных неметаллических включений различного состава, нитридов алюминия и титана, центральной пористости на образование внутренних дефектов в трубах из низкоуглеродистого железа и сталей 38ХМЮА и 15Х5М. При содержании включений различного состава в трубных заготовках оценен вклад каждого из них в осевое разрушение.

Практическая ценность. Результаты работы предназначены для использования металлургическими заводами при совершенствовании технологии выплавки сталей для производства бесшовных труб, организаций, разрабатывающие стали для труб, при разработке технологии прокатки труб и управлении качеством продукции.

На основании результатов исследований разработан ряд вариантов выплавки стали 15Х5М, позволивших снизить брак труб по дефектам на внутренней поверхности в 2-4 раза. Технология с введением 0,5 кг/т РЗМ без присадок силикокальция внедрена в производство, что позволило получить годовой экономический эффект в размере 102 тыс.руб. Трубная заготовка, выплавленная по внедренной технологии, аттестуется на "Знак качества".

Апробация работы. Основные материалы и положения диссертации доложены и обсуждены на Второй и Третьей Всесоюзных конференциях "Современные проблемы электрометаллургии стали" (Челябинск, 1974 и 1977 г.г.), шестом научно-техническом совещании "Современное состояние и перспективы развития высокотемпературной металлографии" (Москва, 1974 г.), на Всесоюзном научно-техническом семинаре "Опыт работы предприятий черной металлургии по повышению качества трубной заготовки" (Первоуральск, 1977 г.), Всесоюзном семинаре "Сталь и неметаллические включения" (Свердловск, 1978 г.), XX коллоквиуме "Опыт ЦЗЛ по контролю и исследованию качества металлопродукции методом металлографии, механических испытаний, контроля" (Челябинск, 1978 г.).

Публикация. Основное содержание работы опубликовано в 9 статьях и одном авторском свидетельстве.

Объем работы. Диссертация изложена на 239 страницах машинописного текста и состоит из 5 глав с 34 отдельными таблицами, 44 рисунков, приложения на 12 страницах, в том числе 3 таблиц. Список использованной литературы состоит из 149 наименований.

Состояние вопроса

Внутренние плены являются распространенным дефектом на бесшовных трубах. Согласно литературным данным, их образование связано с осевыми разрушениями перед носком оправки при косо-валковой прошивке. Известно, что прошивка заготовок происходит в условиях, приближенных к малоцикловой усталости и ответственными за осевое разрушение, кроме других факторов являются и неметаллические включения, способствующие, вследствие локализации деформации в небольших объемах, преждевременному вскрытию полости перед носком оправки. По имеющимся результатам исследований не представляется возможным судить о количественных критериях влияния неметаллических включений на осевое разрушение и соответственно на образование внутренних дефектов в трубах.

Анализ литературных данных показал, что одним из основных способов повышения технологической пластичности трубных заготовок является совершенствование технологии выплавки стали, что позволило сформулировать направление и задачи исследования.

Влияние неметаллических включений на качество трубных заготовок и бесшовных труб из стали

ШХ15

Выбор в качестве объекта исследования стали ШХ15 обусловлен тем, что трубные заготовки из этой стали согласно техническим условиям поставляются с регламентированной загрязненностью неметаллическими включениями, с жесткими требованиями к состоянию микро- и макроструктуры, содержанию серы и т.д.

Первоуральский Новотрубный завод (ПНТЗ) получает трубную заготовку диаметром 105+180 мм от различных заводов-поставщиков, на которых выплавка стали производится в электропечах различной емкости, в кислой мартеновской печи и подвергнутая ЭШП.

Статистический анализ качества заготовок более 1200 плавок показал, что с увеличением диаметра трубной заготовки и массы слитка повышается средний максимальный балл включений и увеличивается брак труб по внутренним пленам. Брак труб из металла, выплавленного в электропечах, коррелирует со средним максимальным баллом оксидов, а из металла, выплавленного в кислой мартеновской печи, со средним максимальным баллом сульфидов. С увеличением диаметра трубной заготовки коэффициент корреляции уменьшается, что, по-видимому, связано с влиянием макроструктуры на технологическую пластичность.

В лабораторных условиях было проведено исследование качества металла заводов-поставщиков трубной заготовки. Исследование загрязненности металла неметаллическими включениями по ГОСТ 801-60 при 100% контроле площади шлифа показало, что максимальное количество включений сосредоточено в осевой зоне заготовок. Содержание оксидов и глобулей увеличивается от верха к низу слитка, сульфидов - от низа к верху слитка. С увеличением диаметра трубной заготовки загрязненность стали включениями увеличивается. Металл, выплавленный в электропечах и подвергнутый ЭШП, в основном загрязнен оксидами. Наибольшее количество включений в заготовках из металла кислой мартееновской печи, наименьшее - в заготовках из металла ЭШП.

Установлено, что пластические свойства металла осевых зон заготовок, определенные методом горячего кручения в интервале температур 1060-1180°C, значительно ниже пластичности металла из периферийных зон. Металл подприбыльных частей слитка обладает минимальной пластичностью.

При прокатке трубных заготовок, соответствующих подприбыльным, средним и донным частям слитка, установлено, что брак труб по внутренним пленам из заготовок диаметром 160-180 мм подприбыльных частей слитка наибольший (до 60% от общего количества брака). С уменьшением диаметра трубных заготовок количество внутренних дефектов в трубах снижается и по высоте слитка распределяется относительно равномерно.

Влияние условий раскисления и переплава на технологическую пластичность низкоуглеродистого железа и стали 38ХМЮА

Количественное влияние неметаллических включений на прошиваемость изучали на низкоуглеродистом железе и стали 38ХМЮА. Формирование различных по составу включений добивались раскислением низкоуглеродистого железа в изложницах одним из следующих раскислителей: кремнием, силикокальцием, алюминием, титаном и РЗМ (ферроцерий). Для снижения содержания неметаллических включений опытный металл подвергали электрошлаковому переплаву, а сталь 38ХМЮА и вакуумно-дуговому переплаву. Содержание неметаллических включений в металле после прокатки определяли по ГОСТ 1778-70 при 100% просмотре площади шлифа с последующим пе-

решением баллов в площадь, занимаемую включениями в единице площади шлифа. Состав неметаллических включений исследовали петрографически и химическим анализом оксидного осадка.

Неметаллические включения в низкоуглеродистом железе, раскисленном кремнием и силикокальцием, представлены недеформирующимися глобулами кремнезема и силикатов кальция, а раскисленном алюминием и РЗМ строчечными и точечными оксидами. В низкоуглеродистом железе, раскисленном титаном, включения состоят из оксидов и нитридов. В связи с трудностями их идентификации оценка содержания включений производилась совокупно, как нитридов титана, точечные и строчечные. Сталь 38ХЮА загрязнена в основном точечными и строчечными нитридами алюминия.

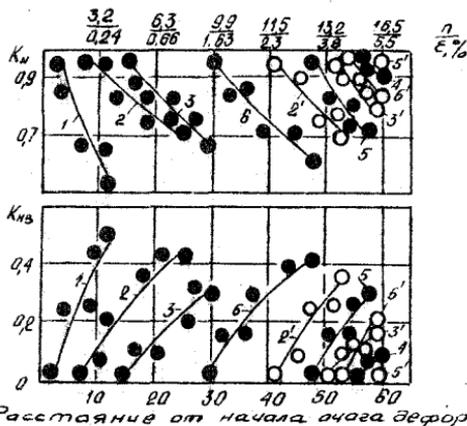
Опытный металл после нагрева до температуры 1180–1200°С катали на прошивном стане с торможением. Из заторможенных в стане заготовок изготовляли продольные шлифы, при исследовании которых было установлено, что осевое разрушение состоит из зон микро- и макроразрушений. Зону микроразрушения делили на ряд параллельных сечений, на которых при 100% просмотре с увеличением $\times 400$ определяли размер и количество микротрещин, проходящих по включениям (N_T), общее количество трещин ($N_{общ}$), общее количество включений ($N_{общ}$) и количество включений, связанных с микротрещинами (N_T). С использованием методики Ю.А. Шульте и др. определяли долю трещин, проходящих по включениям (K_N) и долю включений, участвующих в осевом разрушении (K_{NB}).

$$K_N = \frac{N_T}{N_{общ}} \quad ; \quad K_{NB} = \frac{N_T}{N_{общ}}$$

Пораженность осевой зоны микротрещинами оценивалось удельной протяженностью трещин, проходящих по металлической матрице и неметаллическим включениям.

Установлено, что в зарождении и развитии осевого разрушения в основном ответственны недеформирующиеся глобулы кремнезема (C_N), силикаты кальция (C_N), строчечные оксиды (O_c) и нитриды (N_c).

На рисунке показано изменение K_N и K_{NB} по длине очага деформации, т.е. с накоплением деформации ($\epsilon, \%$) и числа циклов нагружения (N). Для всех случаев в начале разрушения K_N близко к единице, это свидетельствует о том, что микротрещины в основном зарождаются на неметаллических включениях. Повышение величины K_{NB} показывает, что с увеличением параметров деформации все большее количество включений участвует в



Изменение K_N и K_{NB} по длине очага деформации для заготовок из металла, раскисленного силикокальцием (1), кремнием (2), алюминием (3), РЭМ (4), титаном (5), и стали 38ХМЮА (6) после плавки в дуговой печи (●—●) и ЭПП (○—○)

Таблица

Характеристика осевой зоны заготовок до и после деформации

Раскисление		Осевая зона до деформации			Осевая зона после деформации				
		Содержание включений мм ² /см ² ·10 ⁴			Макс. размер включений, мкм	Длина зоны разрушения %	Интервал критических размеров $L_{кр}$ включений мкм	Наличие внутренних плёнок	
		Ос	Сн	Нс					
Низкоуглеродистое железо	Электропечь	Si	-	98,0	-	80	87,5	72-50	Плёны
		Al	50,2	-	-	210	75,9	142-130	Плёны
		Ti	-	-	60,2	180	25,9	152-137,5	Нет
		Ce	60,7	-	-	240	12,5	200-190	Нет
		Si/Ce	-	131,0	-	100	96,1	68-52	Плёны
	ЭПП	Si	28,6	-	-	80	33,9	62-47,5	Нет
	Al	18,1	-	-	75	15,33	72-67,5	Нет	
	Ti	-	-	32,4	90	4,15	72,5	Нет	
Сталь 38ХМЮА	Эл. печь	-	-	98,6	195	57,3	150-125	Нет	
	ЭПП	-	-	48,1	90	8,22	80-75	Нет	
	ВДП	-	-	26,3	50	-	-	Нет	

осевом разрушении. Сопоставление изменения $K_{\text{н}}$ и $K_{\text{нв}}$ для заготовок, имеющих различие в составе включений, свидетельствует о том, что на глобулах кремнезема, силикатах кальция, строчечных оксидах алюминия зарождение осевого разрушения происходит при меньших деформациях, чем на нитридах титана и алюминия, и оксидах РЗМ, что следует объяснить большим запасом пластичности заготовок из металла, раскисленного титаном и РЗМ, и заготовок из стали З8ХМЮА.

Высокие пластические свойства заготовок из металла, раскисленного РЗМ, связано не только с изменением состава неметаллических включений, но и, по-видимому, микролегирующим эффектом РЗМ на металлическую матрицу.

Прокатка заготовок из металла ЗШП показывает, что при уменьшении содержания включений зарождение осевого разрушения происходит при существенно больших деформациях, чем в исходном металле. В связи с незначительным содержанием строчечных нитридов в заготовках из стали З8ХМЮА после вакуумно-дугового переплава осевое разрушение не происходит вообще.

Осевое разрушение при прошивке происходит на наиболее крупных включениях. Сопоставлением кривых распределения неметаллических включений по размерам в осевых зонах недеформированных и деформированных заготовок, определяли наименьшие критические размеры включений $L_{\text{кр}}$, на которых образуются микротрещины. По длине очага деформации критические размеры включений уменьшаются (см. таблицу). Полученные результаты свидетельствуют о том, что по мере уменьшения количества включений, уменьшения их размера понижается и критический размер неметаллических включений, но при этом увеличивается запас пластичности металла, т.е. разрушение металла происходит при больших значениях циклической деформации. Из этого следует, что более высокие пластические свойства заготовок из металла ЗШП связано, не только с уменьшением содержания неметаллических включений, но и существенно меньшим их размером.

Осевая зона заторможенных в стане заготовок оценивалась и параметрами разрушения, критическим обжатием и протяженностью осевого разрушения, являющиеся известными критериями оценки прошиваемости в лабораторных условиях. В таблице приведены показатели качества заготовок до и после деформации, из которых следует, что с увеличением протяженности осевого разрушения ве-

роятность образования внутренних дефектов в гильзах увеличивается. В заготовках из металла, загрязненного глобулами кремнезема, силикатами кальция, оксидами алюминия протяженность осевого разрушения наибольшая и, как правило, гильзы из этого металла поражены грубыми внутренними дефектами. В гильзах из металла, раскисленного титаном и РЗМ, и из стали 38ХМЮА дефекты отсутствуют.

В заготовках из металла ЭМП протяженность осевого разрушения в 4-7 раз меньше, чем в исходном и на внутренней поверхности гильза плен нет.

По мере увеличения влияния на зарождение и развитие осевого разрушения неметаллические включения в металле, выплавленном в открытой дуговой печи, можно расположить в следующий ряд: РЗМ - содержащие, нитриды титана, нитриды алюминия в стали 38ХМЮА, окислы алюминия, окислы кремния, силикаты кальция.

Полученные результаты показывают, что пластические свойства металла для бесшовных труб можно улучшать снижением содержания, уменьшением размера, изменением состава и типа неметаллических включений и увеличением пластичности металлической матрицы.

С целью исследования поверхности осевого разрушения были прокатаны при температуре 1200⁰С двухконусные образцы, в которых осевое разрушение не выходило наружу, т.е. было неокисленное. Фрактографические исследования на электронном микроскопе УМВ100К методом угольных реплик показали, что на поверхности горячего разрушения находятся неметаллические включения, как экстрагированные на реплику, так и снятые отпечатки. Особенностью горячего разрушения является полное отсутствие "чашечной" или "ручьистой" картины, обычной для разрушений при комнатной или пониженных температурах. Поверхность имеет сглаженный характер, слегка холмистый рельеф, покрытый сетью линий. В отдельных местах хорошо просматриваются границы зерен.

Технологическая пластичность крекинговой стали 15Х5М при производстве бесшовных труб

Технологическая пластичность трубных заготовок из стали 15Х5М низка. Брак труб первичного предъявления составляет в среднем 18,7-28,9% и колеблется от 5 до 100%. Методами математической статистики и лабораторными исследованиями установлено,

что пониженная технологическая пластичность связана с высоким содержанием пластичных силикатов ($\sqrt{\Sigma} = 0,314 \pm 0,485$) и строчечных оксидов ($\sqrt{\Sigma} = 0,467 \pm 0,89$).

Выбор опытных вариантов выплавки стали 15Х5М строился с расчетом снижения содержания и уменьшения размеров строчечных неметаллических включений, изменения их состава, перераспределения по сечению трубных заготовок и повышения пластичности металлической матрицы.

Выплавку опытного металла производили в 40 т электропечи Челябинского металлургического завода (ЧМЗ):

1) без скачивания окислительного шлага с раскислением по существующей технологии (Al 0,5 кг/т и 0,7 кг/т соответственно в начале рафинировки и перед сливом металла и 1 кг/т SiCa на струю) и с раскислением алюминием в начале рафинировки в количестве 1,8 кг/т;

2) с РЗМ в количестве 1,0 и 0,5 кг/т;

3) с РЗМ в количестве 1,0; 0,5 и 0,2 кг/т без присадок силикокальция;

4) с присадками силикокальция в печь 1 кг/т;

5) с продувкой в ковше аргоном металла существующей технологии выплавки и выплавки по варианту 3;

6) разливка с применением экзотермических брикетов металла существующей технологии выплавки и с выплавкой по варианту 3.

По вариантам 2 и 3 раскисление алюминием осуществляли по существующей технологии. Присадку силикокальция в печь производили после алюминия за 3-5 мин. до слива металла в ковш. РЗМ вводили в металл на штангах, завернутым в металлические листы, после алюминия за 5-10 мин. до слива металла из печи.

С целью изучения влияния присадок силикокальция в печь его вводили на штангах в металл, завернутым в металлические листы, в виде кусков или порошка на шлак, а по ходу плавки и разливки отбирали пробы металла. Исследования показали, что содержание неметаллических включений в пробах из изложницы в 2-3 раза меньше при выплавке с присадками силикокальция в печь, завернутым в листы, или в виде кусков на шлак. В этих же пробах меньше содержание кислорода в 1,7 раза и в 1,5-2 раза больше алюминия. Установлено, что при присадках силикокальция по опытным вариантам глобулярные включения в металле проб из изложницы практически отсутствуют, в то время как при даче силикокальция на струю их

количество значительно. Очевидно, это связано с тем, что значительная часть включений, образовавшихся при даче силикокальция на струю не успевает удалиться во время выдержки металла в ковше. Это подтверждается также и тем, что в составе неметаллических включений трубных заготовок содержание кремнезема и окислов кальция в 3-6 раз меньше при выплавке металла с присадками кускового силикокальция в печь.

По опытным вариантам было выплавлено более 8,5 тыс. т трубной заготовки. Прокатка опытного металла в трубы производилась на станах 220 и 140-I ПНТЗ. Выплавка металла по опытным вариантам способствовала снижению брака труб по внутренним пленам, за исключением варианта с выплавкой под одним шлаком (брак 36,1%). Наименьший брак труб из металла, выплавленного с 0,5 кг/т РЗМ без присадок силикокальция (брак 5,7-7,1%). Продувка металла в ковше аргоном приводит к уменьшению брака труб в 2-4 раза. В трубных заготовках из опытного металла определяли содержание кислорода, алюминия и РЗМ. Статистическими методами анализа установлено, что максимальные пластические свойства трубных заготовок при содержании РЗМ в металле 0,016-0,022%, а при выплавке стали с присадками силикокальция в печь при содержании алюминия 0,08-0,12%.

Исследование структуры и свойств трубных заготовок из стали 15Х5М

Неметаллические включения изучали металлографически, на микроанализаторе "Камека", рентгеновской установке "Дрон 1,5", электронном микроскопе и химическим анализом оксидного осадка.

Установлено, что количество строчечных оксидов и пластичных силикатов максимально в осевой и минимально в краевой зонах поперечного сечения трубных заготовок, за исключением вариантов с выплавкой без скачивания окислительного шлака, в которых содержание строчечных оксидов в периферийной зоне наибольшее количество. Строчечных оксидов больше в заготовках из нижней части слитков. Пластичные силикаты по высоте слитка располагаются относительно равномерно. Неметаллические включения в металле существующей технологии выплавки состоят из железо-хромовой шпинели, трехкальциевого алюмината, алюмосиликатов и глинозема. В металле, выплавленном без скачивания окислительного шлака, кроме указанных включений, присутствует марганцевый алюмосили-

кат, а глинозем отсутствует. При выплавке металла с присадками РЭМ неметаллические включения представлены трехкальциевым алюминатом, алюмосиликатами, глиноземом и однокальциевого гексоалюмината с частичным замещением окиси кальция на окись церия.

При исследовании влияния неметаллических включений на прошиваемость стали 15Х5М установлен одинаковый с низкоуглеродистым железом и сталью 38ХМЮА характер в изменении величин K_N, K_{NB} , и удельной протяженности микротрещин по длине очага деформации. Зарождение и развитие осевого разрушения при прошивке стали 15Х5М происходит так же по строчечным неметаллическим включениям. Отличие состоит в различном количественном влиянии неметаллических включений на осевое разрушение при существенно разных величинах циклической деформации. При этом протяженность осевого разрушения в заготовках из стали 15Х5М в основном меньше, чем в заготовках из стали 38ХМЮА и низкоуглеродистого железа, раскисленного кремнием, силикокальцием и алюминием, выплавленных в открытой дуговой печи.

Высокая технологическая пластичность трубных заготовок из металла, обработанного в ковше аргоном, связано с 1,5-2,5 раза меньшим содержанием строчечных включений и их размера.

Низкие пластические свойства заготовок из металла, выплавленного без скачивания окислительного шлака, объясняется высоким содержанием пластичных силикатов и значительным их размером. Кроме того, на снижение качества трубных заготовок влияют пленочные стекловидные включения, обнаруженные электронномикроскопическими исследованиями. При выплавке металла под одним шлаком с повышенными присадками алюминия технологическая пластичность заготовок увеличивается до уровня существующей технологии выплавки за счет уменьшения в два раза содержания пластичных силикатов.

Несмотря на значительное содержание неметаллических включений в заготовках из металла, раскисленного $I+0,5$ кг/т РЭМ, пластические свойства металла увеличиваются, что связано не только с изменением состава неметаллических включений, но и, по-видимому, микролегирующим действием РЭМ на металлическую матрицу. При уменьшении присадок РЭМ до 0,5 кг/т брак труб по внутренним пленам уменьшается, что обусловлено не только снижением содержания неметаллических включений, но и отсутствием дефекта "цериевая пористость" в заготовках от низа слитка. Выплавка металла с 0,5 кг/т РЭМ без присадок силикокальция способствует большему снижению строчечных неметаллических включений, что приводит к увеличению пластических свойств трубных заготовок.

В заготовках из металла, выплавленного с присадками силикокальция в печь, содержание и размер неметаллических включений уменьшаются, что привело к увеличению технологической пластичности трубных заготовок.

При содержании в трубных заготовках строчечных оксидов, пластичных силикатов и сульфидов опасность строчечных оксидов в осевом разрушении наибольшая, а зарождение микротрещин на сульфидрах и пластичных силикатах происходит при больших деформациях. С увеличением содержания их опасность в осевом разрушении может увеличиваться.

Прокатка заготовок с баллом по центральной пористости I,3,4 показала, что за осевое разрушение ответственны не только дефекты макроструктуры, но и неметаллические включения. С повышением балла по центральной пористости роль неметаллических включений в осевом разрушении уменьшается, а дефектов макроструктуры (пор) увеличивается. При этом брак труб по внутренним пленам увеличивается.

Установлено, что при прошивке заготовок с пониженной температурой нагрева или с уменьшением угла подачи (угла наклона валков) с 13 до 5° опасность включений в осевом разрушении увеличивается и при этом ухудшается качество гильз.

Выводы по работе

1. Статистическими и лабораторными исследованиями установлено, что значительное влияние на брак труб из стали ШХ15 по внутренним пленам оказывают неметаллические включения осевых зон трубных заготовок и центральная пористость. С увеличением загрязненности стали неметаллическими включениями количество внутренних плен в трубах увеличивается.

2. Разработаны методики оценки количественного влияния неметаллических включений на зарождение и развитие осевого разрушения, определения критических размеров включений, участвующих в разрушении, и исследования поверхности горячего разрушения, характерного для косовалковой прошивки.

3. Количественно исследовано влияние продуктов раскисления кремнием, кальцием, алюминием, РЗМ и титаном в низкоуглеродистом железе и нитридов алюминия в стали 38ХМДА на прошиваемость и образование дефектов на внутренней поверхности гильз при прошивке. Установлено, что за осевое разрушение в основном ответственны

крупные глобулярные включения и включения строчечного типа. Точечные включения в разрушении практически не участвуют. Наиболее отрицательное влияние на прошиваемость оказывают глобулы кремнезема, силикаты кальция и строчечные глиноземистые включения.

4. Повышение технологической пластичности трубных заготовок возможно за счет снижения содержания, уменьшения размера, изменения состава, типа неметаллических включений и увеличения пластичности металлической матрицы.

5. Низкая технологическая пластичность трубных заготовок из стали 15Х5М и высокий брак труб по внутренним пленам (до 28%) связаны со значительным содержанием строчечных неметаллических включений (оксидов и пластичных силикатов) и большим их размером (до 240 мкм).

Наибольшее количество брака труб соответствует заготовкам из донных частей слитка (45-60%), где сосредоточено максимальное количество неметаллических включений.

6. В трубных заготовках из стали 15Х5М, выплавленных без скачивания окислительного шлака, с присадками $I \pm 0,2$ кг/т РЭМ, с введением силикокальция в печь, с обработкой в ковше аргоном и разливкой с применением экзотермических брикетов исследовано влияние содержания, состава и размера неметаллических включений на прошиваемость.

Наиболее отрицательное влияние на прошиваемость оказывают пластичные силикаты и пленочные включения при выплавке стали без скачивания шлака. При выплавке стали с 0,5 кг/т РЭМ, с присадками силикокальция в печь или с обработкой в ковше аргоном опасность неметаллических включений на прошиваемость уменьшается, в связи со снижением содержания, уменьшения размера и изменения состава неметаллических включений.

7. При загрязненности трубных заготовок оксидами, сульфидами и пластичными силикатами опасность строчечных оксидов в осевом разрушении наибольшая. Разрушение на сульфидах и пластичных силикатах происходит при больших деформациях. С увеличением содержания их опасность в осевом разрушении увеличивается.

8. С увеличением балла по центральной пористости трубных заготовок влияние неметаллических включений на прошиваемость уменьшается и за осевое разрушение, в основном, ответственны дефекты макроструктуры - поры. При прошивке заготовок с центральной пористостью балла 3 и 4 труб, как правило, поражены внутренними дефектами.

9. При прошивке заготовок с пониженной температурой нагрева (до 1050°C) под прошивку или с уменьшением угла подачи (с 13 до 5°) опасность включений в осевом разрушении увеличивается. Соответственно увеличивается и брак труб по внутренним пленам.

10. На основании проведенных исследований предложен ряд вариантов выплавки стали 15X5M , способствующих снижению брака труб в 2-4 раза. Технология с присадками $0,5$ кг/т РЗМ без введения силикокальция в ковш внедрена в производство со значительным технико-экономическим эффектом. Трубая заготовка, полученная по опытной технологии, аттестуется на "Знак качества".

Основное содержание диссертации опубликовано в работах:

1. Поволоцкий Д.Я., Гудим Ю.А., Мальков Н.В., Берг Б.Н. и др. Влияние способа выплавки стали XII5 на качество бесшовных труб. В сб. Современные проблемы электрометаллургии стали. Труды II Всесоюзной конференции, Челябинск, 1975, с.79-86.

2. Стерин Ю.М., Мальков Н.В., Ситников Л.Л., Урин Ю.Л., Берг Б.Н. К вопросу образования дефектов на внутренней поверхности гильз при винтовой прокатке. В сб. Трубное производство Урала. Вып.4, Челябинск, 1975, с.16-21.

3. Берг Б.Н., Поволоцкий Д.Я., Мальков Н.В. и др. Влияние металлургических факторов на технологическую пластичность. В сб. Вопросы производства и обработки стали. № 163, Челябинск, 1975, с.80-86.

4. Мальков Н.В., Поволоцкий Д.Я., Гудим Ю.А., Берг Б.Н. и др. Качество трубных заготовок и труб из стали XII5 , выплавленной под шлаками пониженной основности. В сб. Вопросы производства и обработки стали, № 177, Челябинск, 1976, с.88-94.

5. Катаргин А.Ю., Мальков Н.В., Берг Б.Н. и др. Качество стали X5M , выплавленной под одним шлаком. В сб. Вопросы производства и обработки стали, № 177, Челябинск, 1976, с.93-99.

6. Поволоцкий Д.Я., Берг Б.Н., Мальков Н.В. и др. Влияние неметаллических включений на технологическую пластичность стали 15X5M при производстве бесшовных труб. В сб. Вопросы производства и обработки стали, № 202, Челябинск, 1975, с.71-77.

7. Катаргин А.Ю., Мальков Н.В., Берг Б.Н. и др. Влияние раскисления алюминием на качество бесшовных труб из стали X5M . В сб. Вопросы производства и обработки стали, № 202, Челябинск, 1975, с.77-80.

8. Берг Б.Н., Мальков Н.В., Катаргин А.Ю. и др. Совершенствование технологии раскисления стали 15X5M, предназначенной для изготовления бесшовных труб. Материалы III Всесоюзной конференции "Современные проблемы электрометаллургии стали", Челябинск, 1978, с.124-129.

9. Стерин Ю.М., Ситников Л.Л., Мальков Н.В., Берг Б.Н. и др. Способы определения прошиваемости. Авторское свидетельство № 627875.- Бюллетень "Открытия, изобретения, промышленные образцы и товарные знаки", 1979, № 38.

10. Поволоцкий Д.Я., Берг Б.Н., Столетний М.Ф. и др. Влияние неметаллических включений на прошиваемость стали при производстве бесшовных труб.-Известия вузов, Черн.металлургия, № 8, 1979, с.68-70.