

ОБРАБОТКА РАСПЛАВА АРГОНОМ ПРИ КРИСТАЛЛИЗАЦИИ И КАЧЕСТВО ПОЛУНЕПРЕРЫВНОЛИТЫХ СТАЛЬНЫХ СЛИТКОВ

© 2015 В.В. Аникеев

Самарский государственный технический университет

Статья поступила в редакцию 23.11.2015

Приведены результаты освоения технологии полунепрерывного литья стальных слитков с продувкой аргоном при разливке и кристаллизации. Показаны конструктивные и технологические особенности литья. Приведены данные по качеству слитков.

Ключевые слова: полунепрерывное литье, сталь, слиток, технология, аргон, продувка, качество

Непрерывная и полунепрерывная разливка стали получила широкое применение благодаря высокой степени механизации производства слитков. В настоящее время имеется тенденция увеличения массы и сечения непрерывно- и полунепрерывнолитых слитков, предназначенных для прокатного и кузнечного производства, электрошлакового и вакуумнодугового переплава, при общем повышении требований к качеству металла. Широкое развитие непрерывной и полунепрерывной разливки легированной стали сдерживается специфическими особенностями затвердевания, при которых наличие осевой пористости и осевой ликвации, особенно при высоком содержании углерода, приводит к несоответствию качества получаемых заготовок предъявляемым требованиям. Варьирование традиционными параметрами выплавки и разливки (температурой металла, скоростью разливки, интенсивностью вторичного охлаждения) не улучшает макроструктуры литых заготовок из легированной и высокоуглеродистой стали.

Дефекты литого металла связаны с особенностями кристаллизации слитков и вызваны следующими причинами:

- малой скоростью охлаждения стали при переходе жидкого в твердое состояние, которая приводит к развитию диффузии и зональной ликвации;
- наличием температурного градиента по сечению слитков, вызывающим образование различных кристаллических зон и различных видов физической и структурной неоднородности литого металла;
- интенсивностью теплоотвода, оказывающего влияние на градиент температур по сечению слитка.

Основными направлениями активного

воздействия на формирование структуры слитков являются: интенсификация тепло- и массообмена в объеме затвердевающего металла, выравнивание градиента температур и усреднение химического состава внутри слитков, интенсификация теплообмена с окружающей средой, разрушение фронта кристаллизации. Указанные цели могут быть достигнуты с помощью внешних воздействий на кристаллизующийся металл: механическое и электромагнитное перемешивание, продувка кристаллизующегося металла инертными газами, низкочастотная и ультразвуковая вибрация, электроимпульсная обработка и др. [1-5]. Среди простых и эффективных способов воздействия на кристаллизующийся непрерывно- и полунепрерывнолитой слиток находит применение способ продувки металла инертным газом (аргоном) в процессе разливки и кристаллизации стали.

Цель работы: исследование влияния продувки аргоном при разливке и кристаллизации на качество полунепрерывнолитых стальных слитков.

При выполнении работы решались следующие **задачи:** разработано и изготовлено устройство для подачи аргона в кристаллизатор машины полунепрерывного литья, исследовано влияние продувки аргоном на качество получаемых слитков (геометрические размеры, качество поверхности, макроструктура, ликвация элементов, содержание неметаллических и газовых включений, плотность) и качество поковок.

Исследования выполняли на промышленных полунепрерывнолитых слитках диаметром 500 мм массой 3,0-3,2 т стали марок 12ХН3А и 9Х2МФ в Краматорском НИИПТмаш.

Продувку аргоном осуществляли с помощью специально изготовленного устройства (рис. 1), состоящего из баллона 1 с аргоном марки «А» ГОСТ 10157-79), редуктора высокого давления 2, магистрального провода 3, запорного крана 4, редуктора низкого давления 5, игольчатого

Аникеев Владимир Викторович, кандидат технических наук, доцент кафедры «Литейные и высокоэффективные технологии». E-mail: tl@samgtu.ru

клапана 6, ротаметра 7 и погружного устройства - фурмы 8. Подачу аргона регулировали редуктором низкого давления 5 и игольчатым клапаном 6 так, чтобы обеспечить максимально возможный расход газа, при котором шлаковый покров поверхности металла не разрывался. Расход газа контролировали ротаметром РМ063.

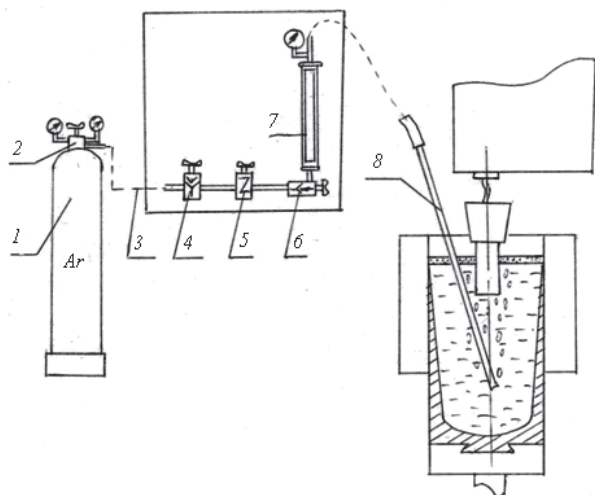


Рис. 1. Устройство подачи аргона в кристаллизатор машины полунепрерывного литья

Продувку аргоном начинали с началом вытягивания слитка из кристаллизатора и продолжали в течение $\approx 0,7$ времени затвердевания слитка по окончании разливки. Влияние продувки аргоном при разливке и кристаллизации стали на качество слитков характеризовали геометрическими параметрами поперечного сечения слитков, качеством поверхности, макроструктурой, химической однородностью, содержанием неметаллических, газовых включений и плотностью по высоте и сечению слитков. Анализ полученных результатов показывает, что точность поперечного сечения слитков, независимо от марки разливаемой стали, отлитых с продувкой аргоном, сохраняется по всей их высоте; овальность не превышает 0,2%; изгиб слитков отсутствует. Поверхность слитков, отлитых с продувкой аргоном, также независимо от марки разливаемой стали, характеризуется отсутствием видимых дефектов: заворотов корки, плен и шлаковых включений. Дополнительной обработки поверхности слитков (зачистки, вырубки по дефектам) перед дальнейшими переделами (ковкой, прессованием) не требовалось. Характерная поверхность слитков из стали марок 12ХН3А и 9Х2МФ, отлитых с продувкой аргоном, представлена на рис. 2.

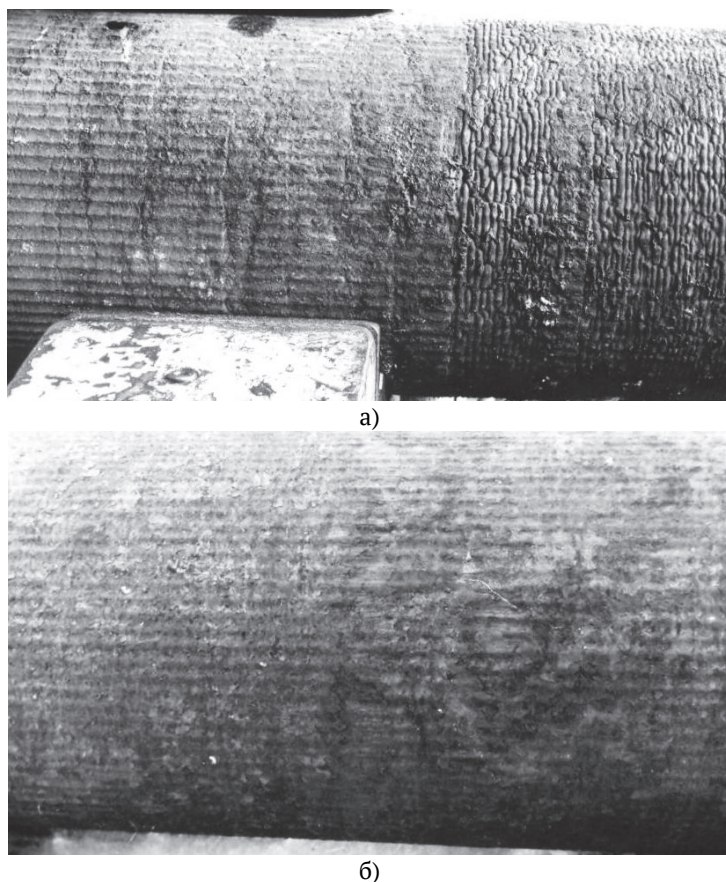


Рис. 2. Поверхность слитков диаметром 500 мм из стали марок:

а - 12ХН3А (справа – поверхность слитка, отлитого по обычной технологии без применения аргона);
б - 9Х2МФ

При переходе с обычной технологии на литьё слитков с продувкой аргоном, качество их поверхности улучшается. Макроструктура слитков и серный отпечаток по Бауману (поперечное сечение) из стали марки 9Х2МФ, отлитого с продувкой аргоном, представлены на рис. 3. Макроструктура слитков, плотная, без видимых дефектов, со слабо выраженной несплошностью в осевой зоне. Ликвация серы на серных отпечатках по Бауману не выявлена. Химический состав по высоте и сечению слитков из стали марок 12ХН3А и 9Х2МФ по основным элементам: углероду, марганцу, кремнию, хрому, никелю, молибдену, ванадию, однороден.

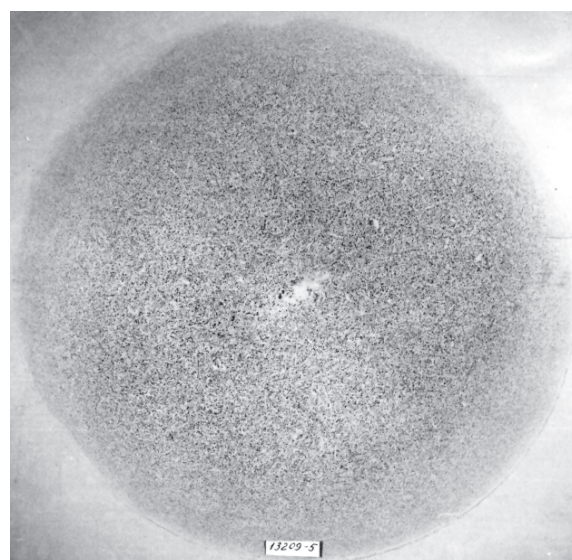
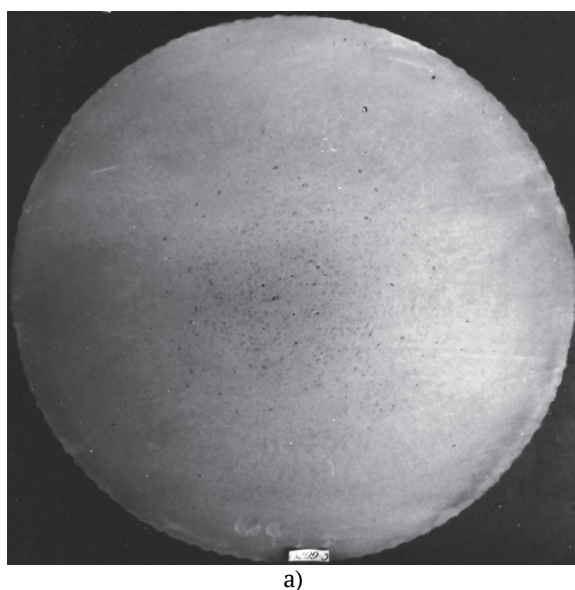


Рис. 3. Макроструктура слитка диаметром 500 мм (а) и серный отпечаток по Бауману (б) слитка диаметром 500 мм из стали марки 9Х2МФ

Основным видом неметаллических включений в слитках из стали марок 12ХН3А и 9Х2МФ, отлитых с продувкой аргоном, являются оксиды и сульфиды размером до 20 мкм, равномерно распределенные по высоте и сечению слитков. Отмечается некоторое увеличение объемного процента включений в осевой зоне слитков. Включения более крупных размеров в металле практически не встречаются. Данные по содержанию неметаллических, газовых включений и плотности в слитках из стали марки 9Х2МФ приведены в табл. 1.

Таблица 1. Содержание неметаллических включений, газов и плотность по высоте и сечению слитков диаметром 500 мм из стали марки 9Х2МФ, отлитых с продувкой аргоном

Марка стали	Уровень отбора образцов от верха слитка, мм	Место отбора образцов по сечению	Содержание неметаллических включений, % объемн., в т.ч.		Содержание газов, % в т.ч.		Плотность, г/см ³
			оксиды	сульфиды	кислород	азот	
9Х2МФ	350	край	0,0224	0,0263	0,0029	0,0061	7,767
		1/2R	не опр.	не опр.	0,0026	0,0054	7,753
		центр	0,0387	0,0291	0,0033	0,0110	7,710
	1100	край	0,0210	0,0256	0,0031	0,0075	7,771
		1/2R	не опр.	не опр.	0,0016	0,0077	7,749
		центр	0,0355	0,0283	0,0030	0,0136	7,733

Кислород и азот по высоте и сечению слитков, отлитых с продувкой аргоном, распределены равномерно: их общее содержание находится в пределах 0,0016-0,0033% для кислорода и 0,0054-0,013% для азота. Плотность металла по высоте и сечению слитков, в том числе, в осевой зоне, отлитых с продувкой аргоном, находится в пределах 7,733-7,771 г/см³. Следует отметить, что продувка металла аргоном благотворно влияет на качество отливаемых слитков: при переходе с

обычной технологии на литьё слитков с продувкой аргоном содержание неметаллических включений снижается на 15-25%, содержание газов – в 1,5-2,0 раза, плотность повышается на 10-15%.

Из слитков стали марки 12ХН3А, отлитых с продувкой аргоном, были изготовлены поковки номенклатуры опытного завода НИИПТмаш (плиты УСП - универсальных сборных приспособлений). Данные по переделу (ковке) слитков представлены в табл. 2-4.

Таблица 2. Результатыковки слитков диаметром 500 мм из стали марки 12ХН3А, отлитых с продувкой аргоном

Количество проконтролированных слитков, шт	Масса слитка, т	Отходы, %		Выход годного поковки, %
		верх	низ	
47	3,2	13,6-13,9	4,3-4,7	72,0-75,5

Таблица 3. Характеристика макроструктуры поковок из слитков стали марки 12ХН3А, отлитых с продувкой аргоном

Характеристика макроструктуры	Результаты контроля	
	шт.	%
бездефектная	7	21,8
точечная неоднородность 1 – 2 баллов	9	28,1
остатки дендритной структуры	12	37,5
пятно темной травимости в центре	2	6,3
пятно светлой травимости в центре	3	9,4
остатки усадочной раковины	3	9,4
послойная кристаллизация у поверхности	1	3,1
центральная пористость 1 балла	1	3,1
флокены	1	3,1

Анализ представленных данных показывает, что выход годного поковок (плит УСП) из слитков, отлитых с продувкой аргоном, находится в пределах 72,0-75,5%, что в среднем на 10% выше в сравнении со слитками, отлитыми по обычной технологии (без продувки аргоном). Кованый металл стали марки 12ХН3А, отлитых с продувкой аргоном отличается, прежде всего, отсутствием пятнистой ликвации, шлаковых включений по сечению слитков,

резким снижением количества темплетов с пятнами повышенной травимости в центре. Количество слитков с бездефектной макроструктурой возросло на 20%. Результаты механических испытаний кованого металла стали марки 12ХН3А показывают, что уровень механических свойств поковок из слитков, отлитых с продувкой аргоном, превышает на 14-20% свойства поковок из слитков, отлитых по обычной технологии (без продувки аргоном).

Таблица 4. Механические свойства поковок из слитков стали марки 12ХН3А, отлитых с продувкой аргоном

Механические свойства	Среднее значение
предел текучести σ_t , МПа	389
временное сопротивление разрыву σ_b , МПа	556
относительное удлинение δ , %	24
относительное сужение ψ , %	57
ударная вязкость КСЧ, кДж/м ²	1674

Примечание: вид термической обработки – изотермический (противофлокенный) отжиг; направление образцов – поперечное; место отбора образцов – 1/3 радиуса от поверхности поковки; количество проконтролированных поковок – 18.

Выводы: обработка расплава аргоном при разливе и кристаллизации полунепрерывнолитых стальных слитков позволяет получать слитки правильной формы, с бездефектной поверхностью, плотной макроструктурой, без ликвации элементов. Содержание неметаллических включений (оксиды, сульфиды) снижается на 15-25%, содержание газов (кислород, азот) – в 1,5-2,0 раза, плотность повышается на 10-15%. Выход годного поковок повышается в среднем на 10% до 72,0-75,5%; кованый металл

по макроструктуре и механическим свойствам удовлетворяет предъявляемым требованиям.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ефимов, В.А. Физические методы воздействия на процессы затвердевания сплавов / В.А. Ефимов, А.С. Эльдарханов. – М.: Металлургия, 1995. 272 с.
2. Ефимов, В.А. Технологии современной металлургии / В.А. Ефимов, А.С. Эльдарханов. – М.: Новые технологии, 2004. 784 с.

3. Бровман, М.Я. Непрерывная разливка металлов. – М.: «ЭКОМЕТ», 2007. 484 с.
4. Суворов, В.В. Улучшение качества крупных слитков, отлитых на МПНЛЗ с перемешиванием аргоном / В.В. Суворов, И.К., Марченко, Г.А. Хасин, Б.Я. Скорняков // Сталь. 1980. №4. С. 288-289.
5. Марченко, И.К. Новые технологические процессы в полунепрерывном литье / И.К. Марченко, В.В. Аникеев, М.Я. Бровман и др. // Механизация и автоматизация работ в литейном производстве: сб. науч. тр. – Краматорск: НПО «НИИП-Тмаш», 1988. – С. 25-34.

**MELT PROCESSING BY ARGON AT CRYSTALLIZATION AND QUALITY
OF SEMI-CONTINUOUS CASTING OF STEEL INGOTS**

© 2015 V.V. Anikeev

Samara State Technical University

Results of development the technology of semi-continuous casting of steel ingots with argon blowing during casting and crystallization are given. Design and technological features of casting are shown. Data on ingots quality are provided.

Key words: semi-continuous casting, steel, ingot, technology, argon, blowing, quality