

Бунеева Е.А., Столяров А.М., Мошкунев В.В., Потапова М.В.

## МЯГКОЕ ОБЖАТИЕ ТОЛСТЫХ СЛЯБОВ ИЗ ТРУБНОЙ СТАЛИ

**Аннотация:** В работе рассмотрена технология мягкого обжатия непрерывнолитых слябов толщиной 350 мм из трубной стали. Опробованы варианты обжатия с различной интенсивностью в двух и трех сегментах зоны вторичного охлаждения МНЛЗ. Проведен анализ качества макроструктуры слябов, отлитых с разной скоростью при двухсегментном обжатии. Даны рекомендации параметров режима мягкого обжатия для получения внутреннего строения отливок с меньшей степенью развития дефектов.

**Ключевые слова:** непрерывная разливка, трубная сталь, мягкое обжатие, сляб, макроструктура, качество.

В кислородно-конвертерном цехе ПАО «Магнитогорский металлургический комбинат» трубная сталь разливается на одноручевой слябовой МНЛЗ криволинейного типа с вертикальным участком [1, 2]. Машина имеет базовый радиус 11 м, металлургическую длину 34,2 м и вертикальный участок около 2,7 м. Она оснащена оборудованием для осуществления мягкого обжатия отливаемой заготовки [3]. До недавнего времени трубная сталь в основном разливалась на слябы толщиной 300 мм. В 2018 году в цехе освоено производство заготовок толщиной 350 мм. Переход к слябам большей толщины из трубной стали соответствует мировой тенденции роста толщины заготовок. Это объясняется тем, что увеличение степени обжатия заготовки непосредственно в процессе прокатки ведет к получению толстого горячекатаного листа высокого качества для изготовления труб большого диаметра нефтегазопроводов. Для производства слябов толщиной 350 мм проведена модернизация оборудования МНЛЗ [4], которая не коснулась изменения протяженности зоны вторичного охлаждения машины. Усовершенствование алгоритмов автоматизированной системы МНЛЗ позволило производить мягкое обжатие головной части отливаемой заготовки (ранее первые метры сляба не обжимались до момента выхода головки затравки из технологического канала), а также увеличить интенсивность обжатия в конечном сегменте с 1,2 до 1,5–1,8 мм/м. В работе рассматривается влияние технологии мягкого обжатия на качество слябов толщиной 350 мм из трубной стали.

На слябовой МНЛЗ позиционирование приложения внешнего воздействия к отливаемой заготовке на МНЛЗ осуществляется следующим образом. Автоматизированная система машины расчетным путем определяет номер J-го сегмента зоны вторичного охлаждения, в котором заканчивается затвердевание металла. Тогда мягкое обжатие сляба рекомендуется производить в

предыдущих: одном (J-1), двух (J-1, J-2) или трех (J-1, J-2 и J-3) сегментах горизонтального участка МНЛЗ. Суммарная протяженность одного, двух или трех сегментов с учетом промежутка между ними составляет 2130, 4615 и 7100 мм соответственно. Основным вариантом считается двухсегментное обжатие, схема которого представлена на рис. 1.

Интенсивность обжатия в выбранных сегментах может изменяться в зависимости от химического состава разливаемой стали и выбранного режима вторичного охлаждения. Максимальную интенсивность обжатия во всех выбранных сегментах поддерживать не удастся.

В процессе освоения технологии производства слябов толщиной 350 мм были опробованы и прошли сравнение между собой два варианта обжатия:

- обжатие заготовки в трех сегментах (J-1, J-2, J-3) с одинаковой интенсивностью 0,8 мм/м (суммарное обжатие около 4 мм);
- двухсегментное обжатие (J-1, J-2) с максимальной интенсивностью в сегменте

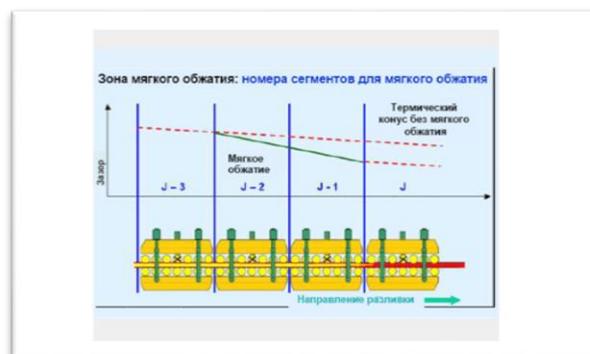


Рис. 1. Схема выбора сегментов для осуществления мягкого обжатия непрерывнолитой слябовой заготовки в двух смежных сегментах

J-1 до 1,8 мм/м (среднее суммарное обжатие 5,5 мм).

Всего было проконтролировано 84 темплета, результаты оценки качества макроструктуры которых приведены в табл. 1.

Качество макроструктуры слябов толщиной 350 мм

Количество сегментов с мягким обжатием	Количество темплетов, шт.	Дефект макроструктуры*, баллы							
		ОР	ОХН	ОТ	ТП	ТГ	ТН	ТПу	ТПш
Два	69	1,49	1,61	0,05	1,21	0,28	0,01	0,77	0,49
Три	15	1,53	1,63	0,03	1,17	0,80	0,07	0,77	0,53

\*) ОР – осевая рыхлость; ОХН – осевая химическая неоднородность; ОТ – осевые трещины; ТП – трещины, перпендикулярные граням; ТГ – трещины гнездообразные; ТН – точечная неоднородность; ТПу – трещины, перпендикулярные узким граням; ТПш – трещины, перпендикулярные широким граням.

Сравнение степени развития осевой рыхлости и осевой химической неоднородности литого металла с разными вариантами проведения мягкого обжатия свидетельствует о преимуществе двухсегментного обжатия с его интенсификацией в конечном сегменте. Поэтому в дальнейшем применялся только двухсегментный вариант мягкого обжатия.

Выбор места осуществления мягкого обжатия существенным образом зависит от скоростного режима разлива трубной стали. Изменение толщины отливаемой заготовки привело к коррекции скоростного режима. Рассмотрим это изменение на примере трубной низкоуглеродистой стали с легирующими элементами. Зависимость скорости вытягивания слябов различной толщины от величины перегрева металла над температурой ликвидус в промежуточном ковше МНЛЗ представлена на рис. 2.

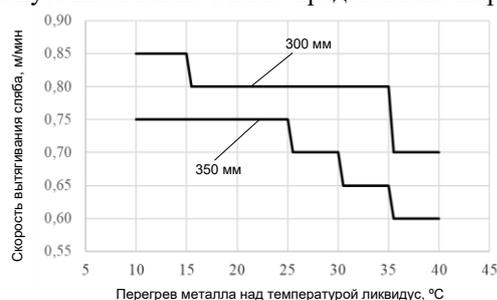


Рис. 2. Параметры температурно-скоростного режима отливки слябов различной толщины из трубной низкоуглеродистой стали с легирующими элементами

Из рисунка видно, что разливка трубной стали на слябы толщиной 300 мм в диапазоне перегрева металла в промежуточном ковше над температурой ликвидус от 10 до 40 °C должна производиться со скоростью 0,85–0,70 м/мин, а на заготовки толщиной 350 мм – 0,75–0,60 м/мин. При переходе от меньшего к большему по толщине слябу максимальная скорость разливки снизилась в 1,13 раза, а продолжительность затвердевания заготовки при одинаковых

температурных условиях возросла в 1,36 раза. Следствием этого является увеличение протяженности лунки жидкого металла примерно на 20 % (отн.). Поэтому при анализе производственных данных особое внимание было уделено заготовкам, при отливке которых конец лунки жидкого металла (по расчетным данным автоматизированной системы) находился в конечном 15-м сегменте зоны вторичного охлаждения МНЛЗ и далее. Количество таких слябов оказалось равным 56. Все они были разбиты на три группы:

А – конец лунки жидкого металла находился в первой половине 15-го сегмента

ЗВО (с учетом промежутка между 14 и 15 сегментами);

В – конец лунки располагался во второй половине 15-го сегмента;

С – конец лунки выходил за пределы 15-го сегмента.

В группах А, В и С оказалось соответственно 17, 33 и 6 слябов или 30,4; 58,9 и 10,7 %.

Информация о химическом составе разлитого металла, параметрах мягкого обжатия заготовок, скорости разливки, расчетных значениях параметров и степени развития дефектов макроструктуры слябов приведена в табл. 2.

Из представленных данных видно, что химический состав металла разных групп заготовок отличался незначительно. Суммарное обжатие слябов в двух сегментах ЗВО изменялось в интервале от 5,0 до 6,1 мм. При этом обжатие в конечном сегменте (J-1) осуществлялось в 1,8-2,6 раза сильнее, чем в предыдущем (J-2).

Средняя скорость вытягивания сляба из кристаллизатора для групп А, В и С растет от 0,67 до 0,72 м/мин, а расчетные значения коэффициента затвердевания металла остаются практически постоянными, что свидетельствует о несоответствии между скоростным режимом разливки и его температурными условиями.

Сравнительные данные (средние значения) различных групп отлитых слябов

Параметр	Группа слябов		
	А	В	С
Количество слябов, шт.	17	33	6
Содержание элемента, %:			
углерод	0,10	0,10	0,13
кремний	0,33	0,25	0,31
марганец	1,38	1,51	1,48
сера	0,003	0,002	0,003
фосфор	0,010	0,009	0,008
хром	0,12	0,08	0,16
никель	0,15	0,17	0,20
медь	0,14	0,11	0,10
алюминий	0,040	0,038	0,041
азот	0,005	0,005	0,005
Суммарное обжатие, мм	5,0	5,6	6,1
Отношение обжатия в сегменте J-1 к обжатию в сегменте J-2	2,6	1,8	2,1
Скорость разливки, м/мин	0,67	0,70	0,72
Коэффициент затвердевания, мм/мин <sup>0,5</sup>	25,21	25,31	25,27
Длина лунки жидкого металла, м	32,40	33,47	34,36
Степень развития дефекта, баллы:			
ОР	1,47	1,48	1,50
ОХН	1,53	1,61	1,75
ОТ	0,06	0,02	0,08
ТП	1,24	1,21	1,33
ТГ	0,21	0,27	0,50
ТН	0	0,02	0
ТПу	0,80	0,77	0,75
ТПш	0,50	0,37	0,92

С увеличением скорости разливки растет и длина лунки жидкого металла. Для группы С она превысила 34,19 м – длину зоны вторичного охлаждения МНЛЗ. Так как 16-й сегмент в машине отсутствует, то автоматизированная система выдает сообщение об ошибке и назначает мягкое обжатие в тех же 14-м и 13-м сегментах, как и для групп А и В. Только в этом случае участок сляба в 15-м сегменте от 31,7 до 34,19 м и далее за 15-м сегментом внешнему воздействию не подвергается. Чрезмерное раннее обжатие на величину 6,1 мм оказалось неэффективным, что подтверждается результатами изучения качества макроструктуры заготовки – группа С имеет большую степень развития дефектов.

При сравнении двух других групп слябов предпочтение следует отдать группе А с меньшей степенью развития осевой химической неоднородности, хотя суммарное обжатие в этой группе было наименьшим – 5,0 мм. Это можно объяснить тем, что при расположении конца лунки

жидкого металла в первой половине 15-го сегмента обжимаемый участок находится ближе к его концу по сравнению с тем вариантом, когда конец лунки позиционирован во второй половине 15-го сегмента. Известно [5-7], что заканчивать внешнее воздействие на сляб следует перед вторым порогом проницаемости двухфазной зоны – границей ее «питания», которая соответствует наличию примерно 20 % жидкости и зависит от химического состава разливаемой стали.

Таким образом, в результате проведенного исследования рекомендуется при отливке непрерывнолитых слябов толщиной 350 мм из трубной стали производить мягкое обжатие в двух смежных сегментах, как правило, в 14-м и 13-м, с максимальной интенсивностью до 1,8 мм/м в 14-м сегменте; расчетная длина лунки жидкого металла внутри заготовки не должна превышать 33,5–33,8 м при соблюдении температурно-скоростного режима разливки.

**Список литературы**

1. Колесников Ю.А., Буданов Б.А., Столяров А.М. *Металлургические технологии в высокопроизводительном конвертерном цехе: учеб. пособие.* Магнитогорск: Изд-во Магнитогорск. гос. техн. ун-та им. Г.И. Носова, 2015. 379 с.
2. Столяров А.М., Мошкунов В.В., Казаков А.С. *Мягкое обжатие слябов при разливке трубной стали на криволинейной МНЛЗ с вертикальным участком.* Магнитогорск: Изд-во Магнитогорск. гос. техн. ун-та им. Г.И. Носова, 2012. 116 с.
3. О способах воздействия на процесс формирования стальной непрерывнолитой заготовки / А.М. Столяров, Сомнат Басу, М.В. Потапова, С.В. Дидович // *Вестник Магнитогорского государственного технического университета им. Г.И. Носова.* 2014. №1 (45). С. 24 – 27.
4. Модификация оборудования МНЛЗ №6 с целью освоения разливки сляба толщиной 350 мм / Д.В. Рабаджи, М.В. Злов, В.А. Авраменко и др. // *Сборник трудов XV международного Конгресса сталеплавильщиков и производителей металла: Межрегиональная общественная организация «Ассоциация сталеплавильщиков».* Москва – Тула, 15–19 октября 2018. М., 2018. С. 409–412.
5. Паршин В.М., Буланов Л.В. *Непрерывная разливка стали.* Липецк: ОАО «НЛМК», 2011. 221 с.
6. Математическое моделирование процесса мягкого обжатия слябов при непрерывной разливке трубной стали / В.В. Мошкунов, А.М. Столяров, А.С. Казаков и др. // *Вестник Магнитогорского государственного технического университета им. Г.И. Носова.* 2013. №2 (42). С. 69 – 72.
7. Расчетно-экспериментальное определение границ зоны мягкого обжатия слябовой заготовки / С.В. Прохоров, В.В. Мошкунов, Д.В. Юречко и др. // *Неделя металлов в Москве 13-16 ноября 2012 г.: сборник трудов конференций; ВНИИМЕТМАШ.* М., 2013. С. 337 – 350.

**Сведения об авторах**

**Бунеева Евгения Александровна** – аспирант кафедры металлургии и химических технологий Института металлургии, машиностроения и материалобработки ФГБОУ ВО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова». Магнитогорск, Россия. E-mail: mchm@magtu.ru

**Столяров Александр Михайлович** – д-р техн. наук, проф. кафедры металлургии и химических технологий Института металлургии, машиностроения и материалобработки ФГБОУ ВО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова». Магнитогорск, Россия. E-mail: mchm@magtu.ru

**Мошкунов Владимир Викторович** – канд. техн. наук, инженер-технолог фирмы «SMS-group», Магнитогорск, Россия.

**Потапова Марина Васильевна** – канд. техн. наук, доц. кафедры металлургии и химических технологий Института металлургии, машиностроения и материалобработки, ФГБОУ ВО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова». Магнитогорск, Россия. E-mail: mchm@magtu.ru

---

INFORMATION ABOUT THE PAPER IN ENGLISH

---

---

SOFT REDUCTION OF THICK SLABS MADE OF STEEL PIPE

---

**Buneyeva Yevgeniya Aleksandrovna** – PhD student of Metallurgy and Chemical Technology Department, Nosov Magnitogorsk State Technical University, Magnitogorsk, Russian Federation. E-mail: mcm@magtu.ru

**Stolyarov Alexander Mikhailovich** – Professor of Metallurgy and Chemical Technology Department, Nosov Magnitogorsk State Technical University, Magnitogorsk, Russian Federation. E-mail: mcm@magtu.ru

**Moshkunov Vladimir Viktorovich** - Ph.D. (Eng.), engineer-technologist "SMS-Group", Magnitogorsk, Russian Federation. E-mail: mcm@magtu.ru

**Potapova Marina Vasilyevna** – Ph.D. (Eng.), Associate Professor of Metallurgy and Chemical Technology Department, Nosov Magnitogorsk State Technical University, Magnitogorsk, Russian Federation. E-mail: marina\_potapova8@mail.ru

**Abstract.** *The technology of soft reduction of continuously cast 350 mm thick slabs of pipe steel is considered in the work. Variants of reduction with different intensities in two and three segments of the secondary cooling zone of the continuous casting machine were tested. Analysis of the quality of the macrostructure of slabs cast at different speeds with two-segment reduction is done. Recommendations of the parameters of the soft reduction mode are given for obtaining the internal structure of castings with a lower degree of defect development.*

**Keywords:** *continuous casting, pipe steel, soft reduction, slab, macrostructure, quality.*

---

Ссылка на статью:

Бунеева Е.А., Столяров А.М., Мошкунов В.В., Потапова М.В. Мягкое обжатие толстых слябов из трубной стали // Теория и технология металлургического производства. 2019. №1(28). С. 13-17.

Buneeva E.A., Stolyarov A.M., Moshkunov V.V., Potapova M.V. Soft reduction of thick slabs made of steel pipe. *Teoria i tehnologia metallurgiceskogo proizvodstva*. [The theory and process engineering of metallurgical production]. 2019, vol. 28, no. 1, pp. 13-17.