

# МЕТАЛЛУРГИЯ ЧЕРНЫХ, ЦВЕТНЫХ И РЕДКИХ МЕТАЛЛОВ

УДК 621.74.047

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

## ИЗУЧЕНИЕ ВЛИЯНИЯ МЯГКОГО ОБЖАТИЯ НА КАЧЕСТВО ТОЛСТЫХ СЛЯБОВ ИЗ ТРУБНОЙ СТАЛИ

**Аннотация.** В работе сравнивается качество макроструктуры осевой зоны толстых слябов толщиной 350 мм из трубной стали класса прочности К60 с внешним воздействием в виде мягкого обжатия и без него. Приведены данные об изменении содержания и зональной химической неоднородности нескольких элементов по толщине заготовок. Мягкое обжатие в процессе отливки слябов способствует улучшению качества макроструктуры осевой зоны заготовок.

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

Слябы толщиной 350 мм из трубной стали отливаются на одноручьева слябовой МНЛЗ криволинейного типа с вертикальным участком кислородно-конвертерного цеха ПАО «Магнитогорский металлургический комбинат» [1, 2]. Машина оснащена оборудованием для осуществления мягкого обжатия отливаемой заготовки [3–5]. В работе сравнивается качество макроструктуры осевой зоны толстых слябов из трубной стали с внешним воздействием в виде мягкого обжатия и без него.

Трубная сталь класса прочности К60 имела следующий марочный химический состав (% по массе):

C	Si	Mn	S	P	Cr	Ni	Cu	Al	Ti	N	Mo	Nb
0,07	0,28	1,64	0,002	0,010	0,05	0,18	0,15	0,04	0,02	0,005	0,003	0,05

Разливка была произведена на слябы с размерами поперечного сечения 350×2600 мм. Температура ликвидус металла составила 1517 °С. Металл в промежуточном ковше МНЛЗ имел температуру 1544 °С. Из кристаллизатора МНЛЗ слябы вытягивались со скоростью 0,70 м/мин. Мягкое обжатие заготовок на величину 5 мм производилось в 13 и 14 сегментах зоны вторичного охлаждения (всего машина имеет 15 сегментов). Из одного сляба (второго по порядку разливки) с мягким обжатием и одного (последнего тринадцатого) без обжатия были отобраны осевые поперечные темплеты. Вид этих темплетов после механической обработки и травления представлен на рис. 1.

При рассмотрении этих рисунков не следует обращать внимание на локальные темные участки в виде пятен – это дефекты обработки темплетов. В центральной (по высоте) части темплетов имеются различия в структуре металла. Так, на темплете из сляба без обжатия (см. рис. 1) видны рыхлость и следы ликвации (отмечены стрелками), в то время как на темплете из заготовки с мягким обжатием эти дефекты отсутствуют.

© Бунеева Е.А., Столяров А.М., Мошкунов В.В., Потапова М.В., 2019

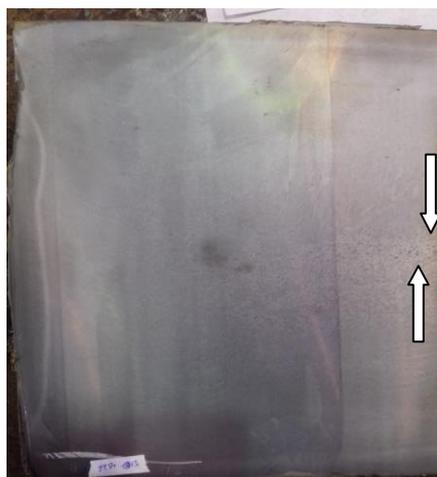


Рис. 1. Вид макроструктуры слябов с мягким обжатием (вверху) и без обжатия (внизу): г и R – стороны малого и большого радиусов

Из каждого темплета по их высоте (это соответствует толщине сляба) были вырезаны узкие пробы металла, каждая из которых разделена на четыре части для надежного крепления при проведении химического анализа (рис. 2). После зачистки поверхности проб на различном расстоянии от верхней стороны сляба был проанализирован химический состав металла с использованием эмиссионного спектрометра SPECTROLAB M8A. Анализ производился в двух точках на каждом горизонте с последующим усреднением результатов.



Рис. 2. Пробы для проведения химического анализа металла

Распределение содержания в металле углерода, серы и фосфора по толщине заготовок показано на рис. 3.

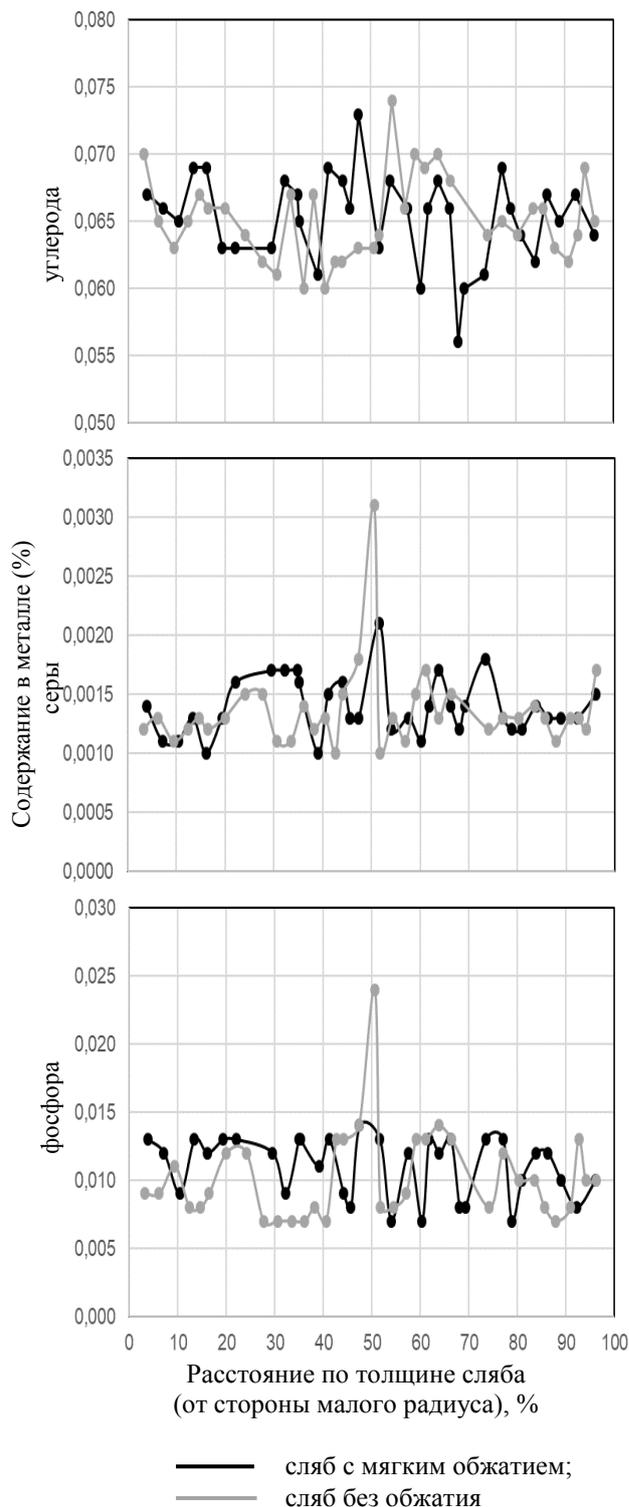


Рис. 3. Изменение содержания углерода, серы и фосфора по толщине слябов, отлитых с мягким обжатием и без него

Степень зональной химической неоднородности элементов была рассчитана относительно среднего содержания каждого элемента в сделанных замерах. Изменение значений этого параметра по толщине слябов для углерода, серы и фосфора представлено на рис. 4.

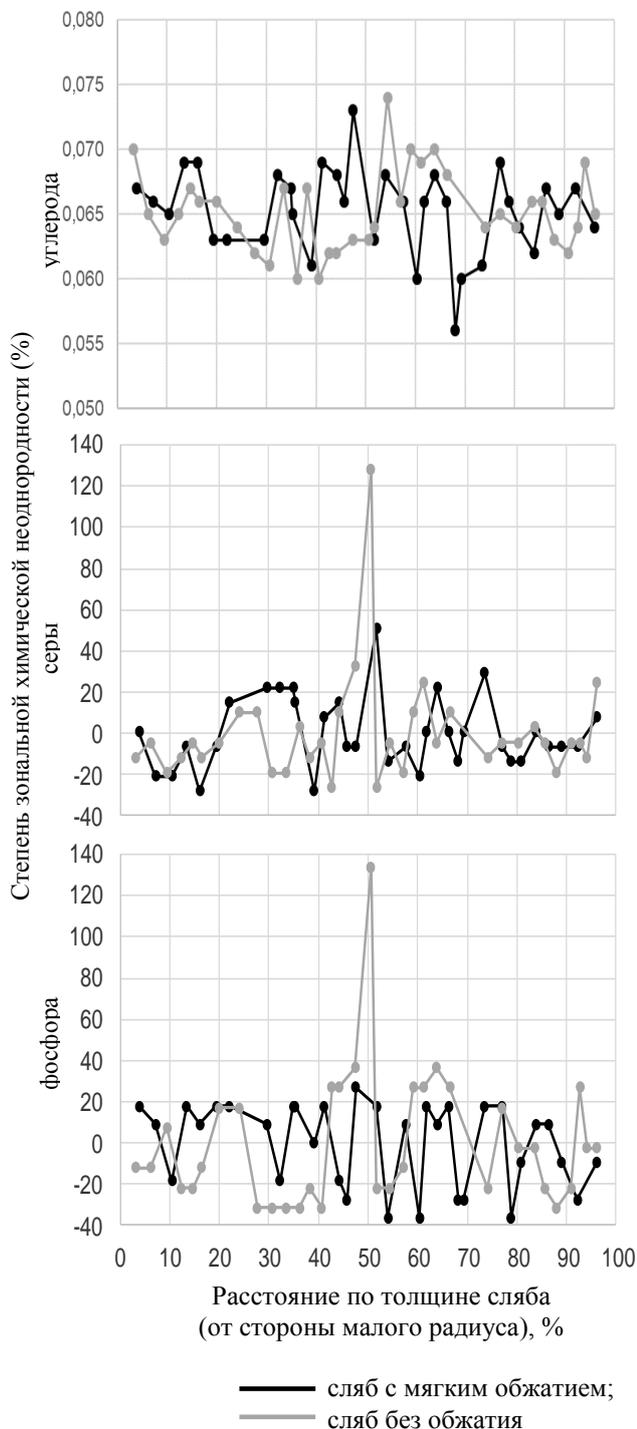


Рис. 4. Данные о степени зональной химической неоднородности

Из рис. 3 видно, что в осевой части отлитых заготовок наблюдается резкое повышение содержания всех рассмотренных элементов, особенно серы и фосфора, имеющих большую склонность к ликвации, что ведет к росту осевой химической неоднородности металла (см. рис. 4). Мягкое обжатие позволило уменьшить химическую неоднородность в осевой зоне сляба. Это подтверждается данными о максимальной степени зональной химической неоднородности элементов (%):

Элемент	C	Si	Mn	S	P	Al
Металл с обжатием	11,8	4,9	1,9	51,0	26,9	15,4
Металл без обжатия	13,5	11,4	12,6	127,9	133,9	21,4

Таким образом, сравнение качества трубного металла класса прочности К60 показало, что мягкое обжатие в процессе отливки слябов толщиной 350 мм способствует улучшению качества макроструктуры осевой зоны заготовок.

#### Список литературы

1. 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 сталеплавателей и производителей металла: Межрегиональная общественная организация «Ассоциация сталеплавателей». Москва – Тула, 15–19 октября 2018. М., 2018. С. 409–412.
2. 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.
3. 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.
4. 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.
5. Мягкое обжатие толстых слябов из трубной стали / Е.А. Бунеева, А.М. Столяров, В.В. Мошкунов, М.В. Потапова // Теория и технология металлургического производства. 2019. №1 (28). С. 13-17.

### Сведения об авторах

**Бунеева Евгения Александровна** – аспирант кафедры металлургии и химических технологий Института металлургии, машиностроения и материаловедения, ФГБОУ ВО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова». E-mail: [mchm@magtu.ru](mailto:mchm@magtu.ru)

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

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

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

---

### INFORMATION ABOUT THE PAPER IN ENGLISH

---

#### STUDY OF THE SOFT REDUCTION INFLUENCE ON THE QUALITY OF THICK SLABS MADE OF PIPE STEEL

**Buneyeva Yevgeniya Aleksandrovna** – PhD student of Metallurgy and Chemical Technology Department, Nosov Magnitogorsk State Technical University, Magnitogorsk, Russian Federation. Phone: 8(3519)29-85-73. E-mail: [mcm@magtu.ru](mailto:mcm@magtu.ru)

**Stolyarov Alexander Mikhailovich** – Professor of Metallurgy and Chemical Technology Department, Nosov Magnitogorsk State Technical University, Magnitogorsk, Russian Federation. E-mail: [sam52.52@mail.ru](mailto:sam52.52@mail.ru)

**Moshkunov Vladimir Viktorovich** – Ph.D. (Eng.), engineer-technologist "SMS-Group", Magnitogorsk, Russian Federation. E-mail: [mcm@magtu.ru](mailto: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](mailto:marina_potapova8@mail.ru)

***Abstract:** The paper compares the quality of the macrostructure of the axial zone of thick slabs with a thickness of 350 mm made of strength class K60 pipe steel with soft reduction and without it. Data on changes in the content and zonal chemical heterogeneity of several elements over the thickness of the workpieces are presented. Soft compression during the casting of slabs improves the quality of the macrostructure of the axial zone of the workpieces.*

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

---

Ссылка на статью:

Бунеева Е.А., Столяров А.М., Мошкунов В.В., Потапова М.В. Изучение влияния мягкого обжата на качество толстых слябов из трубной стали // Теория и технология металлургического производства. 2019. №3(30). С. 4-7.

Buneeva E.A., Stolyarov A.M., Moshkunov V.V., Potapova M.V. Study of the soft reduction influence on the quality of thick slabs made of pipe steel. *Teoria i tehnologiya metallurgicheskogo proizvodstva*. [The theory and process engineering of metallurgical production]. 2019, vol. 30, no. 3, pp. 4-7.