DOI 10.52209/1609-1825_2021_3_68 УДК 621.74.047

Технологические решения в непрерывной разливке трубных заготовок

[1]*БОГОМОЛОВ Алексей Витальевич, к.т.н., профессор, bogomolov71@mail.ru,
[2]ЖАКУПОВА Арай Толепбергеновна, докторант, aray_zhakupova86@mail.ru,
[1]ЖАКУПОВ Алибек Ныгматуллович, PhD, ассоциированный профессор, alibek_j85@mail.ru,
[1]Торайгыров университет, Казахстан, 140008, Павлодар, ул. Ломова, 64,
[2]Восточно-Казахстанский технический университет им. Д. Серикбаева, Казахстан, 070004, Усть-Каменогорск, ул. Протозанова, 69,
*автор-корреспондент.

Аннотация. Цель работы – разработка рекомендаций по совершенствованию существующей технологии непрерывной разливки трубной заготовки и конструкции для ее осуществления, применяемой на трубопрокатном заводе ТОО «KSP Steel». Основным решением является осуществление двустороннего охлаждения полой заготовки в зоне вторичного охлаждения (ЗВО) на машине непрерывной разливки заготовок (МНЛЗ). Обосновано оптимальное соотношение расхода охладителя на внутреннюю и наружную поверхности заготовки. Результатом предлагаемых решений является улучшение качества макроструктуры и геометрии заготовки. При анализе макроструктуры заготовки выявлено уменьшение дефектов более чем в два раза. Исследование поперечного сечения заготовки показало снижение отклонения минимальной толщины стенки от максимальной с 6,1 до 1,8 мм. Равномерность механических свойств по показаниям твердости повышена с ±10,5 до ±3 НВ.

Ключевые слова: полая заготовка, непрерывная разливка, макроструктура, кристаллизатор, дорн.

Введение

Единственным производителем бесшовных горячекатаных труб нефтяного сортамента на территории Казахстана является трубопрокатный завод ТОО «KSP Steel». Существующая технология производства включает полный цикл: от разливки непрерывнолитой заготовки до прокатки и отделки готовой трубы. Однако в связи с повышающими требованиями к качеству труб и необходимостью быть конкурентоспособным на внешнем рынке, требуется постоянное совершенствование и применение новых решений в технологии производства труб.

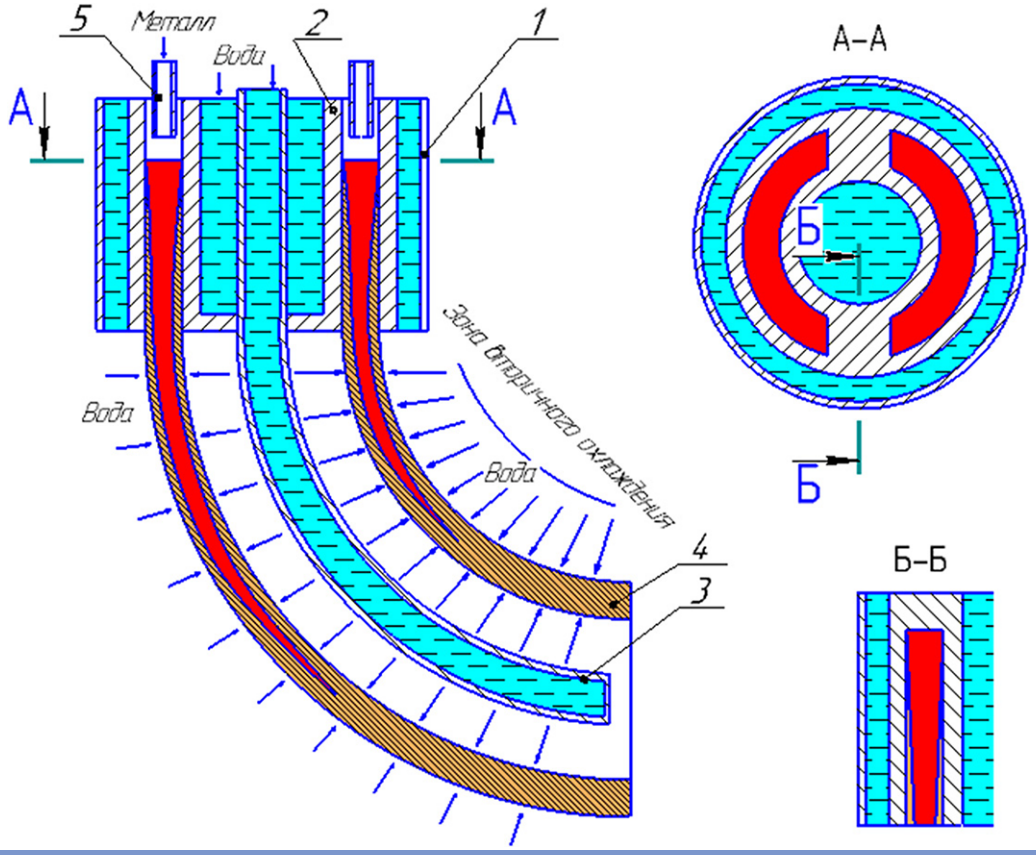
Для получения горячекатаной трубы на ТОО «KSP Steel» используется сплошная непрерывнолитая заготовка собственного сталеплавильного производства. Однако применение сплошной заготовки имеет свои недостатки: наличие внутренних дефектов заготовки, таких как осевая пористость и ликвация, а также неравномерность структуры и свойств заготовки по сечению, ввиду разных скоростей охлаждения внутренних и внешних слоев металла заготовки [1-3].

Решением данной проблемы является разливка полой заготовки [4], исключающей возникновение осевой пористости и ликвации, вследствие отсутствия металла в центральной части, а также применения двустороннего охлаждения заготовки после выхода из кристаллизатора, способствующего лучшим условиям теплоотвода и формированию однородной структуры при охлаждении и затвердевании заготовки. Кроме того, использование в качестве исходной заготовки полой литой позволяет исключить процесс прошивки, в результате которой большая вероятность возникновения дополнительных видов дефектов проката, таких как механические задиры, геометрические отклонения размеров в поперечном сечении и другие [5-7].

Методы исследования

Технологический процесс разливки с предлагаемыми решениями включает ввод затравки, подачу жидкого металла в полость между внутренней поверхностью кристаллизатора и наружной поверхностью дорна, формирование корочки металла, охлаждение заготовки: в зоне кристаллизатора за счет подачи хладагента в полость кристаллизатора и дорна; в зоне вторичного охлаждения, как снаружи за счет форсуночной системы, так и внутри, через стержень, установленный ниже дорна [8].

Предлагаемый способ разливки трубной заготовки осуществляется на установке, показанной на рисунке. Установка состоит из кристаллизатора 1 и совмещенного с ним дорна 2 для форми-



Устройство непрерывной разливки полой заготовки [8]

рования внутренней полости отливаемой заготовки. Сквозь дорн проходит полый стережень 3 для подачи под необходимым давлением хладагента для охлаждения внутренней полости заготовки с помощью форсунок. С наружной стороны в ЗВО охлаждение также производится через форсунки. Радиус изгиба стержня соответствует радиусу изгиба кристаллизующейся заготовки 4, при производстве на радиальных МНЛЗ. Подача металла осуществляется через металлопроводы 5.

В работе [9] доказано, что равномерность охлаждения зависит от геометрических параметров охлаждающего изделия. Учитывая данную закономерность, расход охладителя должен соответствовать площади охлаждаемой поверхности. В связи с этим, предлагаемый способ охлаждения достигается обеспечением равномерного охлаждения полой заготовки за счет двустороннего охлаждения по следующей зависимости [10]:

$$G_H = \frac{R}{r} \cdot G_B,$$

где G_H, G_B – расход охладителя соответственно на наружную и внутреннюю поверхности заготовки, м^3/(м^2·ч);

R, r – наружный и внутренний радиус заготовки, м;

Результаты и их обсуждение

Для оценки формирования структуры и геометрии заготовки производилось моделирование непрерывной разливки в программе «LVM Flow». Анализировались дефекты макроструктуры, нормируемые по ГОСТ Р 58228-2018 «Заготовка стальная непрерывнолитая. Методы контроля и оценки макроструктуры». Результаты моделирования заявляемого способа разливки с применением внутреннего охлаждения ниже кристаллизатора по сравнению с охлаждением только в зоне кристаллизатора приведены в таблице 1. Так как в полых заготовках исключена осевая пористость и ликвация, что и подразумевает их использование вместо сплошных для производства труб, определялись только светлые полосы, краевые точечные загрязнения, ликвационные полоски и трещины.

Как видно из результатов таблицы 1, предлагаемый способ способствует улучшению однородности и формированию бездефектной макроструктуры заготовок.

Усредненные результаты опробования предлагаемого способа охлаждения полых заготовок, смоделированного в «LVM Flow», приведены в таблице 2. Для анализа геометрии была также взята модель заготовки диаметром 210 мм. В численном виде для полой заготовки диаметром 210 мм с внутренним диаметром 144 мм расход охладителя на наружную поверхность осуществляли в 1,46 раз больше, чем при внутреннем.

Полученные результаты свидетельствуют о равномерности охлаждения и целесообразности применения предлагаемого способа.

Таблица 1 – Результаты макроструктурного исследования

Диаметр заготовки, мм	Марка стали	Дефект макроструктуры, балл (среднее значение)		
		Ликвационные полоски и трещины	Светлые полосы	Краевое точечное загрязнение
210	16MnCr5	0,52/023	0,54/0,23	0,0/0,0
	AISI 4130	0,55/0,25	0,56/0,24	0,09/0,02
	Gr9B	0,63/0,31	0,68/0,35	0,09/0,02

Таблица 2 – Результаты опробования предлагаемого способа

Способ	Марка стали	Толщина стенки, мм	Твердость, НВ (от наружной поверхности к внутренней)
Стандартный $G_H = G_B$	AISI 4130	34,0 38,6 32,5 34,9	139; 137; 131; 145; 152
Предлагаемый $G_H = \frac{R}{r} \cdot G_B$,		35,1 34,6 36,4 34,5	145; 143; 141; 145; 147

Выводы

Результаты опробования предлагаемых решений по разливке полой заготовки с использованием двустороннего охлаждения в ЗВО подтверждают целесообразность их применения вследствие формирования менее дефектной макроструктуры за счет сокращения более чем в два раза светлых полос, краевых точечных загрязнений, ликвационных полосок и трещин. Кроме того, за счет применения зависимости величины расхода хладагента на внутреннюю и наружную поверхности относительно охлаждаемой поверхности снижена разностенность отливаемой полой заготовки с 6,1 до 1,8 мм и достигнута равномерность механических свойств по сечению заготовки.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Feldhaus S., Bratberg J. Continuous Casting of High Carbon Steel: How Does Hard Cooling Influence Solidification, Micro- and Macro Segregation? / IOP Conference Series: Materials Science and Engineering 529 (2019) 1, doi:10.1088/1757-899X/529/1/012069.
2. Luchkin V.S. Continuous casting billet with different sections quality specificity / V.S. Luchkin, S.A. Vorobej, G.V. Levchenko // Metal and foundry of Ukraine (2005) 5, P. 30-33.
3. Krayushkin N.A. Temperature Fields and Thermal Stress in the Solidification of Cylindrical Continuous-Cast Steel Billet / N.A. Krayushkin, A. Pribytkov, K.S. Shatokhin // Steel in Translation 49 (2019) 1, P. 20-23.
4. Harada H. Continuous casting of hollow billets / H. Harada, E. Anzai, E. Takeuchi // Canadian metallurgical quarterly 39 (2000) 3, P. 307-318.
5. Ботников С.А. Современный атлас дефектов непрерывнолитой заготовки и причины возникновения прорывов кристаллизующейся корочки металла. 2 изд. Волгоград, 2011. – С. 97.
6. Pickering E.J. Macrosegregation in Steel Ingots: The Applicability of Modelling and Characterisation Techniques / ISIJ International, 53 (2013) 6, P. 935-949.
7. Shevchenko E.A. Rational length of supported system of narrow faces of concast billet for preventing its convexity / E.A. Shevchenko, A.M. Stolyarov, A.N. Shapovalov, K.V. Baranchikov // Izvestiya. Ferrous Metallurgy 58 (2015) 1, P. 39-43.
8. Патент на полезную модель №5866, РК. Способ непрерывного литья полых заготовок. МПК B22D 11/04, опубл. 19.02.2021, бюл. № 7.
9. Инновационный патент на изобретение № 28708, РК. Способ регулируемого охлаждения фасонных профилей сортового проката. МКИ C21D 9/06, опубл. 15.07.2014, бюл. № 7.
10. Zhakupov A. Determination of technological parameters for continiuous casting of a hollow pipe billet / A. Zhakupov, A. Bogomolov, A. Zhakupova, S. Abdulina, V. Salina // Metalurgija, (2021). 60 (3-4), P. 329-331.

Құбыр дайындамаларын үздіксіз құюдағы технологиялық шешімдер

[1]***БОГОМОЛОВ Алексей Витальевич,*** *т.ғ.к., профессор, bogomolov71@mail.ru,*
[2]***ЖАКУПОВА Арай Толепбергеновна,*** *докторант, aray_zhakupova86@mail.ru,*
[1]***ЖАКУПОВ Алибек Ныгматуллович,*** *PhD, қауымдастырылған профессор, alibek_j85@mail.ru,*
[1]Торайғыров университеті, Қазақстан, 140008, Павлодар, Ломов көшесі, 64,
[2]Д. Серікбаев атындағы Шығыс Қазақстан техникалық университеті, Қазақстан, 070004, Өскемен, Протозанов көшесі, 69.

**автор-корреспондент.*

Аңдатпа. *Жұмыстың мақсаты – «KSP Steel» ЖШС құбыр илемдеу зауытында қолданылатын құбыр дайындамасын үздіксіз құюдың қолданыстағы технологиясын және оны жүзеге асыру үшін конструкцияны жетілдіру бойынша ұсынымдар әзірлеу. Негізгі шешім дайындамаларды үздіксіз құю машинасында (ДҮҚМ) қайталама салқындату аймағында (ҚСА) қуыс дайындаманы екі жақты салқындатуды жүзеге асыру болып табылады. Салқындатқышты тұтынудың дайындаманың ішкі және сыртқы беттеріне оңтайлы қатынасы негізделген. Ұсынылған шешімдердің нәтижесі дайындаманың макроқұрылымы мен геометриясының сапасын жақсарту болып табылады. Дайындаманың макроқұрылымын талдау кезінде ақаулардың екі еседен астам төмендеуі анықталды. Дайындаманың көлденең қимасын зерттеу қабырғаның минималды қалыңдығының максимумнан 6,1-ден 1,8 мм-ге дейінгі ауытқуының төмендегенін көрсетті.*

Кілт сөздер: *қуыс дайындама, үздіксіз құю, макроқұрылым, кристаллизатор, дорн.*

Technological Solutions in Continuous Casting of Pipe Billets

[1]***BOGOMOLOV Alexey,*** *Cand. Tech. Sci., Professor, bogomolov71@mail.ru,*
[2]***ZHAKUPOVA Arai,*** *doctoral student, aray_zhakupova86@mail.ru,*
[1]***ZHAKUPOV Alibek,*** *PhD, Associate Professor, alibek_j85@mail.ru,*
[1]Toraighyrov University, Kazakhstan, 140008, Pavlodar, Lomov Street, 64,
[2]D. Serikbayev East Kazakhstan Technical University, Kazakhstan, 070004, Oskemen, Protozanov Street, 69.

**corresponding author.*

Abstract. *The purpose of the work is to develop recommendations for improving the existing technology of pipe billets continuous casting and the construction for its implementation, which is used at the pipe-rolling plant LLP «KSP Steel». The main solution is the implementation of hollow billet double-sided cooling in the secondary cooling zone (SCZ) on a continuous casting machine (CCM). The optimal ratio of the coolant flow rate to the inner and outer surfaces of the billet has been substantiated. The result of the proposed solutions is to improve the quality of the billet macrostructure and geometry. When analyzing the macrostructure of the billet, a decrease in defects by more than two times was revealed. The research of the billet cross-section showed a decrease in the deviation of the minimum wall thickness from the maximum from 6.1 to 1.8 mm.*

Keywords: *hollow billet, continuous casting, macrostructure, mold, mandrel.*

REFERENCES

1. Feldhaus S., Bratberg J. Continuous Casting of High Carbon Steel: How Does Hard Cooling Influence Solidification, Micro- and Macro Segregation? / IOP Conference Series: Materials Science and Engineering 529 (2019) 1, doi:10.1088/1757-899X/529/1/012069.
2. Luchkin V.S. Continuous casting billet with different sections quality specificity / V.S. Luchkin, S.A. Vorobej, G.V. Levchenko // Metal and foundry of Ukraine (2005) 5, pp. 30-33.
3. Krayushkin N.A. Temperature Fields and Thermal Stress in the Solidification of Cylindrical Continuous-Cast Steel Billet / N.A. Krayushkin, A. Pribytkov, K.S. Shatokhin // Steel in Translation 49 (2019) 1, pp. 20-23.
4. Harada H. Continuous casting of hollow billets / H. Harada, E. Anzai, E. Takeuchi // Canadian metallurgical quarterly 39 (2000) 3, pp. 307-318.
5. Botnikov S.A. Sovremennii atlas defektov neprerivnolitoi zagotovki i prichini vozniknoveniya prorivov kristallizuyuscheisya korochki metalla. 2 izd. Volgograd, 2011. – P. 97.
6. Pickering E.J. Macrosegregation in Steel Ingots: The Applicability of Modelling and Characterisation Techniques / ISIJ International, 53 (2013) 6, pp. 935-949.
7. Shevchenko E.A. Rational length of supported system of narrow faces of concast billet for preventing its convexity / E.A. Shevchenko, A.M. Stolyarov, A.N. Shapovalov, K.V. Baranchikov // Izvestiya. Ferrous Metallurgy 58 (2015) 1, pp. 39-43.
8. Patent na poleznuyu model №5866, RK. Sposob neprerivnogo litya polih zagotovok. MPK V22D 11/04, opubl. 19.02.2021. byul. no. 7.
9. Innovacionnii patent na izobretenie № 28708, RK. Sposob reguliruemogo ohlajdeniya fasonnih profilei sortovogo prokata. MKI C21D 9/06, opubl. 15.07.2014. byul. no. 7.
10. Zhakupov A. Determination of technological parameters for continiuous casting of a hollow pipe billet / A. Zhakupov, A. Bogomolov, A. Zhakupova, S. Abdulina, V. Salina // Metalurgija, (2021). 60 (3-4), pp. 329-331.