

НОВЫЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ И ОБОРУДОВАНИЕ NEW TECHNOLOGICAL PROCESSES AND EQUIPMENT

ISSN 1995-2732 (Print), 2412-9003 (Online)

УДК 621.74

DOI: 10.18503/1995-2732-2020-18-2-56-61



ИССЛЕДОВАНИЕ СОВМЕЩЕННОГО ПРОЦЕССА ПОЛУЧЕНИЯ СОРТОВЫХ ЗАГОТОВОК НА УСТАНОВКЕ НЕПРЕРЫВНОГО ЛИТЬЯ И ДЕФОРМАЦИИ

Лехов О.С.¹, Михалев А.В.², Билалов Д.Х.¹

¹Российский государственный профессионально-педагогический университет, Екатеринбург, Россия

²ОАО «Уральский трубный завод», Первоуральск, Россия

Аннотация. Проведено исследование новой технологии получения сортовых заготовок на установке совмещенного процесса непрерывного литья и деформации. Изложен способ получения трех стальных сортовых заготовок на установке непрерывного литья и деформации. Дана постановка задачи, приведены исходные данные и граничные условия для определения напряженно-деформированного состояния металла в очаге циклической деформации при формировании калиброванными бойками установки из непрерывнолитого сляба трех стальных сортовых заготовок. Изложена методика решения задачи упругопластичности методом конечных элементов с использованием пакета ANSYS. Рассмотрен нестационарный процесс внедрения разделяющих буртов калиброванного бойка в непрерывнолитой сляб при получении трех стальных сортовых заготовок на установке непрерывного литья и деформации. Результаты расчета внедрения бурта в сляб на 48 мм даны по характерным линиям, расположенным на контактной поверхности калиброванного бойка со слябом. Определены закономерности распределения осевых перемещений и напряжений в очаге деформации при внедрении разделяющих буртов бойков в непрерывнолитой сляб.

Ключевые слова: установка, непрерывнолитой сляб, калиброванный боек, sortовая заготовка, деформация, перемещение, напряжение.

© Лехов О.С., Михалев А.В., Билалов Д.Х., 2020

Для цитирования

Лехов О.С., Михалев А.В., Билалов Д.Х. Исследование совмещенного процесса получения сортовых заготовок на установке непрерывного литья и деформации // Вестник Магнитогорского государственного технического университета им. Г.И. Носова. 2020. Т.18. №2. С. 56–61. <https://doi.org/10.18503/1995-2732-2020-18-2-56-61>



Контент доступен под лицензией Creative Commons Attribution 4.0 License.
The content is available under Creative Commons Attribution 4.0 License.

STUDIES ON A COMBINED PROCESS OF PRODUCING BILLETS ON A CONTINUOUS CASTING AND DEFORMATION PLANT

Lekhov O.S.¹, Mikhalev A.V.², Bilalov D.Kh.¹

¹ Russian State Vocational Pedagogical University, Yekaterinburg, Russia

² JSC Urals Pipe Works, Pervouralsk, Russia

Abstract. The authors carried out a study on a new technology for producing billets on a combined continuous casting and deformation plant. The paper describes a method for producing three steel billets on the continuous casting and deformation plant. The problem statement is given, initial data and boundary conditions are stated to determine the stress-strain state of steel in the zone of cyclic deformation, when forming three steel billets from a continuously cast slab by the calibrated flat dies of the plant. The paper describes a procedure for solving the problem of elastoplasticity by the finite element method using the ANSYS package. It analyzes a non-stationary process of penetrating the continuously cast slab with the separating collars of the calibrated flat die, when producing three steel billets on the continuous casting and deformation plant. The results of calculating the penetration of the collar into the slab by 48 mm are given by the characteristic lines located on the contact surface of the calibrated flat die with the slab. The authors determined the regularities of the distribution of axial displacements and stresses in the deformation zone, when penetrating the continuously cast slab with the separating collars of the flat dies.

Keywords: plant, continuously cast slab, calibrated flat die, billet, deformation, displacement, stress.

For citation

Lekhov O.S., Mikhalev A.V., Bilalov D.Kh. Studies on a Combined Process of Producing Billets on a Continuous Casting and Deformation Plant. *Vestnik Magnitogorskogo Gosudarstvennogo Tekhnicheskogo Universiteta im. G.I. Nosova* [Vestnik of Novos Magnitogorsk State Technical University]. 2020, vol. 18, no. 2, pp. 56–61. <https://doi.org/10.18503/1995-2732-2020-18-2-56-61>

Введение

В мире ведутся работы по созданию ресурсосберегающих литейно-прокатных комплексов для производства сортовых заготовок, в частности процессов продольного разделения непрерывнолитых слывов на ряд сортовых заготовок [1–3].

Для производства сортовых заготовок может быть эффективно использована компактная установка совмещенного процесса непрерывного литья и деформации, которая позволяет одновременно получать из непрерывнолитого слыва три и более сортовых заготовок за один проход и в одной клети [3–5].

Способ получения трех сортовых заготовок

В установке для получения сортовых заготовок калибровка бойков с разделяющими выступами (рис. 1) выполнена таким образом, что при сведенном положении бойков они в совокупности образуют закрытую полость, которая обеспечивает на выходе из нее одновременное получение трех сортовых заготовок, соединенных перемычками (рис. 2).

Установка непрерывного литья и деформации работает следующим образом. Расплав металла заливают в медный водоохлаждаемый кристаллизатор, в котором происходит кристаллизация металла с образованием тонкого слыва.

Далее с помощью тянущего устройства слыв подается в бойки с разделяющими буртами, высота которых постепенно увеличивается в направлении непрерывного литья и деформации.

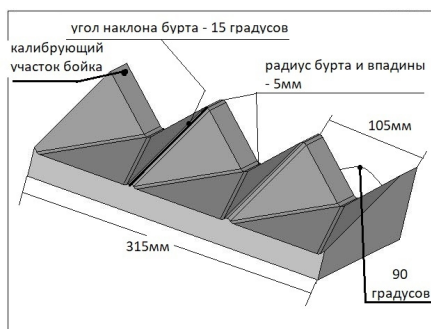


Рис. 1. Рисунок бойка / Fig. 1. Flat die

По мере продвижения затвердевшего слыва через калиброванные бойки происходит формирование нескольких сортовых заготовок, соединенных перемычками. При формировании сортовых заготовок происходит одновременное их обжатие рабочими поверхностями разделяющих буртов по двум взаимно перпендикулярным

направлениям. Полное разделение сортовых заготовок происходит после их выхода из установок в специальном блоке дисковых пил.

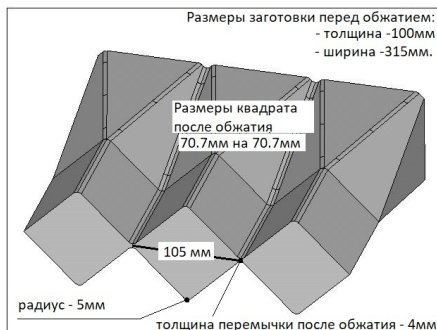


Рис. 2. Объемное изображение трех сортовых заготовок

Fig. 2. 3D view of three billets

Исходные данные, методика решения задачи и модель для расчета

Рассмотрим процесс получения из слэба толщиной 100 мм и шириной 315 мм трех сортовых заготовок квадрат 70,7 мм из стали Ст3 на установке непрерывного литья и деформации. Сечение полости медного водоохлаждаемого кристаллизатора 100×315 мм, причем боковые стенки кристаллизатора выполнены в виде полуокружности с радиусом, равным 50 мм. Температура внешней поверхности слэба равна 1200°C, а его осевой зоны – 1450°C. На рис. 1 изображен калиброванный боек для получения трех сортовых заготовок квадрат 70,7 мм из слэба без жидкой фазы толщиной 100 мм и шириной 315 мм. Величина эксцентриситета эксцентриковых валов – 5 мм, а их угловая скорость – 50 мин⁻¹.

Зависимости модуля упругости и сопротивления пластической деформации от степени деформации и температуры для стали Ст3 приняты согласно работам [4,7].

Результаты расчета напряженно-деформированного состояния металла в очаге деформации при формировании сортовых заготовок получены решением задачи упругопластичности методом конечных элементов в объемной постановке [4,6,8–14]. Для решения задачи использован пакет ANSYS [4]. Между рабочими поверхностями очага деформации и бойка создавалась контактная пара с коэффициентом трения 0,5.

Рассмотрим нестационарный процесс прохода непрерывнолитого слэба толщиной 100 мм через калиброванные бойки с постепенным внедрением разделяющих буртов бойка в слэб на величину 48 мм с учетом получения перемычки между сортовыми заготовками толщиной 4 мм. В силу симметрии расчет проводился для четверти слэба. Геометрия четверти слэба дана на рис. 3.

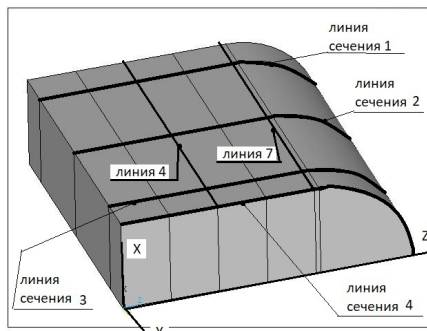


Рис. 3. Положение линий, в которых приведены графики перемещений и напряжений

Fig. 3. Positions of the lines used to show charts of displacements and stresses

На этом же рисунке также приведены положения линий в четырех сечениях и две характерные линии – 4 и 7. Результаты расчета при внедрении бурта в слэб приведены в виде графиков осевых перемещений (UX,UY,UZ) и напряжений (SX,SY,SZ) по линиям, принадлежащим поверхности контакта бойка со слэбом. Положение линий дано на рис. 3. Линии расположены в четырех поперечных сечениях.

Результаты расчета

На рис. 4 показан характер распределения перемещений в сечении 4 очага деформации при внедрении разделяющего бурта бойка в слэб на величину 48 мм.

На этом рисунке линия 4 характеризует распределение осевых перемещений в зоне впадины, а линия 7 – в зоне ребра при формировании сортовой заготовки. При внедрении разделяющего бурта в слэб перемещения металла в направлении оси Z до линии 4 соответствует перемещению металла в направлении оси X, а затем меняют знак. Наибольшую величину перемещения в направлении оси Z, равной 14 мм, достигают в сечении 4 (см. рис. 4). Перемещения

в направлении оси Y по длине очага деформации увеличиваются и в зоне впадины сечения 4 становятся равными 18 мм.

Осевые напряжения при внедрении разделяющего бурта в слаб по очагу деформации распределяются крайне неравномерно (рис. 5, 6).

Напряжения в направлении оси X по мере внедрения бурта в слаб возрастают и достигают

наибольшей величины, равной минус 230 МПа, в зоне впадины сечения 4. В зоне впадины напряжения в направлении оси Y сжимающие и в сечении 4 имеют максимальное значение, равное минус 200 МПа (см. рис. 5). В зоне гребня в сечении 3 напряжения в направлении оси Y переходят в растягивающие величиной до 25 МПа (см. рис. 6).

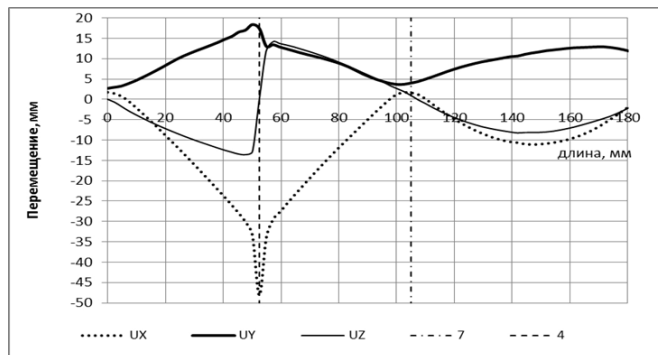


Рис. 4. Перемещение по развертке линии сечения 4 при внедрении бурта в слаб на 48 мм. Начало по оси OX соответствует точке слэба с координатами $Z=0$ мм, $X=50$ мм. Линия 4 соответствует впадине на получаемой заготовке, а линия 7 – ребру

Fig. 4. Displacement along the development of section line 4, when the collar is penetrating the slab by 48 mm. The beginning along axis OX corresponds to a point of the slab with coordinates $Z=0$ мм, $X=50$ мм. Line 4 corresponds to a low spot on the produced billet and line 7 corresponds to the edge

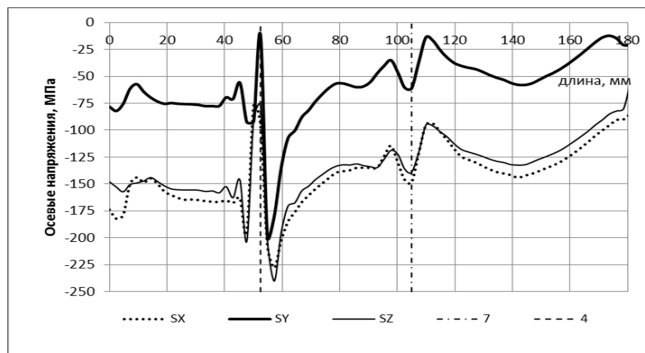


Рис. 5. Напряжение по развертке линии сечения 4 при внедрении бурта в слаб на 48 мм. Начало по оси OX соответствует точке слэба с координатами $Z=0$ мм, $X=50$ мм. Линия 4 соответствует впадине на получаемой заготовке, а линия 7 – ребру

Fig. 5. Stress along the development of section line 4, when the collar is penetrating the slab by 48 mm. The beginning along axis OX corresponds to a point of the slab with coordinates $Z=0$ мм, $X=50$ мм. Line 4 corresponds to a low spot on the produced billet and line 7 corresponds to the edge

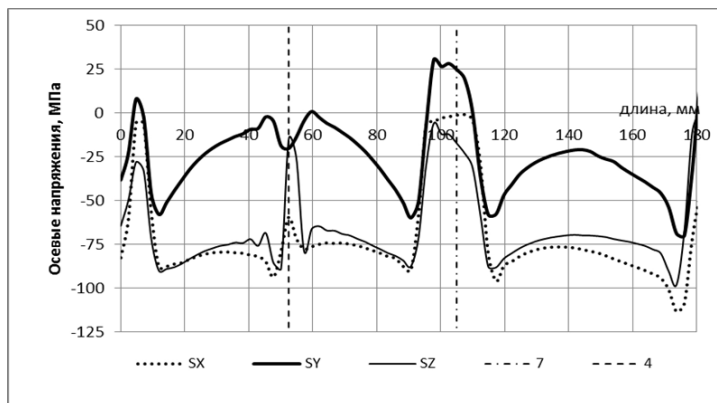


Рис. 6. Напряжение по развертке линии сечения 3 при внедрении бурта в сляб на 48 мм. Начало по оси OX соответствует точке сляба с координатами $Z=0$ мм, $X=50$ мм

Fig. 6. Stress along the development of section line 3, when the collar is penetrating the slab by 48 mm. The beginning along axis OX corresponds to a point of the slab with coordinates $Z=0$ mm, $X=50$ mm

Заключение

Поставлена и решена задачи определения напряженно- деформированного состояния металла в очаге циклической деформации при продольном разделении калиброванными бойками непрерывнолитого сляба на три сортовых заготовки на установке непрерывного литья и деформации. Установлены величины и закономер-

ности распределения осевых перемещений и напряжений в очаге деформации при формировании из непрерывнолитого сляба трех сортовых заготовок из стали Ст3. Установлено, что сжимающие напряжения в направлении оси X по мере внедрения разделяющего бурта в сляб возрастают и достигают наибольшей величины, равной минус 230 МПа, в зоне впадины очага циклической деформации.

Список литературы

- Макаров Ю.Д., Поляков Б.Н., Соколов П.Б. Многооручьевая прокатка сортовых заготовок из непрерывнолитых слябов // *Сталь*. 1984. Т.5. С. 35–37.
- Фастыковский А.Р., Федоров А.А. Опыт применения технологии прокатки-разделения в условиях действующего производства // *Производство проката*. 2016. №12. С. 3–7.
- Лехов О.С., Билалов Д.Х. Технологические возможности установок совмещенных процессов непрерывного литья и деформации для производства металлопродукции // *Производство проката*. 2016. № 7. С. 24–26.
- Лехов О.С., Михалев А.В. Установка совмещенного процесса непрерывного литья и деформации для производства листов из стали для сварных труб. Теория и расчет. Екатеринбург: Изд-во УМЦ УПИ, 2017. 151 с.
- Патент № 2658761. Способ непрерывного литья заготовок и устройство для его осуществления / Лехов О.С., Ухлов И.В., Михалев А.В. // *Бюл.* № 18, 2018.
- Исследование совмещенного процесса непрерывной разливки и циклической деформации для получения листов из стали / Лехов О.С., Гузанов Б.Н., Лисин И.В., Билалов Д.Х. // *Сталь*. 2016. №1. С. 59–62.
- Мазур Д.Д., Хижняк В.Л. Сопротивление деформации низколегированных сталей // *Сталь*. 1991. № 8. С. 41–43.
- Singh V., Das S.K. Thermofluid Mathematical Modeling of Steel Slab Casters: Progress in 21 st. Century / *ISIJ International*. 2016. Vol. 56. No. 9. P. 1509–1518.
- Sn B, etc. Numerical Simulation of Microstructure of Heave steel casting in Casting and Heat Treatment processes // *ISIJ international*. 2014. Vol. 54. No. 2. P. 408–414.
- Takashima Y., Yanagimoto I. Finite element analysis of flange spread behavior in H-beam universal rolling Y. *Steel research international*. 2011. 10. P. 1240–1247.
- Kobayashi S., Oh S-I, Altan T. Metal forming and finite-element method. New York: Oxford University Press, 1989. 377 p.

12. Matsumia T., Nakamura Y. Mathematical model of slab bulging during continuous casting // in: Applied Mathematical, and Physical Models in Iron and Steel Industry Proceedings of the 3rd Process Technological. Conference, Pittsburgh, Pa, 28–31 March 1982. New York. 1982. P. 264–270.
13. Zienkiewicz O., Taylor R. Finite Element Method: fifth edition / Butterworth and Heinemann, 2000. V. 1–3.
14. Duan H., Velay X., Sheppard T. Application of finite element method in the hot extrusion of aluminium alloys. Materials Science and Engineering A. 2004. V.369. P. 66–75.

References

1. Makarov Yu.D., Polyakov B.N., Sokolov P.B. Multiple-strand rolling of billets from continuously cast slabs. *Stal* [Steel], 1984, vol. 5, pp. 35–37. (In Russ.)
2. Fastykovsky A.R., Fedorov A.A. Experience of application of the rolling-separation technology in the conditions of current production. *Proizvodstvo prokata* [Manufacturing rolled products], 2016, no. 12, pp. 3–7. (In Russ.)
3. Lekhov O.S., Bilalov D.Kh. Technological capabilities of combined continuous casting and deformation plants for steel products. *Proizvodstvo prokata* [Manufacturing rolled products], 2016, no. 7, pp. 24–26. (In Russ.)
4. Lekhov O.S., Mikhalev A.V. *Ustanovka sovmeshchennogo protsessa nepreryvnogo litya i deformatsii dlya proizvodstva listov iz stali dlya svarnykh trub. Teoriya i raschet* [A combined continuous casting and deformation plant to produce steel plates for welded pipes. Theory and calculation.] Yekaterinburg: UMC UPI publishing house, 2017, 151 p. (In Russ.)
5. Lekhov O.S., Ukhlov I.V., Mikhalev A.V. *Sposob nepreryvnogo litya zagotovok i ustroystvo dlya ego osushchestvleniya* [Method of continuous casting of billets and device for its implementation]. Patent RF, no. 2658761, 2018.
6. Lekhov O.S., Guzanov B.N., Lisin I.V., Bilalov D.Kh. Research on the combined process of continuous casting and cyclic deformation to produce steel sheets. *Stal* [Steel], 2016, no. 1, pp. 59–62. (In Russ.)
7. Mazur D.D., Khizhnyak V.L. Strain resistance of low-alloy steels. *Stal* [Steel], 1991, no. 8, pp. 41–43. (In Russ.)
8. Singh V., Das S.K. Thermofluid mathematical modeling of steel slab casters: Progress in 21st Century. *ISIJ International*, 2016, vol. 56, no. 9, pp. 1509–1518.
9. Su B. et al. Numerical simulation of microstructure evolution of heavy steel casting in casting and heat treatment processes. *ISIJ international*, 2014, vol. 54, no. 2, pp. 408–414.
10. Takashima Y., Yanagimoto I. Finite element analysis of flange spread behavior in H-beam universal rolling. *Steel research international*, 2011, no. 10, pp. 1240–1247.
11. Kobayashi S., Oh S-I, Altan T. Metal forming and finite-element method. New York: Oxford University Press, 1989, 377 p.
12. Matsumia T., Nakamura Y. Mathematical model of slab bulging during continuous casting. *Applied Mathematical, and Physical Models in Iron and Steel Industry. Proceedings of the 3rd Process Technological Conference*, Pittsburgh, PA, 28–31 March 1982. New York, 1982, pp. 264–270.
13. Zienkiewicz O., Taylor R. Finite element method: fifth edition. Butterworth and Heinemann, 2000, v. 1–3.
14. Duan H., Velay X., Sheppard T. Application of finite element method in the hot extrusion of aluminium alloys. *Materials Science and Engineering A*, 2004, v.369, pp. 66–75.

Поступила 26.03.2020; принята к публикации 29.04.2020; опубликована 25.06.2020
Submitted 26/03/2020; revised 29/04/2020; published 25/06/2020

Лехов Олег Степанович – д-р техн. наук, профессор кафедры инжиниринга и профессионального обучения в машиностроении и металлургии, Российский государственный профессионально-педагогический университет, Екатеринбург, Россия. Email: MXLekhov38@yandex.ru

Михалев Александр Викторович – канд. техн. наук, управляющий директор, ОАО «Уральский трубный завод», Первоуральск, Россия. Email: mialex@trubprom.com

Билалов Дамир Харасович – канд. техн. наук, доцент кафедры инжиниринга и профессионального обучения в машиностроении и металлургии, Российский государственный профессионально-педагогический университет, Екатеринбург, Россия. Email: master_ddd@mail.ru

Oleg S. Lekhov – DrSc (Eng.), Professor
Russian State Vocational Pedagogical University, Yekaterinburg, Russia,
Email: MXLekhov38@yandex.ru

Alexander V. Mikhalev – PhD (Eng.), Managing Director
JSC Urals Pipe Works, Pervouralsk, Russia. Email: mialex@trubprom.com

Damir Kh. Bilalov – PhD (Eng.), Associate Professor
Russian State Vocational Pedagogical University, Yekaterinburg, Russia. Email: master_ddd@mail.ru