

ОБОРУДОВАНИЕ МЕТАЛЛУРГИЧЕСКОГО ПРОИЗВОДСТВА

УДК 669.184

Андросенко М.В., Усатая Т.В., Кенарь Е.В., Куликов С.С., Усатый Д.Ю., Налимова М.Н.

ОПТИМИЗАЦИЯ РОЛИКОВОЙ СЕКЦИИ ПОД КРИСТАЛЛИЗАТОРОМ СЛЯБОВОЙ МАШИНЫ НЕПРЕРЫВНОГО ЛИТЬЯ ЗАГОТОВОК ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ СРОКА СЛУЖБЫ ПОДШИПНИКОВ И СНИЖЕНИЯ ЧИСЛА РЕМОНТОВ

Аннотация. Роликовая секция, расположенная под кристаллизатором в машине непрерывного литья заготовок, играет критически важную роль в обеспечении качества сляба. Ее конструктивные особенности, а также технологические параметры разливки непосредственно влияют на характеристики готового металла. В связи с высокой температурой литой заготовки, достигающей примерно 1300 °С, существует проблема выгорания смазочного материала и выхода из строя роликоподшипников, что приводит к увеличению объема брака и частым ремонтам. Для решения данной проблемы предлагается модернизация роликовой секции путем внедрения индивидуальной системы смазки для каждого подшипника и осевого охлаждения. Эти изменения предполагают доработку конструкции оси ролика, что позволит поддерживать оптимальную температуру в подшипниках и значительно увеличить срок их службы. Ожидается, что модернизация приведет к снижению времени простоя оборудования, улучшению качества готовой продукции и повышению общей эффективности производственного процесса.

Ключевые слова. МНЛЗ, роликовая секция, кристаллизатор, охлаждение, смазочный материал, модернизация, подшипники, качество продукции, эксплуатационные характеристики, надежность

Слябовая машина непрерывного литья заготовок (МНЛЗ) – это высокотехнологичное оборудование, предназначенное для производства слябов из расплавленного металла. В процессе работы расплавленный металл заливается в кристаллизатор, где начинается его затвердевание. Затем заготовка проходит через роликовую секцию, которая поддерживает и направляет металл, обеспечивая его охлаждение и формирование корочки.

Роликовая секция под кристаллизатором расположена между кристаллизатором и секцией 1 на несущей раме механизма качания и служит для поддержания и ведения еще не затвердевшей внутри заготовки (рис. 1). Данная секция расположена внутри камеры охлаждения на промежуточном стенде. Она рассчитана для толщин слябов от 190 до 270 мм.

В процессе разливки роликовая секция выполняет несколько ключевых функций: ведение затравки; поддержание корочки литой заготовки после выхода сляба из кристаллизатора до входа в роликовую секцию; охлаждение корочки заготовки с помощью струйной системы охлаждения, расположенной между роликами; ограничение выпучивания корочки заготовки за счет правильно выбранного расстояния между роликами.

Роликовая секция оснащена: 7-ю роликовыми парами 1 диаметром 130 мм, индивидуально закрепленными и зафиксированными на раме секции с неподвижной и подвижной стороны; машинной рамой 2, которая служит для установки/крепления роликов; системой охлаждения оборудования 3, которая предусмотрена для охлаждения обеих боковых частей 7; системой струйного охлаждения 4, задачей которого является охлаждение

широких сторон сляба; системой центральной густой смазки 5; 4-мя опорами 6 для установки секции в промежуточный стенд.

Роликовая секция включает 7 пар роликов диаметром 130 мм, которые индивидуально закреплены на раме секции с неподвижной и подвижной стороны. Конструкция также включает машинную раму, систему охлаждения оборудования, систему струйного охлаждения для широких сторон сляба и централизованную систему густой смазки, а также опоры для установки секции на промежуточный стенд.

Секция не имеет приводных роликов, и при изменении ширины сляба (190 или 270 мм) требуется замена секции. Ролики имеют двухсекционную конструкцию и установлены в цилиндрических роликоподшипниках типа NU 2210 EC-C4-S3. Внутреннее охлаждение роликов не предусмотрено, и охлаждение заготовки осуществляется распыляемой водой. Смазка роликов производится централизованной системой густой смазки.

Одной из ключевых проблем, возникающих при эксплуатации слябовой машины непрерывного литья заготовок, являются конструктивные недостатки роликовой секции под кристаллизатором, которая не имеет системы охлаждения. Поскольку эта секция во время разливки поддерживает корочку литой заготовки после ее выхода из кристаллизатора и ограничивает выпучивание корочки, ей требуется внутреннее охлаждение как роликов, так и корпуса. Высокая температура литой заготовки, достигающая примерно 1300 °С, приводит к выгоранию смазочного материала из-за отсутствия охлаждения роликов. Это, в свою очередь, вызывает работу роликоподшипников без смазки, что приводит к их быстрому выходу из строя.

Ролики $\varnothing 130$ мм являются двухсекционными. Они имеют асимметричное секционирование и таким образом закреплены на рамах наружной и внутренней стороны ручья, что зазор асимметрично секционированных роликов смещен от ролика к ролику (рис. 2).

Ролики 1 и 2 установлены в цилиндрических роликотоподшипниках 4 на неподвижной оси 3. Смазка роликотоподшипников осуществляется через централизован-

ную систему густой смазки. Однако постоянный контакт роликов с горячим металлом и отсутствие внутреннего охлаждения приводят к частым поломкам подшипников и выгоранию смазочного материала. В связи с этим предлагается модернизировать ролик диаметром 130 мм, внедрив индивидуальную смазку для каждого подшипника и систему осевого охлаждения (рис. 3).

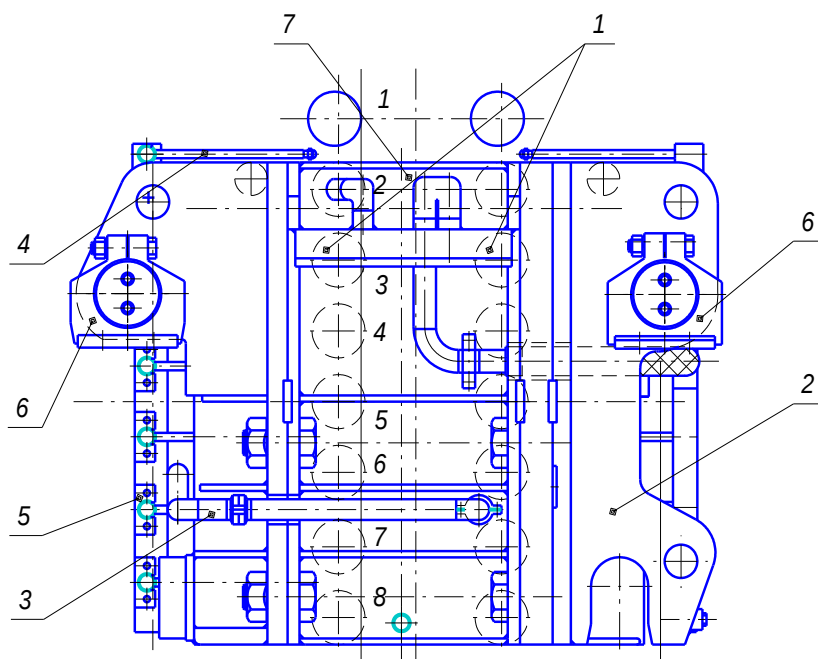


Рис. 1. Роликовая секция под кристаллизатором

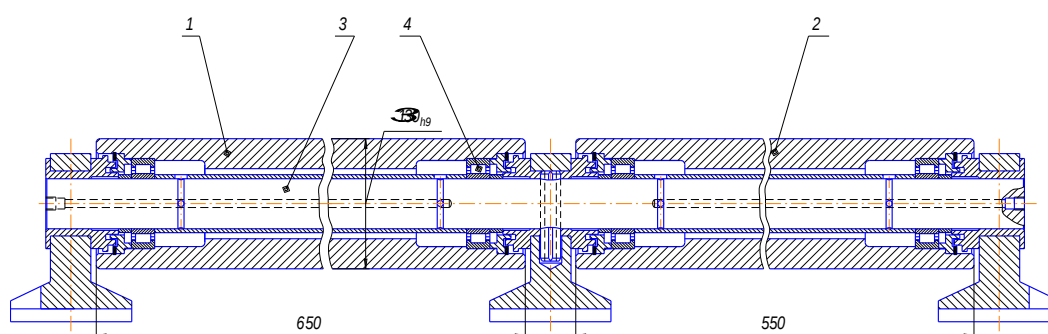


Рис. 2. Ролик $\varnothing 130$ в сборе

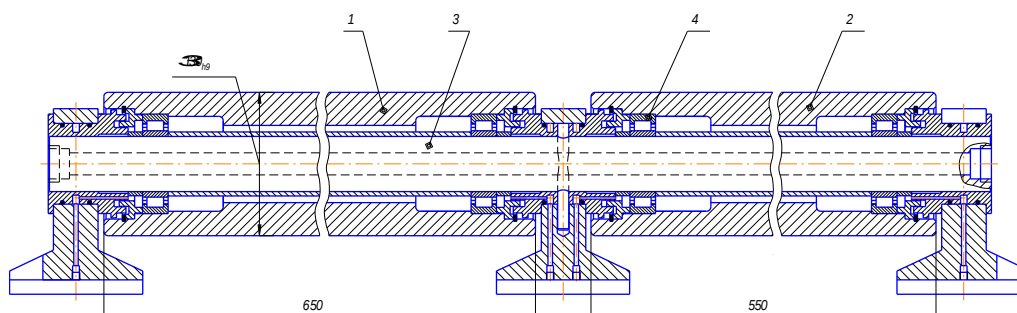


Рис. 3. Ролик $\varnothing 130$ в сборе после реконструкции

Для обеспечения охлаждения подшипников ролика необходимо подавать охлаждающую жидкость через осевой канал. Для этого следует модифицировать конструкцию оси ролика, просверлив сквозное отверстие диаметром 20 мм. Такое решение позволит поддерживать оптимальную температуру как роликоподшипников, так и смазочного материала.

Кроме того, для подачи индивидуальной смазки к каждому подшипнику потребуется создать технологические отверстия диаметром 4 мм в конструкции станины и диаметром 2 мм в упорных кольцах. Это обеспечит необходимый объем смазочного материала, позволяя роликоподшипникам функционировать в заданном режиме.

Для оценки эффективности внедрения индивидуальной смазки и осевого охлаждения, а также влияния изменения температуры подшипников на их срок службы можно использовать уравнения, описывающего срок службы подшипников в зависимости от температуры и условий эксплуатации.

Одна из наиболее распространенных формул для расчета срока службы подшипников на основе статической нагрузки и условий работы имеет вид

$$L_{10} = (C/F)^3 \cdot 10^6,$$

где L_{10} – срок службы подшипника в миллионах оборотов;

C – динамическая грузоподъемность подшипника, Н;
 F – эквивалентная динамическая нагрузка, Н.

Для учета влияния температуры на срок службы подшипников можно использовать эмпирическую зависимость. Можно использовать правило «10°C», которое гласит, что каждые 10°C увеличивают скорость выгорания смазки и уменьшают срок службы подшипников примерно в два раза. Это можно выразить следующим образом:

$$L_T = L_{20} \cdot 2^{(T-T_0)/10},$$

где L_T – срок службы подшипника при температуре T ;
 L_{20} – срок службы подшипника при температуре 20°C;
 T_0 – базовая температура (обычно 20°C или другая стандартная температура);
 T – фактическая температура подшипника.

Динамическая грузоподъемность подшипника составляет 2000 Н, а эквивалентная динамическая нагрузка – 800 Н:

$$L_{10} = (2000/800)^3 \cdot 10^6 = 1,56253 \cdot 10^6 \approx 3,84 \cdot 10^6 \text{ оборотов.}$$

Срок службы при 20°C составляет 3,84 миллиона оборотов. Если температура повышается до 60°C, то

$$L_T = 3,84 \cdot 10^6 \cdot 2^{(60-20)/10} = 3,84 \cdot 2^4 \cdot 10^6 \approx 3,84 \cdot 16 \cdot 10^6 \approx 6,2 \cdot 10^5 \text{ оборотов.}$$

Если с внедрением индивидуальной смазки и осевого охлаждения температура подшипников снизится до 30°C, то

$$L_T = 3,84 \cdot 10^6 \cdot 2^{(30-20)/10} = 3,84 \cdot 2^1 = 3,84 \cdot 2 \approx 7,6 \cdot 10^6 \text{ оборотов.}$$

Таким образом, эти расчеты показывают, как существенное снижение температуры может увеличить срок службы подшипников, что подтверждает целесообразность предложенных изменений.

Рассчитанные значения срока службы подшипников при различных температурах подтверждают целесообразность внедрения системы охлаждения и индивидуальной смазки. Срок службы подшипников при температуре 60°C составляет $6,2 \cdot 10^5$ оборотов. В то же время снижение температуры подшипников до 30°C в результате внедрения осевого охлаждения и индивидуальной смазки позволяет увеличить срок службы до $7,6 \cdot 10^6$ оборотов. Таким образом, срок службы подшипников при температуре 30°C увеличивается на примерно 1129% по сравнению с температурой 60°C.

Применение предложенных изменений не только повысит надежность работы роликовой секции, но и улучшит условия эксплуатации, что приведет к снижению частоты ремонтов и простоев оборудования. Это, в свою очередь, повысит общую эффективность производственного процесса, сократит затраты на техническое обслуживание и увеличит производительность.

Список источников

1. Analysis and development of foot roller unit of the secondary cooling zone of billet continuous casting machine / M. V. Androsenko, E. V. Kenar, S. S. Kulikov [et al.] // The Theory and Process Engineering of Metallurgical Production. 2023. No. 4(47). P. 12-16. EDN RJCSZF.
2. Точилкин В.В., Извеков Ю.А., Ячиков И.М. Машины и агрегаты комплекса МНЛЗ для транспортирования металла: монография. Магнитогорск : Изд-во Магнитогорск. гос. техн. ун-та им. Г.И. Носова, 2024. 390 с. EDN PZULNJ.
3. Точилкин В.В., Филатова О.А. Создание и проектирование технологических машин : Электронное издание. Магнитогорск : Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова, 2021. ISBN 978-5-9967-1941-9. EDN VIUAGT.
4. Вдовин К.Н., Точилкин В.В., Ячиков И.М. Непрерывная разливка сталей. 2-е изд., испр. и перераб. Санкт-Петербург: Лань, 2020. 732 с. ISBN 978-5-8114-4953-8. EDN QQCZLZ.
5. Алгоритм расчёта и состояния формируемой заготовки на машине непрерывного литья / М.В. Андросенко, Е.В. Кенарь, Н.Ш. Тютяряков [и др.] // Теория и технология металлургического производства. 2022. № 2(41). С. 26-31. EDN UXXHSM.
6. Столяров А.М., Бигеев В.А., Потапова М.В. Разливка стали на МНЛЗ [Электронный ресурс]. Магнитогорск: Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова, 2023. 269 с. EDN CLUCFG.

Сведения об авторах

Андросенко Мария Владимировна – кандидат технических наук, доцент кафедры проектирования и эксплуатации металлургических машин и оборудования, ФГБОУ ВО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова», г. Магнитогорск, Россия. E-mail: m.androsenko@magtu.ru

Усатая Татьяна Владимировна – кандидат педагогических наук, доцент кафедры проектирования и эксплуатации металлургических машин и оборудования, ФГБОУ ВО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова», г. Магнитогорск, Россия. E-mail: usatayatv@gmail.com

Решетова Ирина Валерьевна – ассистент кафедры металлургии и химических технологий, ФГБОУ ВО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова», г. Магнитогорск, Россия. E-mail: irareshetova@rambler.ru

Кенарь Екатерина Владимировна – кандидат технических наук, доцент кафедры механики, ФГБОУ ВО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова», г. Магнитогорск, Россия. E-mail: redket78@mail.ru

Куликов Семен Сергеевич – бакалавр, ФГБОУ ВО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова», г. Магнитогорск, Россия.

Усатый Дмитрий Юрьевич – кандидат технических наук, доцент кафедры электроники и микроэлектроники, ФГБОУ ВО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова», г. Магнитогорск, Россия. E-mail: d.usatyy@magtu.ru

Налимова Марина Николаевна – старший преподаватель, ФГАОУ ВО «Самарский государственный экономический университет», г. Самара, Россия. E-mail: pmn-marina@yandex.ru

INFORMATION ABOUT THE PAPER IN ENGLISH

OPTIMIZATION OF THE ROLLER SECTION UNDER THE SLAB CONTINUOUS CASTING MACHINE FOR INCREASING THE SERVICE LIFE OF BEARINGS AND REDUCING THE NUMBER OF REPAIRS

Androsenko Maria V. – Ph.D. in Technical Sciences, Associate Professor at the Department of Design and Operation of Metallurgical Machines and Equipment, Nosov Magnitogorsk State Technical University, Magnitogorsk, Russia. E-mail: m.androsenko@magtu.ru.

Usataya Tatyana V. – Candidate of Pedagogical Sciences, Associate Professor of the Department of Design and Operation of Metallurgical Machines and Equipment, Nosov Magnitogorsk State Technical University, Magnitogorsk, Russia. E-mail: usatayatv@gmail.com

Reshetova Irina V. – Assistant of the Department of Metallurgy and Chemical Technologies, Nosov Magnitogorsk State Technical University, Magnitogorsk, Russia. E-mail: irareshetova@rambler.ru

Kenar Ekaterina V. – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Mechanics Nosov Magnitogorsk State Technical University, Magnitogorsk, Russia. E-mail: redket78@mail.ru

Kulikov Semyon S. – Bachelor, Nosov Magnitogorsk State Technical University, Magnitogorsk, Russia.

Usaty Dmitry Yu. – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Electronics and Microelectronics, Nosov Magnitogorsk State Technical University, Magnitogorsk, Russia. E-mail: d.usatyy@magtu.ru

Nalimova Marina N. – Senior Lecturer, Samara State University of Economics, Samara, Russia. E-mail: pmn-marina@yandex.ru

Abstract. The roller section located under the crystallizer in the continuous casting machine for slabs plays a critically important role in ensuring the quality of the slab. Its design features, as well as the technological parameters of casting, directly influence the characteristics of the finished metal. Due to the high temperature of the cast billet, reaching approximately 1300 °C, there is a problem of lubricant burnout and failure of roller bearings, leading to an increase in the volume of defects and frequent repairs. To address this issue, it is proposed to modernize the roller section by implementing an individual lubrication system for each bearing and axial cooling. These changes involve modifying the design of the roller shaft, which will help maintain optimal temperatures in the bearings and significantly extend their

service life. It is expected that the modernization will reduce equipment downtime, improve the quality of the finished product, and enhance the overall efficiency of the production process.

Keywords. Continuous casting machine, roller section, crystallizer, cooling, lubricant, modernization, bearings, product quality, operational characteristics, reliability.

Ссылка на статью:

Оптимизация роликовой секции под кристаллизатором слэбовой машины непрерывного литья заготовок для повышения срока службы подшипников и снижения числа ремонтов / Андросенко М.В., Усатая Т.В., Кенарь Е.В., Куликов С.С., Усатый Д.Ю., Налимова М.Н.// Теория и технология металлургического производства. 2025. №1(52). С. 39-43.

Androsenko M.V., Usataya T.V., Reshetova I.V., Kenar E.V., Kulikov S.S., Usaty D.Yu., Nalimova M.N. Optimization of the roller section under the slab continuous casting machine for increasing the service life of bearings and reducing the number of repairs. *Teoria i tehnologiya metallurgicheskogo proizvodstva*. [The theory and process engineering of metallurgical production]. 2025, vol. 52, no. 1, pp. 39-43.