

УДК 621.74

DOI: [https://doi.org/10.32515/2664-262X.2020.3\(34\).163-169](https://doi.org/10.32515/2664-262X.2020.3(34).163-169)

В.М. Ломакін, доц., канд. техн. наук, **В.В. Пукалов**, доц., канд. техн. наук
Центральноукраїнський національний технічний університет, м. Кропивницький, Україна
e-mail: vik284333@gmail.com

В.І. Дубодєлов, проф., д-р техн. наук, **М.С. Горюк**, канд. техн. наук, ст. наук. співр.
Фізико-технологічний інститут металів і сплавів НАН України, м. Київ, Україна

Автоматизація порційної розливки розплаву чавуну в кокіль при виробництві виливків деталей машин гірничорудної промисловості

Виконано аналіз основних параметрів дозування розплаву чавуну в металеві форми за допомогою магнітодинамічної установки МДН-6Ч. Розроблено принципову схему управління електромагнітними системами агрегату. Відпрацьовано технологію дозування і заливки металу в кокіль при виготовленні чавунних куль діаметром 40 і 120 мм.

чавун, розплав, магнітодинамічна установка, кокіль, схема управління

В.Н. Ломакин, доц., канд. техн. наук, **В.В. Пукалов**, доц., канд. техн. наук
Центральноукраїнський національний технічний університет, г. Кропивницький, Україна
В.И. Дубоделов, проф., д-р. техн. наук, **М.С. Горюк**, канд. техн. наук, ст. науч. сотр.
Физико-технологический институт металлов и сплавов НАН Украины, г. Киев, Украина

Автоматизация порционной разливки расплава чугуна в кокиль при производстве отливок деталей машин горнорудной промышленности

Проведен анализ основных параметров дозирования расплава чугуна в металлические формы с помощью магнитодинамической установки МДН-6Ч. Разработана принципиальная схема управления электромагнитными системами агрегата. Отработана технология дозирования и заливки металла в кокиль при изготовлении чугунных шаров диаметром 40 и 120 мм.

чугун, расплав, магнитодинамическая установка, кокиль, схема управления

Постановка проблеми. В умовах масового і крупносерійного виробництва литих виробів порційна розливка розплавів чавуну в металеві форми (кокілі), встановлені на ливарному конвеєрі, є однією з відповідальних технологічних операцій. При цьому для отримання необхідної структури і високої якості виливків слід забезпечити стабільність фізико-хімічних і ливарних властивостей рідкого металу, раціональні теплові параметри кокілів і режими заповнення їх ливникової системи.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Одним із ефективних способів дозування розплавів чавуну в кокілі, встановлені на конвеєрі або карусельній машині, є застосування засобів магнітної гідродинаміки, зокрема магнітодинамічної установки моделі МДН-6Ч [1, 2], висока ефективність якої пояснюється високим ККД та можливістю незалежного управління температурою і швидкістю руху рідкого металу.

Поставка завдання. Задача дослідження полягала у вивченні процесу порційної розливки чавуну у металеві форми та забезпеченні високої точності дозування розплаву в рамках технології виготовлення литих чавунних молольних тіл сферичної форми.

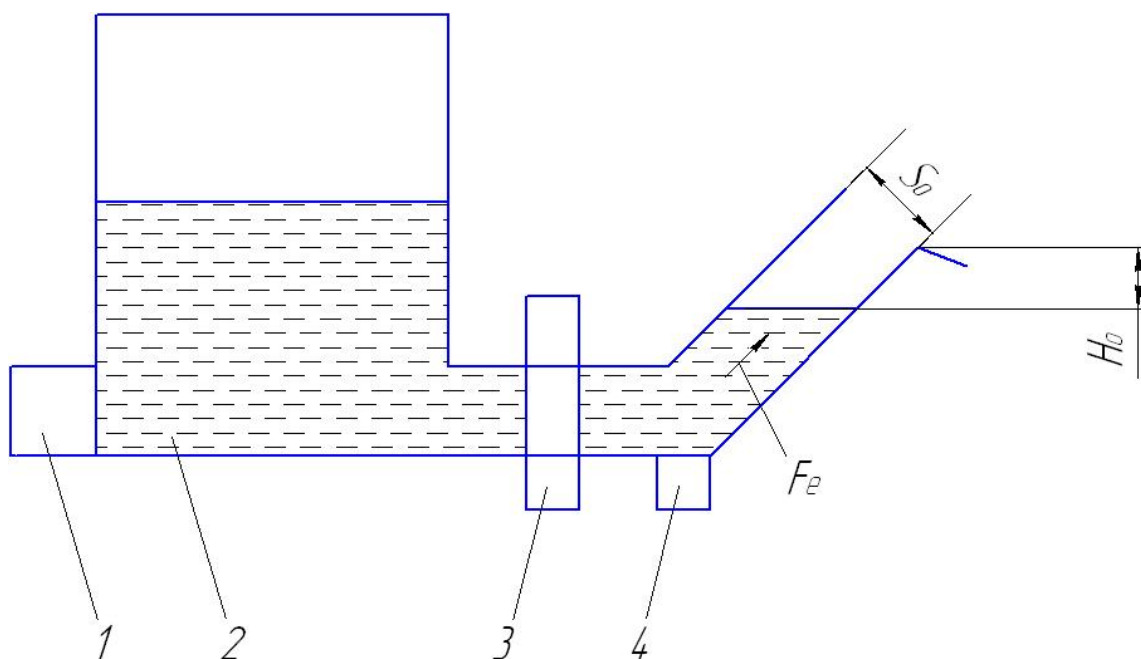
Виклад основного матеріалу. Висока продуктивність ливарного конвеєра при виготовленні литих куль обумовлює необхідність механізації і автоматизації всіх

технологічних операцій. Саме тому велике значення мають питання не тільки заливки, а й дозування рідкого металу в кокілі. Застосовувані для цієї мети методи і пристрої, поряд з механізацією процесу заливки, повинні забезпечити високу точність дозування. Це пов'язано з тим, що недолив рідкого металу в кокілі призводить до недостатнього підживлення виливків під час їх кристалізації і утворення раковин, зростання ливарного браку. У той же час перелив сплаву призводить до намерзання металу на поверхні кокілю, що вимагає додаткових трудовитрат по очищенню форм від скрапу, збільшення витрати металу і часу простою конвеєра.

Аналіз процесу заливки і дозування металу із застосуванням магнітодинамічної установки показує, що спосіб дозування за часом найбільш простий в реалізації і забезпечує достатню точність дозування [3, 4]. З урахуванням цього в даній роботі він був прийнятий за основу.

Маса порції металу $G_{\text{мет}}$ при дозуванні за часом за допомогою МГД-установки залежить від тривалості дозування τ_d , величини електромагнітної сили F_e , вихідного рівня металу на зливному носку H_0 і стабільності перетину S_0 прохідного отвору, через який видається порція рідкого металу.

Технологія дозованої заливки кокілів відпрацьовувалася в ливарному цеху з урахуванням раніше проведених теоретичних розрахунків теплових параметрів лиття та кристалізації литих чавунних куль [5, 6, 7], а також результатів моделювання процесу заповнення ливарних форм рідким металом. [8]. Експерименти проводилися у виробничих умовах із застосуванням магнітодинамічної установки для чавуну МДН-6Ч (рис. 1).



1 - електропривод; 2 - тигель; 3 - індуктор; 4 - електромагніт

Рисунок 1 – Схема установки МДН-6Ч і параметри дозування розплаву

Джерело: розроблено авторами

Рідкий метал із ванни МДН-6Ч подавали в кокілі по проміжному жолобу, який одним кінцем розташовувався біля зливного носка магнітодинамічної установки, а іншим - над ливниковою воронкою ливарної форми. Рідкий чавун в тигель установки заливали ливарними ковшами ємністю 1 т при температурі 1320-1340 ° С. Хімічний

склад чавуну знаходився в межах: 2.8-3.6% C; 1.2-1.8% Si; 0.5-0.9% Mn; до 0.1% S і P; 0.8-1.2% Cr.

При відпрацюванні технології дозування чавуну в кокіль був проведений аналіз основних факторів, що впливають на величину дози, і експериментально визначені режими роботи МГД-установки, які забезпечують необхідну точність дозування.

Час дозування металу τ_d є одним з основних параметрів, котрий визначається з умов процесу заливки і заповнення ливникової системи кокілю. Як показали дослідження, проведенні на моделях форм із органічного скла, час заповнення кокілів для виготовлення литих чавунних куль діаметром 40 мм має бути 7.3-7.5 с, а діаметром 120 мм - 16.0-16.2 с [8].

Виходячи з експериментально встановлених значень часу заливки кокілю, були прийняті інші параметри процесу: перетин отвору S_0 , через який видається порція металу, вихідний рівень металу на зливному носку установки H_0 і величина електромагнітної сили F_e . Ці параметри визначають витрату і гідродинаміку заповнення кокілю. Саме тому підтримка їх сталості при заливці кокілів є одною з головних вимог технології виготовлення якісних литих куль.

Виробничий досвід показує, що для збереження постійного перетину каліброваного отвору S_0 необхідно дотримуватися певних теплових умов, при яких футеровка зливного отвору добре прогривається, що виключає намерзання на ній металу та шлаку.

Були проведенні натурні експерименти для визначення раціональних теплових режимів роботи установки, які забезпечують хорошу рідкоплинність чавуну, виключають намерзання шлаку в зливному отворі і утворення скрапу на проміжному жолобі в умовах, що відповідають періодичній роботі конвеєра. При цьому вивчалися також електричні параметри індуктора установки, при яких забезпечується стабільна температура заливки форм протягом тривалого часу. Крім цього, визначалася можливість регулювання електричних параметрів і відповідно температури при зміні маси металу в тиглі установки.

Температуру металу в установці контролювали термопарою ТПР-30/6 з кварцовим наконечником і переносним мілівольтметром, а електричні параметри вимірювали приладами, розташованими на щиті управління установки.

Встановлено, що при температурі чавуну нижче 1340 °С на зливному носку установки МДН-6Ч утворюється кірки металу і шлаку. При цьому змінюється прохідний перетин контрольованого отвору, що призводить до зміни витрати і величини дози металу.

При температурі 1340-1360 °С чавун має хорошу рідкоплинність внаслідок чого при переливі його з установки в кокіль на зливному носку і проміжному жолобі не утворюється скрап. При цьому не змінюється гідродинаміка течії струменя рідкого металу, що сприяє отриманню стабільних по масі порцій металу.

Розлив металу при температурах вище 1360 °С характеризується тим, що процес дозування йде добре, але виливки не встигають повною мірою охолонути в кокілі, і при вибивці з ливарної форми деформуються. Для виключення цього недоліку необхідно збільшити час витримки виливків в кокілі, що не вигідно, оскільки знижується продуктивність ливарного конвеєра.

Проведені експерименти показали, що при температурі 1340-1360 °С процес розливання чавуну характеризується найбільшою стабільністю. При цьому вихідний рівень H_0 розливання металу на зливному носку слід підтримувати не менше 20-30 мм від порога зливу.

При оптимальній температурі розливання чавуну електричні параметри індуктора (напруга U_i , сила струму I_i , потужність P_i) знаходилися в межах $U_i = 250-300$ В, $I_i = 480-520$ А, $P_i = 140-160$ кВт. При зменшенні маси металу в тиглі МДН-6Ч за

допомогою схеми управління проводили перемикання індуктора з напруги 300 В на 250 В. При цьому потужність зменшувалася на 15-20 кВт, а температура металу залишалася в межах допуску технології розливання металу.

Величина електромагнітної сили P_e повинна бути такою, щоб забезпечити необхідну витрату при заповненні розплавом чавуну ливникової системи кокілю. В установці МДН-6Ч величина електромагнітної сили залежить від напруги живлення індуктора U_i і електромагніта $U_{ел}$. На практиці для спрощення системи управління на одній з електромагнітних систем, наприклад на індукторі, напруга живлення підтримується сталою, а величину електромагнітної сили регулюють зміною напруги на електромагніті $U_{ел}$.

Таким чином, аналіз вихідних параметрів, від яких залежить величина дози, показує, що зміна кожного з них призводить до відхилення величини порції металу від заданої. Для отримання стабільних результатів при дозуванні необхідно виключити зміну основних параметрів протягом тривалого часу. З цією метою була розроблена структурна схема управління електромагнітними системами установки МДН-6Ч, яка забезпечує незалежне регулювання кожного з визначальних параметрів дозування і підтримки їх в заданих межах (рис.2).

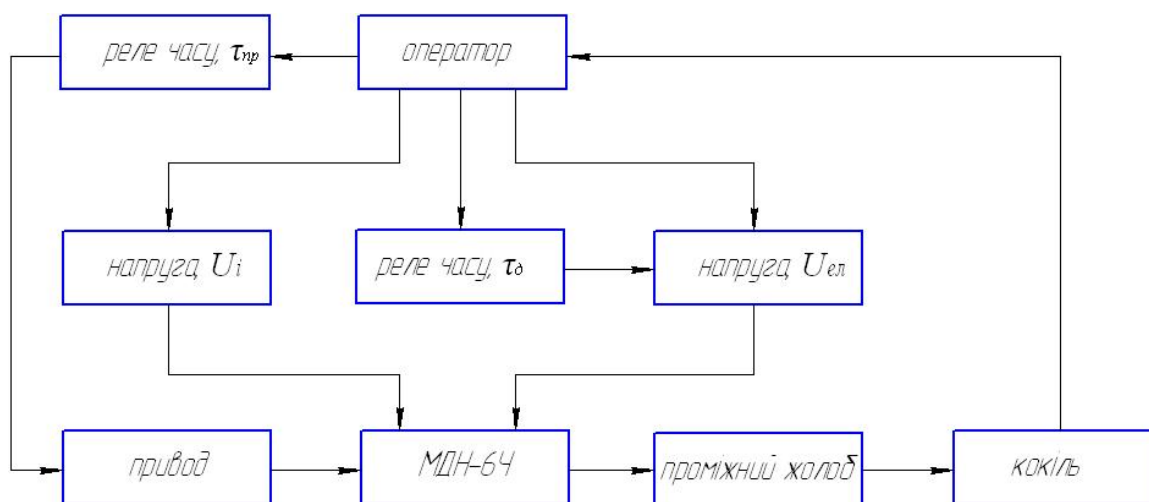


Рисунок 2 – Структурна схема управління електромагнітною системою МДН-6Ч

Джерело: розроблено авторами

З використанням прийнятої схеми дозування стало можливим розливання металу проводити при сталих параметрах електромагнітної системи і часу заливки τ_d , а зміну маси дози виконувати зміною вихідного рівня металу H_0 на зливному носку за рахунок варіювання часу ($\tau_{пр}$) включення приводу стабілізації H_0 .

Відпрацювання технології дозування і заливки металу в кокіль для виготовлення чавунних куль діаметром 40 і 120 мм проводили при напругі індуктора 300 В, а електромагніту - 220 В. Вихідний рівень металу на зливному носку був рівним 20 мм. Час заливки кокілів при виготовленні куль діаметром 40 мм становив 7,3 с, а куль діаметром 120 мм - 16,2 с. Час роботи електромеханічного приводу $\tau_{пр}$ встановили при виготовленні куль діаметром 40 мм - 0,35 с, а куль діаметром 120 мм - 0,75с. Витрата металу при виготовленні куль діаметром 40 і 120 мм знаходилась в межах 0,70-0,75 кг/с і 1,65-1,70 кг/с відповідно. Розливання металу проводили при температурах 1320-1340 °С і 1360-1380 °С.

Точність дозування визначали зважуванням металу залитих куль і ливникової системи кокілю (табл. 1).

Таблиця 1 – Результати зважування маси виливків

Маса виливків Ø40 мм з ливниками в шістнадцятимісному кокільі, кг; (G _{мет} =5,37 кг)		Маса виливків Ø120 мм з ливниками в чотиримісному кокільі, кг; (G _{мет} =27,26 кг)	
при температурі чавуну 1320 °С	при температурі чавуну 1370 °С	при температурі чавуну 1330 °С	при температурі чавуну 1360 °С
5,14	5,22	27,03	26,83
5,37	5,49	27,46	27,21
4,99	5,47	28,00	27,46
5,15	5,18	27,23	27,34
5,64	5,23	26,82	27,23
5,51	5,52	26,91	27,64
5,57	5,32	27,05	27,70
5,84	5,26	27,25	26,92
5,45	5,46	27,71	27,01
5,27	5,43	27,43	27,09
5,32	5,29	27,18	27,13
4,91	5,21	26,79	27,30
5,04	5,47	27,01	27,14
5,20	5,53	27,36	27,28
5,73	5,42	27,47	27,06
5,04	5,17	27,84	27,14
4,91	5,51	27,47	27,25
5,15	5,45	26,93	27,18

Джерело: розроблено авторами

Математична обробка результатів дозування показала, що при виготовленні куль діаметром 40 мм при температурі 1320 °С похибка дозування дорівнює 10-11%. З підвищенням температури чавуну похибка дозування зменшується і при температурі металу 1370 °С становить 5-6%. При виготовленні куль діаметром 120 мм при температурі чавуну 1330 похибка дозування дорівнює 7-8%, а при температурі 1360°С - 3-4%.

Висновки. Проведене дослідження особливостей процесу заливки і дозування чавуну в кокіль дозволило розробити технологію порційної розливки розплавів чавуну, що забезпечило необхідну точність дозування та високу продуктивність конвеєрного виробництва молільних тіл.

Список літератури

1. Ефимов В.А., Анисович Г.А., Бабич В.Н. и др. Под общ. ред. В.А. Ефимова. Специальные способы литья: *Справочник*. М.: Машиностроение, 1991. 436 с.
2. МГД в литейном производстве и металлургии: *Сб. науч. трудов*. К.: Изд-во АН УССР. 1984. 111 с.
3. Дубоделов В. И., Погорский В. К., Должиков А. А. Интенсификация МГД-тепломассопереноса в индукционных канальных печах. Пермь-Киев: изд-во АН УССР, 1981. С. 53-56.
4. Крылов Ю. А., Рускол В. И., Филатов С. К. Автоматическое регулирование дозы в установке с погружньш МГД-насосом. *Литейное производство*. 1990. Вып. 12. С. 11-12.
5. Дубоделов В. И., Погорский В. К., Кропивний В. Н., Ломакин В. Н. Численное исследование кинетики затвердевания мелющих тел в металлических формах с естественным воздушным охлаждением. *Збірник наукових праць Кіровоградського державного технічного університету*. 1999. Вип. №4. С. 5-10.
6. Ломакін В.М., Клименко В.В., Пукалов В.В., Ломакін А.В. Дослідження впливу кінетики кристалізації на властивості кокільних виливків чавунних цильпесків. *Техніка в сільськогосподарському виробництві, галузеве машинобудування, автоматизація: зб. наук. пр. Кіровоград. нац. техн. ун-ту*. 2016. Вип. 29. С. 132-139.
7. Ломакін В.М., Клименко В.В., Пукалов В.В., Кузик О.В., Дубоделов В.І., Горюк М.С. Дослідження процесу затвердіння та прогнозування структури литих чавунних молільних тіл. *Техніка в сільськогосподарському виробництві, галузеве машинобудування, автоматизація: зб. наук. пр. Кіровоград. нац. техн. ун-ту*. 2018. Вип. 31. С. 66-74.

8. Дубоделов В. И., Гончар Б. С., Погорский В. К., Ломакин В. Н. Технологические особенности заливки металлических форм при изготовлении мелющих тел из чугуна. *Процессы литья*. 1999. Вып. 1. С. 41-47.

References

1. Efimov, V.A., Anisovich, G.A., Babich, V.N. et al. (1991). *Special'nye sposoby litja [Special casting methods]*. Moscow: Mashinostroenie [in Russian].
2. *MGD v litejnom proizvodstve i metallurgii. [Magnetic hydrodynamics in foundry and metallurgy]. Sbornik nauchnyh trudov.* (1984). K.: AN USSR [in Russian].
3. Dubodelov, V.I., Pogorskij, V.K., Dolzhikov, A.A. (1981). *Intencifikaciya MGD-teplomassoperenosa v indukcionnyh kanal'nyh pechah [Intensification of MHD heat and mass transfer in induction channel furnaces]*. Perm-Kiev: AN USSR [in Russian].
4. Krylov, Yu.A., Ruskol, V.I., Filatov, S.K. (1990). Avtomaticheskoe regulirovanie dozy v ustanovke s pogrugnym MGD-nasosom [Automatic dose control in a submersible MHD pump]. *Litejnoe proizvodstvo – Foundry, Vol 12*, 11-12. [in Russian].
5. Dubodelov, V.I., Pogorskij, V.K., Kropivnyj, V.M., Lomakin, V.M. (1999). Chislennoe issledovanie kinetiki zatverdevaniya melyushchih tel v metallicheskih formah s estestvennym vozdušnym ohlagdeniem [Numerical study of the solidification kinetics of grinding media in metallic forms with natural air cooling]. *Zbirnik naukovih prac' Kirovgrads'kogo derzhavnogo tehničnogo universitetu – Collection of scientific works of Kirovgrad State Technical University, Vol. 4*, 5-10 [in Russian].
6. Lomakin, V.M., Klymenko, V.V., Pukalov, V.V., Lomakin, A.V. (2016). Doslidgennya vplyvu kinetyky krystalizacii na vlastyosti kokil'nyh vylyvkiv chavunnych cyl'pebsiv [Investigation of the effect of crystallization kinetics on the properties of chill castings of cast iron grinding bodies]. *Tekhnika v sil's'kohospodars'komu vyrobnytstvi, haluzeve mashynobuduvannia, avtomatyzatsiia: zb. nauk. pr. Kirovohr. nats. tekhn. un-tu. – Collection of Scientific Works of KNTU. Engineering in agricultural production, industrial engineering, automation, Vol. 29*, 132-139 [in Ukrainian].
7. Lomakin, V.M., Klymenko, V.V., Pukalov, V.V., Kuzyk, O.V., Dubodelov, V.I., Goryuk, M.S. (2018). Doslidgennya procesu zatverdinnya ta prognozuvannya struktury lytyh chavunnych molol'nyh til [Investigation of the process of solidification and prediction of the structure of cast iron grinding bodies]. *Tekhnika v sil's'kohospodars'komu vyrobnytstvi, haluzeve mashynobuduvannia, avtomatyzatsiia: zb. nauk. pr. Kirovohr. nats. tekhn. un-tu. – Collection of Scientific Works of KNTU. Engineering in agricultural production, industrial engineering, automation, Vol. 31*, 66-74. [in Ukrainian].
8. Dubodelov, V.I., Gonchar, B.S., Pogorskij, V.K. & Lomakin, V.M. (1999). Tekhnologicheskie osobennosti zalivki metallicheskih form pri izgotovlenii melyushchih tel iz chuguna [Technological features of pouring metal molds in the manufacture of grinding media from cast iron]. *Processy litja – Casting processes, Vol 1*, 41-47 [in Russian].

Viktor Lomakin, Assos. Prof., PhD tech. sci., **Viktor Pukalov**, Assos. Prof., PhD tech. sci.

Central Ukrainian National University, Kropyvnytskyi, Ukraine

Viktor Dubodelov, Prof., DSc., **Maksim Goryuk**, PhD tech. sci., Senior Researcher

Physical and technological Institute of metals and alloys academy of sciences of Ukraine, Kyiv, Ukraine

Automation of Batch Casting of Cast Iron Melts in the Chill Mold in the Production of Castings of Machine Parts for the Mining Industry

The analysis of the basic parameters of the dosage of molten iron in metal forms using the magnetodynamic installation MDN-6CH. A schematic diagram has been developed for controlling the electromagnetic systems of the unit. The technology of dosing and pouring metal into the chill mold has been developed in the manufacture of cast iron balls with a diameter of 40 and 120 mm.

At the optimal casting temperature, the electrical parameters of the inductor (voltage U_i , current I_i , power R_i) were in the range $U_i = 250-300$ V, $I_i = 480-520$ A, $R_i = 140-160$ kW. When reducing the mass of metal in the crucible MDN-6CH using a control scheme made switching inductor from a voltage of 300 V to 250 V. The power was reduced by 15-20 kW, and the temperature of the metal remained within the tolerance of the technology of metal casting.

Using the adopted dosing scheme, it became possible to cast metal at constant parameters of the electromagnetic system and the time of pouring. The technology of dispensing and pouring metal into the mold for the production of cast iron balls with a diameter of 40 and 120 mm was carried out at an inductor voltage of 300 V, and the electromagnet - 220 V. The initial level of metal on the drain socket was equal to 20 mm. The molding time of molds in the manufacture of balls with a diameter of 40 mm was 7.3 s, and balls with a diameter of 120 mm - 16.2 s. The operating time of the electromechanical actuator was set in the manufacture of balls with a diameter of 40 mm - 0.35 s, and balls with a diameter of 120 mm - 0.75s. The consumption of metal in the

manufacture of balls with a diameter of 40 and 120 mm was in the range of 0.7-0.75 kg / s and 1.65-1.70 kg / s, respectively. The metal casting was carried out at temperatures of 1320-1340 ° C and 1360-1380 ° C. The dosage accuracy was determined by weighing the metal of the poured balls and the molding system of the mold.

Mathematical processing of the results of the dosing showed that in the manufacture of balls with a diameter of 40 mm at a temperature of 1320 ° C the error of dosing is 10-11%. With increasing iron temperature, the dosage error decreases and at a metal temperature of 1370 ° C is 5-6%. In the manufacture of balls with a diameter of 120 mm at a temperature of iron 1330, the dosage error is 7-8%, and at a temperature of 1360 ° C - 3-4%.

The study of the characteristics of the casting and dosing process of cast iron in the chill mold allowed us to develop the technology of casting cast iron melts, which provided the required metering accuracy and high productivity of the conveyor production of grinding bodies.

cast iron, melt, magnetodynamic installation, chill mold, control circuit

Одержано (Received) 16.04.2020

Прорецензовано (Reviewed) 14.05.2020

Прийнято до друку (Approved) 19.10.2020

УДК 621.937.5

DOI: [https://doi.org/10.32515/2664-262X.2020.3\(34\).169-174](https://doi.org/10.32515/2664-262X.2020.3(34).169-174)

І.А. Березюк, доц., канд. техн. наук, **О.П. Голик**, доц., канд. техн. наук,

В.П. Солдатенко, канд. техн. наук

Центральноукраїнський національний технічний університет, м. Кропивницький, Україна

e-mail: sharovalovai@ukr.net

Динамічне проектування оптимальної системи стохастичної стабілізації потужності різання для стрічкопилкового верстата

Запропоновано методологічні основи створення оптимальної системи стохастичної стабілізації потужності різання для стрічкопилкового верстата на основі динамічного проектування. Використання новітніх методів структурної ідентифікації для визначення моделей динаміки «системи деревообробний верстат – процес різання» та діючого збурення, методів оптимального синтезу дозволяють забезпечити максимальну якість керування обробкою деревини на зазначеному верстаті при мінімальних затратах та заданих характеристиках оброблюваної поверхні.

стрічкопилковий верстат, структурна ідентифікація, спектральна щільність, передаточна функція, критерій якості, стохастичні збурення, оптимальна система стохастичної стабілізації

І.А. Березюк, доц., канд.техн.наук, **О.П. Голик**, доц., канд.техн.наук, **В.П. Солдатенко**, канд. техн. наук

Центральноукраїнський національний технічний університет, м. Кропивницький, Україна

Динамическое проектирование оптимальной системы стохастической стабилизации мощности резания для ленточнопильного станка

Предложены методологические основы построения оптимальной системы стохастической стабилизации мощности резания для ленточнопильного станка на основе динамического проектирования. Использование новых методов структурной идентификации для определения моделей динамики системы «деревообрабатывающий станок-процесс резания» и действующего возмущения, методов оптимального синтеза позволяют обеспечить максимальное качество управления обработкой древесины на данном станке при минимальных затратах и заданных характеристиках обрабатываемой поверхности.

ленточнопильный станок, структурная идентификация, передаточная функция, критерий качества, спектральная плотность, стохастические возмущения, оптимальная система стохастической стабилизации