Нові способи формування за моделями, що газифікуються, в концепті проектування роторно-конвеєрної лінії

Розглянуто переваги новітніх технологій та розроблено концепцію переведення точного лиття за моделями, що газифікуються (ЛГМ), на роторно-конвеєрні лінії (РКЛ). Описано конструкції оснастки для підвищування модельного кластера в ливарному контейнері та перелік операцій, їх технологічну сутність та послідовність формовки. Спосіб виготовлення модельного кластера з воронкою на стояку і встановлення його в контейнер по ходу подачі останнього на формувальний роторний модуль за допомогою підвіски точно позиціонує воронку і розташування кластера в об'ємі контейнера, скорочує кількість операцій формовки, порівняно з традиційними способами ЛГМ, та дозволяє підвищити продуктивність формовки роторних модулів, а також можливість автоматичного заливання форм металом. Описані способи армування піщаної форми та вакуумування заповнених піском порожнин моделей оболонкових виливків сприятимуть стабілізації якісних показників виливків без осипання чи зміщення піщаних частин форми. Переваги способів ЛГМ для переходу на РКЛ базуються на використанні плинних матеріалів, варіативності способів підготовки пінополістиролу, виготовлення моделей, засипання піску у форму, його ущільнення, висипання та регенерації, вакуумування та заливання металом піщаної форми, а також видалення з неї виливка. Ці технологічні операції, матеріали і конструкцію оснастки можна об'єднувати і видозмінювати у десятках і більше комбінацій. Причому сухий формувальний пісок може охолоджуватись і зберігатись в закритій ємності в неопалювальному цеху, більшість моделей може зберігатись тижнями. Модельні дільниці подібні до пакувально-полімерних і мають легке обладнання, що розташовують на поверхнях приміщень вище першого, а рециклінг сухого піску не відрізняється від такого на заводах будматеріалів з відпрацьованим транспортно-фасувальним обладнанням. Поєднання дискретних операцій з потоками плинних матеріалів сприяє переводу ЛГМ-процесу на РКЛ, як синтезі неперервно-дискретних технологічних потоків.

Ключові слова: лиття за моделями, що газифікуються; ЛГМ-процес; роторно-конвеєрні лінії; оснастка; сипкий пісок; ливарна форма; точне лиття; разові моделі.

Розробка та застосування високопродуктивних технологій машинобудування визначають основу розвитку промисловості, що закладає підґрунтя рівня добробуту населення. Ріст науково-технічного потенціалу виробництва, зокрема у ливарно-металургійній галузі, як основній ланці заготівельного виробництва металопродукції, формує перспективи його розвитку, зростання науково-технологічних ресурсів, впливає на розробку національних стратегій досягнення конкурентоздатної економіки, що відповідає загальному напрямку розвитку країни.

За концепцією життєвого циклу технологій залежність між витратами на створення і просування нових виробничих технологій (x) і одержуваними результатами (y) описується S-подібними кривими (рис. 1) [1]. На стадії «зрілості» технологій подальші вкладення

в удосконалення технологій попередніх поколінь вже не дають значного приросту результатів за продуктивністю, бо потенціал цих інженерно-конструкторських рішень переважно вичерпано і його вже не можна наростити за допомогою лише цифрових «хитрощів».

Іншими словами, якщо використовувати старе «залізо», то ніякий, навіть найкращий, «софт» і засновані на ньому методи управління не зможуть підвищити загальну продуктивність системи вище певного рівня. Тому вирішення цього завдання, зокрема в ливарних процесах, полягає в пошуку нових технічних рішень і переході на нові технологічні криві, наприклад, з технологій Індустрії 3.0 – на технології Індустрії 4.0 (див. рис. 1). Найбільшу фінансову віддачу виробничі технології зазвичай дають на етапі фізичної зрілості, коли вони добре відпрацьовані, тому їх вигідно

Рис. 1. Схема життєвого циклу технологій в контексті цифрової економіки: K_i – цифровий капітал; K_f – фізичний капітал; V – додана вартість

експортувати (область трансферу технологій на рис. 1). При цьому ті країни, які їх купують, адаптують і впроваджують для підвищення рівня національної економіки, завжди будуть відставати від країн – технологічних лідерів, що використовують прибутки від експлуатації і продаж власних зрілих технологій для інвестицій в нові покоління технічних рішень з набагато більшою віддачею, ніж технології попередніх поколінь. У термінах на рис. 1, початкові втрати від переходу на технології 4.0 (Δy_{3-4}) можуть бути з лишком компенсовані зростанням їх продуктивності і фінансових результатів ($\Delta y_4 > \Delta y_3$).

Цикл науково-технічних робіт, що проводяться сьогодні під керівництвом проф. Шинського О.Й. у відділі фізико-хімії ливарних процесів (ФХЛП) інституту ФТІМС НАН України, включає створення концепцій переведення ливарних процесів на автоматичні роторно-конвеєрні лінії (РКЛ) для поєднання підвищення продуктивності лиття та якості виливків зі зростаючими вимогами сумісності з навколишнім середовищем, що за такими показниками наближає ливарні РКЛ до технологій 4.0. Відділ постійно удосконалює технологію лиття за моделями, що газифікуються (ЛГМ), як одну з найбільш перспективних для отримання точних металевих виливків, а проведені дослідження за цією темою зумовили значні науково-технологічні та конструкторські досягнення, підкріплені впровадженням технології, сотнями наукових публікацій і патентів.

Раніше розробки РКЛ не увінчалися успіхом в ливарному виробництві за низкою причин, пов'язаних зі складністю переведення в рухливий стан матеріалів одночасно з синхронізацією технологічних операцій. Серед таких причин: значні масивні силові агрегати для ущільнення сирих піщаних сумішей; не завжди стабільна тривалість зміцнення хімічно-тверднучих піщаних сумішей разом з різною тривалістю формувальних, заливальних і охолоджувальних стосовно виливків операцій; непросте поєднання формуваль-

них, стрижневих і складально-формувальних операцій з безперервним рухом через низку ротаційних модулів; значний обсяг обладнання для регенерації та повернення на конвеєр формувальних матеріалів; необхідна для отримання прибутковості висока серійність литва, що випускається найчастіше по металевій модельно-стрижневій оснастці, пов'язана з капіталоемними обладнанням і оснасткою тощо.

Значний нерозкритий потенціал ЛГМ-процесу, що сприяє для переходу на РКЛ, пов'язаний з такими перевагами: відсутністю потужних масивних агрегатів для формування і можливістю ущільнення при цьому плинного сухого піску короткочасною вібрацією; піноматеріалом, що легко оброблюється, для разових ливарних моделей з добре відпрацьованими кількома (різного ступеня автоматизації) процесами виробництва, склейки, складування і транспортування газифікованих моделей; нескладним переведенням на автоматичні конвеєри фарбування і сушки [2] разових легковагих моделей; можливістю одночасного випуску до 8 різних за номенклатурою разових моделей багатопозиційними роторними прес-автоматами [3]; добре відпрацьованими рішеннями автоматизації конвеєрних потоків з вибивання виливків, регенерації, охолодження [4] і повернення на формувальний конвеєр піщаного матеріалу; відсутністю стрижневих дільниць тощо. Приміром, щодо модельного матеріалу – пінополістиролу, то практично неможливо уявити литу конструкцію, яку неможна було б змоделювати пінополістиролом з блочного твердого стану чи сипкого гранульованого, який, зокрема, в гранульованому плинному стані при заповненні прес-форми нагадує текучість металу, а при вирізанні з твердого моноліту дозволяє склеювати чи монтувати будь-які конструкції, в тому числі при автоматичному вирізанні на 3D-фрезерах, представлених на ринку численними виробниками, типорозмірами і моделями.

Взагалі, унікальний потенціал процесу ЛГМ ґрунтується на тому, що включає плинні (сипкі) сухі

Рис. 2. Встановлення моделей в контейнер при формуванні: а – двох моделей з опорами для стійкості; б – одинадцяти моделей з підтриманням їх вручну (фото з цеху ФТІМС НАН України)

матеріали, кілька- чи багаторазову варіантність кожного із способів підготовки пінополістиролу, виготовлення моделей, засипання формувального матеріалу у форму, його ущільнення, висипання та регенерації, вакуумування та заливання металом піщаної форми, а також видалення виливка з сипкого піску форми, так, що ці технологічні операції, матеріали і конструкцію оснастки можна комбінувати і видозмінювати у десятках і більше комбінацій. Причому основний матеріал форми – суха формувальна суміш свіжого і зворотного пісків не псується з часом, може охолоджуватись і зберігатись в закритій ємності в неопалювальному цеху (на відміну від формувальних сумішей зі зв'язуючим), більшість моделей може зберігатись тижнями. Модельні ділянки подібні до пакувально-полімерного виробництва («біла» ділянка) і обладнані легковагим обладнанням, що розташовують на поверхнях приміщень вище першого, а рециклінг сухого піску («жовта» ділянка) не відрізняється від такого на чисельних заводах індустрії будматеріалів з добре відпрацьованим транспортно-фасувальним обладнанням широкого діапазону модифікацій і потужностей та з високим рівнем автоматизації. Потенційну дискретність операцій (переважна незалежність в часі), здатність до плинності матеріалів і комбінаторність ЛГМ-процесу сприяє переводу його на РКЛ, як синтезі неперервно-дискретних технологічних потоків [5].

Метою розробок, представлених у цій статті, є технічні рішення для удосконалення процесів виготовлення форм за способом ЛГМ і застосування на РКЛ, зменшення числа операцій при цьому та забезпечення точної фіксації ливникової системи у формі для автоматичного заливання її металом, в тому числі при виробництві порожнистих корпусних виливків, які нерідко відносять до оболонкових конструкцій [6]. Насамперед варто розглянути перелік та приклади традиційних аналогічних операцій формування моделей в контейнерах при ЛГМ, більшість з яких докладно описано в монографіях В.С. Шуляка, та певною

мірою адаптовано при проектуванні ливарної РКЛ [7] на основі ЛГМ.

Першою операцією при формуванні в контейнері 1 (рис. 2, а) є насипання шару піску 2 на дно контейнера товщиною до 100–150 мм, на який, як на постіль чи подушку, вручну встановлюють разові моделі 3. Нерідко таку піщану постіль розрівнюють та моделей встановлюють в кількості не 1–2, а іноді більше десяти. Для досягнення стійкості моделей при засипанні зверху контейнера формувальним піском до ливникових систем моделей можуть приклеювати додаткові опори 4 (збільшуючи металоємність литва та витрати на модель), або утримувати моделі рукою при засипанні піску з гнучкого трубопроводу (рис. 2, б).

На деяких підприємствах Китайської Народної Республіки (КНР) крупні кластери моделей зв'язують металевими дротяними каркасами, щоб при фарбуванні зануренням у фарбу чи транспортуванні не поламали такі крупні складно-збірні конструкції. Аналогічні приклади монтування моделей до каркасів чи кондукторів для фарбування, сушки фарби, транспортування та формування моделей (рис. 3) було описано в роботі [8] при литті з високоміцного чавуну марки ВЧ 500-7 тонкостінних люків розміром 850 мм (з товщиною литої стінки до 4 мм) та їх ободів; каркаси запобігали коробленню таких тонкостінних виливків.

Отже, якщо легка оброблюваність пінополістиролу (досить невисокої густини – близько 25 г/л для моделей ЛГМ) дозволяє виготовляти з нього тонкостінні складнофасонні конструкції, то такі технологічні дії, як фарбування зануренням, гравітаційний вплив при транспортуванні і силовий вплив піску при формуванні для габаритних чи тонкостінних модельних конструкцій нерідко потребує їх армування для попередження деформації чи поломки. Також за наявності у ливарній формі піщаних болванів і виявленні на виливку ознак невідповідності відносно розмірів моделі, що свідчить про деформацію цих болванів, головним чином, завдяки дії напору чи (та) виштовхувальної архімедової сили з боку рідкого металу, ре-

Рис. 3. Встановлення в контейнер вручну на піщану постіль кластера моделей з кондуктором для транспортування (фото з рекламних інтернет-проспектів підприємств КНР)

комендовано методи зміцнення цих піщаних болванів [9], зокрема шляхом встановлення в тіло болванів армувальних вставок.

Крім того, для заливання піщаних форм за найбільш поширеним ЛГМ-процесом, на поверхню форми встановлюють воронки (рис. 4), які, як правило, залишаються на стояках вибитого з форм литва. Розміщення воронок без строгого позиціювання перешкоджає застосуванню автоматичного заливання форм металом при їх русі, зокрема, як це описано в роботі [10], а також заливанню форм за допомогою автоматичного маніпулятора [11].

Деякі ливарні цехи КНР використовують при ЛГМ ливникові воронки 1 (рис. 5) в металевому корпусі та багаторазового застосування, які переставляють на поверхні піщаної форми 2 над торцями пінопластових стояків для заливання форми крізь них металом з ковша 3.

Крім насипання піщаної постелі для встановлення моделей, практикують їх підвішування на горизонтальних спицях, якими протікають пінопластові стояки з дрібними моделями, або підвішують на горизонтальних рейках (рис. 6), які тримаються на опорах на вертикальних стінках контейнера. Останній приклад взято з сайту <http://www.cf.spb.ru/m/91/> російського заводу Арматури Контактної мережі (АКС). Однак,

Рис. 5. Застосування переставної ливникової воронки в металевому корпусі на поверхні піщаної форми

Рис. 4. Піщана форма з встановленими на її поверхні воронками в металевих ободах (фото з цеху ФТІМС НАН України)

операції такого підвішування не пристосовані для автоматичного, а належать до ручного виконання.

Для зменшення операцій з виготовлення форми авторами даної статті запропоновано виготовлення модельних комплектів, що сходять з конвеєра типу [3] вже із встановленими на стояках воронками з піщаної холодно-тверднучої суміші (ХТС), зміцненого (2–3 шарового) покриття протипригарної фарби чи у вигляді фольги, нанесеної на конусну верхню частину моделі стояка. Цим самим відпадала б операція встановлення воронок на поверхню ливарної форми (див. рис. 4) та операція наступного їх видалення зі стояка виливка. Попередньо встановлена на моделі стояка воронка при формуванні занурюється у пісок, опирається на нього при вакуумуванні і при цьому утримується на ньому силами присмоктування, що дозволяє застосовувати тонкостінні воронки з міцністю, достатньою для їх утримання силами тертя на стояку моделі при транспортуванні і формуванні, а також не руйнуватись від контакту з розплавом металу.

Слід відзначити, що ливарні воронки для відповідального литва є обов'язковим елементом ливникової системи. Вони не тільки слугують для «легшого» попадання струменем металу з ковша, а і створюють умови для керування процесом заливання. Застосування пінополістирольних воронок без протипригарного покриття призводить до браку виливків за піщаними

Рис. 6. Приклад фіксування модельних блоків в ливарному контейнері

Рис. 7. Схема підвіски кластера з двох моделей для транспортування та формування в контейнері

засміченнями через високу гідроударну силу струменя металу, який розмиває сухий пісок біля таких воронок. Тому умонтування ливарних воронки в модельні кластери є обґрунтованою дією (і достатньо нескладною) для скорочення операцій формування цих кластерів і пришвидшення обертання формувального ротаційного модуля в автоматичному режимі у складі РКЛ.

Для ілюстрації основної ідеї статті на рис. 7 показано схему підвіски кластера з двох моделей 1 на стояку 2. Такий кластер підвішують на горизонтальній металевій рейці 3 за дві скоби 4. Рейка має рамку 5, що охоплює воронку 6 чи лійку з піщаною сумішшю, а розмір рамки такий, що дозволяє пропустити крізь неї воронку. Рейку 3 при формуванні встановлюють зовнішніми кінцями на фіксуючі опори на внутрішніх стінках ливарного контейнера, а кінці рейки в середині рамки 5 виконані рухомими (наприклад, при русі трубки в трубі), вони мають вилки 7, що упираються і знизу підтримують воронку 6 (показано у розрізі). Ці вилки можуть розходитись до стику з рамкою 5, щоб пропускати крізь рамку воронку, або сходиться, щоб охоплювати стояк 2 і підтримувати воронку 6. А система руху вилок 7 може бути виконана за однією з широко застосованих схем подовження – скорочення ручки побутової парасолі чи трубки побутового пирососа, чим управляти можна за допомогою скоб 4.

Також рух трубки в трубі для системи зведення – розведення вилок 7 можна виконати за рахунок подачі в порожнину трубки повітря під тиском понад атмосферний тиск чи розрідженого. А, крім показаного на рис. 7, від рамки 5 може відходити аналогічні рейці 3 гілки другої рейки, перпендикулярної рейці 3 (не показано), тоді підвіску можна встановлювати в контейнер на чотири опори, що доцільно для крупних модельних кластерів. Для армування піщаних болванів, як спосіб запобігання їх зсування під впливом металу і попередження різностійкості виливків з моделями

типу 1, встановлюють каркаси 8 чи армуючі стрижні [9]. Такого типу тонкостінні (оболонкові) виливки з порожнинами (моделі яких на рис. 7) представляють собою корпуси імпульсного руйнування, що крупними серіями виливаються різних форм, габаритів та калібрів передусім на оборонних підприємствах.

Крім вилочного утримувача на транспортно-формувальному каркасі чи підвісці, для підвіски модельного кластера можна застосовувати «м'які» роботи [12] – маніпулятори, обладнані еластичною «рукою» з кількома гумовими трубками (пальцями), що згинаються при подаванні в них повітря під тиском. Для формування з підвішуванням в контейнері моделей оболонкових конструкцій типу корпусів трубної арматури, крупних корпусів імпульсного руйнування, утримуючий каркас може бути обладнаний надувними еластичними елементами з вертикальними направляючими, ці елементи поміщають в порожнини моделей, надувають і завдяки тертю з закупоркою моделі зсередини утримують моделі в підвішеному стані. При цьому вага модельної конструкції може бути десятків кілограмів.

Для легковагих кластерів з тонкостінних моделей можуть встановлюватись вакуумні присоски (наприклад, до торця моделі воронки), оскільки на формувальних дільницях є джерело вакууму. Також вакуумне управління захватами для утримання крихких предметів на формувальному каркасі можна застосовувати для механізму типу еластичного герметичного мішка, частково заповненого піском. При накладенні такого мішка на модель він обвисає і охоплює її завдяки вазі сипкого піску, а при прикладенні вакууму до внутрішньої порожнини мішка він здувається, пісок «кам'яніє» (за методом вакуумно-плівкової формовки) і надійно утримує модель для необхідних маніпуляцій; відключення вакууму переводить пісок назад до сипкого стану, що звільняє модель від такого захвату.

Всі перелічені засоби для захвату модельних кластерів в умовах застосування РКЛ підбираються з метою швидкої формовки на двох формувальних шестипозиційних роторних модулях [7] приблизно до 1 хв на форму чи 120 контейнерних форм (переважно багатомісних) на годину на РКЛ, бо крупносерійне чи масове виробництво найбільш економічно ефективно на РКЛ. Для цього операція подачі порожніх контейнерів на формувальні модулі, що поставляються після висипання з них виливків та піску, повинна суміщатись зі встановленням в них підвішених модельних кластерів, щоб на шляху від вибивного пристрою кластер попадав у контейнер, який на формувальний модуль приходив уже з чітко зафіксованою позицією воронки і самого кластера без необхідності створювати піщану постіль, а весь процес заповнення контейнера піском виконувався максимум на двох позиціях його засипання і віброуцільнення.

Таким чином, перед формувальним процесом слід виконати наступні операції. На РКЛ типу [3] виробництва модельних кластерів, крім виготовлення самого покритого протипригарною фарбою кластера, попередньо на стояку відформовують прямо по поверхні пінополістирольної моделі воронку з ХТС чи

приклеюють зверху до стояка його конусну частину з воронкою із ХТС (зазначені варіанти з воронки з нанесенням фарби чи фольги – простіші, не розглядаються). Потім кластер з воронкою підвішують, як показано на рис. 7, і за скоби 4 передають на формуально-заливальну РКЛ на транспортному засобі (крані, наземному навантажувачі чи маніпуляторі), котрий вставляє підвіску в порожній контейнер на опори на внутрішній поверхні стінок контейнера, підхоплює цей контейнер і встановлює його на роторний модуль формовки. Розташування воронки відповідає її позиції в момент заливання форми, а скоби 4 виходять на рівень торця форми.

На формуальному модулі виконують засипку піску на рівень 0,3–0,7 висоти модельного кластера для фіксування його нерухомо у контейнері. Тоді за відсутності каркасів 8 вилки 7 можна розвести рухом скоб 4 і видалити, піднявши за них металеву підвіску для застосування в наступному контейнері. Далі пісок в контейнер досипають з одночасним вібраційним його ущільненням, покривають синтетичною плівкою, далі готова форма підключається до вакуум-системи і заливається металом. Струмінь металу пропалює плівку над воронкою, попадає в неї і далі у стояк аж до повного заливання форми металом.

Нижче розглянемо варіант формовки з каркасами 8. Ці каркаси можуть бути у вигляді суцільних стрижнів, що механічно армують піщаний болван і не дають йому зміститись при обливанні розплавом металу, а також – бути у вигляді трубок, в які зверху і знизу запресовані венті. Останнє, крім механічного армування, створює трубчастий вакуум-провід, що пропускає газ, але не пісок, тим самим полегшуючи вакуумування болвана зсередини і зміцнюючи його перепадом газового тиску при газифікації моделі. За наявності не двох (рис. 7), а чотирьох моделей у кластері каркаси 8 розміщують на рамці 5 (по чотирьох кутах) на механічних затискачах, які утримують силами тертя. Для підсилення подачі розрідження в зону верхніх вент трубчастих каркасів рекомендовано застосування переставного (навісного) фільтру для вакуумної формовки [13], таким, як гнучкий фільтр, може бути металорукав, один кінець якого закріплюють вздовж рамки 5, а другий кінець вздовж рейки 3 таким чином, що він підходить до стінки контейнера і розміщується поблизу вакуум-фільтра, штатно змонтованого на контейнері для вакуумування піщаної форми. Зазор до 10–15 мм допускається між фільтром контейнера і металорукавом, що не значно послаблює вакуум опором газів між піщинками форми. Отже, підвіска модельного кластера може бути використана і як носій армувальних каркасів, і як носій гнучкого фільтру чи вакуум-проводу для цільового вакуумування піщаних болванів.

З каркасами 8 підвіску доцільно тримати у піщаній формі на період заливання металу і його затвердіння, але засипку піску варто вести в два етапи, між якими можна розвести вилки 7, як було описано вище, з тим, щоб після затвердіння металу зручніше було видалити підвіску з форми. Але є варіанти, коли реєчну підвіску доцільно використати не лише для підвішу-

вання моделей, але і для підвішування виливків [14]. Для цього підвіска може мати не одну рейку 3, а не менше двох паралельних рейок, які тоді будуть аналогічними знімним ребрам-хрестовинам з металевого прокату, що застосовують у вакуумованих опоках [15]; і розміщують їх в цих опоках таким чином, щоб вони не заважали засипанню піску і сприяли його вакуумуванню. В цьому випадку при зближенні дві вилки 7 можуть сполучатись між собою, зокрема, шляхом вставляння кінців двох вилок за типом «штир – паз», чим сприяти більшій міцності на вигин для утримання затверділого виливка.

За способом [14] для зміцнення металу виливка відомими методами гартування, зокрема, ізотермічного гартування для виливків з залізовуглецевих сплавів, виливок рекомендовано підвішувати в контейнерній формі і створювати у ній псевдозрідений стан сухого піску, що дозволяє охолоджувати метал зі швидкістю, що за впливом знаходиться в інтервалі гартування виливка між охолодженням його у воді і у маслі, як типових гартувальних середовищ. Також рейкову підвіску доцільно застосовувати для швидкого видалення гарячого виливка з форми (пісок якої після відключення вакуумування знаходиться в сипкому стані без зв'язуючого) і подання виливка протягом 5–15 с на гартування, зокрема зануренням у воду чи спреєрним або іншим швидким охолодженням, як це передбачено на РКЛ [7], чи на ливарному комплексі [16]. Зокрема, для виливків імпульсного руйнування передбачено такий режим гартування [17], щоб забезпечити в їхній структурі металу достатню кількість залишкового аустеніту, котрий при руйнуванні призводить до додаткового зміцнення металу за рахунок тріп-ефекту, зумовленого утворенням мартенситу деформації з залишкового аустеніту. Руйнування зміцненого виробу проходить зі збільшенням тиску в порожнині його металевої оболонки, що покращує його службові якості.

Висновки

Таким чином, розглянувши переваги новітніх технологій, до яких з переліком підстав віднесено поєднання точного ЛГМ з РКЛ-технологіями, запропоновано конструкції оснастки для підвішування модельного кластера в ливарному контейнері та перелік операцій, їх технологічну сутність та послідовність. Спосіб виготовлення модельного кластера з воронкою на стояку і встановлення його в контейнер по ходу подачі останнього на формувальний роторний модуль за допомогою підвіски точно позиціонує воронку і розташування кластера в об'ємі контейнера, що скорочує кількість операцій формовки, порівняно з відомими традиційними способами ЛГМ, та дозволяє підвищити її продуктивність, включно з можливістю автоматичного заливання форм металом. Запропоновані способи армування піщаної форми та вакуумування заповнених піском порожнин моделей оболонкових виливків сприятимуть стабілізації якісних показників виливків без осипання чи зміцнення піщаних болванів, що формують порожнину виливка.

ЛІТЕРАТУРА

1. Вишневикий В.П. Цифровая экономика в условиях четвертой промышленной революции: возможности и ограничения. *Вестник СПбГУ. Экономика*. 2019. Т. 35. Вып. 4. С. 606–627.
2. Дорошенко В.С., Бердыев К.Х. Расчет конвейера для сушки окрашенных пенопластовых моделей серийного литья. *Литье Украины*. 2014. № 7. С. 13.
3. Патент 43781 Україна, МПК B22C 7/00, B22C 11/00. Роторно-конвеєрна лінія для виготовлення моделей, що газифікуються / І.О. Шинський, О.Й. Шинський, П.М. Каричковський та ін.; опубл. 25.08.2009, Бюл. № 16. 2009.
4. Дорошенко В.С., Калужный П.Б. Технологические принципы создания скоростных процессов литья в вакуумируемые формы для роторно-конвейерных комплексов. *Процессы литья*. 2018. № 3. С. 23–34.
5. Дорошенко В.С., Кравченко В.П. Інтервальна модель для визначення швидкості руху роторно-конвеєрної лінії з виробництва виливків як неперервно-дискретного процесу. Нові мат. і технології в машинобудуванні-2019: Матеріали XI Міжнар. наук.-техн. конф. (30–31.05.2019, м. Київ) / Ред. Р.В. Лютий, І.М. Гурія. Київ: КПІ ім. І. Сікорського, 2019. С. 71–72.
6. Дорошенко В.С. Физическое моделирование отливок как оболочковых конструкций с целью металлосбережения. *Литейное производство*. 2018. № 6. С. 26–30.
7. Патент 137850 Україна, МПК B22D 7/00, B22D 47/00. Роторно-конвеєрний комплекс для виготовлення виливків з високоміцного чавуну у ливарних формах з сипкого піску / В.С. Дорошенко, О.Й. Шинський; опубл. 11.11.2019, Бюл. № 21. 2019.
8. Гнатуш В.А., Дорошенко В.С. Состояние и перспективы развития мирового рынка литья из чугуна с шаровидным графитом. *Литье Украины*. 2017. № 2. С. 24–33.
9. Дорошенко В.С. О проектировании процесса литья трубоарматуры и повышении точности корпусных заготовок за движек. Литво. Металургія. 2017: Матеріали XIII Міжнар. науково-практич. конф. (23–25.05.2017, м. Запоріжжя) / Ред. Пономаренко О.І. Запоріжжя. АА ТанDEM, 2017. С. 46–48.
10. Дорошенко В.С. Роторно-конвейерные линии, разработанные ФТИМС НАН Украины, и концепции скоростной заливки форм металлом на таких линиях. *Процессы литья*. 2019. № 5. С. 22–30.
11. Дорошенко В.С. Литье по газифицируемым моделям с кристаллизацией металла под давлением. *Литейное производство*. 2016. № 1. С. 25–28.
12. Дорошенко В.С., Янченко О.Б. Підвищення ресурсоефективності ливарного виробництва за рахунок комплектації роботами конвеєрних та роторно-конвеєрних ліній. *Сучасні технології, матеріали і конструкції в будівництві*. 2019. Том 27. № 2. С. 179–186.
13. А. с. 1423264 СССР: МКИ B22C 21/00. Опока для вакуумной формовки / В.С. Дорошенко, В.Т. Барский, И.А. Мартынов; опубл. 1988. Бюл. № 34. 1988.
14. Патент 133701 Україна, МПК B22D 7/00, B22D 23/00, B22D 27/04, C21D 5/02, C21D 1/20. Спосіб виготовлення виливків з ізотермічно загартованого бейнітного чавуну / В.С. Дорошенко, П.Б. Калужний, В.О. Шинський; опубл. 11.11.2019. Бюл. № 21. 2019.
15. А. с. 1629141 СССР: МКИ B22C 21/00. Опока для вакуумно-пленочной формовки / В.С. Дорошенко, Н.И. Шейко; опубл. 1991. Бюл. № 7. 1991.
16. Патент 140588 Україна, МПК B22 D7/00, B22 D47/00. Ливарний комплекс для виготовлення виливків з високоміцного чавуну у ливарних контейнерах з сипким піском / В.С. Дорошенко, В.О. Шинський; опубл. 10.03.2020. Бюл. № 5. 2020.
17. Патент 139559 Україна, МПК B22D 7/00, B22D 23/00. Спосіб лиття корпусів боєприпасів з високоміцного чавуну у ливарних формах з сипкого піску / В.С. Дорошенко, В.О. Шинський; опубл. 10.01.2020, Бюл. № 1. 2020.

Надійшла 11.08.2020

REFERENCES

1. Vishnevskiy, V.P. (2019). Digital economy in the context of the fourth industrial revolution: opportunities and limitations. *Vestnik SPbGU. Ekonomika*, vol. 35, iss. 4, pp. 606–627 [in Russian].
2. Doroshenko, V.S., Berdyiev, K.H. (2014). Calculation of the conveyor for drying painted foam models of serial casting. *Lit'e Ukrainy*, no. 7, p. 13 [in Russian].
3. Patent 43781 Ukraine, IPC B22C 7/00, B22C 11/00. Rotor-conveyor line for the manufacture of gasified patterns. I.O. Shinskiy, O.Y. Shinskiy, P.M. Karichkovskiy et al.; opubl. 25.08.2009, Byul. no. 16 [in Ukrainian].

4. Doroshenko, V.S., Kalyuzhnyi, P.B. (2018). Technological principles of creating high-speed molding processes in evacuated molds for rotary-conveyor complexes. *Casting processes*, no. 3, pp. 23–34 [in Russian].
5. Doroshenko, V.S., Kravchenko, V.P. (2019). Interval model for determining the speed of the rotor-conveyor line for the production of castings as a continuous-discrete process. *Novi mat. i tehnologii v mashynobuduvanni-2019: Materialy XI Mizhnar. nauk.-tehn. konf.* (30–31.05.2019, m. Kyiv). Ed. by R.V. Liutyi, I.M. Huriia. Kyiv: KPI im. I. Sikorskoho, pp. 71–72 [in Ukrainian].
6. Doroshenko, V.S. (2018). Physical modeling of castings as shell structures for the purpose of metal saving. *Litejnoe proizvodstvo*, no. 6, pp. 26–30 [in Russian].
7. Patent 137850 Ukraine, IPC B22D 7/00, B22D 47/00. Rotor-conveyor complex for making castings from high-strength cast iron in foundry molds from loose sand. V.S. Doroshenko, O.Y. Shynskiy; opubl. 11.11.2019, Biul. no. 21 [in Ukrainian].
8. Gnatush, V.A., Doroshenko, V.S. (2017). State and development prospects of the world market for casting from cast iron with spherical graphite. *Lit'e Ukrainy*, no. 2, pp. 24–33 [in Russian].
9. Doroshenko, V.S. (2017). On the design of the process of molding pipe fittings and increasing the accuracy of valve body blanks. *Lytvo. Metalurhiia. 2017: Materialy XIII Mizhnar. naukovo-praktych. konf.* (23–25.05.2017, Zaporizhzhia). Ed. by Ponomarenko O.I. Zaporizhzhia. AA Tandem, pp. 46–48 [in Russian].
10. Doroshenko, V.S. (2019). Rotor-conveyor lines developed by the Physico-technological Institute of Metals and Alloys of the National Academy of Sciences of Ukraine and the concept of high-speed filling of molds with metal on such lines. *Casting processes*, no. 5, pp. 22–30 [in Russian].
11. Doroshenko, V.S. (2016). Casting according to gasified patterns with crystallization of metal under pressure. *Litejnoe proizvodstvo*, no. 1, pp. 25–28 [in Russian].
12. Doroshenko, V.S., Yanchenko, O.B. (2019). Improving the resource efficiency of foundry production by completing the robots of conveyor and rotor-conveyor lines. *Suchasni tehnologii, materialy i konstruktsii v budivnytstvi*, vol. 27, no. 2, pp. 179–186 [in Ukrainian].
13. A. s. 1423264 SSSR: MKI B22C 21/00. Flask for vacuum molding. V.S. Doroshenko, V.T. Barskij, I.A. Martynov; opubl. 1988, Biul. no. 34 [in Russian].
14. Patent 133701 Ukraine, IPC B22D 7/00, B22D 23/00, B22D 27/04, C21D 5/02, C21D 1/20. Method of making castings from isothermally hardened bainite cast iron. V.S. Doroshenko, P.B. Kaliuzhnyi, V.O. Shynskiy; opubl. 11.11.2019, Biul. no. 21 [in Ukrainian].
15. A. s. 1629141 SSSR: MKI B22C 21/00. Flask for vacuum-film molding. V.S. Doroshenko, N.I. Shejko; opubl. 1991, Biul. no. 7 [in Russian].
16. Patent 140588 Ukraine, IPC B22 D7/00, B22 D47/00. Foundry complex for making castings from high-strength cast iron in foundry containers with loose sand. V.S. Doroshenko, V.O. Shynskiy; opubl. 10.03.2020, Biul. no. 5 [in Ukrainian].
17. Patent 139559 Ukraine, IPC B22D 7/00, B22D 23/00. Method of casting ammunition housings from high-strength cast iron in foundry molds from loose sand. V.S. Doroshenko, V.O. Shynskiy; opubl. 10.01.2020, Biul. no. 1 [in Ukrainian].

Received 11.08.2020

Summary

V.S. Doroshenko, Dr. Sci. (Engin.), Senior Research Scientist, Senior Researcher, e-mail: doro55v@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0002-0070-5663>
P.B. Kaliuzhnyi, PhD (Engin.), Senior Researcher, e-mail: kpb.ptima@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0002-1111-4826>

Physico-technological Institute of Metals and Alloys of the NAS of Ukraine (Kyiv, Ukraine)

New ways of molding according to the Lost Foam casting method in the design concept of a rotary conveyor line

The advantages of the latest technologies are considered and the concept of transferring precise Lost Foam casting (LFC) to rotary conveyor lines (RCL) is developed. The design of the equipment for hanging the pattern cluster in the casting container and the list of operations, their technological essence and the sequence of molding are described. The method of manufacturing a patterned cluster with a funnel on a riser and installing it into a container in the course of feeding the latter to a molding rotor module using a suspension provides the following. It precisely positions the funnel and the location of the cluster in the container volume, reduces the number of molding operations compared to traditional LFC methods, increases the productivity of molding with rotary modules, as well as the ability to automatically fill molds with metal. The described methods of reinforcing the sand mold and evacuating the sand-filled cavities of the shell castings patterns contribute to the stabilization of the quality indicators of the castings without shedding or displacement of the sandy parts of the mold. The advantages of LFC methods for the transition to RCL are based on the use of fluid materials, the variability of methods for preparing expanded

polystyrene, making patterns, filling sand into a mold, compaction, pouring out and regenerating, evacuating and filling a sand mold with metal, as well as removing casting from it. These technological operations, materials and tooling designs can be combined and modified in dozens of combinations. Moreover, dry foundry sand can be cooled and stored in a closed container in an unheated workshop, and most patterns can be stored for weeks. Pattern sites similar to packaging-polymer have light equipment installed on the floors of the premises above the first, and recycling of dry sand does not differ from that in factories of building materials with used transport and packaging equipment. The combination of discrete operations with flows of fluid materials contributes to the transfer of the LGF process to LFC, as a synthesis of continuous-discrete technological flows.

Keywords

Lost Foam casting, LFC-process, rotary conveyor lines, equipment, loose sand, molding, casting shape, casting, one-time patterns.