

Л.П. Клименко, О.Ф. Прищепов, В.І. Андрєєв, О.В. Щесюк, О.І. Случак, Конг Болан

ЗАСТОСУВАННЯ ЛИТТЯ ВАКУУМНИМ ВСМОКТУВАННЯМ ЗАЛІЗО-ВУГЛЕЦЕВИХ СПЛАВІВ ДЛЯ ВИРОБНИЦТВА ДЕТАЛЕЙ ДВИГУНІВ

Застосування технології лиття вакуумним всмоктуванням залізо-вуглецевих сплавів для виробництва деталей двигунів внутрішнього згорання дасть підвищення їх якості та зносостійкості, збереження металу, зменшення викидів. Технологія широко використовується для кольорових сплавів. В той же час вимагає ретельної науково-практичної підготовки її впровадження для залізо-вуглецевих сплавів (включаючи чавуни) в сучасному двигунобудуванні. Проблемні задачі постають при удосконаленні пневмосистеми вакуумного всмоктування (великі обсяги газовиділення), стійкості металопроводу (термічне перенавантаження в високотемпературному розплаві чавуну), стабілізації мікроструктури виливка (високошвидкісна кристалізація). Автори пропонують для металопроводу використовувати спеціалізований титановий сплав ВТЗ-1, для якого в статті обрховано теплові навантаження при циклічній роботі в режимі “заглиблення – виймання” за використання чавунів марки СЧ25 та ВЧ50-1,5. Для надійної роботи металопроводу та відсутності утворення затвердіння розплаву на його внутрішній поверхні, була розроблена методика теплового розрахунку, яка дозволяє визначити час відводу теплоти перегріву розплаву згідно з діаметром металопроводу. Пневмосистему вакуумної установки доповнено запатентованим газоструминним ежектором, який в поєднанні з потужною цеховою системою стисненого повітря забезпечує повне газовідведення. Застосовуючи розроблений закон зміни розрядження між атмосферним тиском і тиском у порожнині форми автори статті регулюють швидкість кристалізації виливків, що дозволяє формувати в мікроструктурі значно дрібніші фази перліту та зменшувати присутність фериту. На підприємстві ТДВ “Первомайськдизельмаш” за технологією вакуумного лиття отримані заготовки направляючих втулок клапанів двигуна 6ЧН25/34 з чавунів СЧ25 та ВЧ50-1,5 а також маслоти поршневих кілець з чавуну ВЧ50-1,5. Отримані деталі показали підвищений ресурс на 15-30%. Технологію вакуумного лиття рекомендовано для залізо-вуглецевих сплавів при виробництві деталей двигунів.

Ключові слова: двигунобудування; сірий і високоміцний чавуни; вилівок; лиття вакуумним всмоктуванням; розрахунок металопроводу; термічна стійкість; ресурс.

Вступ

В сучасному двигунобудуванні залізо-вуглецеві сплави, найчастіше вони представлені легованими сірим та високоміцним чавунами, показують високі експлуатаційні властивості, особливо, в парах тертя, що працюють при значних температурах та обмеженому доступі мастильних матеріалів. Чавуни присутні в суднових, тепловозних та стаціонарних двигунах внутрішнього згорання, де масогабаритні показники не суттєво обмежені. Закладаючи чавунні деталі в конструкцію ДВЗ, виробники намагаються отримати від двигуна максимальну експлуатаційну надійність. А тому високі фізико-механічних властивості та зносостійкість цих деталей необхідно прогнозувати та отримувати ще на стадії виготовлення заготовок, перед механічною обробкою.

Автори цієї статті розглянули доцільність використання одного з спеціальних видів лиття, а саме лиття вакуумним всмоктування (ЛВВ) при отриманні заготовок деталей газорозподільного механізму ДВЗ з різних марок чавуну. Актуальність дослідження обґрунтована його спрямованістю на загальне підвищення ресурсу двигунів внутрішнього згорання, що залишається незмінним науковим напрямом сучасного двигунобудування.

Переваги способу ЛВВ, такі як висока щільність виливків, відсутність газових і усадочних пір, гарна якість поверхні; підвищені механічні власти-

вості виливків, дуже привабливі для технології отримання чавунних заготовок в двигунобудуванні. Але, є фактори, що стримують швидке впровадження ЛВВ для чавуну. Ретельного наукового дослідження вимагають потужність пневмосистеми для важкого сплаву і надійність металопроводу. Висока температура розплаву (1350 – 1380 °С) та циклічність роботи установки ставлять за необхідність відокремленого розрахунку термічної стійкості металопроводу, а також вибору відповідного жаростійкого матеріалу.

В роботі розробляються нові конструкції та оцінюються матеріали для отримання заготовок деталей ДВЗ з залізо-вуглецевих сплавів за технологією лиття вакуумним всмоктування.

Аналіз попередніх досліджень

Отримання виливків спеціальним видом лиття – вакуумним всмоктування, відбувається за рахунок заповнення ливарної форми розплавом під дією розрідження, створюваного у її порожнині. ЛВВ є найбільш прогресивним способом виготовлення виливків із кольорових сплавів (цинкових, алюмінієвих, магнієвих, латуні) і його переважно застосовують у виробництві відливок із спеціальних сплавів і сталей для лиття заготовок втулок, направляючих, вкладишів, підшипників ковзання тощо [1]. Лиття вакуумним всмоктуванням сприяє формуванню дрібнозернистої структури, а також під-

вищенню герметичності і комплексу механічних властивостей виливків, особливо тонкостінних.

Промисловий вакуум, що використовується в ЛВВ і відповідає показникам від 20 до 99 кПа. Його отримують за допомогою ротаційних, рідинно-кільцевих та поршневих насосів.

Найважливішими технологічними параметрами ЛВВ є швидкість вакуумування форми, величина робочого вакууму, глибина занурення носка кристалізатора в рідкий метал (під час лиття виливків), тривалість вакуумування форми, температурні режими лиття. Змінюючи різницю між атмосферним тиском і тиском у порожнині форми, можна регулювати швидкість заповнення форми (рис. 1).

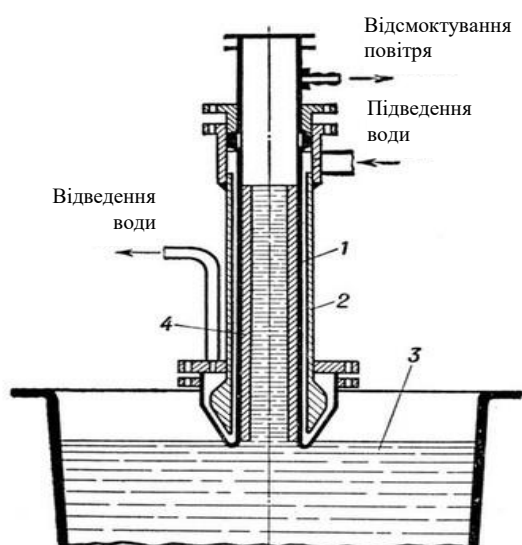


Рис. 1. Схема ЛВВ: 1 - кристалізатор; 2 - охолоджувач; 3 - розплав; 4 - металева форма

Технологія вакуумного лиття може пробуватися до використання в штучному та дрібносерійному виробництві різних промислових виробів з чорних розплавів (чавуну), а не лише кольорових металів і сплавів [2]. Але, відмічається, що на етапі впровадження постає питання металопроводу. Він повинен забезпечувати основні переваги ЛВВ: спокійне заповнення форми металом з регульованою швидкістю, і скорочення витрат рідкого металу за рахунок повного усунення літників і прибутків

Для заливання ливарних форм рідким металом в умовах штучного виробництва достатньо використання традиційного вогнетривкого піщано-глинястого або футерованого зсередини вогнетривким матеріалом трубопроводу [3]. Але в такому випадку вакуумне лиття у форму погано піддається автоматизації. Для вирішення комплексу задач, за переконанням авторів статті, необхідно застосу-

вання постійного металевого металопроводу багатократного використання.

Металевий металопровід повинен підтримувати розрідження в потоці металу, забезпечувати кінетику заповнення, газовий режим форми, характер розподілу газових включень у виливку та якість рельєфу її поверхні. При проходженні крізь його не повинно відбуватися внутрішнього осаду сплаву, що застигає, особливо при поворотах, звуженнях і розширеннях потоку [4]. Перспективними в даному застосуванні є сплави титанової групи, які мають набір необхідних якостей: високу жароміцність і термічну стабільність та суттєву стійкість в агресивному середовищі. Але, найбільш вразливим такий металопровід стає під час витримки його при високих температурах в розплавленому чавуні в процесі його заглиблення. І зовсім невідомо, як він буде поводитися під час зняття високої температури перегріву. Підхід щодо розв'язання такої задачі розглядається в роботі [5], але на прикладі низькотемпературних сплавів. Часові інтервали заглиблення та виймання металевого металопроводу потребують розрахунку.

Другим важливим фактором роботи установки ЛВВ при заповненні газотвірних піщано-глинястих та інших форм є надійність роботи пневмосистеми та здатність її відводити гази, які утворюються після заповнення форми розплавом. А також, можливість забезпечувати необхідний закон заповнювання форми та процес кристалізації з одночасним відведенням газів. Звичайна традиційна вакуумна система з ресивером попереднього розрядження виявляється не здатна це зробити. Досвід та проведені випробування показали, що після заповнення форми з началом утворення газів розрядження у пневмосистемі різко падало і розплав витікав у тигель, хоча вакуум знаходиться в межах 10–80 кПа [6, 7]. Тобто для роботи з важкими залізо-вуглецевими сплавами, що виливаються за технологією ЛВВ постає необхідність удосконалення процесу заповнення форми з додатковою модернізацією пневмосистеми.

Технологія ЛВВ дозволить вирішити властиві литтю чавунів проблемні екологічні питання, про які автори в роботі [8] позначили, але детально не розглядали. Наприклад, очікується що заплановане удосконалення конструкція пневмосистеми дозволить уникнути витоку газів на зовні при заповненні форми, чим значно покращить екологічні показники процесу.

Таким чином, завдання дослідження окреслені вирішенням таких задач, як розрахунок часу відводу теплоти перегріву чавуну для забезпечення стійкості металопроводу, розробці надійної пневмосис-

теми ЛВВ та оцінювання трибологічної і екологічної доцільності спеціального способу лиття вакуумним всмоктуванням для деталей ДВЗ.

Дослідження вакуумного лиття для чавунів

Авторами статті була зроблена науково-дослідна робота щодо можливості розповсюдження способу ЛВВ на залізо-вуглецеві сплави (чавуни). Роботи проводилися на дослідній ділянці ливарного відділення промислового виробництва з залученням штатного обладнання та спеціалізованої контрольно-виміральної апаратури.

Дослідна ливарна камера, що призначена для ЛВВ із зовнішнім джерелом плавлення, була пристосована для лиття під вакуумом в форму з максимальним діаметром 152 мм і висотою до 200 мм. Для підтримки глибокого вакууму установка оснащена ресивером, що збільшує ефект всмоктування при заливці форм.

Для гарантованого забезпечення зусиль всмоктування для пневмосистеми установки ЛВВ був розроблений, а в подальшому і запатентований, компактний газоструминний ежектор, працюючий від цехової системи стисненого повітря (рис. 2). Ежектор забезпечував необхідну величину розряження та здатність відведення газів.

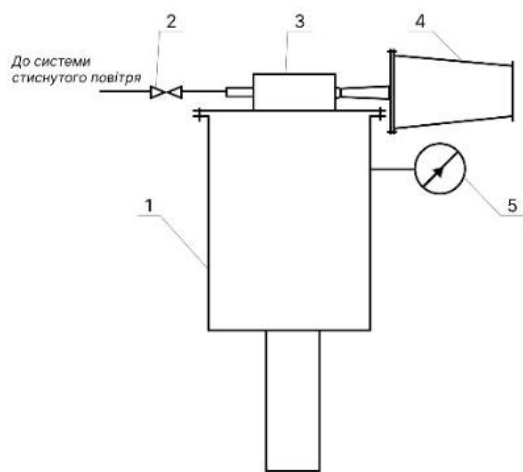


Рис. 2. Схема установки ЛВВ з ежектором:
1 – камера установки; 2 – вентиль; 3 – ежектор;
4 – глушник; 5 – вакууметр

Особливу увагу було приділено матеріалу і конструкції металопроводу. Так для лиття заготовок з чавуну обрали спеціалізований титановий сплав ВТЗ-1, який належить до змішаного класу за структурою $\alpha + \beta$, обмежено зварюється, піддається термічній обробці, використовується для виготовлення штампованих і кованих деталей, що працюють за високих температур (до 450°C витримує 2000 год) [9].

Для відливки деталей зі сталі був розроблений та запатентований комбінований металокерамічний металопровід, що має гідрозатвор з легкоплавкого матеріалу для здійснення вакуумної герметизації конструкції.

Для надійної роботи металопроводу та відсутності застигання розплаву на його внутрішній поверхні, була розроблена методика теплового розрахунку, яка дозволяє визначити час відводу теплоти перегріву розплаву згідно з діаметром металопроводу. Ця методика враховує всі теплові процеси, які проходять в порожнині металопроводу, а також час кристалізації виливку без літникової системи, що забезпечує значну економію металу.

Розрахунок складається з двох етапів: заповнення форми та відвід теплоти перегріву. На першому етапі розраховується температура фланцю в кінці заливки. Отримана залежність має вигляд

$$T = \frac{T_{зал} \exp \left(\frac{2R_1 k}{R_2^2 - R_1^2} + \frac{\lambda_2}{h} \right) \cdot \tau - T_{зал} + T_0}{\exp \left(\frac{2R_1 k}{R_2^2 - R_1^2} + \frac{\lambda_2}{h} \right) \cdot \tau}, \quad (1)$$

де T , і T_0 – відповідно температури фланця металопроводу, розплаву в тиглі та навколишнього середовища, К; R_1 і R_2 – відповідно радіуси: внутрішній – металопроводу і зовнішній – фланця, м; ρ_2 – густина матеріалу металопроводу, кг/м³; c_2 – теплоємність матеріалу металопроводу, Дж/кг·К; g – прискорення сили тяжіння, м/с²; k – коефіцієнт теплопередачі від розплаву до металопроводу, Вт/м²·К; λ – коефіцієнт теплопровідності матеріалу металопроводу, Вт/м·К; h – відстань від дзеркала розплаву в тиглі до фланця металопроводу, м; τ – час заповнення форми, с.

Для визначення часу відводу теплоти перегріву розплаву отримані наступні залежності.

$$\begin{aligned} \tau = & \frac{\Pi_1}{2\Pi_2} \left[\ln \left| U_{нач}^2 - \frac{\Pi_3}{\Pi_2} U_{нач} + \frac{\Pi_4}{\Pi_2} \right| - \right. \\ & \left. - \ln \left[U_{нач}^2 - \frac{\Pi_3}{\Pi_2} U_{нач} + \frac{\Pi_4}{\Pi_2} \right] \right] + \\ & + \frac{\Pi_5 + \frac{\Pi_1 \Pi_3}{2\Pi_2}}{2\Pi_2 \sqrt{\left(\frac{\Pi_3}{2\Pi_2} \right)^2 \frac{\Pi_4}{\Pi_2}}} \times \\ & \times \ln \left[\frac{\sqrt{\left(\frac{\Pi_3}{2\Pi_2} \right)^2 - \frac{\Pi_4}{\Pi_2}} + U - \frac{\Pi_3}{2\Pi_2}}{\sqrt{\left(\frac{\Pi_3}{2\Pi_2} \right)^2 - \frac{\Pi_4}{\Pi_2}} - U + \frac{\Pi_3}{2\Pi_2}} \right] - \\ & - \ln \left[\frac{\sqrt{\left(\frac{\Pi_3}{2\Pi_2} \right)^2 - \frac{\Pi_4}{\Pi_2}} + U_{нач} - \frac{\Pi_3}{2\Pi_2}}{\sqrt{\left(\frac{\Pi_3}{2\Pi_2} \right)^2 - \frac{\Pi_4}{\Pi_2}} - U_{нач} + \frac{\Pi_3}{2\Pi_2}} \right]. \end{aligned} \quad (2)$$

$$\begin{aligned} \ln v_2 = & \frac{m_1}{m_2} \ln \left| \frac{m_3}{m_2} - U \right| + \frac{m_4}{m_2} U + \frac{m_4 m_3}{m_2^2} \ln \left| U - \frac{m_3}{m_2} \right| + \\ & + \ln v_{2нач} + \frac{m_1}{m_2} \ln \left| \frac{m_3}{m_2} - U_{нач} \right| - \frac{m_4}{m_3} U_{нач} - \frac{m_4 m_3}{m_2^2} - \\ & - \ln \left| U + \frac{m_3}{m_2} \right|; \end{aligned} \quad (3)$$

де

$$\begin{aligned} m_1 = & h \left[\beta + \frac{\lambda_2 (R_2^2 - R_1^2)}{2R_1 h} \right] R_1 \rho_1 c_1; \\ m_2 = & -h\beta \frac{R_2^2 - R_1^2}{R_1} \rho_2 c_2 - \lambda_{екв} \frac{R_2^2 - R_1^2}{2} \rho_2 c_2; \\ m_3 = & -h\beta \frac{R_2^2 - R_1^2}{R_1} \rho_2 c_2; \\ m_4 = & \frac{\beta R_1 \rho_2 c_2}{2}; \\ n_1 = & 0,25 (R_2^2 - R_1^2) \cdot \rho_1 c_1 \rho_2 c_2 \beta \\ n_2 = & -h\beta \frac{R_2^2 - R_1^2}{R_1} \rho_2 c_2 + \lambda_{екв} \frac{R_2^2 - R_1^2}{2} \rho_2 c_2; \\ n_4 = & -h\beta^2 \frac{R_2^2 - R_1^2}{R_1} \rho_2 c_2 + \\ & + \Pi_2 \left(-h\beta^2 \frac{R_2^2 - R_1^2}{R_1} + \lambda_{екв} \frac{R_2^2 - R_1^2}{2} \rho_2 c_2 \right) \frac{\lambda_2}{h} \frac{R_2^2 - R_1^2}{2R_1}; \\ n_5 = & 0,25 (R_2^2 - R_1^2) \cdot \rho_1 c_1 \rho_2 c_2 h \left(\beta + \frac{\lambda_2}{h} - \frac{R_2^2 - R_1^2}{2R_1} \right). \end{aligned}$$

$\beta = \frac{\lambda_{кр}}{\delta_{кр}}$ – провідність теплоізоляційного прошарку

внутрішньої порожнини металопроводу, Вт/м·К; c_l – теплоємність розплаву, Дж/кг·К; ρ_l – густина розплаву, кг/м³; $\lambda_{екв}$ – еквівалентний коефіцієнт теплопровідності, що враховує перенесення теплоти як теплопровідністю, так і конвекцією, Вт/м·К.

$$\lambda_{екв} = \varepsilon_k \cdot \lambda_1,$$

де ε_k – коефіцієнт, що характеризує вплив конвекції на перенесення теплоти; λ_1 – коефіцієнт теплопровідності розплаву Вт/м·К.

$$U = \frac{v_l}{v_2}; \quad U_{нач} = \frac{v_{lнач}}{v_{2нач}}; \quad v_2 = T_{зал} - T_1;$$

$v_l = T_{зал} - T_2$; $v_{lнач} = T_{зал} - T_{lнач}$; $v_{2нна} = T_{зал} - T_{2нна}$, де T_1 і T_2 – температури розплаву і фланця металопроводу, що відповідно змінюються в часі;

Рівняння (3) може бути вирішене тільки методом послідовних наближень. За відомої температури v_l що дорівнює $T_{зал} - T_{лік}$, задається температура v_2 підраховується U , і отримане значення підставляється в рівняння (3). За задовільної збіжності правої і лівої частин рівняння (3) вибране значення U підставляють у рівняння (2) і підраховують час відведення теплоти перегріву.

Час відводу теплоти перегріву для чавунних виливків розраховували з використанням програм комп'ютерного моделювання за методикою запропонованого алгоритму. Розрахунки проводили для різних діаметрів металопроводу, фізичних властивостей ізоляції, температури заливки. Розрахункові дані співпадали з отриманими значеннями контрольних теплових замірів з кореляцією 0,84-0,9 та узгоджувалися з загальною термічною теорією процесу.

В подальшому були проведені дослідження стійкості зразків та металопроводу з вказаного матеріалу в розплаві чавуну при різних його температурах. Лабораторні випробування показали, що цей матеріал можна надійно використовувати для металопроводів до температур розплаву 1380 °С, з обмеженим часом його знаходження в рідкому металі. Тобто, після кожного циклу лиття металопровід треба виймати з розплаву з метою стабілізації його термічних напружень.

Оцінка ефективності технології вакуумного лиття для деталей двигуна

В ливарному відділенні підприємства ТДВ “Первомайськдизельмаш”, з використанням науково-дослідної установки, елементи якої зображені на рис. 1 та рис. 2, були отримані чавунні виливки, направляючих втулок клапанів дизеля 6ЧН25/34 з

чавуну СЧ25 та ВЧ50-1,5, а також маслот поршне-вих кілець.

Механічні випробування на сертифікованому дослідному обладнанні компанії Zhejiang XCC Group показали повну відповідність нормам ТУ (технічним умовам) щодо серійних деталей ДВЗ. Відхилень по газовій пористості, тобто, дефектам у вигляді дрібних пор, що утворилися внаслідок виділення газів із металу (форми) під час його затвердіння – немає. Мікроструктура чавуну СЧ25 складалася із сорбітоподібного перліту (Пт1–П–Пд0,3), окремих включень подвійної фосфідної евтектики (ФЭп2000), незначних включень цементиту (П96–Ц2) та малих зерен фериту (П98–Ф0). Загальна твердість на внутрішній поверхні направляючих втулок клапанів – 269...285 НВ.

Стійкість металопроводу з титанового сплаву ВТ3-1 в режимі “заглиблення – виймання” для чавунів СЧ25 та ВЧ50-1,5 становила 40 заливань за зміну, що дозволяла приєднувати процес лиття до установок автоматизованого розливання чавуну за технологією ливарного виробництва.

Лабораторні випробування зразків отриманого чавуну ВЧ 50-1,5 на зношення проводилися на машині тертя СМЦ-2 за схемою пари «диск – колодка». Порівняльним контр-тілом виступали чавуни ВЧ 50-1,5, що отримані за звичайним литвом і технологією ЛВВ. Результати оцінювалися за об’ємом зношеного матеріалу, визначеного шляхом вимірювання зміни зазору в зоні тертя з допомогою лупи Брінелля. (рис. 3).

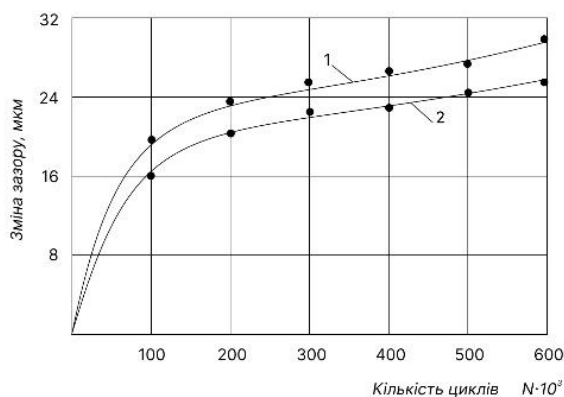


Рис. 3. Зміни зазору в парі тертя ВЧ 50-1,5/контр-тіло: 1 – ВЧ 50-1,5, отриманий звичайним литвом; 2 – ВЧ 50-1,5, за технологією ЛВВ

Випробування показали підвищення зносостійкості чавуну отриманого методом ЛВВ до 20%. При цьому, перевищення показників набувало більших значень при збільшенні часу напрацювання зразків на машині тертя

Для експлуатаційної оцінки ефективності ЛВВ для деталей ДВЗ проведено стендові випробування

в обсязі 100 мото-годин. Після механічної обробки деталі були встановлені на працюючий дизель 6ЧН25/34. Прискорені експлуатаційні випробування показали надійну роботу двигуна з підвищеним ресурсом пари тертя на 15 – 30 %. Всі інші механічні властивості деталей та ходові параметри двигуна збереглися в нормі.

Екологічний ефект від впровадження ЛВВ чавунів закладено в основу принципу спеціального способу лиття, де відсутній викид будь-яких газів назовні. Додатково, авторами рекомендовано більш тривале вакуумування форми не лише під час формування виливків, а також в період охолодження. Допоки температура форми не стане $0,75 T_{\text{зал}}$ (температури заливання розплаву), і газовиділення припиниться.

Обговорення результатів досліджень

За технологією ЛВВ максимальний надлишковий газовий тиск на поверхні метал-форма виникає на початку нагрівання форми (заливання металу). З цим газовим напором справлялася стандартна пневмосистема. Але повторне підвищення газового тиску спостерігається, коли на шляху руху газу, що переміщується від поверхні виливки в вакуумну камеру, виникає додатковий і досить великий опір. Це, передусім, властиво для вологих формувальних сумішей і товстостінних виливків, коли змінюється газопроникності форми і зростає газовий тиск. Для збільшення зусиль всмоктування в пневмосистему установки ЛВВ був вмонтований газоструминний ежектор, працюючий від цехової системи стисненого повітря і повністю видаляючий гази. Пневмосистема установки (ежектор) дуже проста і компактна, та дозволяє автоматизувати технологічний процес шляхом розміщення на вході робочого повітря в ежектор пристрій системи автоматичного керування, що дозволяє отримати будь який закон зміни розрядження на відміну експоненти в традиційних установках ЛВВ.

Авторами розраховано термічну стійкість металопроводу за методикою його максимальної витримки в чавуні при температурі перегріву розплаву для рівномірного заповнення форми (без газової пористості) та недопущення критичних залишкових термічних навантажень в сплаві ВТ3-1. В розрахунок застосовано метод послідовних наближень для відповідної крайової задачі.

Підвищену зносостійкість чавунних направляючих втулок клапанів дизеля 6ЧН25/34 з чавуну СЧ25 та ВЧ50-1,5, отриманих за технологією ЛВВ, автори пояснюють утворенням в структурі більш дрібної фази перліту. Під час кристалізації за рахунок впливу розрядження зменшується зазор між відливкою та формою, а також за рахунок постійного висмоктування повітря та газів збільшується

швидкість кристалізації та охолодження відливки, що приводить до зменшення в структурі фериту та збільшення перліту і його дисперсності. З напрацюванням на дослідному стенді більше різниця в інтенсивності зношування дослідних та серійних направляючих втулок клапанів є більш наявною. Це доводить, що протизношувальні властивості чавуну за технологією ЛВВ мають не поверхневий характер, а зберігаються при великих значеннях зносу.

Сюди треба додати також наступні позитивні моменти: зменшуються витрати металу на литнікову систему приблизно в два рази, зменшується потрапляння неметалевих включень у відливку за рахунок того, що форма не руйнується при регульованому руху розплаву, відсутністю шлаку в формі тому, що метал за рахунок металопроводу потрапляє з глибинних шарів тигля.

Висновки

Авторами розроблені технологія та устаткування для лиття вакуумним всмоктуванням виробів з залізо-вуглецевих сплавів, а саме:

1. Запропоновано матеріал металопроводу (сплав ВТЗ-1) та розраховано час відводу теплоти перегріву розплаву для стійкою та надійною роботи установки ЛВВ, саме, в розплавах чавуну.

2. Проведені конструкторські зміни в пневмосистемі для збільшення зусиль всмоктування розплаву чавуну при використанні газотвірних піщано-глинистих та інших термоізолюваних форм.

3. На підприємстві “Первомайськдизельмаш” за технологією ЛВВ отримані заготовки направляючих втулок клапанів двигуна 6ЧН25/34 з чавунів СЧ25 та ВЧ50-1,5 а також маслоти поршневих кілець з чавуну ВЧ50-1,5. Отримані деталі показали підвищений ресурс на 15-30%.

Застосування технології та устаткування ЛВВ для отримання деталей ДВЗ з залізо-вуглецевих сплавів (чавунів) дозволяє підвищити якість виливків, покращити їх зносостійкість, заощадити метал, зменшити негативні викиди, і може пропонуватися до широкого впровадження в двигунобудуванні.

Список літератури:

1. *Studies on performance and process improvement of implementing novel vacuum process for new age castings / Senthil J., Prabhakar M., Thiagarajan C., Prakash S., & Lakshmanan R. // Materials Today: Proceedings. – 2020. – № 33(1). – P. 813-819.* 2. *Tewary U. The origin of graphite morphology in cast iron // Tewary U., Paul D., Mehtani H. K., Bhagavath S., Alankar A., Mohapatra G., Sahay S. S., Panwar A. S., Karagadde S., & Samajdar I. // Acta Materialia. – 2022. – № 226. – P.76-80.* 3. *Bekele B. T. Simulation and experimental analysis of re-design the faulty position of the riser to minimize shrinkage porosity defect in*

sand cast sprocket gear. Materials Today / Bekele B. T., Bhaskara, J., Tolcha S. D., Gelaw M., // Materials Today: Proceedings. – 2022. – № 59(1). – P. 598-604. 4. *Nimbulka, S. Design optimization of gating and feeding system through simulation technique for sand casting of wear plate / Nimbulkar S. L., Dalu R. S. // Perspectives in Science. – 2016. – № 8. – C. 39-42.* 5. *Li Y. Chen L. Effects of asymmetric feeder on microstructure and mechanical properties of high strength Al-Zn-Mg alloy by hot extrusion / Li Y. Chen L., Tang J., Zhao G., Zhang C. // Journal of Alloys and Compounds. – 2018. – № 749 – C. 293-304.* 6. *Поштаренко Ю. А. Дослідно-випробувальний експериментальний термовакуумний стенд ТВК-2,5 // Поштаренко Ю. А., Рассамакін Б. М., Сидоренко Ю. // Космічна наука і техніка: Науково-практичний журнал. – 2020. – № 26(6) – С. 23-26.* 7. *Chaus A. S., B. Microstructure and properties of M2 high-speed steel cast by the gravity and vacuum investment casting / Chaus A. S., Bračik M., Sahul M., Dománková M. // Vacuum. – 2019. – № 162 – P. 183-198.* 8. *Mitterpach J., Environmental evaluation of grey cast iron via life cycle assessment / Mitterpach J., Hroncová E., Ladomerský J., Balco, K. // Journal of Cleaner Production. – 2017. – № 148 – P. 324-335.* 9. *Вплив імпульсної електромагнітної обробки на структурні перетворення титанового сплаву ВТЗ-1 // Сейдаметов С. В., Лоскутов С. В. // Журнал фізики та інженерії поверхні – 2016. – № 1(1) – С. 4-8.*

Bibliography (transliterated):

1. *Senthil, J., Prabhakar, M., Thiagarajan, C., Prakash, S., & Lakshmanan, R. (2020). Studies on performance and process improvement of implementing novel vacuum process for new age castings. Materials Today: Proceedings, No. 33(1), pp. 813-819. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2020.06.269>.* 2. *Tewary, U., Paul, D., Mehtani, H. K., Bhagavath, S., Alankar, A., Mohapatra, G., Sahay, S. S., Panwar, A. S., Karagadde, S., & Samajdar, I. (2022). The origin of graphite morphology in cast iron. Acta Materialia, No. 226, pp. 76-80. <https://doi.org/10.1016/j.actamat.2022.117660>.* 3. *Bekele, B. T., Bhaskaran, J., Tolcha, S. D., Gelaw, M., (2022). Simulation and experimental analysis of re-design the faulty position of the riser to minimize shrinkage porosity defect in sand cast sprocket gear. Materials Today: Proceedings, No. 59(1), pp. 598-604. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2021.12.090>.* 4. *Nimbulkar, S. L., Dalu, R. S. (2016). Design optimization of gating and feeding system through simulation technique for sand casting of wear plate. Perspectives in Science, No. 8, pp. 39-42. <https://doi.org/10.1016/j.pisc.2016.03.001>.* 5. *Li, Y., Chen, L., Tang, J., Zhao, G., Zhang, C. (2018). Effects of asymmetric feeder on microstructure and mechanical properties of high strength Al-Zn-Mg alloy by hot extrusion. Journal of Alloys and Compounds, No. 749, pp. 293-304. <https://doi.org/10.1016/j.jallcom.2018.03.188>.* 6. *Poshtarenko, Yu. A., Rassamakin, B. M., Sidorenko, Yu. (2020). Research and testing experimental thermal vacuum stand TVK-2.5. Space Science and Technology: Scientific and Practical Journal [Doslidnytsko-vyprobuvalniyi eksperymentalnyi termovakuumnyi stand TVK-2,5. Kosmichna nauka i tekhnolohiia: nauk.-prakt. zhurn.], No. 26(6), pp. 23-26. <https://doi.org/10.15407/kniit2020.06.023>.* 7. *Chaus, A. S., Bračik, M., Sahul, M., Dománková, M. (2019). Microstructure and properties of M2 high-speed steel cast by the gravity and vacuum investment casting. Vacuum, No. 162, pp. 183-198. <https://doi.org/10.1016/j.vacuum.2019.01.041>.* 8. *Mitterpach, J., Hroncová, E., Ladomerský, J., Balco, K. (2017). Environmental evaluation of grey cast iron via life cycle assessment. Journal of Cleaner Production, No. 148, pp. 324-335. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.02.023>.* 9. *Seydametov, S. V., Loskutov, S. V. (2016). Influence of pulsed electromagnetic treatment on structural transformations of the titanium alloy VT3-1. Journal of Physics and Surface Engineering [Vplyv impulsnoho elektromagnitnoho obroblennia na strukturni peretvorennia tytanovoho сплаву VT3-1. Zhurnal fizyky ta poverkhnevoi inzhenerii.], No. 1(1), pp. 4-8. <http://dspace.nbuv.gov.ua/handle/123456789/116802>.*

Клименко Леонід Павлович – доктор техн. наук, проф. каф. екології, Чорноморський національний університет імені Петра Могили, Миколаїв, Україна, e-mail: rector@chmnu.edu.ua, ORCID: 0000-0002-3458-9453.

Прищепов Олег Федорович – канд. техн. наук, доц. каф. автоматизації і комп'ютерно-інтегрованих технологій, Чорноморський національний університет імені Петра Могили, Миколаїв, Україна, e-mail: priof@ukr.net, ORCID: 0000-0002-9608-2703.

Андрєєв В'ячеслав Іванович – канд. техн. наук, доц. каф. екології, Чорноморський національний університет імені Петра Могили, Миколаїв, Україна, e-mail: avi@chmnu.edu.ua, ORCID: 0000-0003-1143-8043.

Щесюк Олег Володимирович – канд. техн. наук, доц. каф. автоматизації і комп'ютерно-інтегрованих технологій, Чорноморський національний університет імені Петра Могили, Миколаїв, Україна, e-mail: taifun.kv@gmail.com, ORCID: 0000-0003-1467-3751.

Случак Олександр Ігорович – старш. наук. співроб., науково-дослідна частина, Чорноморський національний університет імені Петра Могили, Миколаїв, Україна, e-mail: sluchak@gmail.com, ORCID: 0000-0001-5051-0648.

Конг Болан – помічник президента Zhejiang XCC Group Co., Ltd., KHP, e-mail: xcckbl@163.com, ORCID: 0000-0002-3518-8732.

APPLICATION OF VACUUM SUCTION CASTING OF IRON-CARBON ALLOYS FOR THE PRODUCTION OF ENGINE PARTS

L.P. Klymenko, O.F. Pryshchepov, V.I. Andriev, O.V. Shchesiuk, O.I. Sluchak, Kong Bolan

The use of vacuum suction casting technology for iron-carbon alloys for the production of internal combustion engine parts will improve their quality and wear resistance, preserve metal, and reduce emissions. The technology is widely used for non-ferrous alloys. At the same time, its implementation for iron-carbon alloys (including cast iron) in modern engine construction requires careful scientific and practical preparation. Problematic tasks arise when improving the pneumatic system of vacuum suction (large volumes of gas release), the stability of the metal pipeline (thermal overload in a high-temperature cast iron melt), and the stabilization of the casting microstructure (high-speed crystallization). The authors suggest using a specialized titanium alloy VT3-1 for the metal pipeline, for which the article calculates thermal loads during cyclic operation in the "Deep – take-out" mode for the use of cast irons of the SCH25 and VCH50-1.5 grades. For reliable operation of the metal pipeline and the absence of solidification of the melt on its inner surface, a thermal calculation method was developed, which allows determining the time of heat removal of overheating of the melt according to the diameter of the metal pipeline. The pneumatic system of the vacuum unit is supplemented with a patented gas jet ejector, which, in combination with a powerful shop compressed air system, provides a full gas outlet. Applying the developed law of change in the discharge between atmospheric pressure and pressure in the mold cavity, the authors of the article regulate the rate of crystallization of castings, which makes it possible to form much smaller phases of perlite in the microstructure and reduce the presence of Ferrite. At the Enterprise "Pervomaiskdizelmash" using vacuum casting technology, blanks of guide bushings of engine valves 6CHN25/34 made of cast iron SCH25 and VCH50-1,5, as well as oils of piston rings made of cast iron VCH50-1,5 were obtained. The obtained parts showed an increased service life by 15-30%. Vacuum casting technology is recommended for iron-carbon alloys in the production of engine parts.

Keywords: engine building; grey and high-strength cast iron; billet; vacuum suction casting; metal pipe calculation; thermal resistance; resource.