

## ПЕРЕДУМОВИ ВИЛИВАННЯ ТОНКОСТІННИХ КОНСТРУКЦІЙ З ВИСОКОМІЦНОГО ЧАВУНУ

<sup>1</sup>Вінницький національний технічний університет,

<sup>2</sup>Фізико-технологічний інститут металів та сплавів НАН України

### Анотація

*Проведені дослідження є важливою передумовою для виливання тонкостінних конструкцій з високоміцного чавуну за моделями, що газифікуються (ЛГМ, Lost Foam Casting). Водночас вимірювання текучості розплаву високоміцного чавуну при товщині зразка 1 мм виявили, що вона досягає 227 мм в залежності від температури розплаву.*

**Ключові слова:** високоміцний чавун, метал, лиття за моделями, розплав, ливарний, тонкостінний.

Загальносвітова тенденція до поширення виробництва легкових тонкостінних виливків з високоміцних сплавів і високими експлуатаційними властивостями постійно перебуває в полі зору науковців - ливарників та металознавців [1, 2]. Тонкостінні виливки з масою 0,1-5000 кг можна реалізувати в металі за технологією лиття за моделями, що газифікуються (ЛГМ, Lost Foam casting), різновиди якої десятиліттями створюються і удосконалюються відділом проф. О. Й. Шинського в інституті ФТІМС НАН України. Значні досягнення виявлено при литті високоміцного чавуну (ВЧ), що мотивує поєднання ЛГМ з литтям ВЧ.

Дослідження за контрактом Мінекономіки США щодо ЛГМ тонкостінного ВЧ (thin-walled ductile iron, TWDI), показало, що навіть при 1 мм допуск на розмір литої стінки чавуну становив +/- 0,039 мм [3, 4]. Ця перевага свідчить, що ЛГМ-виливки можуть мати нульову або мінімальну механічну обробку. З перепроектуванням литих металоконструкцій це може призвести до значної економії коштів, яка компенсує дещо вищу вартість серійного процесу порівняно з литтям у форми по-сирому чи з холоднотвердної піщано-смоляної суміші - ХТС (poke) [3]. Для легких конструкцій вигідний ВЧ, бо він має високу питому міцність (на одиницю вартості), однак це ще більш виражено для його термообробленого варіанту (ADI).

Висновки з досліджень [4] отримано такі. Оскільки стандарти паливної ефективності (SAFE) ростуть у всьому світі, попит на полегшення транспортних засобів досить актуальний. Вага електромобілів впливає на запас ходу і розмір їх батареї. Зменшення ваги цікавить та інших транспортників, у сільському господарстві стурбовані щодо ущільнення ґрунту, у оборонній та аерокосмічній сферах триває конкуренція як щодо маневреності, так і корисного навантаження.

Оскільки попит на легковагі металовироби зростає, ВЧ та ізотермічно загартований ВЧ - ADI все частіше беруть до уваги. Старі вказівки про уникнення використання ВЧ з товщиною стінки нижче 0,25 дюйма (6,35 мм) не слід більше застосовувати [4]. Показано [4], що усунути отримання дефектів від утворення карбідів можна як при ливарній технології poke, так і ЛГМ. Але ЛГМ дає вищу точність (tolerances) виливків, як перевага при виробництві TWDI.

ЛГМ також дозволяє зменшення маси литва через здатність консолідувати деталі без механічної обробки та зварювання. ВЧ і ADI застосовують для деталей широкої номенклатури, включно для колінчастих та розподільних валів, тяг, важелів підвіски, компонентів гальм, насосів, кронштейнів, підйомних важелів, деталей підвіски тощо. Можливість об'єднання TWDI з ЛГМ означає поширення нових типів консолідованих деталей у майбутньому [4].

Наші дослідження при виливанні з ВЧ методом ЛГМ у вакуумованих формах тонкостінних деталей виявляють такі закономірності. Зі стінкою товщиною 2...4 мм в разі збільшується площа поверхні тонкостінних виливків проти деталей зі стінкою 8...10 мм і вище, що дає ріст впливу поверхневих явищ на формозаповнення, падає відношення маси моделі (і її матеріалу

для газифікації) до площі стінок форми, які цю модель оточують. Розплав металу, що заливається у вакуумовану форму, торкається стінок піщаної форми і до них присмоктується вакуумом, створюючи металеву плівку, що герметизує форму. Далі метал протікає в металевій гарячій плівці, наклеєній на стінки порожнини форми, а не ковзає по стінці форми. Гарячий метал контактує з газовим основним (практично безкисневим) середовищем, що складається з летючих продуктів термодеструкції пінополістиролу (окислення яких поглинає весь наявний в цій зоні кисень), а саме: вуглеводневих газів, парів, водню та дрібних часток вуглецю (коксівий чи сажистий залишок). Основна атмосфера сприяє графітизації металу (перешкоджає карбідизації). Відносно (до маси тонкої моделі) велика площа вакуумованих стінок форми посилює вакуумне всмоктування металу у форму, що сприяє виливанню ВЧ тонких стінок заготовки. За хімічним складом ВЧ відносять до евтектичного чи слабко заевтектичного чавуну, що робить його рідкотекучістю найвищою серед інших конструкційних (графітизованих) чавунів за однакової температури їх заливання у форму; виміри текучості при товщині проби 1 мм виявили, що вона сягає 227 мм залежно від температури розплаву [4].

ВЧ, що налипає на стінки форми при ЛГМ, завдяки присмоктуванню вакуумом (практично з втратою зазору «метал-форма») отримує прискорене охолодження і мікроструктуру з дрібним зерном (кристалітами). Також інокулююче модифікування в прохідній камері [4] сприяє утворенню в металі дрібних частих графітових включень. Близьке розташування дисперсного евтектичного графіту (переохолодження) і велика сумарна площа поверхні його включень при перлітному перетворенні сприяють розпаду аустеніту і виділенню дрібнозернистого фериту (іноді до повної відсутності перліту), скорочуючи шляхи дифузії при розпаді карбідів, що є аналогом графітуючого самовідпалу. Публікації про лиття тонкостінного ВЧ (TWDI) та ізотермічно загартованого (TWADI) свідчать, що виготовлено вилки з питомою міцністю (у відношенні до густини) до 87 МПа·см<sup>3</sup>/г. А після ізотермічного гартування з отриманням аусферитної матриці питома міцність зростає до 154 МПа·см<sup>3</sup>/г. Вони мають високий потенціал для заміни деталей з алюмінієвих сплавів у різних сферах застосування з істотною економією.

#### СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Дорошенко В. С. Способы и примеры оптимизации конструкций тонкостенных технических и декоративных отливок // Металл и литье Украины. – 2016. – № 3. – С. 32-40.
  2. Дорошенко В. С. Калужный П. Б. Тонкостінний вилков з високоміцного сплаву як одне з головних завдань ливарного виробництва // Процеси лиття. – 2020. – № 3. – С. 47-55.
  3. S. Jordan and M. Debruin. How a foundry can diversify into lost foam casting at negligible cost. Modern Casting. 2022. August. P. 29 – 33.
  4. S. Jordan, M. Debruin, E. Cililic, A. Luo. Thin-Walled Ductile Iron. Casting source. 2021. Sept/Oct. P. 34 – 39.
- Янченко Олександр Борисович**, канд. техн. наук, доц. кафедри ГМ, Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця, 1961yab@gmail.com
- Дорошенко Володимир Степанович**, доктор техн. наук, ст. наук. співр., пров. наук. співр., Фізико-технологічний інститут металів та сплавів НАН України, м. Київ, doro55v@gmail.com.
- Клименко Степан Іванович**, канд. техн. наук, ст. наук., ст. наук. співр., ст. наук. співр., Фізико-технологічний інститут металів та сплавів НАН України, м. Київ, ukrdeplit15@ukr.net.

## PREREQUISITES FOR CASTING THIN-WALLED STRUCTURES MADE OF DUCTILE IRON

### Abstract

*The conducted studies are positive prerequisites for casting thin-walled structures from ductile iron using the Lost Foam casting method. At the same time, measurements of ductile iron melt flow with a sample thickness of 1 mm revealed that it reaches 227 mm depending on the temperature of the melt.*

**Keywords:** high-strength cast iron, metal, casting according to models, melt, foundry, thin-walled

**Yanchenko Alexander B.** – Cand. tech. Sciences, Associate Professor of Industrial Engineering, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, e-mail 1961yab@gmail.com.

**Doroshenko Volodymyr Stepanovych**, Dr. Sci. (Engin.), Senior Research Scientist, Leading Researcher, Physico-technological Institute of Metals and Alloys of the NAS of Ukraine, Kyiv, doro55v@gmail.com.

**Klymenko Stepan Ivanovich**, PhD (Engin.), Senior Research Scientist, Physico-technological Institute of Metals and Alloys of the NAS of Ukraine, Kyiv, ukrdeplit15@ukr.net.