ПРО ГАРМОНІЗАЦІЮ КОНСТРУКЦІЙ МЕТАЛОВИРОБІВ ІЗ ПРИРОДОЮ З МЕТОЮ ЗАОЩАДЖЕННЯ МЕТАЛУ

Володимир Дорошенко
канд. техн. наук,
ст. наук. співроб.
Фізико-технологічного
інституту металів і сплавів
НАН України,
м. Київ

Однією з актуальних задач ливарного виробництва (передовсім для транспортних засобів) є істотне зменшення маси литих металоконструкцій і зростання їх експлуатаційного ресурсу. Сучасні конструкції виливків унаслідок діючих ливарних процесів і традиційних умов їх конструювання, як в Україні, так і країнах СНД, на думку проф. ***Шинського О.І.***, перевищують за масою розрахункові в 1,5—2 рази, а в Західній Європі — в 1,3—1,5 рази [1]. Це призводить до перевитрати енергоносіїв, шихтових матеріалів та збільшення трудомісткості ливарного виробництва. Також при експлуатації машин і механізмів, створених на основі литих деталей високої металоємності, витрати енергоресурсів, палива і мастильних матеріалів перевищують 20—30 % від застосування оптимальних литих деталей.

Для здійснення заощадження металу потрібні нові підходи до оцінки експлуатаційних характеристик литих виробів, прогнозування властивостей ливарних матеріалів і технологій з використанням напрацьованих вченими комп'ютерних інформаційних технологій і адаптованих програм, що відображають умови заповнення ливарної форми, живлення схильних до усадки вузлів, кристалізації і структуроутворення виливків. Значні резерви можливі при максимальному використанні дрібнозернистої структури металу тонкостінного лиття та прискоренні утворення литої кірки металу.

До процесу вдосконалення автоматизованих систем проектування литих конструкцій як арсеналу математичних методів конструювання виливків слід долучати нові досягнення в технології ливарних сплавів і формувальних процесів в оптимальному їх поєднанні, а також включати останні розробки з галузі спеціальних видів лиття. При цьому значні перспективи має технологія лиття за моделями, що газифікуються (ЛГМ), яка базується на формовці разових пінопластових моделей в сухому піску контейнерної форми із заміщенням цих моделей у формі розплавом металу, що заливається.

Дослідження по темі "Розробка наукових і технологічних основ по створенню литих конструкцій із залізовуглецевих і кольорових сплавів, оптимальних процесів їх отримання і автоматизованих методів проектування" під науковим керівництвом проф. Шинського О.І. дали змогу виконати аналіз, ідентифікацію поширених виливків і оптимізацію литих технічних легковагих металоконструкцій на основі ряду математичних методів [2, 3] включно з експериментальним опробуванням.

Великий потенціал відкриває метод копіювання в металі відібраних еволюцією конструкцій природи як незліченних прикладів досконалості і ресурсоефективності, зокрема з використанням процесу ЛГМ. При цьому формоутворення виливка пропонується розглядати в концепції сукупного впливу на нього таких двох плинних середовищ, як метал, що заливається і заміщає ливарну пінопластову модель зсередини, і рухоме піщане середовище, що оточує поверхню моделі зовні з урахуванням оптимального заповнення піском ливарної форми. За допомогою математичного і комп'ютерного моделювання вдалося розробити легковагі пористі ресурсозберігаючі конструкції литих металовиробів за аналогами будови мікроструктур твердої речовини, окремих біологічних структур і наноматеріалів з фізичним моделюванням їх з серійних деталей, виконаних з пінопласту (газонаповнених вуглеводневих полімерів) [2—5].

У цих дослідженнях, що включають більше десятка запатентованих конструкцій виливків або моделей для їх лиття, відзначено відомий факт поширення спіральних елементів серед конструкцій природи, зокрема з характеристиками, що відносяться до поняття "*золотого перетину*", яке йде з глибокої давнини. Розглянемо докладніше закономірності, пов'язані з цим цікавим поняттям. Прийнято вважати, що його ввів в науковий обіг ***Піфагор*** (VI ст. до н.е.). У античній літературі, що дійшла до нас, опис ділення відрізка в крайньому і середньому відношенні ("золотий перетин"), вперше зустрічається в "Началах" ***Евкліда*** і становить приблизно 1,618 [6, 7]. Свого часу форма спірально завитої раковини привернула увагу ***Архімеда***, який вивів рівняння спіралі. Спіраль, накреслена з цього рівняння, називається його іменем, збільшення її спірального кроку завжди рівномірне.

Крім того, пропорція 0,618... дорівнює відношенню попереднього числа до наступного в ряді Фібоначчі. Числа ряду Фібоначчі повсюдно проявляються в природі: це спіраль, по якій гілочки рослин примикають до стебла, спіраль, по якій виростають лусочки на шишці або зерна на соняшнику. Цю спіральну форму вчені побачили в безлічі різноманітних речей, таких, як: урагани, спіральні насіння; равлик вуха людини; ріг барана; хвіст морського коника; листя папороті, що росте; молекула ДНК; хвилі, що вдаряються об берег; торнадо; галактики; хвіст комети, що обертається навколо сонця; вир води; павутина павука. У самому людському тілі зустрічаються співвідношення золотого перетину (рис. 1) [більшість малюнків для цього огляду взяті з відкритих джерел Інтернету]. Одним із сучасних прикладів застосування золотого перетину служить використання мозаїки ***Пенроуза*** [5], що, зокрема, відображає структуру квазікристалів.

Пропорція золотого перетину незмінно сприймається людським оком як красива, гармонійна. Принцип золотого перетину, що відображає структурну і функціональну досконалість цілого і його частин, що спостерігається в природі, використовують у мистецтві, науці і техніці. Мистецтво дає величезну кількість прикладів використання золотого перетину: піраміда ***Хеопса*** (найбільша з єгипетських пірамід); ***Пантеон*** і ***Парфенон*** в Афінах; більшість грецьких скульптур (включаючи ***Дорифора*** і ***Венеру Мілоську***); "Мона Ліза" ***Леонардо да Вінчі***; картини ***Рафаеля*** і ***Мікеланджело***, ***Івана Шишкіна***; будівлі архітекторів ***Баженова***, ***Малевича*** та ін. [7].

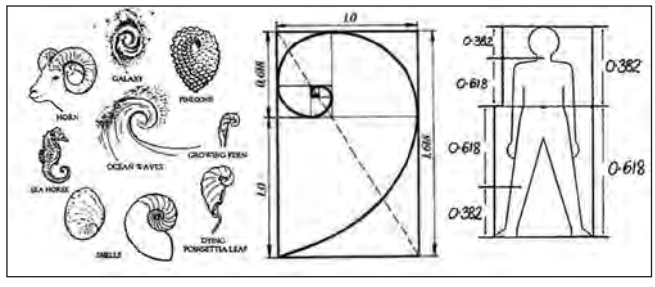

Рис. 1. Приклади втілення в природі спіралі Архімеда і чисел Фібоначчі

Існують "золоті" фігури: прямокутник, трикутник, п'ятикутник, побудовані на основі зазначених співвідношень сторін. Перші дві фігури (зліва на рис. 2) ми бачимо в структурі ювелірних виливків, виконаних (в т. ч. на 3D-принтері) з урахуванням співвідношень чисел Фібоначчі із зазначенням його імені в назві виробів (рис. 2).

Рис. 2. Приклади ювелірних виливків з елементами "золотих" фігур і спіралей

Співвідношення по геометричній будові в мистецтві характеризуються поняттям пластичності та гармонійним співвідношенням форм і ліній. Таким чином, весь світ, як природний, так і штучний, будується за єдиними універсальними законами. Людина свідомо чи інтуїтивно використовує ці універсалії [8].

Пропорції декоративних виливків (рис. 3—6), що застосовують у садово-парковій композиції або в оформленні приміщень і будівель, наче наповнюють простір внутрішньою красою, яка безпосередньо й невидима, але завжди відчутна, подібно духовній красі людини. Оскільки в будові рис обличчя людини також є безліч співвідношень, близьких до значення золотого перетину, а максимальна відповідність золотого перетину, на думку багатьох вчених і людей мистецтва, художників і скульпторів, існує у людей з досконалою красою (тобто служить ідеалом краси для людського погляду), то включення таких лиць або фігур в декоративні композиції часто сприяє гармонійному перетворенню, наче одухотворенню цих композицій. Наведені нами фотографії декоративних виливків, конструкції яких містять зображення лиць або фігур людей, взяті з туристичних, архітектурних описів або зображень історичних пам'яток (рис. 3—6).

Рис. 3. Приклади відповідності рис обличчя відношенням чисел Фібоначчі і зображень людських облич в декоративних виливках

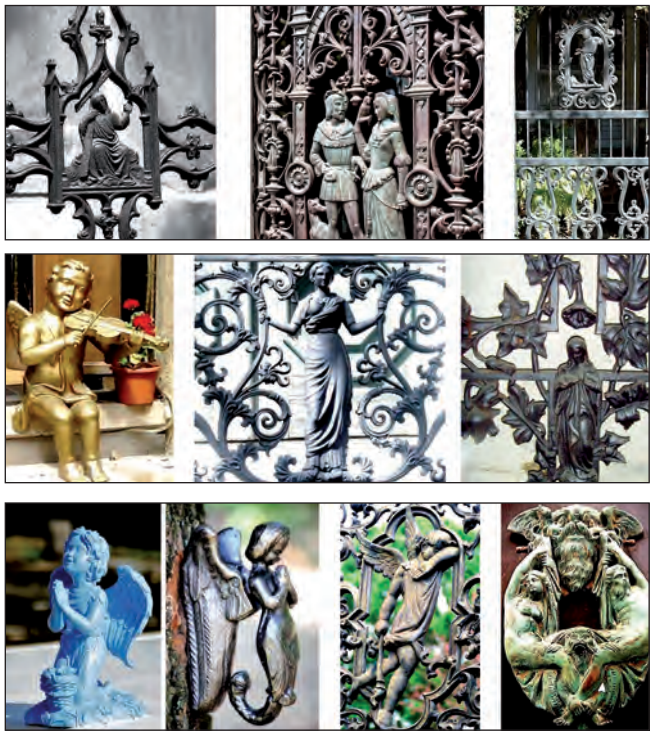

Рис. 4. Приклади декоративних виливків із зображенням тіл людей

Введення фігур людей в декоративні литі огорожі, ритуальні та інші композиції змінює співвідношення форм по геометричній будові. Цей тип співвідношень виникає при зіставленні прямолінійних (геометричних) і криволінійних (живописних) форм, тобто природних і штучних форм. На деяких фото (рис. 3, 4) ми бачимо спіральні елементи, аналогічні показаним на рис. 1, 2. Приклади тонкостінного литого орнаменту практично складені з елементів, показаних на рис. 5.

Рис. 5. Литі вироби зі спіральних елементів

У контенті рис. 3, 4 вже були показані дверні скульптурні ручки (дверні молотки). На рис. 6 показані співвідношення розмірів руки, що відповідають числам Фібоначчі, а також литі ручки, виконані з кольорових і чорних металів; у правій колонці показані чавунна олівниця — рука з тюльпаном (виробництва ливарного заводу в м. Каслі), а також великий шарнір металевих воріт, виконаний у вигляді руки.

Рис. 6. Приклади відповідності розмірів руки відношенням чисел Фібоначчі і зображень руки в декоративних виливках

Пояснення вчених, чому в рослинних спіралях домінують числа Фібоначчі, ґрунтуються на тому, що рослини запрограмовані дотримуватися певного набору законів розвитку. Це дозволяє припустити, що ці "візерунки" мають еволюційну перевагу. Спостерігаючи за зростанням протягом часу звичайної для наших широт рослини цикорію, пересвідчуємося, що кожен наступний відросток від основного стебла випускає листок (пагін), але вже коротше попереднього, знову робить викид у простір, але вже меншої сили, випускає листок ще меншого розміру, і знову викид. Якщо перший викид прийняти за 100 одиниць, то другий рівний 62 одиницям, третій — 38, четвертий — 24 і т. д. Довжина цих пелюсток чи пагонів підпорядкована золотій пропорції. У зростанні — завоюванні простору — рослина зберігає ці пропорції, імпульси її зростання поступово зменшуються в пропорції золотого перетину.

Щоб оцінити роль відношення чисел Фібоначчі як природної константи, досить лише глянути на красу навколишньої природи. Ріст рослин в природі — ідеальний приклад загальної доречності відношення членів у послідовності Фібоначчі. Числа Фібоначчі можна знайти в розмірі відгалужень на стеблі кожної зростаючої рослини і в довжині її пелюсток. А рослинні мотиви в литому металі відображені на рис. 7.

Скульптори і ливарники, наслідуючи закони гармонії, створили декоративні виливки, спостерігаючи які, глядач свідомо чи несвідомо сприймає внутрішні структурні закономірності організації художньої форми, закладені у виріб за допомогою майстерності і мистецтва. Причому наслідування таким внутрішнім законам формування художньої форми відповідно до описаних спіральних конструкцій і рядам Фібоначчі аж ніяк не заважає творчості майстрів створювати нові, не менш яскраві, образно неповторні вироби.

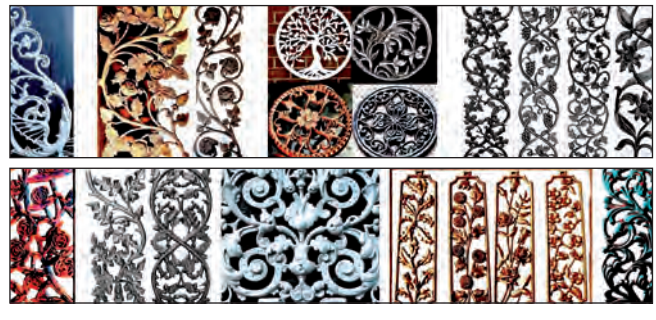

Рис. 7. Стилізовані рослини в литому металі

Подібно до природи, що, реалізуючи свої суворі закони, створює численні приклади досконалості, ливарники, виробляючи свої чудові виливки, зразки яких показані в цьому огляді, завдяки своїм майстерності і таланту, інтуїтивно відчуваючи описані вище закономірності художнього формоутворення, передавали набутий художній досвід і створювали традиції технічної школи декоративного та художнього виливання, перетворюючи цей досвід в технологічні норми. Таким чином, у процесах лиття, що в багатьох випадках межують з мистецтвом, майстри, слідуючи принципам пошуку досконалості форми литого виробу, реалізують фундаментальний принцип гармонії "єдність в різноманітті".

Науково-технічною школою ливарного виробництва в Фізико-технологічному інституті металів і сплавів (ФТІМС) НАН України накопичено значний досвід лиття тонкостінних технічних і декоративних металовиробів. Інститут є провідним розробником і патентоутримувачем ряду різновидів ЛГМ-процесу та володіє науково-виробничими знаннями, накопиченими від 60-х років минулого століття по впровадженню у виробництво цього процесу. У цехах і лабораторіях інституту постійно виробляються виливки і удосконалюються технологія, обладнання та оснащення.

Сьогодні для автоматизації виготовлення моделей з пінополістиролу використовують верстати з ЧПУ або 3D-фрезери [9]. Це дозволяє з мінімальними витратами виготовляти разові моделі виливків дрібних серій або моделі оснастки — прес-форми для отримання моделей виливків більшої серійності аж до масового виробництва. Литі алюмінієві прес-форми обробляють на тих же верстатах. За такими моделями можливе отримання всіх виливків, зразки яких показані вище. При виготовленні моделей за допомогою верстатів з ЧПУ для різання пінопласту тривимірна модель складної деталі розбивається на прості елементи, які вирізаються на верстаті. Потім, склеївши їх, отримують моделі великих габаритів з досить складною формою (корпуси великогабаритних двигунів, насосів, редукторів, станини, декоративні тонкостінні виливки). Таке виробництво моделі для лиття в дрібносерійному і одиничному виробництві за ЛГМ-процесом дає виграш у часі і трудовитратах, коли виготовлення ливарної форми іншим способом економічно невигідно. За цією технологією розплавлений метал заливається прямо на тіло ливника піномоделі і заміщає її в формувальній піщаній суміші. Аналіз економіки ЛГМ-процесу розглянуто в статті [10] в зіставленні з іншими ливарними процесами.

На основі роботи [9] резюмуємо етапи виробництва моделі на 3D-фрезері (рис. 8). Будується об'ємна модель деталі в тривимірній CAD-системі (SolidWorks, Компас 3D, CATIA, Autodesk Inventor і т. п.). Об'ємна модель розбивається на простіші фрагменти, які технологічно можливо вирізати на верстаті фігурного різання пінопласту. Контури фрагментів компонуються в розмір пінопластової заготовки і готуються файли керуючих програм, потім проводиться різка на 3D-фрезері (верстаті з ЧПУ) і за необхідності ручне доопрацювання деталей, потім збірка фрагментів у модель.

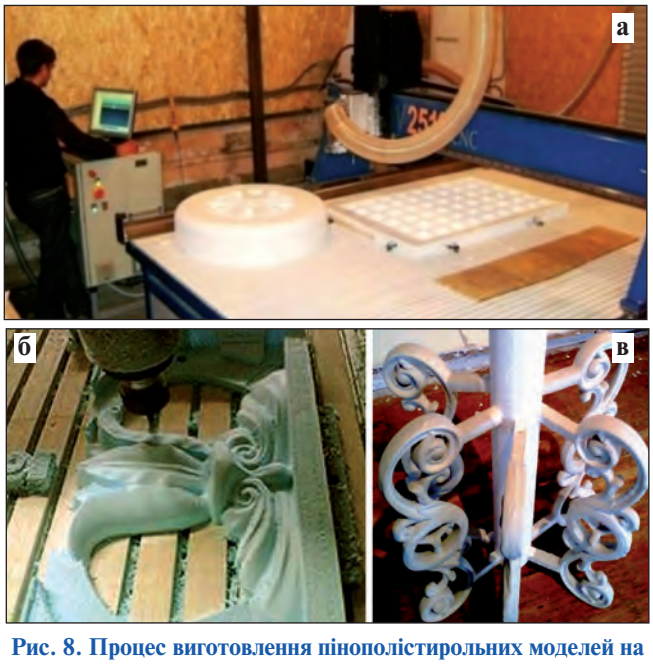

Рис. 8. Процес виготовлення пінополістирольних моделей на 3D-фрезері (а); робота фрези під час вирізання декоративної моделі (б); кластер у збірці з чотирьох декоративних моделей зі спіральними елементами (в)

Нижче показані приклади отримання пінополістирольних моделей і виливків декоративних конструкцій, виконані під керівництвом головного технолога ***В.С. Мельника*** (рис. 9—4, *melnik_vs@ukr.net*). Їх можна розглядати як авторські роботи.

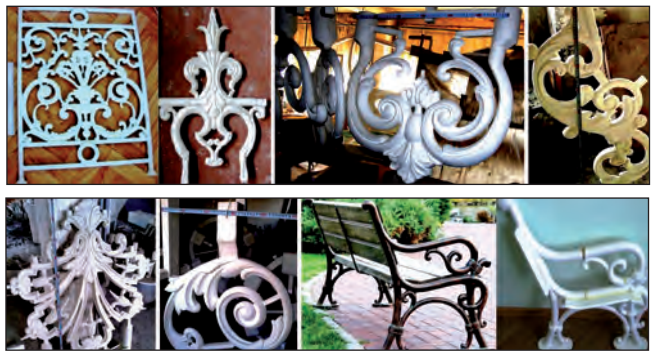

Рис. 9. Крупні моделі виливків декоративних решіток огорож, а також лава, яка показана поруч з моделлю

Рис. 10. Крупна лито-зварна секція декоративної огорожі з вуглецевої сталі в цеху ФТІМС НАН України, а також її фрагмент з моделями деталей, які її складають

Рис. 11. Стілець на чавунному каркасі, 3-секційна чавунна і 2-секційна латунні решітки

Рис. 12. Дві латунні грати і ваза

Рис. 13. Модель і пустотілий алюмінієвий виливок підставки під колону, 3 моделі і виливок підставки під плафон вуличного світильника

Рис. 14. Модель і виливок із нержавіючої сталі деталі огорожі, а також (зверху вниз) заготовка моделі прес-форми, модель і чавунний виливок деталі декоративної огорожі

На останній фотографії (рис. 14.) показано порожнину, вирізану 3D-фрезером у блоці пінополістиролу і призначену для подальшого виготовлення моделі прес-форми, модель з пінополістиролу і чавунний виливок деталі декоративної огорожі, що практично демонструє етапи виготовлення елементів оснащення та металевого виливка.

Таким чином, нами розглянута оптимізація конструкції виливка з огляду концепції взаємодії його моделі з двома текучими технологічними середовищами, а саме його моделі — з піщаним середовищем, а форми за цією моделлю — з металом. Як бачимо, запропонований метод заощадження металу на основі копіювання в металі конструкцій, що спостерігаються в природі, є ефективним.

З урахуванням того, що в останні роки публікації про художнє лиття металу стали рідкістю у вітчизняній технічній періодиці, в огляді зроблено акцент на демонстрацію прикладів з практики ливарного виробництва декоративних виробів, в більшості конструкцій і мальовничих формах яких ливарники свідомо чи інтуїтивно відображають закономірності золотого перетину і чисел Фібоначчі. Таким підходом до конструювання виливків досягається підвищення привабливості зовнішнього вигляду, а гармонізація обрисів і розмірів виливків сприятиме економії металу при їх виробництві з урахуванням того, що питома міцність металу тонких стінок виливків вища, ніж більш товстих.

На наш погляд, популяризація високотехнологічних процесів ЛГМ і комп'ютеризація виробництва ливарних моделей і оснастки на 3D-фрезері може швидше досягти ефекту і привернути увагу організаторів виробництва до декоративно-художніх виливків, які яскраво демонструють можливості розглянутих сучасних проектувальних і виробничих процесів з рекомендацією їх поширення в машинобудуванні. ■

Література

1. **Шинский О.И.** Снижение металлоемкости литейной продукции — основа развития отрасли. *Оборудование и инструмент для профессионалов*. 2011. № 1. С. 78—79.
2. **Дорошенко В.С.** Анализ и идентификация литых легковесных металлоконструкций с использованием теории минимальных поверхностей. *Металл и литье Украины*. 2015. № 11 — С. 24—28.
3. **Дорошенко В.С.** Математическое проектирование каркасно-ячеистых отливок. *Литейное производство*. 2013. № 2. С. 9—12.
4. **Дорошенко В.С.** Способы получения каркасных и ячеистых литых материалов и деталей по газифицируемым моделям. *Литейное производство*. 2008. № 9. С. 28—32.
5. **Дорошенко В.С.** Проектирование легковесных литых каркасно-ячеистых металлоконструкций с помощью моделирования структур природы. Saarbrücken: LAP Lambert Academic Publishing. 2015. 54 с.
6. **Стахов А.П.** Математика гармонии. От Эвклида к современной математике и компьютерной науке. *Вимірювальна та обчислювальна техніка в технологічних процесах*. 2013. № 1. С. 7—15.
7. **Боднар О.Я.** Золотий перетин і неевклідова геометрія у науці та мистецтві. Львів: НВФ "Українські технології", 2005. — 198 с.
8. **Дорошенко С.П.**, **Магницкий О.Н.**, **Могилевский В.Ю.**, **Пирайнен В.Ю.** История художественного лиття. СПб.: Изд-во СПбГПУ. 2006. 312 с.
9. **Дорошенко В.С.**, **Шинский И.О.** 3D-технологии при литье по газифицируемым моделям. *Металл и литье Украины*. 2009. № 4—5. С. 30 — 33.
10. **Дорошенко В.С.**, **Шинский В.О.** Примеры расчетов технико-экономических показателей процессов литья по разовым моделям. *Процессы литья*. 2015. № 6. С. 35—47.