

Небожак І. А.¹, Дзевін Є. М.², Дерев'янка О. В.³, Горбачов І. М.¹
(¹*ФТІМС НАН України, Київ*; ²*ІМФ ім. Г. В. Курдюмова НАН України, Київ*;
³*ІПМ ім. І. М. Францевича НАН України, Київ*)

**ГРАНИЦЯ КОРОТКОЧАСНОЇ МІЦНОСТІ
ДВОМІРНОГО ЛКМ СИСТЕМИ [СЧ300 – Ст3 – ЧХЗ], ОДЕРЖАНОГО
У «ПОРОЖНИНІ» ЛИВАРНОЇ ФОРМИ ЗА ЛГМ-ПРОЦЕСОМ**

E-mail: nebozhak@ukr.net

Аналіз та узагальнення літературних даних, присвячених створенню, розробці й удосконаленню технологій одержання моно-, багатошарових та армованих литих заготовок із сплавів на основі Fe показав, що традиційні технології їх одержання із сталей і чавунів мають, дотепер, досить обмежене застосування. Це не дозволяє істотно розширити використання у машинобудуванні виробів із диференційованими та спеціальними властивостями (ВДСВ), а також виливків із функціональними шарами, а саме ці заготовки дозволять радикально поліпшити якість, фізико-механічні й експлуатаційні характеристики литих конструкцій. До того ж, для одержання ВДСВ застосовують енерго-, матеріалоємні технології, що не дозволяють, зазвичай, одержати виливок високої розмірної точності та оптимальної собівартості. Крім того, установлено, що найефективнішим методом радикального поліпшення зносостійкості металовиробів із Fe-C-сплавів, виходячи з оптимальної структури конструкційних триботехнічних матеріалів, є армування литих заготовок високомодульними елементами, що може бути досягнуто завдяки використанню прогресивних технологій рідкофазного сполучення. Якість і властивості литих армованих конструкцій (ЛАК) й ВДСВ залежать від багатьох технологічних факторів, у першу чергу, температурно-часових, вплив яких на формо-, структуроутворення, а отже і функціональні характеристики ЛАК, вивчено, наразі, недостатньо.

Найважливішою задачею ливарного виробництва є розробка та впровадження у виробництво виливків із сталей і сплавів, що дозволить вітчизняному машинобудуванню створити новий клас надійної та довговічної техніки на основі новітніх матеріалозберігаючих екологічно чистих технологій. Вітчизняний і зарубіжний досвід показує, що успішне вирішення цієї задачі в

області ливарного виробництва досягається шляхом широкого використання прогресивних методів одержання точних моно- та багат шарових армованих виливків, зміцнених фізичними методами, до яких відносяться усі різновиди ЛГМ-процесу.

Виконана науково-дослідна робота (НДР) присвячена армуванню чавунного виливка листовою сталлю марки Ст3, графітізуючому модифікуванню його структури дисперсним феросиліцієм марки ФС75, а також легуванню піддослідного виливка порошкоподібним ферохромом марки ФХ650А в комплексі. Критеріями оцінки ефективності процесів армування й композиційного зміцнення ливарних сплавів є показники засвоєння дисперсного інокулятора матричним розплавом, їх структура та властивості, що представлено в дисертаційній роботі [1]. Параметри ЛГМ-процесу й методика проведених досліджень достатньою мірою описані автором цієї ж наукової праці.

Важливою механічною характеристикою конструкційного матеріалу є його тимчасовий опір руйнуванню [2] або границя (короткочасної) міцності [3], яка, за визначенням [2, 3], є, умовно, максимально можливим механічним напруженням, що виникає у матеріалі під впливом зовнішнього навантаження зразка в процесі деформування. Таке напруження призводить до руйнування піддослідного матеріалу (розриву зразка), й відповідає максимуму на діаграмі деформування [2]. Границю короткочасної міцності або тимчасовий опір руйнуванню (МПа) визначають, на практиці, за наступною формулою [4]:

$$\sigma_{\epsilon} = \frac{R_m}{S_0}, \quad (1)$$

де R_m – зусилля (навантаження) руйнування піддослідного матеріалу, Н;

S_0 – початкове значення площі поперечного перетину литого зразка, мм².

Проте, визначити безпосередньо дану характеристику як для двомірного литого композиційного матеріалу (ЛКМ) системи [СЧ300 – Ст3 – ЧХ3] взагалі, так і окремо взятих його функціональних шарів, зокрема, в умовах поставленої задачі

виявилося досить складно і, як потім з'ясувалося, – майже неможливо. Щоб виконати завдання досліджень й, тим самим, досягти мети цієї НДР в умовах дослідно-експериментального виробництва ФТІМС НАН України, довелося зробити поправу на той факт, що твердість за Брінеллем піддослідного матеріалу впливає на тимчасовий опір руйнуванню. Оскільки, двомірний ЛКМ системи [СЧ300 – Ст3 – ЧХ3] має чавунну матрицю, то, у нашому випадку, довелося скористатися співвідношенням, яке було запропоноване авторами наукової праці [5] для технічних розрахунків границі міцності чавунного литва:

$$\sigma_s = \frac{HB - 40}{6}, \quad (2)$$

де HB – твердість за Брінеллем піддослідного матеріалу, кгс/мм².

Вихідними даними для проведення необхідних математичних розрахунків при виконання цієї НДР слугували напрацювання кандидатської дисертації Івана НЕБОЖАКА [1], які були результатами вимірювання твердості функціональних шарів двомірного ЛКМ системи [СЧ300 – Ст3 – ЧХ3] в процесі його механічних випробувань. Числові значення тимчасового опору руйнуванню зведені у табл. 1 та наглядно представлена далі за текстом.

Таблиця 1 – Границя короточасної міцності (МПа) двомірного ЛКМ системи [СЧ300 – Ст3 – ЧХ3]

Тип випливання	Матеріал шару	Горизонт литого зразка, мм				
		20	60	100	140	180
ЛКМ	СЧ300	30,5	32,5	33,5	39,5	42,2
	Ст3	–	–	–	–	–
	ЧХ3	72,8	67,3	62,5	62,5	62,5

Аналіз результатів математичних розрахунків, отриманих завдяки співвідношенню (2), дозволив з'ясувати, що тимчасовий опір руйнуванню матеріалу кожного функціонального шару двомірного ЛКМ системи

[СЧ300 – Ст3 – ЧХ3] змінюється по висоті композитного виливка, а графічна інтерпретація розрахункових даних (рис. 1) показала яким чином та якою мірою висота литого зразка впливає на границю міцності сірого чавуну марки СЧ300 ДСТУ 8833: 2019 й хромистого жаро-, зносостійкого чавуну марки ЧХ3 ДСТУ 8851:2019. Із об'єктивних причин [6] тимчасовий опір руйнуванню діафрагми із поцинкованої листової сталі марки Ст3 ДСТУ 2651:2005, що є допоміжним шаром між функціональними шарами двомірного ЛКМ системи [СЧ300 – Ст3 – ЧХ3], як і її твердість, визначену за шкалою Брінелля, відображено не буде.

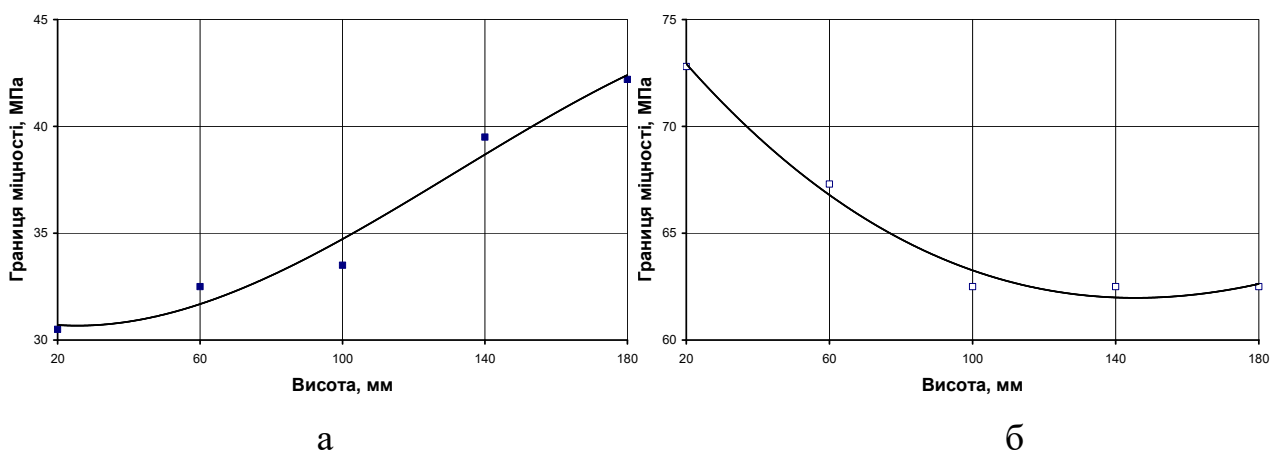


Рис. 1. Розподіл тимчасового опору руйнуванню функціональних шарів двомірного ЛКМ системи [СЧ300 – Ст3 – ЧХ3] по висоті литого зразка: а – сірий чавун марки СЧ300; б – жаро-, зносостійкий чавун марки ЧХ3

Графічна інтерпретація (рис. 1) результатів математичних розрахунків (табл. 1) дозволила авторам виконаної НДР з'ясувати, що по мірі збільшення висоти композитного виливка від 20 мм до 180 мм границя (короткочасної) міцності сірого чавуну марки СЧ300 поступово зростає від 30,5 МПа до 42,2 МПа, у той час коли та ж сама механічна характеристика хромистого жаро-, зносостійкого чавуну марки ЧХ3 монотонно спадає від 72,8 МПа до 62,5 МПа. Обидва матеріали грають роль функціональних шарів двомірного ЛКМ системи [СЧ300 – Ст3 – ЧХ3], про що докладно описано у науковій праці [1].

Внаслідок математичної обробки числового масиву розрахункових даних,

яка полягала у нелінійній апроксимації функціональних співвідношень фізичних величин, заданих у табличній формі (табл. 1), було виведено низку емпіричних рівнянь, що аналітично описують вплив висоти литого зразка на тимчасовий опір руйнуванню двомірного ЛКМ системи [СЧ300 – Ст3 – ЧХ3]. Виведені, таким чином, емпіричні рівняння, які мають вигляд поліноміальних залежностей 3 (третього) порядку, наведені нижче:

$$\sigma_{\sigma}^{СЧ300} = -3 \cdot 10^{-6} \cdot H_B^3 + 1,2 \cdot 10^{-3} \cdot H_B^2 - 5,47 \cdot 10^{-2} \cdot H_B + 31,348; \quad (3)$$

$$\sigma_{\sigma}^{ЧХ3} = -9 \cdot 10^{-7} \cdot H_B^3 + 1 \cdot 10^{-3} \cdot H_B^2 - 2,27 \cdot 10^{-1} \cdot H_B + 77,082. \quad (4)$$

де $\sigma_{\sigma}^{СЧ300}$, $\sigma_{\sigma}^{ЧХ3}$ – границя міцності сірого чавуну марки СЧ300 та жаро-, зносостійкого чавуну марки ЧХ3, відповідно, МПа;

H_B – висота литого зразка, мм.

Величина достовірності апроксимації (R^2) співвідношень фізичних величин для кожного із цих рівнянь є достатньою, і становить 0,9704 та 0,9865, відповідно.

Такий тип функціональних залежностей (рис. 1) обумовлений впливом гідро- та газодинаміки ЛГМ-процесу на розподіл таких дисперсних феросплавів як феросиліцій марки ФС75 й ферохром марки ФХ650А в об'ємі металічної ванни. Оскільки, залежність твердості, визначеної за шкалою Брінелля, композитного виливка від гідро-, газодинаміки ЛГМ-процесу достатньою мірою описана у науковій праці [5], то потреба пояснювати співвідношення (3), (4) відпадає.

Внаслідок поставленої у ФТІМС НАН України серії однофакторних експериментів було одержано низку цінних науково-технічних і практичних результатів. Здобуті, таким чином, експериментальні дані, які були покладені в основу проведених математичних розрахунків, дозволили авторам цієї НДР дійти попередніх висновків і визначитися їм у наступному:

а) тимчасовий опір руйнуванню функціональних шарів двомірного ЛКМ системи [СЧ300 – Ст3 – ЧХ3] змінюється по висоті литого зразка, що є результатом впливу гідро- та газодинаміки ЛГМ-процесу;

б) границя міцності сірого чавуну марки СЧ300, в середньому, становить 35,64 МПа, а хромистого жаро-, зносостійкого чавуну марки ЧХ3 – 65,52 МПа, що

є цілком прийнятним для даного способу лиття;

в) собівартість композитних виливків, у тому числі двомірного ЛКМ системи [СЧ300 – Ст3 – ЧХ3], отриманих шляхом інокулювання ливарних сталей і сплавів у «порожнині» ливарної форми за ЛГМ-процесом, є на 15,5...26,2 % нижчою собівартості придатного литва, одержаного традиційними методами, а економічний ефект [7], у першому наближенні, становить 10.557,45 грн/т;

г) успішні виробничі випробування дослідно-експериментальної партії литих зразків [1] започаткували виробництво ВДСВ у промислових масштабах.

Література

1. Небожак І.А. Інокулювання ливарних сплавів з використанням дисперсно-наповненої моделі, що газифікується: дис. ... канд. техн. наук: 05.16.04 / НАН України. ФТІМС. Київ, 2024. 303 с.
2. ДСТУ 2825-94. Розрахунки та випробування на міцність. Терміни та визначення основних понять.
3. Границя міцності: Вікіпедія. URL: https://uk.wikipedia.org/wiki/Границя_міцності (дата звернення: 27.11.2024).
4. Писаренко Г.С., Квітка О.Л., Уманський Е.С. Опір матеріалів: підручник / За ред. Г.С. Писаренка. Київ: Вища школа, 1993. 655 с.
5. Методичні вказівки до лабораторної роботи № 2 «Визначення твердості металів» з дисципліни «Технологія конструкційних матеріалів» освітньо-кваліфікаційного рівня «Бакалавр» за напрямками 6.050502 «Інженерна механіка», 6.050503 «Машинобудування» та 6.070106 «Автомобільний транспорт» денної і заочної форм навчання / Уклад.: Молчанов В.Ф., Музичка Д.Г., Часов Д.П. Дніпродзержинськ: ДДТУ, 2014. 18 с.
6. Небожак І.А., Дерев'янка О.В., Верховлюк А.М. Дослідження по отриманню двомірного литого композиційного матеріалу системи [СЧ300–Ст3–ЧХ3]. *Нові матеріали і технології в машинобудуванні*: тези доп. XV Міжнар. наук.-техн. конф. Київ: НТУУ «КПІ ім. Ігоря Сікорського», 2023. С. 246–247.
7. Небожак І.А. Інокулювання ливарних сплавів з використанням дисперсно-наповненої моделі, що газифікується: автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.16.04 / НАН України. ФТІМС. Київ, 2024. 28 с.