

Дорошенко В.С., Калюжний П.Б., Панащук О.С.

(ФТІМС НАН України, Київ)

**ПРОЕКТУВАННЯ ФУНКЦІОНАЛЬНО-ГРАДІЄНТНИХ МАТЕРІАЛІВ У
ВИЛИТИХ КОНСТРУКЦІЯХ**

E-mail: doro55v@gmail.com

Для функціонально-градієнтних матеріалів характерна відсутність чітких меж між компонентами та безперервна просторова зміна (градієнт) фізико-механічних властивостей. Аналогічні фізичні ефекти притаманні так званим «інтелектуальним матеріалам», до яких автори роботи [1] відносять матеріали і способи, що забезпечують ефект вибіркового зношування – самозагострювання різального пруга лезового інструменту (робочого органу), що полягає в рівномірному або вибіркового стиранні робочого різального пруга зі збереженням заданої геометрії початкової заточки. Цей ефект в певній мірі залежить від хімічного складу сплаву, з якого виготовлено інструмент, його мікроструктури, заданої геометрії різального пруга та її заточки, умов різання і властивостей оброблюваного матеріалу. Таким чином, сам інструмент в процесі експлуатації (різання) за зазначених умов забезпечує збереження геометрії різального пруга та тривалої працездатності. Прикладами практичного використання лезового інструменту, що потребує самозагострювання, є ножі для різання різноманітних матеріалів, лемеші плуга та долота чи диски борон для оброблення ґрунту, різальні диски бурякозбиральних комбайнів, бурового інструменту, стрілочасті лапи культиваторів [1, 2].

Матеріали і способи, що забезпечують ефект самозагострювання інструменту, наступні. Створення спеціального «розумного» конструктиву інструменту шляхом збільшення розмірів, найбільш активно схильних до зношування частин, наприклад, в передній частині плугових лемішів. При іншому підході, доцільно проводити нанесення твердих сплавів на найбільш вразливі ділянки інструменту, що знижує можливість зношення цих областей та інструменту в цілому. Можливе використання зносостійких пластин, що приклеєні або налютовані на тильній стороні леміша. Застосовується також лазерне, плазмове

або імпульсне електронно-променеве оброблення леза, яке зміцнює різальну частину й ускладнює процес зношування [1, 2]. Ефективним є використання біметалевих матеріалів для лемішів з приблизно однаковою кінетикою зношування носової та ріжучої частини. Самозагострювальне лезо виконують двошаровим. При цьому різальний шар виготовляють з більш зносостійкого матеріалу, а другий шар – з менш зносостійкого, який більшою мірою зношуючись, охороняє основний різальний шар від стирання. В результаті в процесі різання ріжучий шар трохи виступає над більш м'яким і забезпечує різання, в цілому зберігаючи свою задану форму і зношуючись меншою мірою, ніж в зазвичай прийнятому конструктиві [1, 2]. Тут можна привести аналогію з процесом достатньо ефективного функціонування різцевих зубів бобра, в яких більшою мірою зношується внутрішня їх сторона, що складається з менш твердого (ніж емаль фронтальної частини) дентину, склад якого відповідає гідроксиапатиту [1].

Отримання таких матеріалів в литих конструкціях нескладно реалізувати способом лиття за моделями, що газифікуються (ЛГМ) в ливарних формах з сипкого піску. Розглянемо, як можна застосувати для цього спосіб ЛГМ. Виготовлення форми при ЛГМ включає засипання в контейнер сухого піску, який завдяки плинності вільно обтікає разову модель з пінополістиролу, після чого проводять віброущільнення піску протягом 1-3 хв без будь-яких інших силових впливів. При такому формуванні нескладно в пісок помістити трубчасті штирі для подання в пісок води, як холодоагенту, як це описано в патенті 80928 України, або навіть створити умови подання води в пісок (за патентом 83921 України) з відкачуванням її разом з повітрям вакуумною системою форми, що включає пристрій відділення рідкого холодоагенту з відкачуваного повітря, крім того, з осадженням твердих часток з рідкого холодоагенту [3]. Цим самим створюються умови регулювання швидкості охолодження вилівка і, відповідно, регулювання його структуроутворення.

Відомі такі особливості структуроутворення при виливанні конструкцій в піщаних формах. Теплопровідність ливарних форм, які не містять зв'язувального компоненту (що традиційно при ЛГМ), досить низька, оскільки зерна

формуваального піску стикаються лише в окремих точках або близькі до стикування. З досить малої поверхні теплота передається лише теплопередачею або випромінюванням, тому теплопровідність такого формуваального матеріалу мала [4]. Зв'язувальний компонент ливарних форм, що знаходиться між зернами піску, відіграє роль теплових мостів та підвищує теплопровідність ливарної форми. Створення функціонально-градієнтних матеріалів запропоновано реалізувати завдяки використанню градієнтного значення теплопровідності матеріалу ливарної форми, нарощуючи ці значення введенням холодоагенту поблизу конкретної поверхні вилівка для прискорення її охолодження. На рис. 1 показано традиційні для ЛГМ приклади моделей і виливків, для яких у формі притаманні різні швидкості охолодження різних литих поверхонь.



а

б

в

г

Рис. 1. Кластери (кущі) моделей та виливків: а, б – моделі коронки для зуба ковша при виді збоку і зверху; в – виливки зуба; г – моделі зубчастої деталі

Поверхні виливків (рис. 1), наближені до стояка, і сам стояк нагрівають ком піску, що повільно охолоджується, як найбільш віддалений від зовнішньої поверхні форми, тоді як з протилежної сторони виливків іде більш інтенсивне їх охолодження, яке запропоновано підсилити введенням в пісок води (рис. 2). Воду в дозованій кількості слід подавати крізь патрубків 6 в трубчасту рамку 3 і вертикальні трубки 4 (з отворами), що встановлені навпроти певних стінок зуба.

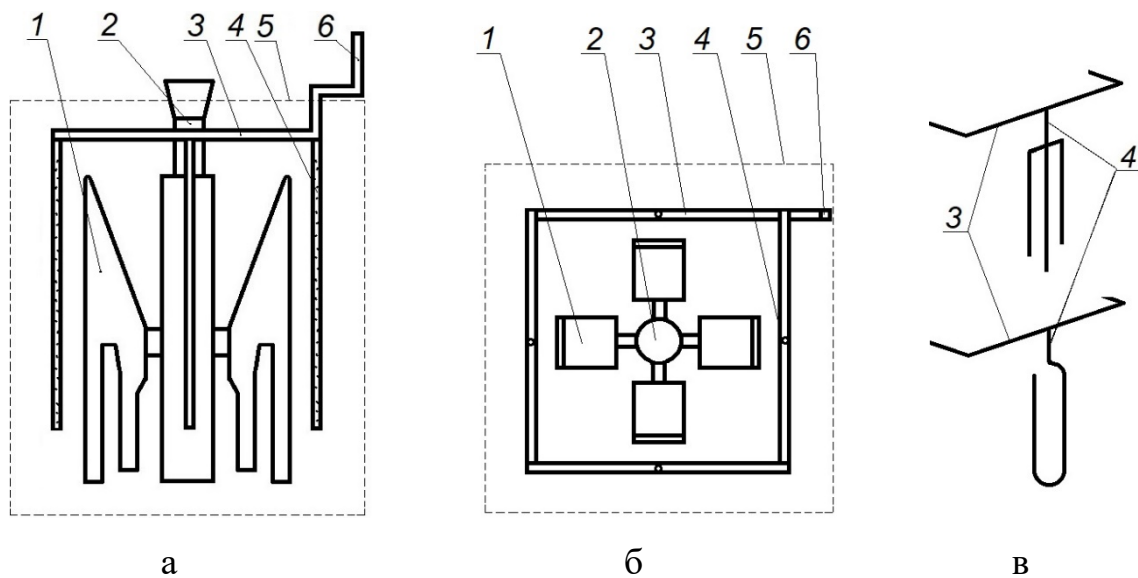


Рис. 2. Схема формування при ЛГМ в контейнерній формі кластера з чотирьох моделей (а – при виді збоку і б – зверху): 1 – модель зуба; 2 – модель стояка; 3 – трубчаста рамка; 4 – вертикальні трубки з отворами (4 шт., перфоровані); 5 – контур піщаної форми; 6 – заливний патрубок в рамку 3 і трубки 4; в – варіанти виконання перфорованих трубок 4

Для прискорення подачі води в форму можна в закритому бачку з водою, який під'єднано до патрубка 6, створити тиск повітря від компресора, або на час подачі води для її засмоктування включити вакуумування форми. Наприклад, раніше виконано такі дослідження [3] у формі із сухого кварцового піску після заливання її розплавом та охолодження циліндричного виливка діаметром 50 мм і масою 4 кг із сірого чавуну. Через 1 хв після заливання металу подавали 200 г води у форму крізь попередньо введена з боку верхньої поверхні форми металеву трубку на відстані близько 10 мм від виливка. Встановлено, що зволоження піску у близьких шарах до виливка до 3,3 % води від маси піску дає збільшення швидкості охолодження в початковий момент на 26 %. Однак, після випаровування води і переміщення її в холодні частини форми загалом за період охолодження протягом 50-55 хв після заливання металу таке зволоження збільшує швидкість охолодження виливка на 10,1 %.

Для охолодження залізовуглецевих сплавів у формі доцільно орієнтуватись на поширені традиційні види термообробки (ТО), що включають нагрівання до температури аустенізації (рис. 3 [5, 6]). На нашу думку, більшість видів ТО, що містять нагрівання та витримку вилівка для аустенізації, придатні для адаптації до процесу ЛГМ з подаванням води в пісок.

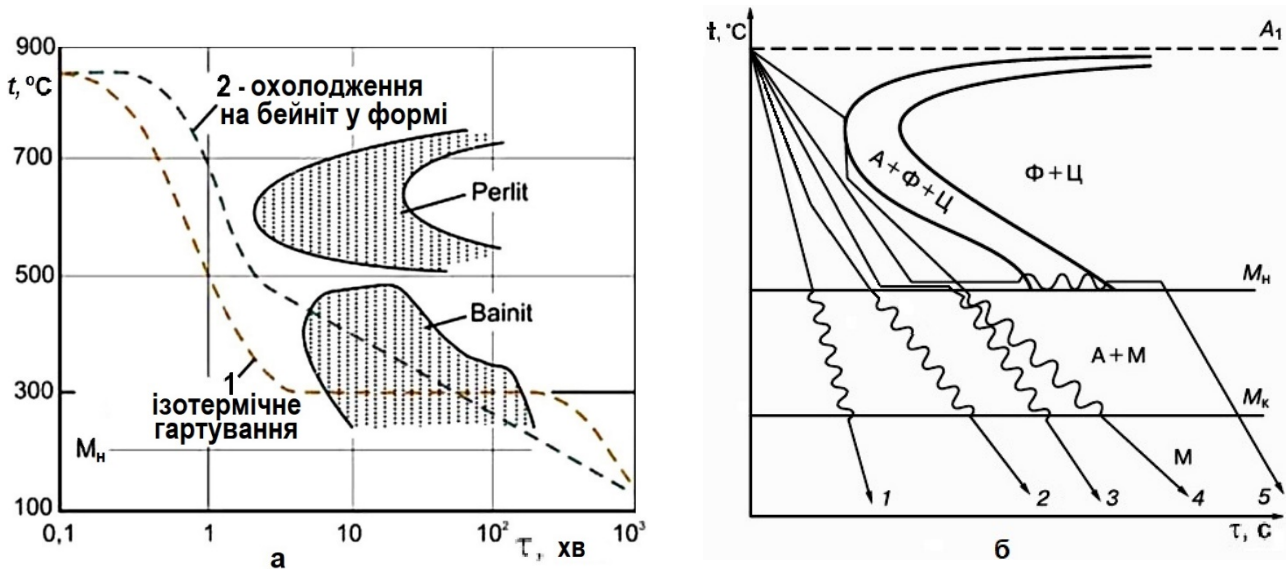


Рис. 3. Схеми охолодження (температура t – час τ): а – при охолодженні графітізованих чавунів [5], б – при гартуванні сталі [6]: 1 – безперервне гартування в одному охолоджувачі; 2 – переривчасте гартування в двох середовищах; 3 – ступінчасте гартування; 4 – «ідеальний» режим охолодження; 5 – ізо термічне гартування; Φ – ферит; А – аустеніт; Ц – цементит; М – мартенсит

Після затвердіння і короткого охолодження в піску форми для вилівка в аустенітному стані при температурах 850–1000 °С доступні для відпрацювання режими ТО (рис. 3) в ливарній формі методом дозованої подачі в неї води. З урахуванням, що до 80 % вилівоків із залізовуглецевих сплавів виготовляють в піщаних формах, такі способи ТО мають перспективу поширення. Наприклад, охолодження на бейніт у формі чи ізо термічним гартуванням (рис. 3, а) дозволяє отримання бейнітних структур графітізованих чавунів з твердістю до 550 НВ, порівняно з перлітно-феритною структурою з твердістю до 270 НВ (за даними проф. Марченка К.В., приведеними нами в статті [7]).

Таким чином, в результаті огляду способів виготовлення деталей для експлуатації в умовах різання на прикладі виливання (методом ЛГМ) зуба ковша екскаватора запропоновано одержання його градієнтної структури (по суті – методом ТО виливків у ливарній формі) за рахунок інтенсивного охолодження його заданої поверхні для підвищення її твердості водночас з конструюванням і формуванням у піску модельного кластера для сповільнення охолодження протилежної поверхні з отриманням меншої її твердості, що відповідає умовам самозагострювання зуба в умовах його експлуатації.

Література:

1. Cheiliakh O.P. and Cheiliakh Ya.O. Implementation of Physical Effects in the Operation of Smart Materials to Form Their Properties // Progress in Physics of Metals, 21, No. 3: 363–463 (2020). <https://doi.org/10.15407/ufm.21.03.363>.
2. Дорошенко В.С., Калюжний П.Б. Сучасні технології зміцнення робочих органів ґрунтообробних машин // Металознавство та обробка металів. – 2023. – №1. Т. 29 (105). – С. 34–45. <https://doi.org/10.15407/mom2023.01.034>.
3. Шинский О.И., Марукович Е.И., Дорошенко В.С., Калюжний П.Б. Регулирование свойств литых конструкций интенсификацией теплообмена в литейной форме с газифицируемой моделью // Литье и металлургия. – 2017. – № 4. – С. 60–67.
4. Минаев А.А., Ноткин Е.Б., Сазонов В.А. Вакуумная формовка. – М.: «Машиностроение». 1984. – 216 с.
5. Gabrisova Z., Brusilova A. Tepelne spracovanie: navody na cvicenia. Bratislava: SPEKTRUM STU, 2019. 134 s.
6. Дорошенко В.С. Способи охолодження виливків при проектуванні ЛТО-процесу, що взаємодоповнює технології лиття та термообробки // Процеси лиття. – 2020. – № 1. – С. 42–53. <https://doi.org/10.15407/plit2020.01.042>.
7. Дорошенко В.С. Предпосылки встраивания термообработки в процесс литья высокопрочного чугуна по газифицируемым моделям // Металл и литье Украины. – 2017. – № 6–7. – С. 10–16.