

*Кіщенко О.М.,
к.т.н. Сайдгарєєв Л.Н.,
Скідін І.Е.
(КНУ, Кривий Ріг, Україна, kisaljona@meta.ua)*

ОБҐРУНТУВАННЯ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПАРАМЕТРІВ ВИРОБНИЦТВА ЛИТИХ КУЛЬ, ЩО МЕЛЮТЬ

На основі комп'ютерного моделювання проаналізовано технологію литва куль, що мелють, діаметром 60 мм та визначено оптимальну конструкцію кокілю й необхідність застосування душирування, що дозволяє збільшити продуктивність виробництва зносостійких куль.

Ключові слова: *кулі, що мелють, литво, кокіль, комп'ютерне моделювання, твердість.*

На основани комп'ютерного моделирования проанализирована технология литья мелющих шаров диаметром 60 мм, определена оптимальная конструкция кокиля и необходимость применения душирования, что позволяет увеличить производительность производства износостойких шаров.

Ключевые слова: *мелющие шары, литье, кокиль, компьютерное моделирование, твердость.*

Проблема та її зв'язок з науковими і практичними завданнями. Здрібнювання матеріалів у кульових млинах є важливою операцією в технології виробництва рудних концентратів, будівельних та інших матеріалів. Зі збільшенням у загальному балансі руд, що видобуваються, міцних тонковкраплених різновидів та необхідністю їх тонкого помелу потреба у виробництві тіл, що мелють, на внутрішньому ринку України зросла до 350 тис. тонн на рік.

Матеріальні витрати на тіла, що мелють, у собівартості переділу складають 12–15 % [1], а витрати самих тіл на вітчизняних збагачувальних фабриках у два рази більші порівняно з передовими зарубіжними гірничо-збагачувальними комбінатами. Зменшити ці витрати можливо завдяки підвищенню зносостійкості та ударостійкості тіл, що мелють, з одночасним зниженням собівартості їх виробництва.

Окрім фізико-механічних параметрів подрібнюваних матеріалів стійкість тіл, що мелють, визначається матеріалом для їх виробництва та

технологією отримання. Саме технологічні особливості виробництва й зумовлюють макро- та мікроструктуру, твердість та об'ємну пористість.

Зусиллями вчених та інженерно-технічних працівників за останні роки досягнуто значних результатів у вирішенні задачі покращення властивостей тіл, що мелють: стійкість чавунних тіл до зношування збільшилось на 20–25 %. При цьому важливу роль в обґрунтуванні технологічних параметрів литва тіл, що мелють, відіграє комп'ютерне моделювання процесів заливки та кристалізації розроблюваних сплавів.

Аналіз досліджень і публікацій. До куль, що мелють, пред'являються дві взаємовиключні вимоги за спеціальними властивостями: висока зносостійкість та ударна в'язкість, яка визначає їх ударостійкість. Збільшення показника твердості, за яким прийнято оцінювати якість куль, досягається при їх литві в кокіль з синтетичного чавуну. Твердість вибіленого синтетичного чавуну, отримувана у верхніх шарах куль, виникає унаслідок зміни вмісту вуглецю та кремнію й помірній швидкості охолодження [2].

При литві у металеву форму підвищення твердості куль та одночасне збільшення готової продукції можливе внаслідок удосконалення конструкції кокілю. Роботи з оптимізації кокілю є трудомісткими, потребуючими значних витрат, тому для їх скорочення доцільно застосувати спеціалізоване програмне забезпечення.

Як свідчить досвід використання систем комп'ютерного моделювання ливарних процесів, технолог має можливість проаналізувати весь технологічний цикл отримання виливок як у декілька сотень грамів, так і багатотонних виробів [3-5]. Він у реальному часі отримує важливу інформацію про гідродинамічні, теплові та фазові процеси, які відбуваються при заповненні форми металом і подальшому твердінні, на підставі якої обирає метод заливки/живлення та сплав; відстежує зміну температурно-фазових полів процесу кристалізації; місця появи дефектів і процес їх формування; визначає оптимальне розташування виливки у формі, температури заливки, конструкцію та місцеположення ливникових систем тощо. Крім того, застосування систем комп'ютерного моделювання дозволяє на основі новітніх досягнень фундаментальних наук відпрацьовувати методологію моделювання, експериментально підтверджувати та удосконалювати теоретичні положення методів ливарного виробництва; забезпечує підвищення якості розробки нових виробів та способів їх отримання; сприяє зростанню продуктивності праці розробників та скороченню термінів проектування або оптимізації технології.

Невирішена частина загальної проблеми. Застосування кокілів відомих конструкцій при виробництві куль на кулеливарних машинах не дозволяє підвищити їх продуктивність, а заміна переважно використовуваних на підприємствах України машин типу МККК-1 на більш

нові та продуктивні потребує значних капітальних витрат. Тому з метою підвищення продуктивності та зменшення відсотку браку, зумовленого ливарними дефектами, особливостями технології та обладнання, зносом металевих оснащень, необхідно оптимізувати існуючу технологію отримання куль, що мелють.

Постановка задачі. У даній роботі вирішується задача обґрунтування на основі комп'ютерного моделювання технологічних параметрів отримання методом литва у кокіль куль, що мелють, які б забезпечили збільшення виробництва конкурентоздатної продукції.

Виклад матеріалу і результати дослідження. Визначення можливості удосконалення конструкції кокілю, яка б забезпечувала виготовлення удвічі більшої кількості виливок, здійснювалось на підставі результатів моделювання заливки сплаву та його кристалізації.

У САD-системі Компас-3D було розроблено декілька варіантів удосконаленої конструкції кокілю (для машини МККК-1) збільшеної зі 165 до 255 мм глибини, які передано у якості геометричної моделі форми для заливки в системі автоматизованого моделювання ливарних процесів LVMFlow. Діаметр верхнього живильника 30 мм не змінювався, що зумовлено постійним кутом нахилу каруселі.

У досліджах використовувався чавун такого хімічного складу: С – 3,2-3,6%; Si – 1,0-1,5%; Mn – 0,6-0,9%; P – до 0,5%; S – до 0,15%, що обумовлено необхідністю отримання високої рідкотекучості сплаву, значної твердості на поверхні кулі з цементитною структурою та більш пластичної перлітної структури у центральній зоні. Конструкцією кокілю передбачена одночасна заливка двох куль на одній ливниковій системі у вертикальному напрямі. Розміри живильників визначалися за умов отримання належної рідкотекучості при різних температурах кокілю.

При заливці металу в розігрітій кокіль через живильник куль верхнього ярусу з висотою 20 мм та живильник куль нижнього ярусу з висотою 24 мм й діаметром 14 мм верхні кулі заповнюються швидше нижніх (рис 1а), що призводить до невірному напрямку кристалізації та виникнення розгару стінок кокілю.

Наступна серія дослідів проводилась для конструкції кокілю з діаметром та висотою нижнього живильника 14 та 10 мм відповідно і незмінними геометричними розмірами верхнього. Висоту нижнього живильника знизили з метою швидшого заповнення нижніх куль металом. Моделювання процесу заливки показало (рис. 1б), що заповнення нижніх куль відбувається швидше верхніх, кристалізація йде у вірному напрямку, але, як і в попередньому досліді, спостерігається розгар стінок кокілів.

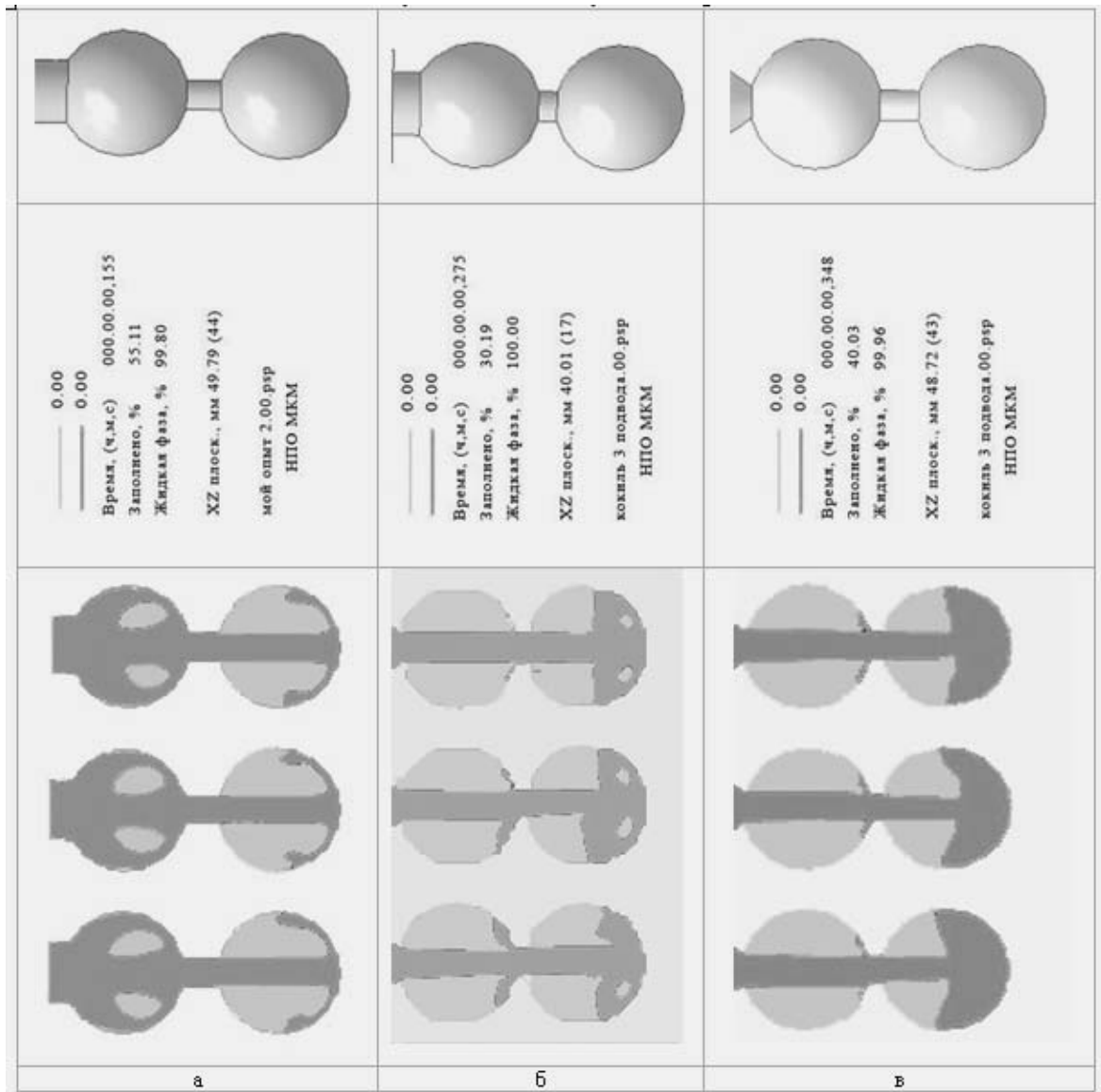


Рисунок 1 – Моделі форм виливок з різними параметрами елементів ливникової системи (зверху) та фрагменти процесу заливки у кокіль першого (а), другого (б) та третього (в) варіанту конструкції (знизу).

При розробці третьої конфігурації ливникової системи заливки (рис. 2) нижній живильник виконали зі збільшеним діаметром 16 мм та довжиною 10 мм, а верхній – у вигляді «лійки» з нижнім діаметром 16 мм. Також було розроблено ребра у нижній частині кокілю для збільшення площі поверхні його взаємодії з повітряно-краплинною охолоджувальною системою. Результати моделювання показали рівномірну кристалізацію куль верхнього та нижнього ярусів (рис. 1в) й відсутність локального перегріву кокілю. Отже, третю конфігурація ливникової системи можна вважати оптимальною, і саме для цієї конструкції кокілю проводились подальші дослідження.

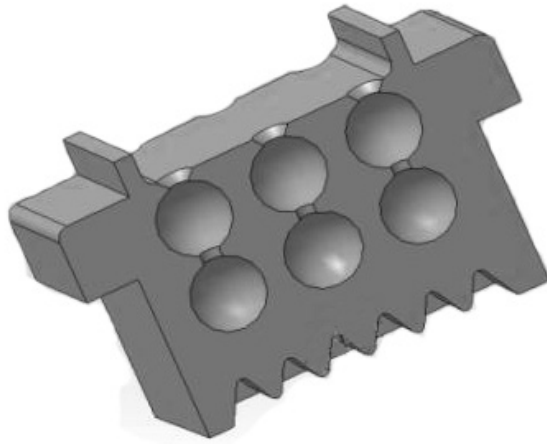


Рисунок 2 – 3D-модель удосконаленого кокілю

У наступній серії експериментів з метою уникнення ливарних дефектів, таких як недоливи та гарячі тріщини, визначався оптимальний температурний інтервал заливки куль з одного ковшу. При температурах 1350-1400 °С у кулях нижнього ярусу по усій довжині від центру до живильника спостерігається усадочна пористість 1,56 % (рис. 3а) з найбільшими значеннями на відстані 3 та 15 мм від центру. У кулях верхнього ярусу, окрім усадочної пористості, спостерігаються значні усадочні раковини на поверхні. При зменшенні температури до 1300-1350 °С пористість зменшується (1,25 %) і зосереджується переважно у верхніх шарах куль (рис. 3б). Заливка при менших температурах недоцільна, оскільки рідкотекучість чавуну значно знижується і призводить до недоливу куль нижнього ярусу. Таким чином, температурний інтервал заливки чавуну зазначеного хімічного складу 1300-1350 °С є оптимальним.

По обґрунтованим за результатами моделювання параметрам технології виготовлено серію куль та зроблено оцінку твердості виливок з верхнього та нижнього ярусів. Визначення твердості виконувалось на різній відстані від поверхні кулі до центральної її частини (табл. 1).

Таблиця 1 – Розподіл твердості в кулі

Відстань від поверхні кулі, мм	№ кулі та її твердість, HRC					
	верхні			нижні		
	1	2	3	1	2	3
2,5	41,0	43,4	42,1	45,6	48,5	47,4
7,5	40,1	42,5	41,3	44,9	46,7	45,2
12,5	39,9	41,2	40,9	43,6	44,3	43,9
17,5	37,6	38,0	40,0	42,1	43,4	42,8
27,5	35,2	36,8	39,6	41,0	41,4	39,8

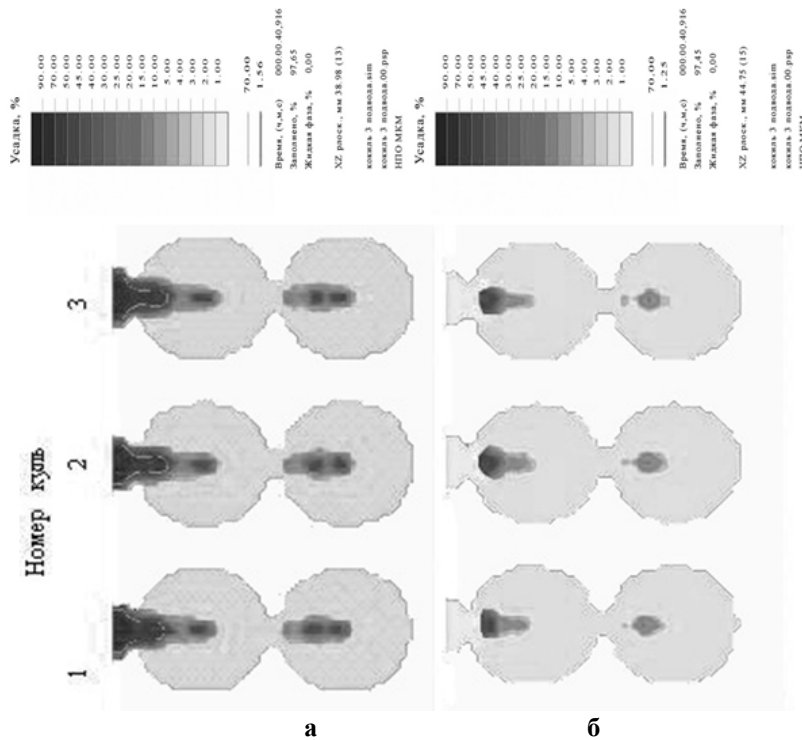


Рисунок 3 – Кристалізація куль в інтервалі температур заливки 1350-1400 °С (а) та 1300-1350 °С (б)

Як видно, верхні кулі мають меншу твердість. Твердість на поверхні куль є максимальною, її коливання для куль верхнього ярусу спостерігається у межах від 41,0 до 43,4 HRC, а нижнього – від 45,6 до 48,5 HRC. У центрі куль верхнього та нижнього ярусу твердість змінюється відповідно у межах 35,2-39,6 та 39,8-41,4 HRC. Отже, твердість усіх куль зростає від центру до поверхні, як і потребують експлуатаційні характеристики.

Висновки та напрями подальших досліджень. Сучасний підхід до розробки технологічного процесу отримання якісних виливків, який ґрунтується на використанні комп'ютерної техніки та спеціалізованих програмних комплексів, забезпечує покращення якості, збільшення виходу придатної продукції та зменшення вартості оптимізованого процесу литва. Обґрунтована за результатами моделювання конструкція кокілю забезпечує збільшення продуктивності у два рази, при збереженні необхідних споживчих властивостей. Подальші дослідження спрямовані на розробку технології виробництва кокілів запропонованої конструкції, які б забезпечили підвищення техніко-економічних показників роботи кулеливарної машини МККК-1.

Бібліографічний список

1. Несвижский О. А. Производство мелющих тел для шаровых мельниц / Несвижский О. А. М. : Машигиз, 1961. – 149 с.

2. Рябов О.Ф. Мелющие шары из легирующего чугуна / О.Ф. Рябов // Горный Журнал. – 1987. – №1. – С. 17–18.

3. Кривенков И. В. Применение системы LVMFlow в магнитогорском ЗАО «Механоремонтный комплекс» / И. В. Кривенков, Е. Н. Осипов, В. В. Турищев // CADmaster. – 2007. – №39/4. – С. 46–48; – Режим доступа к журн. : http://www.cadmaster.ru/magazin/articles/cm_39_lvmflow.html

4. Моделирование процесса затвердевания крупногабаритных отливок, получаемых методом ЛВМ / [А. С. Грибанов, Г. М. Кувшинова, В. С. Кучеренко, и др.]. // CADmaster. – 2006. – №4. – С. 48–50; – Режим доступа к журн. : http://www.cadmaster.ru/magazin/articles/cm_34_lvmflow.html

5. Девятов С.В. ProCAST – виртуальное моделирование литейных технологий. Для тех, кто привык быть впереди / С. В. Девятов // CADmaster. – 2006. – №5. – С. 36–43; – Режим доступа к журн. : http://www.cadmaster.ru/magazin/articles/cm_35_procast.html

Рекомендовано до друку д.т.н., проф. Заблодським М.М.