

УДК 621.785.53

©Костик К.О.

## ЗМІЩЕННЯ ПРЕС-ФОРМ ЛИТТЯ ПІД ТИСКОМ ПО НАНОТЕХНОЛОГІЇ

### 1. Вступ

В сучасних умовах ринкової економіки висока конкурентоспроможність продукції може бути забезпечена в першу чергу за рахунок постійного поліпшення її якості, зниження витрат на її виготовлення і вдосконалення способів її отримання. Ливарне виробництво належить до найважливіших галузей машинобудування, будучи одночасно однією з найбільш трудомістких і енергоємних галузей промисловості. Це обумовлено, зокрема, великою складністю процесів, високою вартістю матеріалів, обладнання та ливарної оснастки, що застосовуються для виготовлення виливків. В зв'язку з цим зниження витрат на виготовлення виливків є актуальною задачею.

Лиття під тиском є одним з найбільш перспективних способів одержання литих заготовок. Отримання виливків методом лиття під тиском доцільно в тому випадку, якщо їх виробництво носить крупносерійний характер. Це пов'язано з високою собівартістю даного виду лиття. Саме висока собівартість виготовлення виливків стримує більш широке застосування такого прогресивного способу, яким є лиття під тиском.

Прес-форми застосовують при литті під тиском металів і полімерних матеріалів, лиття по виплавлених моделях, пресуванні полімерних матеріалів. Розрізняють безліч видів прес-форм: ручні, напівавтоматичні і автоматичні; знімні та стаціонарні; з горизонтальною і вертикальною площинами роз'єму; з однією або кількома площинами роз'єму.

Прес-форма складається з нерухомої частини (матриці), і рухомої частини (пуансона), формуючі порожнини яких є зворотним (негативним) відбитком зовнішньої поверхні заготовки. В одній прес-формі може одночасно формуватися кілька деталей (багатомісні форми). Підведення матеріалу до формуючої порожнини здійснюється через ливникову систему: центральний, розводящий і впускні литники, а знімання готового виробу - за допомогою системи виштовхування. Залежно від матеріалу і вимог до одержуваної заготовки у формі підтримують певний температурний баланс. Для регулювання температури форми в основному використовують воду, пропускаючи її через канали охолодження. Через відносно складного процесу виготовлення і високу вартість прес-форм, їх використання в основному характерно для серійного і масового виробництва [1].

Прес-форма лиття під тиском працює в умовах жорстких циклічних температурно-силових впливів та інтенсивного динамічного фізико-хімічної взаємодії з алюмінієвим розплавом. У зв'язку з цим, до сталей, з яких виготовляються найбільш відповідальні (формуєтворюючі та які контактують з рідким розплавом) деталі прес-форм, пред'являються високі вимоги по теплостійкості, термостійкості та корозійної стійкості.

### 2. Аналіз літературних даних та постановка проблеми

Всі формотворчі деталі прес-форм при роботі піддаються складному силовому, тепловому і хімічному впливу розплаву, мастильних і охолоджувальних матеріалів. Матеріали формотворчих деталей не повинні вступати у фізико-хімічну взаємодію з розплавом, повинні володіти високим опором термоциклічним навантаженням, високою твердістю, міцністю і міцністю при нагріванні, малим коефіцієнтом термічного розширення, добре оброблятися, мало деформуватися при термічній обробці. Такими властивостями володіють спеціальні сталі, наприклад, 3X2B8Ф, 4X5MФС та ін., леговані вольфрамом, хромом, нікелем, молібденом, ванадієм. Такі сталі використовують для виготовлення формотворчих деталей прес-форм для лиття алюмінієвих, магнієвих, мідних, цинкових сплавів. Ті ж деталі при литті сталі і титану виготовляють з молібдену та його сплавів, а також їх спеціальних неметалевих матеріалів. Для додання необхідних службових властивостей формотворчі деталі прес - форм піддають термічній і хіміко-термічній обробці – низькотемпературному ціануванню на глибину 0,05–0,2 мм. Після гартування і відпуску вони повинні мати твердість на поверхні HRC 58–62.

Конструктивні деталі прес-форм (плити, обойми та ін.) виготовляють з конструкційних сталей 35, 40, 40X, 45. Вони піддаються поліпшувальній термообробці, а твердість їх поверхні повинна становити HRC 30–34. Деталі, що працюють в умовах зносу (виштовхувачі, замки повзунів, напрямні втулки і колонки тощо) виготовляють зі сталей У8А і У10А з твердістю HRC 48–52 [2].

Хіміко-термічна обробка, при якій здійснюється зміцнення поверхні деталей, є найбільш ефективним та розповсюдженим методом підвищення стійкості деталей, які працюють в складних умовах випробування найвищих напружень від зовнішніх сил, що відповідають за зародження і розвиток втомного та корозійного руйнування і зносу.

Останнім часом все більше уваги надається тому, як саме параметри хіміко-термічної обробки та склад насичувального середовища впливають на формування і властивості дифузійного шару сплавів. Це пов'язано з необхідністю розробки нових, більш вигідних з економічної точки зору способів зміни властивостей поверхневих шарів деталей. Таким чином, серед нових процесів дифузійного насичування все більше значення має борування [3–6].

Процес борування здійснюється з порошків, розплавів солей і газового середовища залежно від форми, розмірів і кількості деталей, що піддаються боруванню, а також від наявності необхідного устаткування. Кожен з названих технологічних процесів борування має свої переваги в тих або інших умовах застосування, а тому не можна віддати перевагу якому-небудь одному способу насичення [7–9].

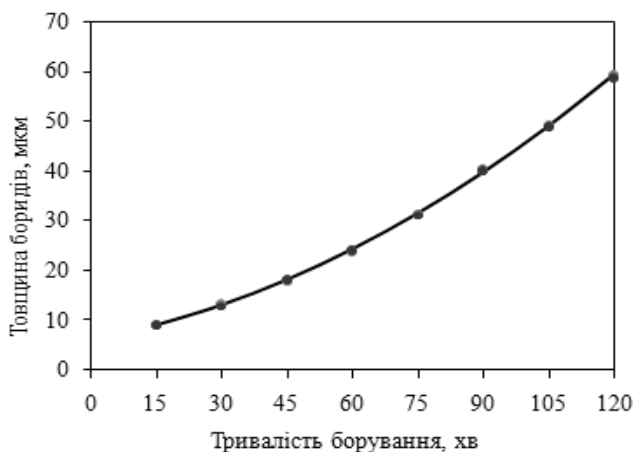
### 3. Мета дослідження

Метою роботи є розробка простої для використання та енергетично доцільної нанотехнології борування деталей з легованої сталі, яка спрямована на скорочення тривалості хіміко-термічної обробки при одержанні високоякісних боридних шарів, що забезпечують необхідні експлуатаційні властивості прес-форм лиття під тиском.

#### 4. Експериментальні дані та їх обробка

Матеріалом дослідження є легована сталь 4Х5МФС. Для борування в пастах застосовувалася суміш на основі нанодисперсних борвмісних речовин [10]. Нагрівання здійснювали в камерній печі тривалістю від 15 до 120 хвилин.

За експериментальними даними отримано залежність товщини боридів від тривалості борування для сталі 4Х5МФС (рис. 1). З рисунку видно, що товщина боридного шару збільшується з тривалістю процесу.



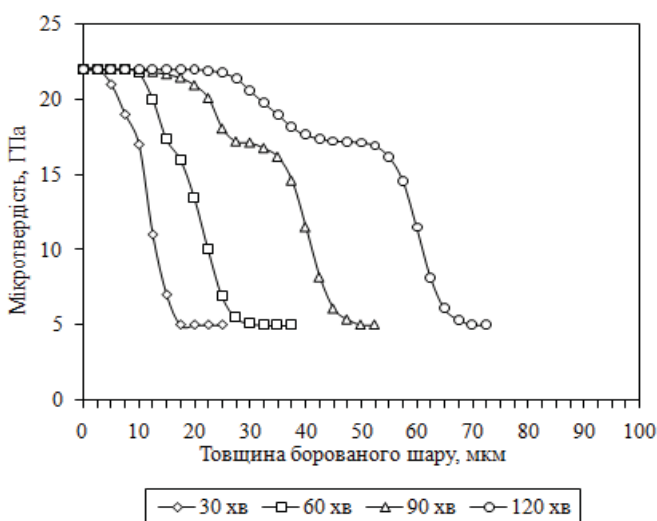
**Рис. 1** – Залежність товщини боридів від тривалості борування сталі 4Х5МФС

Апроксимацією експериментальних даних методом найменших квадратів отримано рівняння з перевіркою адекватності отриманої моделі за критерієм Фішера, яке дозволяє прогнозувати товщину борованого шару для сталі 4Х5МФС в діапазоні тривалості від 15 до 120 хв.:

$$y = 0,0023\tau^2 + 0,1653\tau + 6,0059,$$

де  $y$  – товщина борованого шару,  $\tau$  – тривалість борування.

Твердість поверхневого шару також залежить від складу сталі, але в значно меншому ступені (рис. 2). Це і зрозуміло, оскільки твердість самих боридів (FeB, Fe<sub>2</sub>B), які є основними фазами боридних шарів від вмісту вуглецю і легувальних елементів майже не залежить. Мікротвердість підтверджує наявність двох боридів, а саме FeB з твердістю 22,5 ГПа і Fe<sub>2</sub>B – 18 ГПа. Висока міцність бориду пояснюється складним типом зв'язку в цих з'єднаннях. Наявність єдиного 2p-електрона на зовнішній орбіті атома бору не тільки збільшує міцність зв'язку між атомами бору і металу, але і зумовлює наявність ковалентного зв'язку між атомами бору. Атоми бору зв'язані між собою в ланцюжки FeB.



**Рис. 2** – Розподіл мікротвердості в дифузійних шарах інструментальної штампової сталі 4Х5МФС після борування протягом різної тривалості обробки

Характер кривих (рис. 2) при тривалості борування 30 та 60 хв. однаковий, але товщина бориду збільшується. При подальшому підвищенні тривалості обробки, характер кривих змінюється, з'являється додаткова горизонтальна ділянка на рівні 18 ГПа. Це пояснюється формуванням прошарку другого бориду – Fe<sub>2</sub>B. Чим більша тривалість борування сталі 4Х5МФС, тим більша товщина борованого шару. Поверхнева твердість при збільшенні тривалості процесу не змінюється.

Таким чином, для спрощення

технологічного процесу пропонується поєднати борування з гартуванням для сталі 4X5МФС. Тривалість борування обирається відповідно з вимогами до деталей.

Рентгеноструктурний фазовий аналіз сталі 4X5МФС підтвердив наявність двох боридів FeB і Fe<sub>2</sub>B.

Коефіцієнт дифузії бору в загальному вигляді можна записати [4]:

$$D_B = D_o \exp\left(-\frac{Q}{RT}\right), \quad (1)$$

де  $R$  – газова постійна, Дж/моль·К,

$D_o$  – коефіцієнт дифузії при нескінченно великій температурі, см<sup>2</sup>/с,

$Q$  – енергія, яку необхідно затрачувати в процесі дифузії з одного положення рівноваги в кристалічній ґратці в інше, кал/г·атом.

Температурна залежність коефіцієнта дифузії бору в  $\alpha$ - і  $\gamma$ -залізі описується наступними виразами [5]:

$$D_B^\alpha = (7,9 \pm 2,3) \cdot 10^{-5} \exp\left(-\frac{67 \pm 5}{RT}\right), \text{ см}^2/\text{с} \quad (2)$$

$$D_B^\gamma = (5,7 \pm 1,8) \cdot 10^{-3} \exp\left(-\frac{23 \pm 4}{RT}\right), \text{ см}^2/\text{с} \quad (3)$$

Товщина борованого шару визначається по формулі:

$$h = \sqrt{2 \cdot D_B \cdot \tau}, \text{ мкм} \quad (4)$$

З формули 4, знаючи експериментальні дані товщини шару і варіюючи час нагріву при пічному нагріванні, можна знайти коефіцієнт дифузії бору для борування сталі 4X5МФС:

$$D_B = \frac{h^2}{2 \cdot \tau}. \quad (5)$$

Результати розрахунків зміни коефіцієнта дифузії бору представлені на рис. 3. З отриманих даних видно, що зі збільшенням тривалості часу борування від 15 до 120 хв. коефіцієнт дифузії бору збільшується, що приводить до інтенсивного зростання борованого шару на сталі.

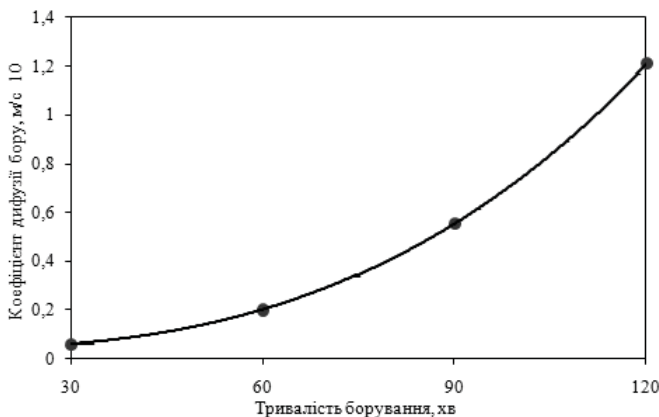


Рис. 3 – Зміна коефіцієнта дифузії бору при пічному нагріванні сталі 4X5МФС

Апроксимацією експериментальних даних поліномом третього ступеня отримано рівняння з достовірністю апроксимації  $R^2 = 1$ , яке дозволяє прогнозувати коефіцієнт дифузії борованого шару для сталі 4X5МФС в діапазоні тривалості від 30 до 120 хв.:

$$D = 0,0139\tau^3 + 0,0238\tau^2 - 0,0273\tau + 0,0483.$$

**Висновки**

Розроблена проста для використання та ефективна нанотехнологія борування деталей зі сталей, яка скорочує тривалість хіміко-термічної обробки у 2–3 рази при одержанні високоякісних боридних шарів, які значно підвищують зносостійкість деталей прес-форм лиття під тиском.

**Список використаних джерел:**

1. Беккер, М. Г. Литьё под давлением / М. Г. Беккер, М. Л. Заславский, Ю. Ф. Игнатенко. – М. : Машиностроение, 1998. – 250 с.
2. Баландин, Г. Ф. Специальные виды литья / Г. Ф. Баландин, Ю. А. Степанов. – М. : Машиностроение, 1983. – 374 с.
3. Костик, В. О. Формирование микроструктуры борированного слоя на поверхности углеродистой конструкционной и инструментальной сталях из обмазок при печном нагреве / В. О. Костик, О. В. Сапуцкая, Е. А. Костик // Восточно-Европейский журнал передовых технологий. – 2005. – № 5/1 (17). – С. 63–68.
4. Райцес, В. Б. Химико-термическая обработка деталей / В. Б. Райцес, В. М. Литвин. – К. : Техніка, 1980. – 152 с.
5. Лахтин, Ю. М. Химико-термическая обработка металлов : учебное пособие для вузов / Ю. М. Лахтин, Б. Н. Арзамасов. – М. : Металлургия, 1985. – 256 с.
6. Kulka, M. The influence of carbon content in the borided Fe-alloys on the microstructure of ironborides / M. Kulka, A. Pertek, L. Klimek // Mater. Charact. – 2006. – Vol. 56(3). – P. 232–240.
7. Genel, K. Kinetics of boriding of AISI W1 steel / K. Genel, I. Ozbek, C. Bindal // Material Science and Engineering A. – 2003. – Vol. 347(1–2). – P. 311–314.
8. Stergioudis, G. Formation of boride layer on steel substrates [Текст] / G. Stergioudis // Cryst. Res. and Technol. – 2006. – Vol. 41 (10). – P. 1002–1004.
9. Sen Saduman. An approach to kinetic study of borided steels / Sen Saduman, Sen Ugur, Bindal Cuma // Surface and Coating Technologies. – 2005. – Vol. 191(2–3). – P. 274–285.
10. Пат. 33654 Україна, МПК<sup>8</sup> С 23 С 8/00. Склад для борування сталевих виробів / О. О. Павлюченко, В. О. Костик, К. О. Костик. – № u200800226 ; заявл. 04.01.2008 ; опубл. 10.07.2008, Бюл. № 13.

**Костик К.О.** «Зміцнення прес-форм лиття під тиском по нанотехнології».

Запропонована нова проста для використання та енергетично доцільна технологія борування виробів з легованої сталі 4Х5МФС, яка спрямована на скорочення тривалості хіміко-термічної обробки при одержанні високоякісних боридних шарів, які забезпечують необхідні експлуатаційні властивості прес-форм лиття під тиском.

**Ключові слова:** прес-форма, борування, легована сталь, дифузійні шари, мікротвердість.

**Костик Е.А.** «Упрочнение пресс-форм литья под давлением по нанотехнологии».

Предложена новая простая в использовании и энергетически целесообразная технология борирования изделий из легированной стали 4X5MΦC, направленная на сокращение длительности химико-термической обработки при получении высококачественных борированных слоев, которые обеспечивают необходимые эксплуатационные свойства пресс-форм литья под давлением.

**Ключевые слова:** пресс-форма, борирование, легированная сталь, диффузионные слои, микротвердость.

**Kostyk K.O.** “Hardening of pressure diecasting press-formson nanotechnologies”.

A new easy-to-use and energy-appropriate boriding technology of products of alloy steel 4X5MΦC, aimed at reducing the duration of chemical-thermal processing upon receipt of high-quality boriding layers that provide the necessary operational properties of pressure die casting press-formson.

**Key words:** press-form, boriding, alloy steel, diffusion layers, microhardness.

Стаття надійшла до редакції 2 грудня 2013 р.