

УДК 621.735.32:669.131

Гусачук Д. А.
Парфентьева І. О.
Савчук П. П.

ДЕФОРМУВАННЯ ВИСОКОМІДИСТИХ ЧАВУНІВ В УМОВАХ ВСЕБІЧНОГО НЕРІВНОМІРНОГО СТИСНЕННЯ

Використання пластичної деформації при отриманні виробів із звичайних і легованих чавунів є актуальним питанням в практиці обробки металів тиском [1, 2]. У ряді випадків таку задачу можна вирішити спеціальним легуванням чавунів при отриманні виливок, а також використанням процесів обробки тиском, в яких закладений ефект всебічного нерівномірного стиснення (зокрема пресування).

Метою роботи є розкриття особливості пластичного деформування високомідистих чавунів з компактним графітом в умовах всебічного нерівномірного стиснення, а також встановити вплив цього процесу на структуру і властивості виробів, отриманих способом пресування.

У роботі використовувалися леговані міддю чавуни, в яких високомідиста фаза [3] на основі міді (ε -фаза) виділяється у вигляді дрібних включень різної морфології, а також здатна формувати механічну суміш ($\Gamma + \varepsilon$). Причому остання структурна складова має значні розміри і кулясту форму, в зв'язку з чим досліджувані чавуни можна віднести до типових литих композиційних матеріалів (ЛКМ) ендегенного походження [4]. Вміст міді в чавунах коливався в межах 6,0...10,0 % по масі (Cu-чавуни). Такі сплави ефективно працюють в умовах тертя ковзання та можуть бути потенційними заміниками антифрикційних бронз [5]. Наявність рівномірно розподілених включень $\Gamma + \varepsilon$ (рис. 1), розмірами порядку 200 мкм дозволяє значно покращити триботехнічні характеристики отриманих композитів.

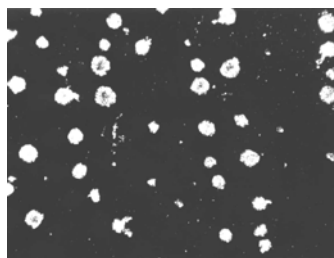


Рис. 1. Макроструктура виливок високомідистого чавуну (8...10 % Cu), $\times 20$ (в косому освітленні)

З метою підвищення запасу пластичності виливки піддавали ступінчастому відпалу ($900\text{ }^\circ\text{C} \rightarrow 700\text{ }^\circ\text{C} \rightarrow T_{\text{кит}}$) для отримання феритної структури металеві матриці. Режим відпалу підбирали так, щоб в структурі високомідистих чавунів кількість перліту не перевищувала 10 % від загального об'єму. При цьому встановлено, що присутність кулястих включень $\Gamma + \varepsilon$, їх морфологія та характер розподілення зберігаються. Крім того, такий відпал дозволяє збільшити кількість трибофаз (графіт і ε -фаза) внаслідок зменшення розчинності вуглецю і міді в металевій матриці. Це гарантує підвищення антифрикційних властивостей феритних високомідистих чавунів.

Поведінку отриманих ЛКМ при пластичному деформуванні вивчали на основі залежностей «напруження – деформація» (« σ – ε ») отриманих за умов всебічного нерівномірного стиснення. Процес деформування виконували шляхом осадки циліндричного зразка чавуну, поміщеного в пластичну об'єм (сталь 20). При цьому за характеристику напруженого стану в зразку було взяте узагальнене напруження. За методикою [6] таке напруження, назване приведеним напруженням σ_i' , визначається за умов суміщеної осадки крихкого зразка

в пластичній оболонці (рис. 2). Це напруження кількісно характеризує напружений стан зразка і по суті є октаедричним тангенціальним напруженням, а тому визначає здатність матеріалу чинити опір зсуву:

$$\sigma_i' = \frac{3}{\sqrt{2}} \tau_i'$$

При суміщеному осаджуванні чавунного зразка з пластичною обоймою, матеріал останньої створює бічний тиск $p = \sigma_1 + \sigma_2$. Це дозволяє формувати в матеріалі зразка схему напружено-деформованого стану, яка відповідає всебічному нерівномірному стисненню. Як відомо така схема НДС властива технологічним процесам пресування.

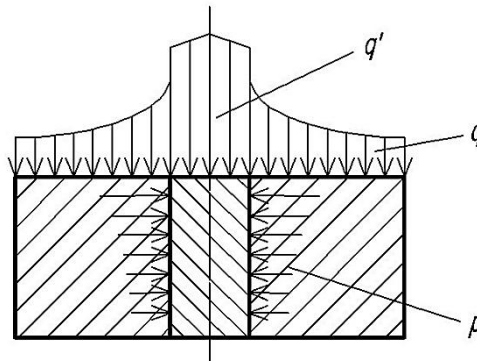


Рис. 2. Схема розподілу тиску на торцях зразка та обійми

Для циліндричної системи координат повне зусилля стискання обійми з зразком можна представити у вигляді суми інтегралів:

$$P = \int_0^{a_1} q' 2\pi r dr + \int_{a_1}^{b_1} q 2\pi r dr ,$$

де q та q' – інтенсивність розподілу тисків на торцевій поверхні обійми та зразка;
 a_1 та b_1 – радіуси зразка та обійми.

Приймаючи, що деформації та напруження в обіймі та зразку розподілені рівномірно, можна записати вирази для q та q' :

$$q = \sigma_i e^{\left(\frac{2f(b_1-r)}{h}\right)},$$

$$q' = (p + \sigma_i') e^{\left(\frac{2f(a_1-r)}{h}\right)},$$

де σ_i – напруження матеріалу обійми;

σ_i' – приведені напруження;

f – коефіцієнт тертя;

h – висота конструкції «обойма – зразок».

Радіуси обійми та зразка в момент осаджування визначаються з умови постійності об'єму:

$$b_1 = \frac{b}{\sqrt{1-\varepsilon}}, \quad a_1 = \frac{a}{\sqrt{1-\varepsilon}},$$

де b та a – початкові радіуси обійми та зразка;

ε – ступінь осадки.

Підставляючи вирази для q та q' в рівняння для повного зусилля та проводячи інтегрування можна отримати вираз для приведенного напруження:

$$\sigma'_i = \sigma_i \left(1 + e^{f(\alpha-\beta)} + \frac{K+1+f\alpha(1-f\beta)e^{f(\alpha-\beta)}}{e^{f\beta} - (1-f\beta)} \right),$$

де α та β – числа, які ідентифікують ступінь спотворення об'єми та зразка;
 K – коефіцієнт.

Числа α та β визначаються за формулами:

$$\alpha = \frac{2b}{h_0(1-\varepsilon)^{1,5}}, \quad \beta = \frac{2a}{h_0(1-\varepsilon)^{1,5}}.$$

Коефіцієнт K визначається:

$$K = \frac{2Pf^2}{\sigma_i \pi h^2}.$$

Для використаної в дослідженнях методики співвідношення головних напружень буде постійно змінюватись. Тому при вивченні деформації досліджуваних чавунів, для характеристики напруженого стану, що відповідає певному рівню механічних параметрів, є доцільним визначення залежності зміни коефіцієнта співвідношення головних напружень ($m = \sigma_3/\sigma_2$) від ступеня відносної деформації. При побудові залежностей $m = f(\varepsilon)$, враховувались значення торцевого тиску q' в центрі чавунного зразка та на його бічній поверхні (при $r = a_1$):

$$m = \frac{\left(p + \sigma'_i \right) e^{\left(\frac{2fa_1}{h} \right)}}{p}.$$

Підвищення концентрації міді в чавуні до рівня, що значно перевищує розчинність її в твердих розчинах заліза, дозволяє змінити природу сприйняття пластичної деформації при холодному деформуванні. Це проявляється в значній зміні характеру пластичної деформації високомідного чавуну в порівнянні з звичайними чавунами (ВЧ45 з феритною матрицею). Ресурс пластичності високомідистих чавунів підвищується (рис. 3). З графіку видно, що для досліджуваних чавунів з'являється зона інтенсивної пластичної деформації, з огляду на що стає зрозумілим ефективність цільового деформування такого матеріалу для отримання конкретного виробу. Необхідне зміцнення матеріалу виробу можна досягнути підвищенням ступеня пластичної деформації. Запізнення ділянки деформаційного зміцнення розширює проміжок технологічної пластичності матеріалу при його обробці тиском. В той же час, наступне, за цим проміжком, деформаційне зміцнення гарантує достатній запас міцності при експлуатації виробу.

Причиною підвищення пластичності Cu -чавунів є реалізація особливого механізму деформації, який ґрунтується на взаємодії фаз з різними механічними параметрами: металева матриця (Fe-C-Si) + C(графіт) + ε -фаза (бронза). Структурними дослідженнями встановлено, що на початку деформування значну частину деформації акумулюють ε -фаза та сфероїди $\Gamma + \varepsilon$. Спотворення металевої матриці (α -фази) структурно не виявляється. Це явище було покладене в основу розробки процесу пресування таких композитів з метою отримання деталей для вузлів тертя.

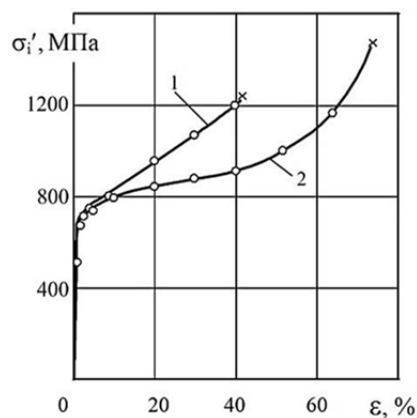
Процес пресування здійснювали при кімнатній температурі на гідропресі з використанням оснащення, що дозволяє отримувати як суцільні, так і порожнисті заготовки різних діаметрів.

З численних дослідів була встановлена одна з відмінних особливостей пресування високомістих чавунів: в процесі деформації поверхня інструменту і заготовки покривалась тонким шаром міді. При цьому створюються умови, що дозволяють значною мірою знизити коефіцієнт тертя за рахунок створення проміжних шарів. Присутність графіту і особливо сфероїдів $\Gamma + \varepsilon$ сприяє створенню умов, коли в проміжний шар сегрегує не тільки мідь з металеві матриці, але і продукти поверхневої деструкції графіту і комплексних включень $\Gamma + \varepsilon$. Це значно полегшує процес обтискання металу в зоні інтенсивної деформації і забезпечує отримання якісних пресвиробів з високомістих чавунів.

Такі умови деформації, а також підвищена здатність феритних високомістих чавунів до пластичної деформації, дозволяє значно збільшити загальний ступінь деформації при пресуванні. У лабораторних дослідях досягали 75 % пластичної деформації Cu-чавунів з феритною структурою без руйнування. Питоме зусилля пресування циліндричних заготовок ($\varnothing 20 \times 30$), при переході до стадії ламінарного течіння, складало близько 2100 МПа.



а



б

Рис. 3. Деформовані зразки (а): вверху ВЧ45, знизу – Cu-чавун, (осадка на 75 %). Залежність « σ – ε » (б). Коефіцієнт співвідношення головних напружень $m = \sigma_3/\sigma_2 = 1,75 \dots 5,25$. 1 – звичайний високомістий чавун (ВЧ45); 2 – високомістий чавун (9,2 % Cu)

Практичне застосування технологічних можливостей нового матеріалу було реалізоване шляхом пресування деталей для різних вузлів тертя типу втулок (рис. 4). При проектуванні інструменту прагнули досягти максимального зміцнення функціональних поверхонь деталей згідно їх умов експлуатації.

Металографічними дослідженнями встановлено, що шари металу в зонах близьких до поверхні досягають оптимальної деформації (рис. 4, б). Як видно на представленому фрагменті структури високомістості включення сприяють формуванню роз'єднаних еліптичних ділянок на загальному фоні волокнистої будови фериту високомістості чавуну. Істотний розвиток графітного шарування структури, який є типовим для звичайних графітізованих чавунів, – відсутній. Такі явища добре узгоджуються зі встановленими раніше особливостями деформації легованих міддю (Cu > 6,0 % мас.) чавунів в умовах всебічного нерівномірного стиснення [7]. Присутність еліптичних ділянок виключає локалізацію внутрішніх напружень по шарам графіту і забезпечує більший запас міцності деформованого високомістості чавуну в порівнянні із звичайними чавунами.

При оцінці зносостійкості пресованих втулок встановили, що триботехнічні характеристики феритних високомістості чавунів багато в чому залежать від ступеня зміцнення в процесі пластичної деформації. Найменше спрацювання властиве приповерхневим шарам зовнішньої і внутрішньої поверхонь втулок з найбільшими значеннями мікротвердості. Натурні випробування пресованих втулок показали, що спрацювання поверхневих шарів, в межах задовільної роботи пари тертя, відбувається менш інтенсивно порівняно з деталями, виготовленими із звичайних чавунів.

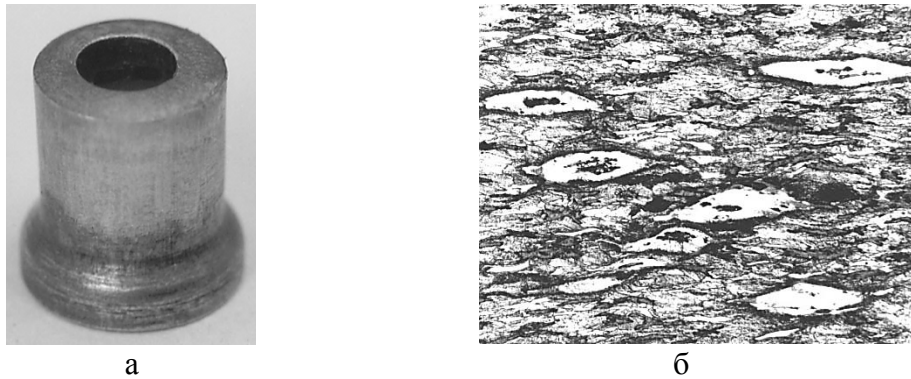


Рис. 4. Пресована втулка (а) з високомідистого чавуну (9,2 % Cu). Ступінь деформації 50 %. Структура приповерхневих шарів втулки (б), $\times 100$

ВИСНОВКИ

Підвищуючи антифрикційні властивості високомідистих чавунів, шляхом проведення графітуючого відпалу, можливим способом збільшення довговічності трибовиробів може бути зміцнення при холодній пластичній деформації. При цьому підвищена деформаційна здатність високомідистих чавунів і використання спеціальних методів ОМТ дозволяють досягати формозміни достатньої для отримання деталей вузлів тертя. В роботі вперше реалізована спроба холодного пресування високомідистих чавунів. Встановлено, що при пресуванні таких сплавів створюються сприятливі умови контакту заготовки з інструментом. Це дозволяє відмовитись від спеціальних методів підготовки поверхонь заготовок і значно спростити технологію пресування. Найбільш доцільною концентрацією міді в чавунах з компактим графітом, з позицій технологічних особливостей пресування і формування якісної структури пресвиробів та високих механічних параметрів, слід рахувати межі 8...10 % по масі.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Лисовский А. В. *Исследование и совершенствование процессов горячей обработки давлением сплошных и полых заготовок из высокопрочного чугуна* : автореф. дис. на соиск. науч. ст. канд. техн. наук : спец. 05.16.05 «Обработка металлов давлением» / А. В. Лисовский. – Москва, 2008. – 21 с.
2. *Исследование технологических режимов штамповки заготовок из высокопрочного чугуна* // Н. И. Бех, Г. А. Салищев, В. А. Валитов, Ш. Х. Мухтаров // *Кузнечно-штамповочное производство*. – 1995. – № 1. – С. 2–5.
3. Бобро Ю. Г. *Формирование литой структуры высокомедистых ЛКМ в процессе эвтектического превращения* // Ю. Г. Бобро, И. А. Парфентьева // *Процессы литья*. – 2003. – № 2. – С. 49–52.
4. *Найдек В. Л. Композиционные материалы – тенденции, проблемы и перспективы развития* / В. Л. Найдек, С. С. Затуловский // *Процессы литья*. – 2004. – № 4. – С. 3–10.
5. Бобро Ю. Г. *Износостойкие литые композиты, синтезированные на основе серых чугунов* // Д. А. Гусачук, И. А. Парфентьева, Н. В. Дмитриюк // *Процессы литья*. – 2004. – № 4. – С. 75–80.
6. *Горб М. Л. Определение радиального давления на образец в условиях объёмного неравномерного сжатия* // М. Л. Горб, В. М. Пелепелин, Н. И. Черняк // *Прикл. механика*. – 1965. – Вып. 10. – С. 87–92.
7. Бобро Ю. Г. *Деформационная способность высокомедистых ферритных чугунов с шаровидным графитом* // Ю. Г. Бобро, Д. А. Гусачук, Н. В. Дмитриюк // *Кузнечно-штамповочное пр-во*. – 1999. – № 7. – С. 6–8.

Гусачук Д. А. – канд. техн. наук, доц. ЛНТУ;
 Парфентьева І. О. – канд. техн. наук, доц. ЛНТУ;
 Савчук П. П. – д-р техн. наук, доц., зав. каф. ЛНТУ.

ЛНТУ – Луцький національний технічний університет, м. Луцьк.

E-mail: miomt@meta.ua

Стаття надійшла до редакції 13.01.2012 р.