

УДК 621.735.32:669.131

Д.А.Гусачук, Ю.П.Фещук, І.О.Парфентьева, Н.П.Зайчук

Луцький національний технічний університет

**ОСОБЛИВОСТІ ПЛАСТИЧНОГО ДЕФОРМУВАННЯ ВИСОКОМІДИСТИХ ЧАВУНІВ**

*Показані особливості холодного пресування високомідистих чавунів ( $Cu > 6,0$  % мас.). Встановлено, що в умовах пресування, завдяки присутності в структурі виливків  $\epsilon$ -фази на основі міді, створюються сприятливі умови обтиснення металу. При отриманні пресвиробів з отриманих сплавів можна відмовитись від складних технологій підготовки поверхонь заготовок перед пресуванням.*

Ключові слова: чавун, литий композитний матеріал, структура, високомідиста фаза, пластична деформація, напруження, пластичність, пресування

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

Основною метою роботи було розкрити особливості пластичного деформування високомідистих чавунів з компактным графітом, а також встановити вплив цього процесу на структуру і властивості виробів, отриманих способом пресування.

У роботі використовувалися леговані міддю чавуни, в яких високомідиста фаза [2] на основі міді ( $\epsilon$ -фаза) виділяється у вигляді дрібних включень різної морфології, а також здатна формувати механічну суміш ( $\Gamma + \epsilon$ ). Причому така структурна складова має значні розміри і кулясту форму, в зв'язку з чим досліджувані чавуни можна віднести до типових литих композитів ендегенного походження [3]. Вміст міді в чавунах коливався в межах 6,0...10,0 % по масі (Cu-чавуни).

З метою підвищення запасу пластичності виливків піддавали відпалу для отримання феритної структури металевій матриці. Режим відпалу підбирали так, щоб в структурі високомідистих чавунів кількість перліту не перевищувала 10 % від загального об'єму. При цьому присутність кулястих включень  $\Gamma + \epsilon$  та їх морфологія і характер розподілення зберігається. Крім того, такий відпал дозволяє збільшити кількість трибофаз (графіт і  $\epsilon$ -фаза) внаслідок зменшення розчинності вуглецю і міді в металевій матриці. Це гарантує високі антифрикційні властивості феритних чавунів.

В роботі поведінку отриманих ЛКМ при пластичному деформуванні вивчали на основі залежностей "напруження-деформація" (" $\sigma$ - $\epsilon$ "). При цьому за характеристику напруженого стану в зразку було взяте узагальнене напруження. За методикою [4] таке напруження, назване приведеним напруженням  $\sigma_i'$ , визначається за умов суміщеної осадки крихкого зразка в пластичній об'ємі (рис. 1). Це напруження кількісно характеризує напружений стан зразка і по природі 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 об'ємною, 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.

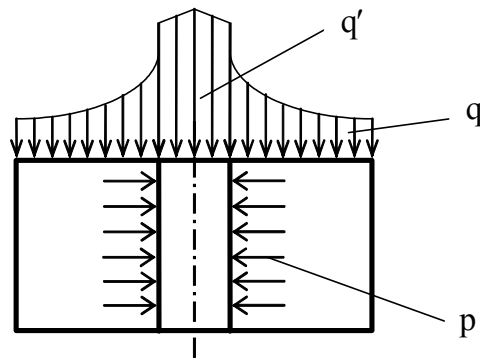


Рис. 1. Схема розподілу тиску на торцях зразка та обійми.

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  $q'$

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

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

де:  $\sigma_i$  – напруження матеріалу обійми;  $\sigma_i'$  – приведені напруження;  $f$  – коефіцієнт тертя;  $h$  – висота конструкції „обійма-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;  $\varepsilon$  – ступінь осадки.

Підставляючи вирази для  $q$  та  $q'$  в рівняння для повного зусилля та проводячи інтегрування можна отримати вираз для приведеного 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:  $\alpha$  та  $\beta$  – числа, які ідентифікують ступінь спотворення обійми та зразка;  $K$  – коефіцієнт.

Числа  $\alpha$  та  $\beta$  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 ( $m = \sigma_1 / \sigma_2$ ) 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. З'являється зона інтенсивної пластичної деформації (рис. 2), з огляду на що стає зрозумілим ефективність цільового деформування такого матеріалу з метою отримання конкретного виробу. Необхідне зміцнення матеріалу виробу можливо 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  $\text{Cu}$ -чавунів є реалізація особливого механізму деформації, заснованого на взаємодії фаз з різними механічними параметрами: металева матриця ( $\text{Fe-C-Si}$ ) +  $\text{C}$  (графіт) +  $\varepsilon$ -фаза (бронза). Структурними дослідженнями встановлено, що на початку деформування значну частину деформації акумулюють  $\varepsilon$ -фаза та сфероїди  $\Gamma + \varepsilon$ . Спотворення металевої матриці ( $\alpha$ -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 високомідистих 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 металевої 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 високомідистих чавунів.

Такі умови деформації, а також підвищена здатність феритних високомідистих чавунів до пластичної деформації, дозволяє значно збільшити загальний ступінь деформації при пресуванні. У лабораторних дослідах досягали 75 % пластичної деформації  $\text{Cu}$ -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.

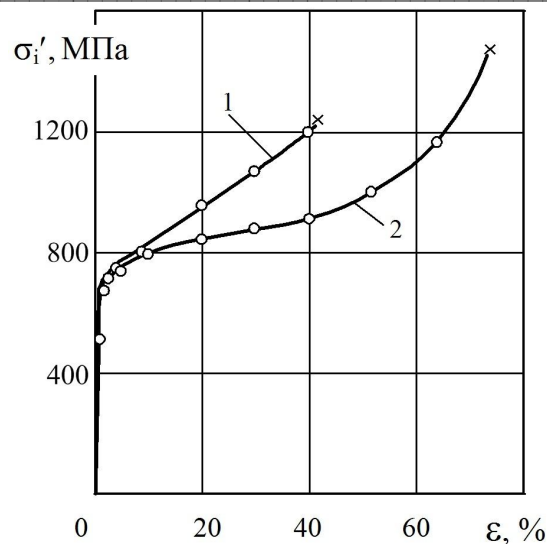


Рис. 2. Залежність приведенного напруження в чавунному зразку від ступеня осадки. Коефіцієнт співвідношення головних напружень в зоні пластичної деформації  $m = \sigma_1/\sigma_2 = 1,75 \dots 5,25$ .  
1 – звичайний високоміцний чавун (ВЧ45), 2 – високомідистий чавун (9,2 % Cu)

Практичне застосування технологічних можливостей нового матеріалу було реалізоване шляхом пресування деталей для різних вузлів тертя типу втулок (рис. 3). 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. 3, б). Як видно на представленому фрагменті структури високомідисті включення сприяють формуванню роз'єднаних еліптичних ділянок на загальному фоні волокнистої будови фериту високомідистого чавуну. Істотний розвиток графітного шарування структури, який є типовим для звичайних графітованих чавунів, – відсутній. Такі явища добре узгоджуються зі встановленими раніше особливостями деформації легованих міддю ( $\text{Cu} > 6,0 \%$  мас.) чавунів в умовах всебічного нерівномірного стиснення [5]. Присутність еліптичних ділянок виключає локалізацію внутрішніх напружень по шарах графіту і забезпечує більший запас міцності деформованого високомідистого чавуну в порівнянні із звичайними чавунами.

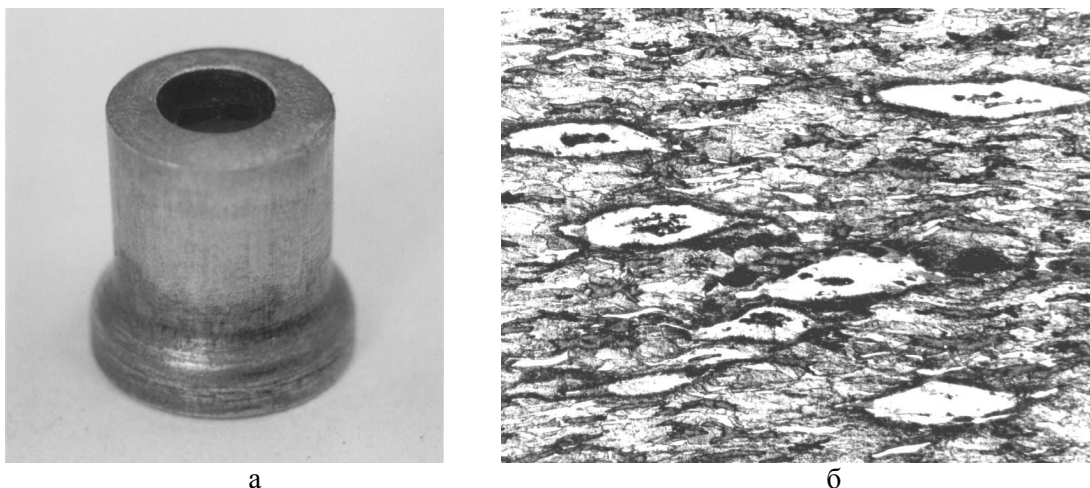


Рис. 3. Пресована втулка (а) з високомідистого чавуну (9,2 % Cu). Ступінь деформації 50 %.  
Структура приповерхневих шарів втулки (б),  $\times 100$

При оцінці зносостійкості пресованих втулок встановили, що триботехнічні характеристики феритних високомідистих 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.

Таким чином, 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 компакним графітом, з позицій технологічних особливостей пресування і формування якісної структури пресвиробів та високих механічних параметрів, слід рахувати межі 8...10 % по масі.

1. Бех Н.И. Исследование технологических режимов штамповки заготовок из высокопрочного чугуна // Бех Н.И., Салищев Г.А., Валитов В.А., Мухтаров Ш.Х. // Кузнечно-штамповочное производство. – 1995. – №1. – С.2-5.
2. Бобро Ю.Г. Формирование литой структуры высокомедистых ЛКМ в процессе эвтектического превращения // Бобро Ю.Г., Парфентьева И.А. // Процессы литья. № 2. – 2003. С.49-52.
3. Найдк В.Л. Композиционные материалы – тенденции, проблемы и перспективы развития // Найдк В.Л., Затуловский С.С. // Процессы литья. – 2004. – №4. – С.3-10.
4. Горб М.Л. Определение радиального давления на образец в условиях объемного неравномерного сжатия // Горб М.Л., Пелепелин В.М., Черняк Н.И. // Прикл. механика. – 1965. – 1, вып.10. – С.87-92.
5. Бобро Ю.Г. Деформационная способность высокомедистых ферритных чугунов с шаровидным графитом // Бобро Ю.Г., Гусачук Д.А., Дмитриюк Н.В. // Кузнечно-штамповочное пр-во. – 1999. – № 7. – С.6-8.