

Н.К. Злочевская¹ асистент, В.М. Дука² наук. співр., В.В. Піманов¹ аспірант, П.С.Вишневський¹ ст. викл.
1 – Національний технічний університет України "КПІ", м. Київ, Україна
2 - Фізико-технологічний інститут металів та сплавів НАН України, м. Київ, Україна

ДЕЯКІ ЗАКОНОМІРНОСТІ ФОРМУВАННЯ СТРУКТУРНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ ЛИВАРНОГО СПЛАВУ АК7ч В УМОВАХ ІНТЕНСИВНИХ ПЛАСТИЧНИХ ДЕФОРМАЦІЙ*

Установлены закономерности формирования структурных свойств литейного сплава типа АК7ч путем деформирования в изотермических условиях. На основе экспериментального формообразования методом винтовой экструзией образцов, численного моделирования и металлографического исследования установлена взаимосвязь между степенью интенсивности деформаций и морфологией структуры материала. Обосновано повышение пластичности за счет измельчения структурных компонентов материала.

The regularities of formation of the structural properties of cast alloy АК7ч were established by deformation in isothermal conditions. The relationship between deformation intensity and structure of material was established on the base of experimental forming by the method of helical forging of workpieces, on the base of finite element modeling and metallographic investigation. It was grounded that the plasticity increases at the cost of the refinement of structure components of material.

Вступ.

Для забезпечення конструктивної міцності та технологічності виробів машинобудування перспективним є використання металів і сплавів з високими характеристиками міцності та пластичності. Одним з напрямків підвищення цих властивостей є формування в металах дрібнодисперсної та рівновісної структури за рахунок інтенсивних пластичних деформацій [1]. В результаті великих пластичних деформацій металів розміри їхніх структурних елементів (зерен, кристалів, фрагментів та інших) зменшується і досягають значень, характерних для нано- і субмікроструктурних матеріалів. Внаслідок цього сильнодеформовані метали здобувають якісно нові властивості, багато з яких становлять практичний інтерес. Зокрема, вони мають високу (на 20-40% більше) міцність в поєднанні з великою пластичністю.

Найбільш поширеними методами обробки заготовок металів, що створюють великі деформації зсуву в осередку деформації при зберіганні поперечного перерізу цієї заготовки, є рівноканальне кутове пресування (РКУ) [2], гвинтова екструзія [3], інші. Дослідження, що виконані при пресуванні цими методами широкого кола сплавів, в тому числі на матеріалах Ti-6Al-4V, Nb-Ti, VT1-0, VT3-1, Cu, 6061 та інших, показали, що межа міцності підвищилась, в середньому на 30-40%, а пластичність підвищилась на 6-8% [2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9,10]. Основні роботи в цьому напрямку виконані на деформуємих металах і сплавах.

Надзвичайно перспективним є застосування методів інтенсивної пластичної деформації для обробки литої структури, в тому числі вторинних сплавів, з метою підвищення пластичності їх перед подальшими операціями формоутворення [11, 12].

Наряду з цим в проведених роботах не достатньо повно досліджена механіка формування нової структури внаслідок великих пластичних деформацій для ливарних сплавів. Крім того не досліджено зв'язок впливу деформацій на формування нової структури.

Метою роботи є встановлення закономірностей формування властивостей литого сплаву типу АК7ч шляхом дослідження впливу деформацій в ізотермічних умовах на структуру сплаву.

Матеріали та методика експерименту.

Для проведення експерименту була спроектована та виготовлена комп'ютеризована установка, яка монтується на гідравлічний прес моделі ПД 476 зусиллям 1,6 МН (рис. 1).

Дослідна установка забезпечує реєстрацію параметрів тиску, температури, швидкості навантажень[14]. Датчиком зусиллям являється тензорезистивна мездоза кільцевого типу, яка встановлена під опорну п'ятку пресштемпеля. Підсилення сигналу мезدوزи виконується інструментальним операційним підсилювачем INA-128-P. Датчик переміщення також тензорезистивного типу і являє собою кільце діаметром 150 мм з сталюї стрічки товщиною 0,5 мм з чотирма наклеєними тензорезисторами. Сигнал датчика підсилюється підсилювачем аналогічним підсилювачу мезدوزи. При деформації (сплющуванні) кільця в межах від 0 до 50 мм вихідний сигнал лінійно залежить від деформації. Для створення умов пресування близьких до ізотермічних контейнер штампа підігривається до необхідної температури ніхромовою спіраллю. Живлення спіралі здійснюється від зварювального трансформатора напругою 8...12 в (діаметр ніхрому спіралі 9 мм, довжина 1,3 м).

* Робота виконана під науковим керівництвом д.т.н., проф. В.А. Тітова

Контроль температури контейнера здійснюється термопарою ХА, що знаходиться в контакті з контейнером. ЕРС термопари підсилюється підсилювачем виконаним на операційному підсилювачі 140 УД 608.

В експерименті використана матриця для гвинтового пресування, що забезпечує деформування за схемою «круг-еліпс-круг». В еліпсній частині матриці виконується зсув матеріалу заготовки по гвинтовій твірній. Таким чином матриця забезпечує максимальну ступень деформації зсуву до 2,5 за один проход та додаткову рівномірну по поперечному перетину деформацію до 0,21.

Осьовий підпор заготовки для виникнення напружень стиску в осередку деформацій реалізован редукуванням з коефіцієнтом 0,93.

Зразки виконані з ливарного алюмінію сплаву марки АК7ч з домішками заліза в двох варіантах 0,8% та 1,4%, що декілька перевищує вимоги ГОСТ 1583-93 [13]. Зразки виготовлялись литвом у песчані форми. Зливоч оброблявся на токарному верстаті до розмірів вихідної заготовки: діаметр $\varnothing 29,5$ мм, висота $h=50$ мм. Тому вихідна заготовка мала характерну литу структуру, яка складалась з первинних дендритів алюмінієвого твердого розчину та дільниць алюмінієво-кремнієвої евтектики, а також пластинчатих кристалів залізних інтерметалідних фаз.

Перед деформуванням здійснювали нагрів заготовок в печі типу СНОЛ 7,2/1100. Заготовки та оснащення нагрівали до однакової температури 450-480°C. Пресування заготовок проводили одна за одною. Швидкість пресування складала 2мм/с.

Постановка та результати розрахунку процесу деформування.

Для оцінки напружено-деформованого стану заготовок було проведено чисельне моделювання процесу деформування за обраною схемою методом кінцевих елементів в програмному комплексі DEFORM 3D. Даний програмний комплекс дозволяє визначити кінцеві геометричні розміри zdeформованої заготовки, проаналізувати напружено-деформований стан, ресурс використання пластичності, температурні процеси та силові параметри. Розрахунок процесу гвинтової екструзії було проведено в умовах ізотермічного пересування.

На рис. 2. наведена розрахункова схема процесу гвинтової екструзії в умовах ізотермічного пересування. Заготовка 1 встановлюється в матрицю 2, на яку діє пуансон 3 зусиллям P_d (при моделюванні пуансону задавали покровоке переміщення).

Процес видавлювання пружно-пластичної заготовки із алюмінієвого сплаву АК7 в умовах ізотермічного пресування розглядали як об'ємну задачу. Властивості вихідної заготовки: модуль Юнга $6,9 \cdot 10^4$ МПа, коефіцієнт Пуассона 0,5, умовна межа течії $\sigma_{0,2}=65$ МПа при температурі 450°C. Діаграму істинних напружень апроксимували залежністю $\sigma_s = \sigma_s(\varepsilon_i, \dot{\varepsilon}, T)$ (тут σ_s – істинне напруження, ε_i – інтенсивність деформацій, $\dot{\varepsilon}$ – швидкість деформації, T – температура). Для врахування тертя на контактуючих поверхнях задавали коефіцієнт тертя $\mu=0,3$. Деформуючий інструмент вважався абсолютно жорстким.

В результаті моделювання було проведено аналіз напружено-деформованого стану zdeформованої заготовки. На рис. 3 відображено розподіл інтенсивності деформації на поверхні zdeформованої заготовки. На заготовці умовно показано перерізи 1-17, в яких визначали інтенсивність деформації по осі більшої сторони еліпсу, що зміщується в процесі деформування. Це дозволило оцінити пропрацювання структури матеріалу від осі заготовки до поверхневих шарів в момент деформування та на виході заготовки в кінці процесу.

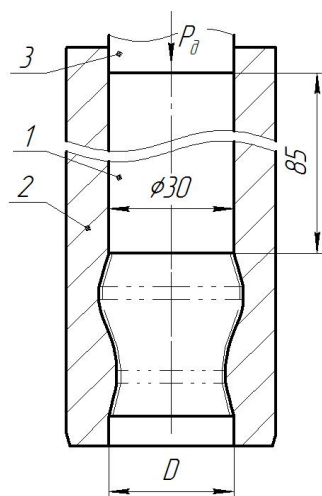


Рис. 2. Розрахункова схема процесу гвинтової екструзії в умовах ізотермічного пресування

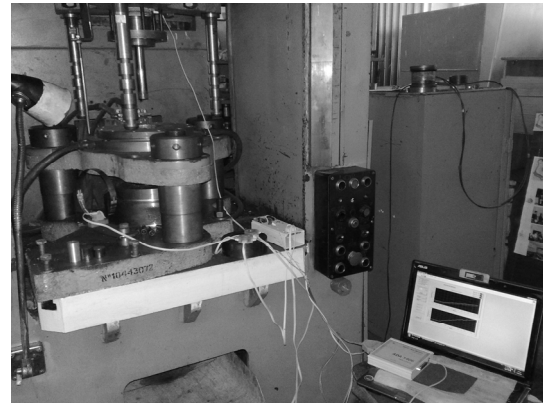


Рис. 1. Комп'ютеризована установка для процесів ПД

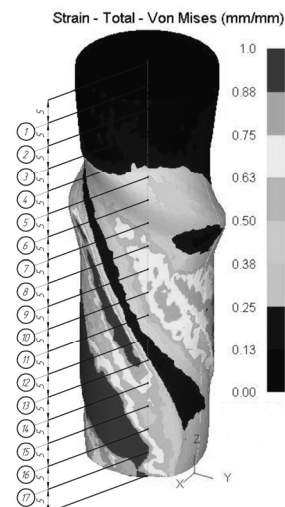


Рис. 3 Розподіл інтенсивності деформації ε_i на поверхні zdeформованої заготовки

На рис. 4 показано залежність розподілу інтенсивності деформації ϵ_i в перерізах 1-13 осередку активної деформації. Аналізуючи характер розподілу інтенсивності деформацій на рис. 4 можна зробити висновок, що в осередку деформації та на виході здеформованої заготовки з калібруючого пояса матриці значно пропрацьовуються поверхневі шари матеріалу на глибину близько 4 мм від поверхні заготовки.

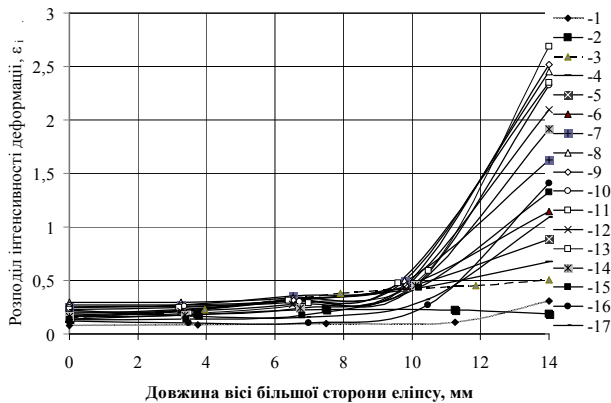


Рис. 4. Залежність розподілу інтенсивності деформації ϵ_i в перерізах

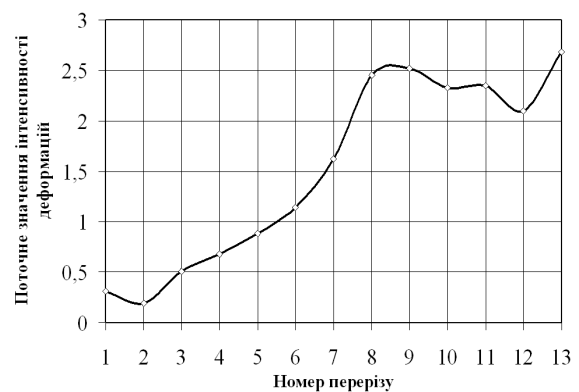


Рис. 5. Накопичена інтенсивність деформації ϵ_i в різних перерізах по висоті заготовки

На рис. 5 показано накопичення інтенсивності деформації ϵ_i в різних перерізах по висоті заготовки. Даний показник дає можливість відслідкувати в процесі деформування деформований стан в зонах осередку деформації, в зоні редукування та на виході з матриці здеформованої частини заготовки. Даний графік дає можливість більш точно оцінити пропрацювання структури матеріалу в результаті деформування. Максимальне значення ϵ_i складає 1,8 – 2,7 на глибину близько 2 мм. Від центру заготовки до 10 мм по вісі пропрацювання структури більш рівномірне і складає $\epsilon_i=0,35$.

Результати металографічного аналізу.

Металографічний аналіз виконували на двох зразках. Один зразок отриманий відливкою без обробки, другий після обробки по схемі «круг-еліпс-круг». З кожного зразка з центральної по висоті частини вирізали по одному темплету товщиною 10мм, зразки полірувалися в двох площинах по осьовому та поперечному перерізах. Для оцінки подрібнення структури матеріалу було досліджено три характерні зони: крайова, перехідна, центральна, ці зони представлені на рис.6 та рис.7.

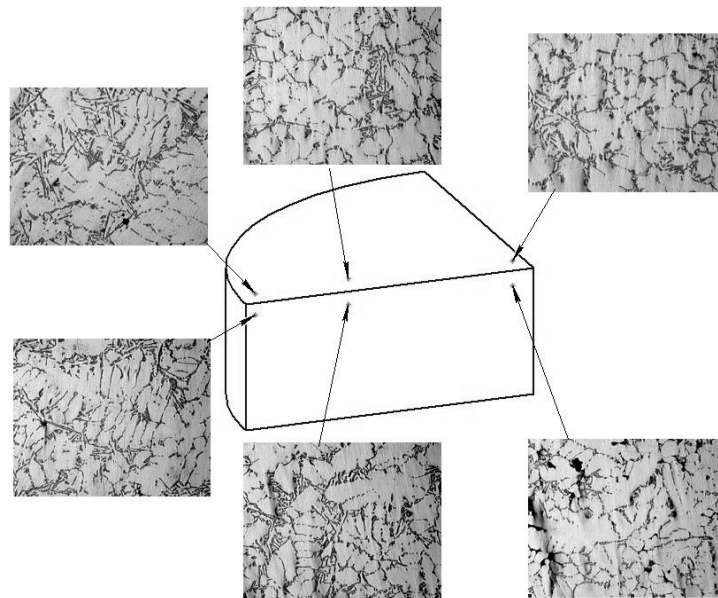


Рис. 6. Металографічний аналіз зразка АК7ч без обробки

Вихідні заготовки мають литу структуру у всіх зонах (крайова, перехідна, центральна). Низька пластичність матеріалу визначається пластинчастими включеннями залізних інтерметалідних фаз та евтектикою кремнію.

Металографічний аналіз показав, що після пластичного деформування литих зразках відбувається суттєва зміна структури. Аналіз поперечного та поздовжнього показав, що по всьому зразку відбувається подрібнення зерен та структурних складових, відбувається очистка границь зерен, ступінь трансформації кристалічної структури зростає від центру до бокової поверхні зразка. В зонах інтенсивних пластичних деформацій спостерігається подрібнення крихких фаз та їх рівномірний розподіл.

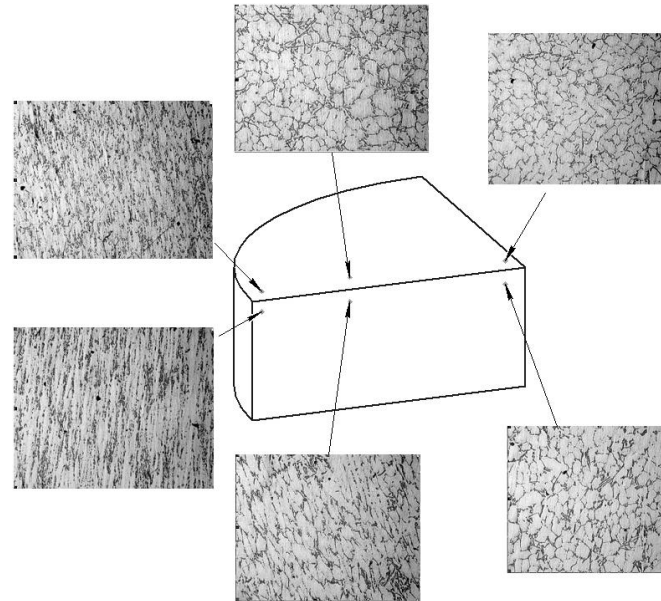


Рис. 7. Металографічний аналіз зразка АК7ч після обробки

Також слід відмітити, що первинні α -Al кристали набувають волокнистої структури в периферійній зоні вздовж головних напрямків діючих сил деформації.

Висновки.

1. Встановлені деякі характерні закономірності трансформації структурних компонент литої структури для сплавів типу АК7ч з підвищеним змістом заліза в результаті інтенсивних пластичних деформацій.

2. Виконані експериментально-розрахункові роботи показали, що в залежності від ступеня інтенсивності деформацій виникає не тільки подрібнення структурних компонент, але також рівномірний розподіл подрібненої крихкої фази, що забезпечує підвищену пластичність литого сплаву після деформування.

Список літератури

- Schuh C.A., Nieh T.G., Iwasaki H. The effect of solid solution W additions on the mechanical properties of nanocrystalline Ni // *Acta Materialia*. — 2003. - v.51. -P.431-443.
- Боткін А.В., Валів Р.З., Абрамов А.Н., Рааб А.Г. Деформаційні та силові параметри процесу равноканального углового пресування дліномерної заготовки по схемі «Сопфогт» // *Кузнечно-штамповочное производство. Обработка материалов давлением* – 2009. № 11, с. 8-14
- Я.Е. Бейгельзімер, Д.В. Орлов, С.Г. Синков, А.В.Решітов. Винтовое пресование: технологические аспекты // *Физика и техника высоких давлений*.-2002.- Том №12, №4, с. 40-46.
- Бейгельзімер Я. Є., Решетов А. В., Синков С. Г. Уширяющая экструзия как метод устранения неравномерности свойств по сечению заготовки. // *ВІСНИК Домбаської державної машинобудівної академії*, 2005, №2, с.57-61.
- Л. Р. Саітова, І. П. Семенова, Г. І. Рааб, Р. З. Валів. Повышение механических свойств сплава Ti-6Al-4V способами равноканального углового пресования и последующей пластической деформации. // *Физика и техника высоких давлений* 2004, том 14, №4, с. 19-23.
- Матросов Н.И., Чішко В.В., Дмитренко В.Ю., Павловская С.А.,Сеннікова Л.Ф., Спусканюк В.З., Чабаненко В.В., Васильев С.В., Медведская Е.А., Шевченко Б.А. Влияние равноканального многоуглового пресования на структуру, фазовый состав и свойства сплава Nb-Ti // *Физика и техника высоких давлений* 2005, том 15, №1. С.95-53.
- Коршунов А.И., Ведерников И.И., Поляков Л.В., Смоляков А.А., КравченкоТ.Н., Коротченкова И.В. Исследование влияния количества циклов равноканального углового пресования на скоростную чувствительность титана ВТ1-0 // *Физика и техника высоких давлений* 2006, том. 16, №4. С. 68-71.
- Мурашкін М.Ю., Бобрук Є.В., Кільмаметов А.Р., Валів Р.З. Особенности структуры и механические свойства алюминиевого сплава 6061, подвергнутого обработке равноканальным угловым пресованием в параллельных каналах // *Физика металлов и металловедение*, 2008, том 108, №4, С. 439-447.
- Влияние винтовой гидроэкструзии и прокатки на изменение субмикроструктуры меди /В.Н. Варюхин, Е.Г. Пашинская, С.В. Добаткін, С.Г. Синков, В.М. Ткаченко, А.В. Решетов // *Физика и техника высоких давлений* 2002, том 12, №4, с.53-59.
- Д.В. Павленко, А.В. Овчінніков, А.Я. Качан, В.Г. Шевченко, Я.Є.Бейгельзімер, Т.П. Заїка, А.В. Решетов, Р.Ю. Кулагін. Применение винтовой экструзии для получения субмикроструктурной структуры и гомогенизации титанового сплава ВТ3-1 // *Вестник двигателестроения*-2007, №2,-с.185-188.
- Комбинированная деформационная обработка вторичных алюминиевых сплавов /А.И.Шевелев, В.Н. Варюхин, С.Г. Сынков, А.В.Решетов // *Физика и техника высоких давлений* -2005 – т.15, №1, с. 139-145.
- Повышение пластичности литых вторичных алюминиевых сплавов интенсивной пластической деформацией методом винтовой экструзии. /А.И.Шевелев, А.В.Решетов, Я.Е. Бейгельзімер и др. // *Ресурсозберігаючі технології виробництва та обробки тиском матеріалів у машинобудуванні*:Зб. наук. праць. –Луганськ. - -2004 – ч.1, с. 172-189.
- ГОСТ 1583-93 Сплавы алюминиевые литейные.
- Добровлянський С.М., Вишневський П.С. Калантир С.Ф., Злочевська Н.К. Установка для дослідження пресування в ізотермічних умовах. *Вестник Национального технического университета Украины «Киевский политехнический институт»*. Серия «Машиностроение». – 2009. № 56. с. 189-192.