

УДК 621.73.043

Тітов А. В.
Поливода С. Л.
Тітов В. А.
Вишневський П. С.

ОСОБЛИВОСТІ ФОРМОУТВОРЕННЯ ДЕТАЛЕЙ З ВОЛОКОН АЛЮМІНІЄВИХ СПЛАВІВ

Одним з основних факторів, який забезпечує надійність і економічність в експлуатації наукомісткої техніки машинобудування, є застосування ефективних конструкційних металів і сплавів з сукупністю високих характеристик міцності і пластичних властивостей. Збільшення міцності сплавів за рахунок легування у рівноважених умовах в останні роки знижується. Так за останні 40–50 років питома міцність конструкційних алюмінієвих сплавів збільшилася з 15 до 24–28 км і, за прогнозом на найближчі роки, може досягти 30–34 км. При цьому питомі показники модуля пружності практично не змінюються [1, 2, 3].

Одним з перспективних напрямків забезпечення високих фізико-механічних властивостей виробів є використання металевих волокон, одержаних, наприклад, методом екстрагування з розплаву з швидким охолодженням. Такі волокна мають дрібнокристалічну структуру та високі механічні властивості міцності і пластичності. Подальше пресування волокон може дозволити отримування виробів зі збереженням фізико-механічних властивостей [4].

Мета роботи – відпрацювання процесу ізотермічного пресування тонкостінного елемента деталей з волокон алюмінієвого сплаву.

Для отримання металевих волокон була використана технологія і устаткування, розроблені в Фізико-технологічному інституті металів та сплавів НАН України. Конструкція установки показана на рис. 1–2.

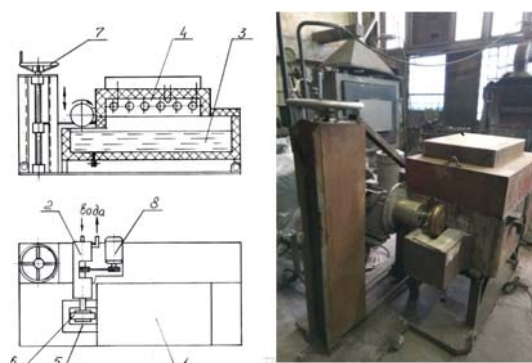


Рис. 1. Загальний вигляд установки для екстракції волокон з розплаву алюмінію:

1 – піч опору; 2 – диспергатор; 3 – тигель; 4 – кришка печі; 5 – «кишеня»; 6 – диск-кристалізатор; 7 – привід вертикального переміщення диска-кристалізатора; 8 – привід обертання диска-кристалізатора

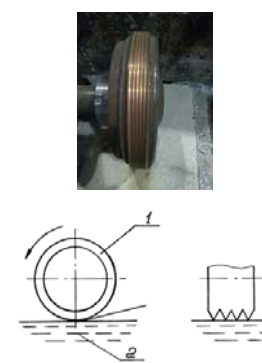


Рис. 2. Загальний вигляд та схема диска-кристалізатора:

1 – диск-кристалізатор; 2 – рідкий метал

Технічні характеристики установки для диспергування розплаву представлені в табл. 1.

На установці виготовляли волокна товщиною 0,05–0,07 мм і шириною 0,4–0,7 мм з алюмінієвого сплаву АД1. Швидкість охолодження екстрагованих волокон становила 10^5 – 10^6 °C / с. Загальний вигляд волокон показаний на рис. 3.

Таблиця 1

Технічна характеристика установки для диспергування розплаву

№ п/п	Найменування параметру	Значення параметру
1	Ємність тигля (по рідкому алюмінію), кг	20–100
2	Потужність нагрівачів, кВт	18
3	Максимальна температура розплаву, °С	1000
4	Точність підтримки температури металу, °С	±3
5	Плавільна продуктивність, кг/год	50
6	Швидкість обертання диска-кристалізатора, с ⁻¹	26,6

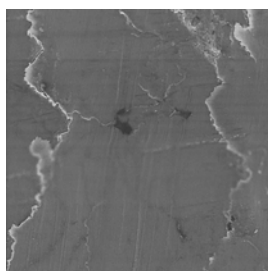


Рис. 3. Загальний вигляд волокон зі сплаву АД1

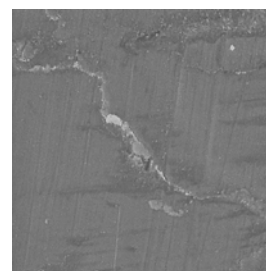


Рис. 4. Спресовані брикети з металевих волокон сплаву АД1

Пресування деталей з тонкостінними елементами з волокон виконано в два етапи. На першому етапі були відпресовані брикети діаметром 30 мм при температурі 20 °С (рис. 4). Перед пресуванням поверхня волокон піддавалась попередньому очищенню. Максимальне зусилля пресування становило 100 кН. Щільність брикетів становила 87–90 %. На рис. 5 наведена мікроструктура брикетів.



а



б

Рис. 5. Мікроструктура брикету, виготовленого з волокон сплаву АД1 (РЭМ): а – х 200; б – х 800

На другому етапі з брикетів компактiзованих волокон були відпресовані деталі з тонкостінними елементами на установці для ізотермічного пресування. Пресування проводилося в дві стадії: на першій стадії виконувалося рівноканальне розширююче гвинтове пресування в один прохід по технології, що описана в роботі [6]. При цьому величина пористості зразка знижувалася до 3 – 5%. На другій стадії виконувалося пресування пера лопатки (рис. 6). У зоні осередку деформації пористість знизилася до 2–3%.



а



б

Рис. 6. Загальний вигляд відпресованої деталі (а) та її поперечний переріз (б)

Умови ізотермічного в'язкопластичного деформування металу були досліджені при моделюванні чисельними методами за допомогою програмного комплексу Deform 3D у феноменологічному уявленні. Температура деформуючого інструменту вважалась постійною протягом всього процесу деформування ($T = const$).

Чисельна модель та заготівка показані на рис. 7.

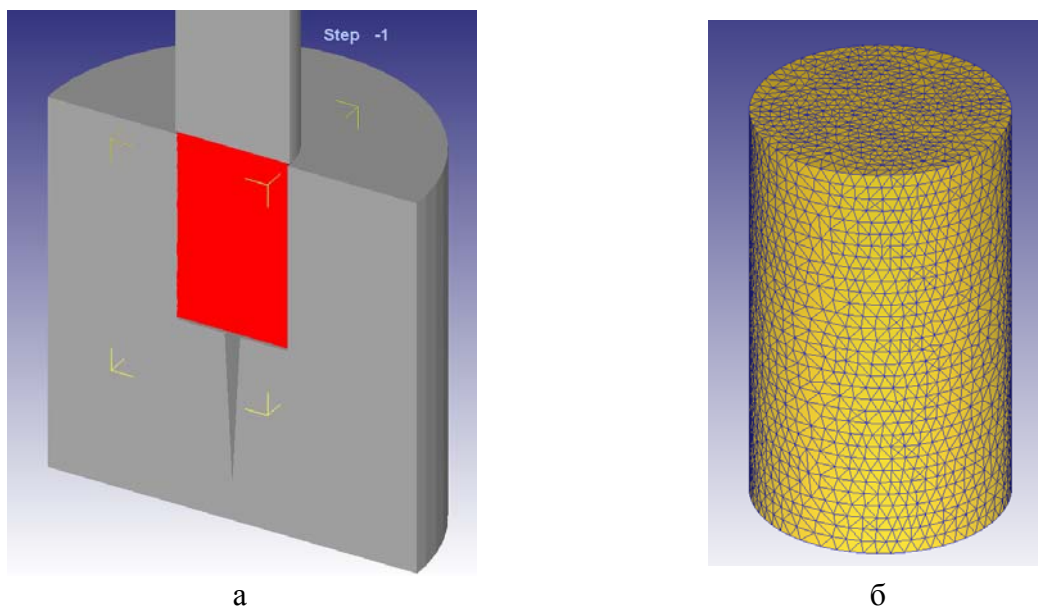


Рис. 7. Чисельна модель процесу ізотермічного деформування алюмінієвих сплавів при заповненні клиноподібної порожнини тонкостінного елемента:

а – загальна чисельна модель; б – скінченно-елементна модель заготовки

Деформуючі інструменти: пуансон та матриця приймали абсолютно жорсткими. Використовували заготовки циліндричної форми діаметром 30 мм та висотою 50 мм. Загальна кількість скінченних елементів сітки, яка була сформована для деталі налічувала 32 тисячі тетраедричних елементів.

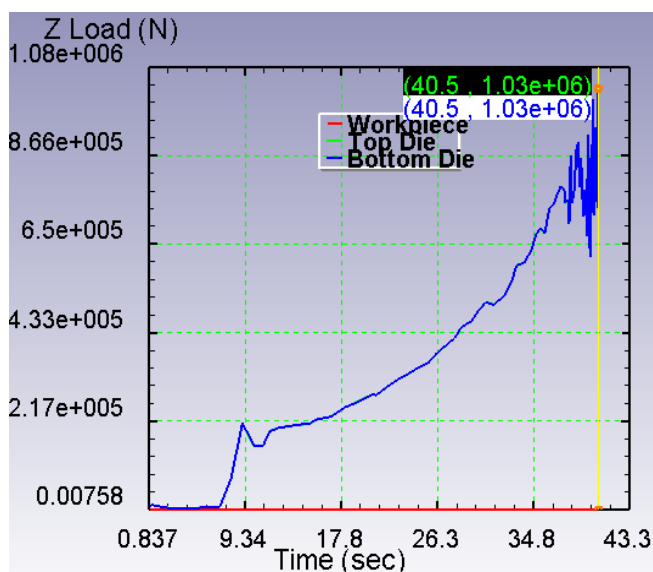


Рис. 8. Графік зусилля процесу пресування від часу деформування

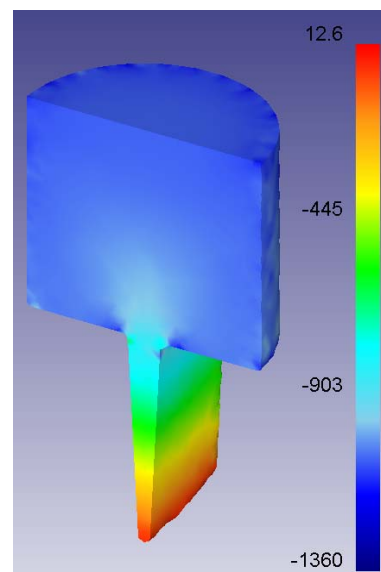


Рис. 9. Розподіл інтенсивності напружень вздовж тонкостінного елемента

ВИСНОВКИ

В результаті моделювання отримана залежність зусилля деформування від переміщення (рис. 8), яка в достатній мірі співпадає з експериментом. Аналіз результатів інтенсивності напружень (рис. 9) показав, що максимальні стискаючі напруження виникають при переході металу до заповнення тонкостінного елементу матриці. По мірі утворення тонкостінного елементу величина стискаючих напружень декілька зменшується по його довжині. Але виникаючи деформації зсуву в поперечному перерізі під дією цих напружень сприяють взаємодії вільних поверхонь волокон, їх дифузійному з'єднанню та зменшенню пористості матеріалу.

Якість міцності з'єднання волокон була підтверджена експериментально випробуваннями на згин тонкостінного елементу. При згині тонкостінного елементу на кут 90° відшарування волокон не виникало.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Фридляндер И. Н. Свойства композиционных материалов и эффективность их применения / И. Н. Фридляндер // *Композиционные материалы*. – М. : Наука, 1981. – С. 5–11.
2. Бастц Дж. Время композитов пришло / Дж. Бастц // *Аэрокосмическая техника*. – 1989 – № 2. – С. 181–186.
3. Добаткин С. В. Наноматериалы. Объемные металлические нано- и субмикроструктурные материалы, полученные интенсивной пластической деформацией / С. В. Добаткин. – М. : МИСиС, 2007. – 36 с.
4. Свойства сплавов Al-Cr-Zr, полученных экстракцией расплава в электромагнитном поле / Б. С. Митин, С. А. Петухов, Л. П. Пужайло, М. М. Серов, В. Д. Фролов, П. С. Попель // *Физика и химия обработки материалов*. – 1995. – № 1. – С. 110–116.
5. Пужайло Л. П. Технология и оборудование для получения слитков из высокопрочных алюминиевых деформируемых сплавов методом полунепрерывного литья / Л. П. Пужайло, А. В. Серый, С. Л. Поливода // *Вісник Донбаської державної машинобудівної академії : зб. наук. праць*. – 2010. – № 3. – С. 227–229.
6. Технологічна механіка забезпечення міцності та якості деталей пластичним деформуванням / В. А. Тітов, Н. К. Злочевська, О. Я. Качан, А. В. Тітов, Е. В. Кондратюк. – К. : КВІЦ, 2016. – 176 с.

REFERENCES

1. Fridljander I. N. Svojstva kompozicionnyh materialov i jeffektivnost' ih primeneniya / I. N. Fridljander // *Kompozicionnye materialy*. – M. : Nauka, 1981. – S. 5–11.
2. Bastc Dzh. Vremya kompozitov prishlo / Dzh. Bastc // *Ajerokosmicheskaja tehnika*. – 1989 – № 2. – S. 181–186.
3. Dobatkin S. V. Nanomaterialy. Ob#emnye metallicheskie nano- i submikrokristallicheskie materialy, poluchennye intensivnoj plasticheskoj deformaciej / S. V. Dobatkin. – M. : MISiS, 2007. – 36 s.
4. Svojstva splavov Al-Cr-Zr, poluchennh jekstrakciej rasplava v jelektromagnitnom pole / B. S. Mitin, S. A. Petuhov, L. P. Puzhajlo, M. M. Serov, V. D. Frolov, P. S. Popel' // *Fizika i himija obrabotki materialov*. – 1995. – № 1. – S. 110–116.
5. Puzhajlo L. P. Tehnologija i oborudovanie dlja poluchenija slitkov iz vysokoprochnnyh aljuminievyh deformiruemyh splavov metodom polunepreryvnogo lit'ja / L. P. Puzhajlo, A. V. Seryj, S. L. Polivoda // *Visnik Donbas'koji derzhavnoji mashinobudivnoji akademiji : zb. nauk. prac'*. – 2010. – № 3. – S. 227–229.
6. Tehnologichna mehanika zabezpečennja micnosti ta jakosti detalej plastichnim deformuvannjam / V. A. Titov, N. K. Zlochevs'ka, O. Ja. Kachan, A. V. Titov, E. V. Kondratjuk. – K. : KVIC, 2016. – 176 s.

Тітов А. В. – канд. техн. наук, доц. НТУУ «КПІ ім. І. Сікорського»;
Поливода С. Л. – наук. співроб. ФТІМС НАНУ;
Тітов В. А. – д-р техн. наук, проф., зав. каф. НТУУ «КПІ ім. І. Сікорського»;
Вишневецький П. С. – ст. викл. НТУУ «КПІ ім. І. Сікорського».

НТУУ «КПІ ім. І. Сікорського» – Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського», м. Київ.

ФТІМС НАНУ – Фізико-технологічний інститут металів та сплавів Національної академії наук України, м. Київ.

E-mail: avt.kpi@gmail.com