

Интензивно пластично деформиране на алуминий чрез равноканално ъглово пресоване

Валентин Гагов, Росен Радев, Данаил Господинов, Емил Янков

Abstract: Severe Plastic Deformation of Aluminium using Equal Channel Angular Pressing. The ultrafine grained metallic materials are widely investigated during the past years with a view to the opportunities for various industrial applications of their improved mechanical and technological properties. Most of them are produced by using severe plastic deformation which allows large bulk samples to be obtained. This paper presents some preliminary results for aluminium processed by equal channel angular pressing.

Key words: Severe Plastic Deformation, Equal Channel Angular pressing, Aluminium

ВЪВЕДЕНИЕ

През последните години се провеждат твърде интензивни изследвания върху структурата, свойствата и поведението на различни видове инженерни материали при намаляващи размери на изграждащите ги частици. Специално внимание се обръща на наноразмерните структурни състояния, когато поне един от размерите на материалните частици или структурните елементи се намира в интервала 1-100 nm. Постиженията от 1990 г. насам са публикувани по света в хиляди научни статии и доклади [1, 4, 6] и в няколко десетки съвременни монографии, справочници и учебни пособия. Ултрадребнозърнестите материали с размери на кристалитите в интервала 100-1000 nm заемат областта между традиционните кристални конструкционни материали с едрина на зърната над 1-10 μm и функционалните наноструктурирани материали. Една любопитна „размерна“ класификация на технологиите в човешката история според [9] е показана в табл. 1. Досегашните „метрова“ (m), „милиметрова“ (mm) и „микрометрова“ (μm) технологични сфери, разбира се, продължават заедно да съществуват и непрекъснато да се усъвършенстват, докато нанометровите (nm) технологии сега се зараждат като качествено нова тенденция на 21 век на основата на вече натрупаните научни и приложни резултати.

Размерна класификация на технологиите

Таблица 1

име (примерно начало)	характерни размери	градивен подход	примерни обекти	обработващи средства	средства за наблюдение
m-технология (халколит)	> 0,1 m	отгоре надолу	пирамиди, колесници	огън, ръчни инструменти	човешко око
mm-технология (около 1600 г.)	0,1-100 mm	отгоре надолу	механични часовници	ръчни и машинни инструменти	лупа, оптична микроскопия
μm -технология (около 1950 г.)	100-0,1 μm	отгоре надолу	компютри, мобифони	фотолитография	електронна микроскопия
nm-технология (около 1985 г.)	100-0,1 nm	отгоре надолу и отдолу нагоре	нови уреди и материали	зондова микроскопия	зондова микроскопия

Създаването на монолитни обемни ултрадребнозърнести метали и сплави като перспективни машиностроителни материали за различни индустриални приложения [2, 3] се основава предимно на обработването чрез интензивно деформиране, което се осъществява по различни методи [7, 8, 10, 12]. Тези методи са разработени за постигането на ултрадисперсна структура със зърна около 0,05-0,5 μm в изделия с размери примерно до 10-200 mm чрез реализирането на особено големи (до 10-12 или 10^5 - 10^6 %) степени на деформация чрез плъзгане [5, 11] под високо налягане без съществени изменения във формата и размерите на обработваните изделия. Извършва се поетапно деформиране, най-често при нормална температура, като на всеки преход се сменя посоката на силово въздействие. Това означава смяна на кристалографските системи на плъзгане и завъртане на главните оси на тензора на

напреженията, при което изходните зърна последователно се раздробяват без появата на обемни дефекти (пори или пукнатини). В приложен аспект обработването на металите и сплавите чрез интензивно пластично деформиране осигурява редица съществени предимства, основните от които са следните:

- значително се повишават както механичните (якост, твърдост, жилавост), така и технологичните (при свръхпластично деформиране и микрообработване) и експлоатационните (издръжливост, топлоустойчивост, биосъвместимост) свойства на конструкционните метални материали;

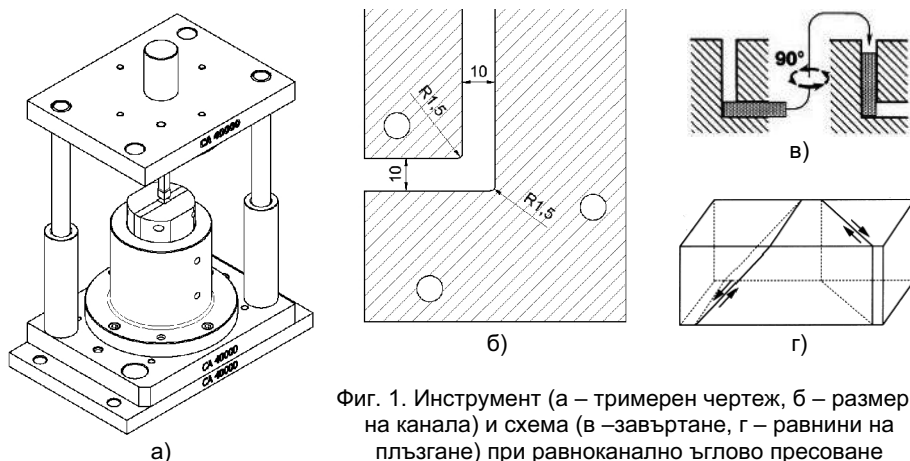
- създаването на свръхиздробенна структура в монолитни изходни материали изключва рисковете при консолидиране на частици с подобна структура в обемни изделия (действия с опасни нанопрахове, остатъчна пористост, нарастване на зърната при компактиране);

- могат да се произвеждат изделия с достатъчно големи размери, подходящи за различни индустриални приложения в машиностроенето и уредостроенето.

Многобройните изследвания върху ултрадребнозърнестите метални материали показват, че те имат много добро съчетание от повишена якост и достатъчно висока пластичност поради формирането предимно на високоъглови граници между силно издробените зърна в условията на интензивно пластично деформиране. Това дава благоприятни възможности за приложение в различни области като конструкционни материали, особено при по-строги изисквания спрямо масата и надеждността на изделията. Освен това те показват подходящи експлоатационни и технологични свойства и за други приложения, например като свръхпластични сплави и сплави с памет на формата, материали в микропроизводството, материали за медицински изделия и спортни пособия и др.

ЕКСПЕРИМЕНТИ

Проведени са лабораторни експерименти с проби 70x9,9x9,9 mm от технически чист алуминий (0,32% Si, 0,21% Fe, 0,17% Cu, 0,08% Mg, Al до 100% по данни от рентгенов микроанализатор Jeol Super Probe 733). Използван е (фиг. 1) специално конструиран и изработен инструмент за равноканално ъглово пресоване, монтиран на хидравлична преса Hydrauma PYE 63.



Фиг. 1. Инструмент (а – тримерен чертеж, б – размери на канала) и схема (в – завъртане, г – равнини на плъзгане) при равноканално ъглово пресоване

Процесът на деформиране е реализиран при стайна температура, като всяка начална проба е пресована на 6 последователни прехода и след всеки преход е завъртана (фиг. 1в) на 90° около оста си. Такова завъртане дава възможност за

взаимно пресичане на равнините на плъзгане (фиг. 1г) на всеки следващ преход и осигурява максимално издребняване на първоначалните метални зърна. Степента на деформация $\varepsilon_i = 2 \cot \alpha_{\varphi} / \sqrt{3}$ на преход при $2\varphi = 90^\circ$ е 1,155 (217%) и общо за 6 прехода достига 6,928 (над 1000%). На фиг. 2 е показан външния вид на някои от експерименталните проби.

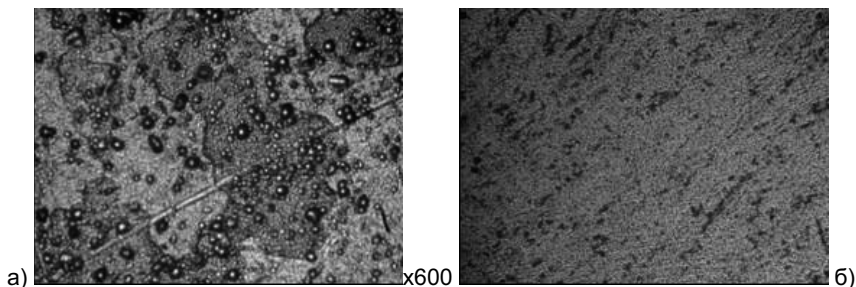


Фиг. 2. Опитни проби (а – преди деформиране, б – след 1 преход, в – за изпитване на опън след 6 прехода)

Характерна особеност на използвания деформационен процес е промяната на формата в краищата на обработваната проба (фиг. 2б), което налага отстраняване на част от нея преди следващия преход и реалната дължина на изделието (фиг. 2в) намалява. Появява се и леко огъване на пробите, което затруднява поставянето им отново в канала на инструмента. Общата последователност на процеса се състои от етапите смазване, деформиране, отстраняване на челата, изправяне, премахване на чепациите, ново смазване и следващ преход на деформиране.

РЕЗУЛТАТИ И ДИСКУСИЯ

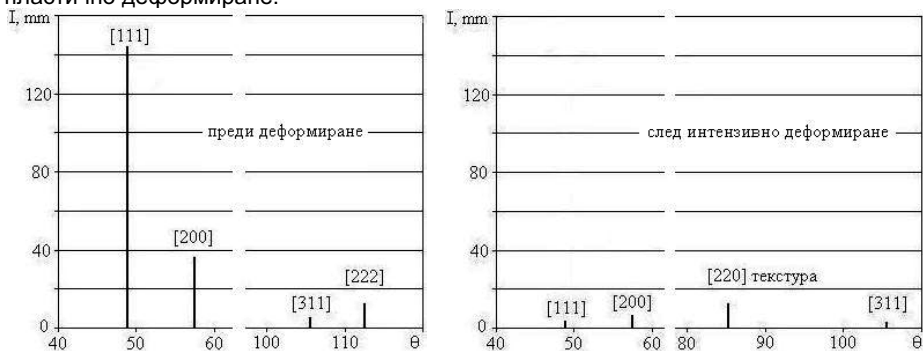
Извършена е предварителна оценка на ефекта от проведеното интензивно пластично деформиране по данни от микроструктурен и рентгеноструктурен анализ и от механични изпитвания на алуминиеви проби в изходно състояние и след шест прехода на равноканално ъглово пресоване. Въпреки затрудненото металографско обработване на шлифовете от алуминий поради ниската му твърдост, фиг. 3а ясно показва границите на зърната преди деформиране, докато на фиг. 3б те вече не могат да се различат вероятно вследствие на очакваното силно издребняване на структурата след интензивното деформиране и на ограниченията в използваната оптична апаратура.



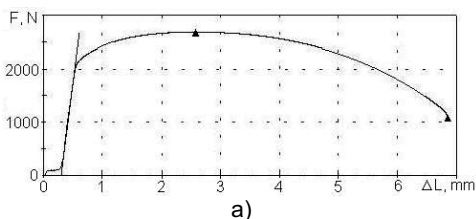
Фиг. 3. Микроструктури преди (а) и след (б) деформиране

Рентгеноструктурният анализ (фиг. 4) е проведен с рентгенов дифрактометър Дрон-2. На схемата на рентгенограмата преди деформиране очакваните пикове в направленията [111] и [200] са изразени много добре по интензитет, докато след деформирането те са многократно по-малки, а пикът [222] практически е изчезнал.

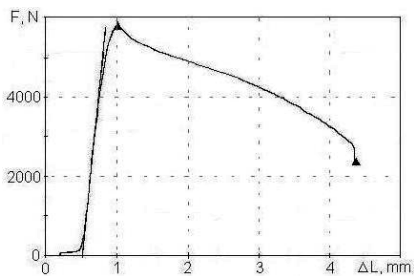
Това е свидетелство за силно издребняване на зърната след интензивно пластично деформиране. Освен това на схемата на рентенограмата след деформиране се появява пик на направлението [220], който се оказва по-голям от другите и е доста разширен в основата си, а преди деформирането е почти незабележим. Вероятно това се дължи на появата на кристалографска текстура в резултат от интензивното пластично деформиране.



Фиг. 4. Схеми на рентенограми преди и след деформиране



а)



б)

Фиг. 5. Диаграми от изпитване на опън преди (а) и след (б) деформиране

Механични свойства на алуминиеви проби

Таблица 2

състояние на материала	характеристики при изпитване на опън				твърдост	
	R _m , МПа	σ _b , МПа	A _g , %	A ₅ , %	НВ	НМV
преди деформиране	94,3	37,9	35,1	96,2	21	21
след деформиране	198,5	81,7	12,7	54,4	44	45

Проведени са механични изпитвания на опън (фиг. 2в, фиг. 5) с изпитвателна машина Instron 3384 и измервания на твърдост по Бринел (HBS 15,6/2,5/30) и на микротвърдост по Викерс (HV_{0,05}). Данните за механичните свойства са обобщени в табл. 2. Както би могло да се очаква, интензивното пластично деформиране рязко повишава якостните показатели при запазване на достатъчно висока пластичност. Това може да се обясни със силно издребнената структура след деформиране, в която, освен нарасналия брой потенциални системи на плъзгане в дребните зърна, съществен дял заема междукристалната деформация при механично изпитване.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Проведените лабораторни експерименти и представените предварителни резултати потвърждават перспективното приложение на равноканалното ъглово пресоване за получаване на обемни монолитни изделия от ултрадребнозърнести метални материали. Необходими са разширени допълнителни изследвания както

върху структурата и свойствата на алуминий и алуминиеви сплави, насочени към усъвършенстване на процеса, така и върху възможностите за използване на други методи за интензивно пластично деформиране на различни метални материали с евентуално комерсиално значение.

БЛАГОДАРНОСТ

Това изследване е част от проект Д002-158/2008 „Симулиране на процеси на пластично деформиране на ултрадисперсно-структурирани алуминиеви сплави”, финансиран от Националния фонд „Научни изследвания”.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Гагов В., Р. Радев, Д. Господинов, Е. Янков. Някои тенденции в изследването и приложението на ултрадребнозърнести метални материали. 9 междун. конф. „Авангардни материали и обработки”, Кранево, том 1, 2009, 119-126.
- [2] Гагов В., Р. Радев, Д. Господинов, Е. Янков. Свойства и възможности за приложение на ултрадребнозърнести метали. Сборник докл. от междун. научна конф. УНИТЕХ'09, Габрово, България, том 2, 20-21 ноември 2009, 228-233.
- [3] Дикова Ц. Перспективи за приложение на наноматериали в машиностроенето. 9 междун. конф. "Машини, технологии, материали", София, 2009, 7-11.
- [4] Кожухаров В. Наноматериали и технологии – състояние и стратегии за развитие. Научни труд. на РУ „Ангел Кънчев”, Русе, 2008, 47, 8, 19-28.
- [5] Подрезов Ю. Механизми структурообразования и особености механическо поведение на наноматериалов деформационного происхождения. Физика и техника высоких давлений, 2009, 19, 1, 31-44.
- [6] Тихоновский М. и др. Наноматериалы: анализ тенденций развития на основе данных об информационных потоках. Вопросы атомной науки и техники, 2003, 13, 103-110.
- [7] Azushima A. et al. Severe plastic deformation processes for metals. CIRP Annals, Manufacturing Technology, 2008, 57, 2, 716-755.
- [8] Gagov V., R. Radev, D. Gospodinov, E. Yankov. Severe plastic deformation of ultrafine grained metals and alloys. Journal of Fundamental Science and Applications, vol. 15, 2009, pp.111-118.
- [9] Havancsak K. Nanotechnology at present and its promises in the future. Materials Science Forum, 2003, 414, 85-94.
- [10] Radev R., V. Gagov, D. Gospodinov, E. Yankov, Contemporary methods for fabricating of nanostructured and ultrafine-grained metal by severe plastic deformation. 11th Workshop „Nanoscience & Nanotechnology 2009”, 1-3 October, Varna, Bulgaria.
- [11] Segal V. Severe plastic deformation: simple shear versus pure shear. Materials Science and Engineering A, 2002, 338, 331-344.
- [12] Valiev R. Recent developments of severe plastic deformation techniques for processing bulk nanostructured materials. Materials Science Forum, 2008, 579, 1-14.

За контакти:

доц. д-р Валентин Иванов Гагов, катедра Материалознание и технология на материалите, Русенски университет “Ангел Кънчев”, e-mail: gag@uni-ruse.bg

доц. д-р Росен Христов Радев, катедра Материалознание и технология на материалите, Русенски университет “Ангел Кънчев”, e-mail: rradev@uni-ruse.bg

инж. Данаил Димитров Господинов, катедра Материалознание и технология на материалите, Русенски университет “Ангел Кънчев”, e-mail: dgospodinov@uni-ruse.bg

инж. Емил Христов Янков, катедра Материалознание и технология на материалите, Русенски университет “Ангел Кънчев”, e-mail: eyankov@uni-ruse.bg

Докладът е рецензиран.