

Деформационно поведение на алуминий при аксиално сплескване

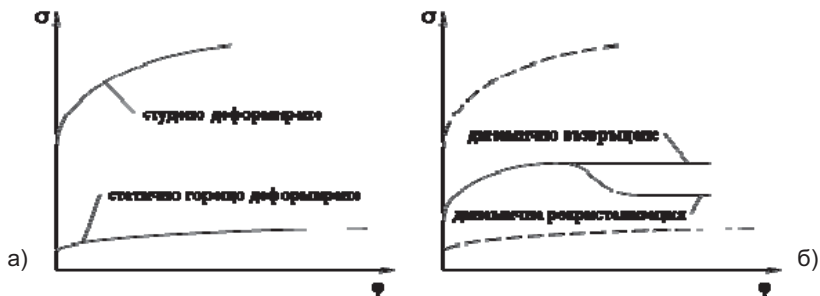
Валентин Гагов, Данаил Господинов, Емил Янков

Deformation Behaviour of Aluminium at Axial Upsetting: The paper presents some new results about the deformation behaviour of aluminium at room temperature. Cylindrical specimens with several diameter-to-height ratios are tested by axial compression using Instron 3384 testing machine. A special numerical approximation of the primary test data is applied to eliminate the effect of contact friction. In this way a stress-strain curve is obtained under condition of strain hardening at cold deformation.

ВЪВЕДЕНИЕ

Количественото описание на промените в съпротивлението срещу пластично деформиране на металните материали по време на обработването им има важно значение [3] като едно от съществените предварителни изисквания за ефикасно провеждане на редица дейности, например рационално технологично проектиране на деформационните производствени процеси, коректно числено моделиране [2, 13] на такива процеси, най-често по метода на крайните елементи, както и правилна подготовка, реализация и интерпретация на физически моделни експерименти [1]. Това обяснява засиления интерес през последните години към апроксимативното представяне [4, 12] на експерименталните данни за реологичното поведение на металните материали при пластично деформиране с разнообразни математични модели, подходящи за различни инженерни приложения. С оглед повишаване на точността на математичното моделиране се наблюдават ясно изразени тенденции както към отчитане на някои допълнителни условия при лабораторните изпитвания (бъчвообразност при сплескване, деформационно нагряване), така и към коригиране и усложняване на известните моделни зависимости според физическите механизми на горещо пластично деформиране.

Характерните разлики в деформационното поведение на металните материали при студено и горещо пластично деформиране са схематизирани [3] на фиг. 1. При студено деформиране преобладават дислокационните механизми на уякчаване и описанието на пластичното течение най-често се извършва във вид на нарастващи монотонно затихващи функции (фиг. 1а) на интензивността на напреженията от интензивността на деформациите $\sigma = \sigma(\varphi)$, известни като криви на деформационно уякчаване. Най-често използваните формули за аналитично описание на тези криви са изброени в [4, 8] заедно с някои препоръки за тяхното приложение.



Фиг. 1 Общ вид на зависимостите $\sigma(\varphi)$ при студено и горещо деформиране

При горещо деформиране, освен термично обусловеното намаляване на напреженията, едновременно с уякчаването протичат динамични процеси на разуякчаване (възвръщане, рекристализация) и характера на кривите на пластично

течене зависи от развитието на тези явления в хода на деформирането. При много бавно натоварване може да протече пълна динамична рекристализация, което да доведе до елиминиране на ефекта от деформационното уякчаване и да се получи (фиг. 1а) почти постоянно напрежение на пластично течене до много големи деформации. При скорости на деформация, обикновено използвани в практиката, процесите на уякчаване и разуякчаване се конкурират и кривите на пластично течене (фиг. 1б) могат да нарастват до достигане на постоянни напрежения поради динамично възвръщане или, след първоначалното нарастване, да стигнат до намаляване на напреженията поради динамична рекристализация и по-нататък до динамично равновесие между процесите на уякчаване и разуякчаване. В общия случай на горещо деформиране моделирането на реологичното поведение на металите $\sigma = \sigma(\varphi, \partial\varphi/\partial t, T)$ включва зависимостта на напрежението σ не само от степента на деформация φ , както при студено деформиране, но и от интензивността на скоростите на деформация $\partial\varphi/\partial t$ и от температурата на обработване T .

За експериментално определяне на поведението на металните материали при обемно пластично деформиране най-често се използват методите на изпитване на опън, натиск и усукване. При изпитване на опън се достига до сравнително малки степени на равномерна деформация преди образуването на шийка, а изпитването на усукване изисква специализирани изпитвателни машини. Изпитването на натиск чрез аксиално сплескване се извършва лесно с универсални изпитвателни машини, но са необходими специални мерки за минимизиране на влиянието на контактното триене. Тук са представени резултати от изследване на поведението на алуминий при студено деформиране с уякчаване чрез аксиално сплескване без смазване на цилиндрични пробни тела с еднакви диаметри и различни височини.

ИЗЛОЖЕНИЕ

Наличието на контактното триене при изпитване на натиск води до неизбежна поява на бъчвообразност (фиг. 2б), която променя желаното едномерно напрегнато състояние, а необходимата допълнителна работа за преодоляване на триенето увеличава контактните напрежения и изменя равномерното им разпределение. По тези причини се затруднява както пресмятането на действителните стойности на интензивностите на напреженията и деформациите, така и анализа на опитните данни в зависимост само от свойствата на изпитвания материал при съответните температурно-скоростни условия на изпитване

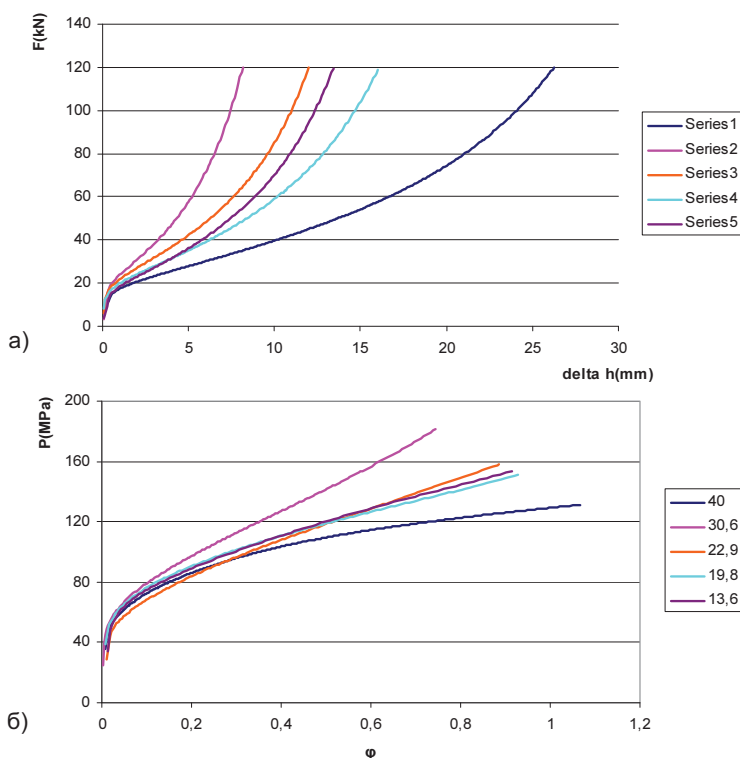


Фиг. 2 Изпитвани алуминиеви проби: а – преди изпитване; б – след изпитване без смазване; в – след изпитване без триене

Съществуват няколко числени методики [6, 7, 10, 12.] за отчитане влиянието на контактното триене при изпитване на натиск и съответно коригиране на опитните зависимости $\sigma(\varphi)$, които обаче изискват прецизна експериментална и изчислителна

техника. Съществуват също така различни методи [9, 11, 14] за опитно определяне само на коефициента на триене при пластично деформиране, но такива данни не могат директно да се използват за уточняване на експерименталните зависимости $\sigma(\varphi)$ при аксиално сплескване. Известни са и различни варианти за предварително изработване на плитки челни вдлъбнатини на пробното тяло, които се запълват с подходяща смазка и могат да елиминират (фиг. 1в) появата на бъчвообразност при изпитването на натиск. Тук се използва числена методика [5, 8] за построяване на кривата на уякчаване $\sigma(\varphi)$ по експериментални резултати от изпитване на натиск на няколко проби без специални мерки за намаляване на контактното триене.

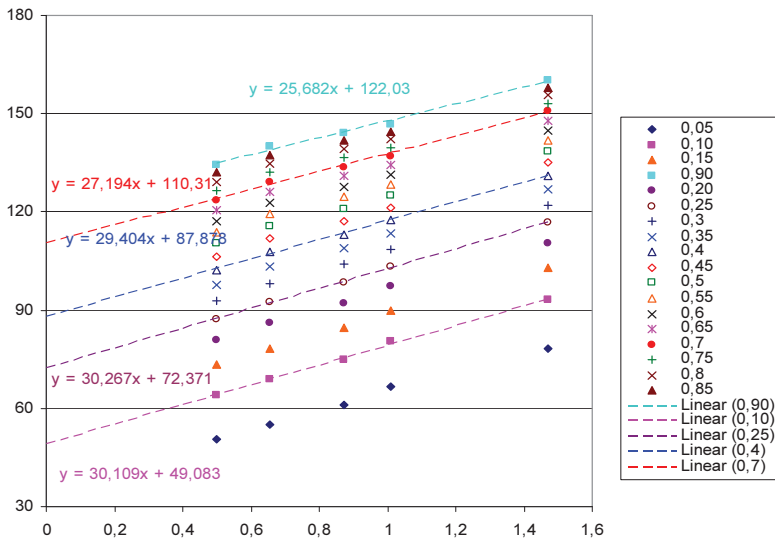
В това изследване са използвани проби от технически чист алуминий с начален диаметър 20 mm и начални височини: 40 mm; 30,6 mm; 22,9 mm; 19,8 mm; 13,6 mm. Аксиалното сплескване е проведено с изпитвателна машина Instron 3384 при стайна температура (около 24°C) със скорост 10 mm/min и запис в реално време през 0,5 s на силата F и скъсяването Δh . Поради наличието на бъчвообразност е пресмятан средния текущ диаметър $d = d_0(h_0/h)^{1/2}$ за $h = h_0 - \Delta h$ по принципа за запазване на обема в пластичната област и по тези стойности е изчислявано средното контактното налягане $P = 4F/(\pi d^2)$.



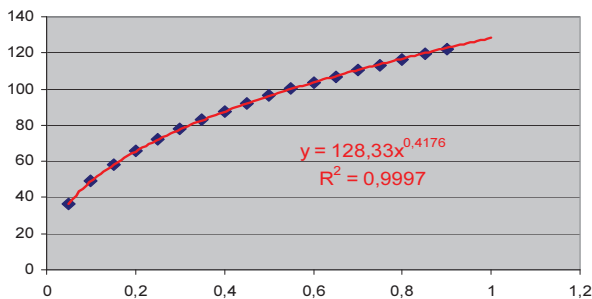
Фиг. 3 Опитни диаграми $F(\Delta h)$ и зависимости $P(\varphi)$ за всички проби

Известно е, че влиянието на контактното триене при сплескване намалява с нарастването на началното размерно отношение h_0/d_0 (h – височина, d – диаметър) на изпитваните проби. На тази основа използваната методика включва следната последователност:

- запис на машинните диаграми $F(\Delta h)$ за всички изпитвани проби (фиг. 3а);
- построяване на графични зависимости $P(\varphi)$ за всички проби (фиг. 3б)
- отчитане на P за избрани стойности на φ и построяване на зависимостите $P(d_0/h_0)$ за всички проби и степени на деформация (фиг. 4);
- екстраполация на $P(d_0/h_0)$ до $d_0/h_0 = 0$ при приемането $P(d_0/h_0, \varphi) \Big|_{d_0/h_0=0} = \sigma(\varphi)$ за избраните степени на деформация (фиг. 4);
- построяване (фиг. 5) на кривата на деформационно уякчаване $\sigma(\varphi)$ по тези екстраполирани стойности.



Фиг. 4 Зависимости $P(d_0/h_0)$ и екстраполация до $d_0/h_0 = 0$



Фиг. 5 Крива на уякчаване $\sigma(\varphi)$ за алуминий

Приложението на описаната методика за изпитваните проби е илюстрирано на фиг. 4 и фиг. 5. Получено е статистически достоверното уравнение $\sigma = 128,33\varphi^{0,4176}$ за кривата на уякчаване на изследвания технически чист алуминий.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Проведените експерименти и посочените резултати показват, че при студено деформиране изпитването на натиск без особени мерки срещу контактното триене може да се използва за построяване на кривите на уякчаване, като се изпитват

цилиндрични проби с различно отношение на началните им размери. Необходимо е натрупване на повече експериментални и числени резултати за анализ на точността и приложимостта на използваната екстраполативна методика.

ЛИТЕРАТУРА

[17] Гагов В., Р. Радев. Влияние на уякчаването върху теченето на метала при нестационарно обемно деформиране. Научни трудове на РУ „Ангел Кънчев”, Русе, 2002, том 39, серия 7 „Машиностроителни науки”, 46-50.

[18] Гагов В., Р. Радев, Б. Томов. Симулиране на процеси на обемно деформиране по метода на крайните елементи. Научни трудове на РУ „Ангел Кънчев”, Русе, том 49, серия 2 „Машиностроителни технологии и механика”, 60-64.

[19] Гагов В., Р. Радев, Д. Господинов, Е. Янков. Аналитични модели за реологичното поведение на метални материали при горещо деформиране. Сборник доклади от XXVII международна научна конференция МТФ'2012, София, България, том 1, 19-20 октомври 2012, 91-96.

[20] Минев Р., В. Гагов. Апроксимация на криви на деформационно уякчаване при изпитване на опън и натиск. Научни трудове на ВВОВУ „Васил Левски”, Велико Търново, 1998, книжка 66, 485-492.

[21] Шофман Л. А. Теория и расчеты процессов холодной штамповки. Машиностроение, Москва, 1964.

[22] Altinbalik T., Y. Can. An upper bound analysis and determination of the barreling profile in upsetting. Indian Journal of Engineering and Materials Science, 2011, vol. 18, 6, 416-424.

[23] Cetinarlan C. S. Effect of aspect ratio on barreling contour and variation of total surface area during upsetting of cylindrical specimen. Materials and Design, 2007, vol. 28, 6, 1907-1913.

[24] Hosford W., R. Caddell. Metal forming: mechanics and metallurgy. Cambridge University Press, New York, 2011.

[25] Kacmarcik I., D. Movrin. A. Ivanisevic. One contribution to the friction investigation in bulk metal forming. Journal for Technology of Plasticity, 2011, vol. 36, 1, 35-48.

[26] Majd H. M., M. Poursina, K. H. Shirazi. Determination of barreling curve in upsetting process by artificial neural networks. Proc. of the 9th Int. Conf. on Simulation, Modelling and Optimization, Budapest, Hungary, 03-05 September 2009, 271-274.

[27] Plancak M., Z. Car, M. Krsulja, D. Vilotic, I. Kacmarcik, D. Movrin. Possibilities to measure contact friction in bulk metal forming. Tehnicki vjesnik, 2012, vol. 19, 4, 727-734.

[28] Semiatin S. L., T. Altan. Measurement and Interpretation of flow stress data for the simulation of metal-forming processes. Interim Report AFRL-RX-WP-TP-2010-4072, Air Force Research Laboratory and The Ohio State University, Ohio, 2010.

[29] Tomov B., R. Minev, R. Radev, V. Gagov. About input data selection for the FEM analysis of bulk forming. Journal of Materials Processing Technology, 2003, vol. 133, 1/2, 199-202.

[30] Zhang Q., M. Arentoft, S. Bruschi, L. Dubar, E. Felder. Measurement of friction in a cold extrusion operation: study by numerical simulation of four friction tests. Proc. of the 11th Esaform Conf. on Material Forming, Lyon, France, 23-25 April 2008, 1267-1270.

За контакти:

Доц. д-р Валентин Ив. Гагов, катедра МТМ, Русенски университет “Ангел Кънчев”, тел.: 082-888778, e-mail: gag@uni-ruse.bg

Доц. д-р Данаил Д. Господинов, катедра МТМ, Русенски университет “Ангел Кънчев”, тел.: 082-888209, e-mail: dgospodinov@uni-ruse.bg

Ас. маг. инж. Емил Хр. Янков, катедра МТМ, Русенски университет “Ангел Кънчев”, тел.: 082-888209, e-mail: eyankov@uni-ruse.bg

Докладът е рецензиран.