مجله مهندسی مکانیک مدرس، تیر 1396، دوره 17، شماره 4، ص‌ص 78-84

ماهنامه علمی پژوهشی

مهندسی مکانیک مدرس

mme.modares.ac.ir

بررسی پارامترهای مؤثر بر خواص مکانیکی و ساختاری نمونه سیم آلومینیومی تولید شده به روش اکستروژن اصطکاکی اغتشاشی

کامین طهماسبی[1]، مسعود محمودی[2*]

1- دانشجوی کارشناسی ارشد، مهندسی مکانیک، دانشگاه سمنان، سمنان
2- استادیار، مهندسی مکانیک، دانشگاه سمنان، سمنان
* سمنان، صندوق پستی 35131-19111، mahmoodi@semnan.ac.ir

اطلاعات مقاله

مقاله پژوهشی کامل
دریافت: 17 بهمن 1395
پذیرش: 14 اسفند 1395
ارائه در سایت: 14 فروردین 1396

کلید واژگان:
اکستروژن اصطکاکی اغتشاشی
آلومینیوم
سرعت دورانی
نیروی اکستروژن

چکیده

اکستروژن اصطکاکی اغتشاشی فرایندی بر پایه حرارت حاصل از اصطکاک میان قالب و مواد می‌باشد که در آن نمونه از طریق فشرده‌سازی و اکستروژن موادی مانند براده‌های فلز به وجود می‌آید . در این مقاله نمونه سیم‌های تولید شده از براده‌های آلیاژ آلومینیوم AA7022 به روش اکستروژن اصطکاکی مورد بررسی قرار گرفته‌اند. نمونه‌ها در سرعت‌های دورانی و نیروهای مختلف، اکسترود شده و اثر این دو پارامتر مورد مطالعه قرار گرفته است. در ابتدا خواص ساختاری نمونه‌ها به وسیله میکروسکوپ نوری و میکروسکوپ الکترونی بررسی شد. نتایج حاکی از این بود که نمونه‌های تولید شده در سرعت دورانی بالاتر و نیروی کمتر از کیفیت سطح به مراتب بهتری برخوردار بوده و ترک سطحی کمتری در آن‌ها دیده شد. از طرفی دیگر با افزایش سرعت دورانی دمای فرایند و اندازه دانه افزایش یافت. تصاویر میکروسکوپ الکترونی نیز نشان داد که با تغییر سرعت دورانی و نیروی اکستروژن میزان تف‌جوشی و چسبیدگی میان ذرات آلومینیوم نیز تغییر خواهد کرد و با بهینه کردن این پارامترها می‌توان میزان تخلخل و عیوب داخلی سیم را کاهش داد. در ادامه جهت مطالعه خواص مکانیکی، آزمون‌های میکروسختی و فشار به کار گرفته شد. با افزایش سرعت دورانی مقادیر سختی و تنش تسلیم نمونه‌ها کاهش چشم‌گیری پیدا کرد و افزایش نیروی اکستروژن تا یک حد مشخص نیز باعث افزایش در استحکام تسلیم ماده شد.

Investigation of the effective parameters on the mechanical and structural properties of aluminum wire sample fabricated by friction stir extrusion

Kamin Tahmasbi, Masoud Mahmoodi*

Department of Mechanical Engineering, Semnan University, Semnan, Iran
* P.O.B. 35131-19111, Semnan, Iran, mahmoodi@semnan.ac.ir

ARTICLE INFORMATION

Original Research Paper
Received 05 February 2017
Accepted 04 March 2017
Available Online 03 April 2017

Keywords:
Friction stir extrusion
Aluminum
Rotational speed
Extrusion force

ABSTRACT

Friction stir extrusion (FSE) is a process based on the heat generated by friction between die and materials in which a sample is produced through consolidation and extrusion of precursor materials such as metal chips. In this paper, the wire samples produced by friction extrusion of aluminum alloy AA7022 chips are investigated. The samples were extruded at different rotational speeds and extrusion forces, and impacts of these two parameters were studied. At first, structural properties of samples were studied using optical microscopy and scanning electron microscopy (SEM). The result showed that the samples produced at higher rotational speeds and lower forces had a far better surface quality and lower surface crack were seen on them. On the other hand, the temperature of process and grain size was increased with rise of rotational speed. The SEM micrographs showed that by changing rotational speed and extrusion force, the amount of adhesion and sintering between aluminum particles change and by optimizing these parameters can decrease wire's internal defects and pits. In the following, to study mechanical properties, micro hardness and compression tests were used. The values of hardness and yield stress of samples were decreased with increasing rotational speed and increasing the extrusion force to a certain extent caused increase in yield stress of material.

1- مقدمه

هنگام تولید محصولات فلزی مقدار قابل توجه‌ای از ماده مصرفی به‌صورت براده و ضایعات تولید می‌شود. این براده‌ها و ضایعات به‌منظور بازیافت به کوره‌های ذوب منتقل شده و مقداری از آن‌ها مجددا در فرآیند تولید استفاده می‌شود. در طول بازیافت مواد اتلافی مقدار زیادی از فلز در نتیجه اکسیداسیون از بین می‌رود و هزینه کار و انرژی به‌کار رفته به اندازه هزینه‌های محافظت از محیط زیست موجب بالا رفتن هزینه عمومی فرآیند می‌شود. با این حال بازیافت براده‌های آلومینیوم تنها به حدود 5٪ انرژی لازم برای تولید آلومینیوم از سنگ معدن احتیاج دارد. دو روش اصلی برای بازیافت براده آلومینیوم برای تولید یک محصول مفید وجود دارد که یکی روش سنتی

برای ارجاع به این مقاله از عبارت ذیل استفاده نمایید:

Please cite this article using:
K. Tahmasbi, M. Mahmoodi, Investigation of the effective parameters on the mechanical and structural properties of aluminum wire sample fabricated by friction stir extrusion, *Modares Mechanical Engineering*, Vol. 17, No. 4, pp. 78-84, 2017 (in Persian)

[Downloaded from mme.modares.ac.ir on 2024-03-29]
[DOR: 20.1001.1.10275940.1396.17.4.25.1]

و دیگری روش تبدیل مستقیم می‌باشد. روش سنتی نیاز به ذوب مواد برای بازیافت شدن، ریخته‌گری کردن یک شمش و سپس اکستروژن گرم شمش ریخته‌گری شده برای شکل دادن یک محصول یکپارچه در قالب سیم و یا میله دارد. در روش تبدیل مستقیم براده‌ها تنها در یک مرحله اکستروژن گرم بازیافت می‌شوند. در مقایسه با بازیافت سنتی، تبدیل مستقیم ضایعات آلومینیوم به فلز فشرده منجر به صرفه جویی 40٪ در مواد، 31-26٪ در انرژی و 60-16٪ در نیروی کار می‌شود. فرایند اکستروژن اصطکاکی اغتشاشی که نوعی روش تبدیل مستقیم می‌باشد برای نخستین بار در موسسه جوش کمبریج انگلستان ابداع گردید [1]. در این روش با ایجاد گرمای بسیار زیادی به واسطه اصطکاک، تغییر شکل پلاستیک شدیدی در مواد اولیه رخ داده و نمونه‌هایی با خواص مکانیکی به مراتب بهتر نسبت به ماده اولیه ایجاد می‌گردد. این روش می‌تواند برای بازیافت ضایعات ماشین‌کاری، تولید مواد خام سیمی و تقویت محصولات متالورژی پودر استفاده شود . فرآیند اکستروژن اصطکاکی در این چند سال اخیر موردتوجه محققان بسیاری قرار گرفته است.

اخیرا بازیافت و تولید سیم آلومینیومی AA2050 و AA2195 با روش اکستروژن اصطکاکی توسط تانگ و رینولدز مورد بررسی قرار گرفته است. این آزمایش، عیوب مربوط به سیم و ارتباط آن‌ها با پارامترهای فرایند را مورد بررسی قرار داده است [2]. ابو فرها به تحقیق درباره تولید لوله آلومینیومی AA6063-T52 به روش اکستروژن اصطکاکی پرداخت و ریزساختار لوله تولید شده را در نواحی مختلف بررسی کرد و نشان داد که اکستروژن اصطکاکی روشی توانا جهت تولید لوله با ریزساختاری اصلاح شده است [3]. لی و همکارانش جریان شکل‌گیری مواد در حین فرایند اکستروژن اصطکاکی را مورد بررسی قرار دادند. آن‌ها در این تحقیق آلومینیوم AA2195 را به عنوان نشانه جهت تعیین جریان مواد درون آلومینیوم AA6061 کار گذاشتند[4]. آن‌ها همچنین جریان شکل‌گیری مواد در فرایند اکستروژن اصطکاکی را با استفاده از مدل CFD و با محاسبات عددی به‌دست آوردند. آن‌ها در محاسبات خود فرض کردند که هیچ‌گونه تماس لغزشی بین ماده و قالب وجود ندارد [5]. لی و همکارانش همچنین پدیده انتقال حرارت و تغییرات دمایی در حین فرایند اکستروژن اصطکاکی را به‌وسیله نرم‌افزار فلوینت شبیه‌سازی کردند و نتایج به‌دست آمده با مقادیر تجربی اندازه‌گیری شده مطابقت خوبی داشت [6]. انصاری و همکارانش نیز به تحقیق درباره‌ی تولید سیم منیزیمی به روش اکستروژن اصطکاکی پرداختند و ریزساختار و اندازه متوسط دانه را در سیم‌های مختلف منیزمی بررسی کردند [7]. آن‌ها همچنین در مقاله بعدی خود مقاومت به سایش و مقاومت به خوردگی سیم منیزمی تولید شده را مورد بررسی قرار دادند و پی بردند که فرایند اکستروژن اصطکاکی موجب بهبود خواص سایشی و خوردگی نمونه‌ها شده است [8]. دیناهاران و همکارانش لوله مسی به روش اکسترون اصطکاکی تولید کردند و به بررسی ویژگی‌های ریزساختاری آن پرداختند [9]. ویلیام و همکارانش اکستروژن اصطکاکی را به‌عنوان یک روش جدید همانند جوش‌کاری اصطکاکی برای اتصال مواد مختلف مانند آلومینیوم و فولاد مطرح کردند [10]. سرکاری و موحدی نیز لوله آلومینیومی به روش اکستروژن اصطکاکی اغتشاشی تولید کردند و به بررسی خواص ریزساختاری و مکانیکی آن در نواحی مختلف لوله پرداختند [11]. عبدی و همکارانش سیم منیزمی به روش اکستروژن اصطکاکی تولید کردند و یک آنالیز ترکیبی ریزساختاری، حرارتی و مکانیکی به روش المان محدود اویلرین- لاگرانژین انجام دادند [12]. لی و همکارانش نیز در جدیدترین مقاله خود به محاسبه کرنش‌های طولی و صفحه‌ای ایجاد شده در سیم تولید شده به روش اکستروژن اصطکاکی پرداختند و دریافتند که کرنش صفحه‌ای با افزایش دمای اکستروژن، کاهش می‌یابد [13].

با توجه به پژوهش‌های پیشین انجام شده در این زمینه می‌توان دریافت که تاکنون مطالعه‌ای بر روی آلومینیوم سری 7000 به روش اکستروژن اصطکاکی اغتشاشی انجام نگرفته است. این آلیاژ عملیات حرارتی پذیر بوده و اهمیت و استفاده فراوانی در صنعت دارد. در این مقاله نمونه سیم آلومینیومی AA7022 به روش اکستروژن اصطکاکی اغتشاشی تولید شده و تاثیر پارامترهای فرآیند بر خواص ریزساختاری و مکانیکی آن به‌وسیله میکروسکوپ‌های نوری و الکترونی و آزمون‌های فشار و میکروسختی بررسی شده است.

2- روش انجام آزمایش

2-1- فرایند اکستروژن اصطکاکی اغتشاشی

در این مقاله، برای انجام فرایند اکستروژن اصطکاکی از دستگاه تراش اصلاح-شده استفاده شده است. اجزای اصلی دستگاه که یکی محفظه ماتریس با قطر داخلی 24 میلی‌متر و دیگری قالب سنبه به قطر 23.7 میلی‌متر می‌باشد در "شکل 1" نشان داده شده است. هر دو قطعه از فولاد H13 ساخته شده است. قالب سنبه دارای یک سوراخ در مرکز و سطحی تخت است. قطر سوراخ مرکزی 5 میلی‌متر می‌باشد که در واقع همان قطر سیم تولیدی است. محفظه ماتریس که در تصویر نشان داده شده است، در جهت عقربه‌های ساعت چرخیده و مواد اولیه در داخل آن قرار می‌گیرند. در طول فرآیند اکستروژن اصطکاکی نرخ اکستروژن متفاوت بوده و فشار ثابت نگه داشته شده است در حالی که در یک اکستروژن معمولی برعکس بوده و نرخ اکستروژن ثابت نگه داشته می‌شود و فشار ممکن است به‌منظور حفظ نرخ مشخص متغیر باشد.

فرایند اکستروژن اصطکاکی در واقع یک نوع اکستروژن معکوس می‌باشد که قالب سنبه با نیروی بسیار زیادی به درون محفظه ماتریس هدایت می‌گردد. این فرایند موجب ایجاد اصطکاک زیاد با مواد درون محفظه ماتریس و اغتشاش آن‌ها شده که همراه با فشار افقی که به آن اعمال می‌گردد، انرژی مکانیکی به گرمایی تبدیل می‌شود و به‌دلیل همین گرمای زیاد تولید شده مواد حالت خمیری پیدا کرده و شروع به سیلان می‌کنند. در نتیجه سیم از طریق سوراخ مرکزی قالب اکسترود می‌شود و به بیرون می‌آید. زمان انجام گرفتن فرایند حدود 1 دقیقه بوده که کاهش چشم‌گیری نسبت به فرایند در حالت عمودی یافته است. شماتیکی کلی از نحوه انجام فرایند اکستروژن اصطکاکی اغتشاشی و تصویر تنظیم دستگاه استفاده شده در "شکل 2" نمایش داده شده است.

در فرایند اکستروژن اصطکاکی نیروی اکستروژن و میزان پیشروی قالب به‌وسیله شیرهای کنترل فشار و کنترل جریان تعبیه شده در مجموعه هیدرولیک تنظیم شدند. مقدار نیروی وارده نیز از حاصل‌ضرب فشار تنظیم شده در مساحت سطح مقطع جک هیدرولیک به‌دست آمد. آزمایش‌های فرآیند اکستروژن اصطکاکی در سرعت‌های دورانی مختلف با نیروهای اکستروژن متفاوت انجام گرفت. پارامترهای استفاده شده برای هر تست در جدول 1 نشان داده شده‌است.

2-2- مواد

مواد استفاده شده برای اکسترود نمونه‌ها براده‌های آلیاژ آلومینیوم AA7022 بودند. این براده‌ها از ماشین‌کاری شمش آلومینیوم در شرایطی خشک و بدون

[Downloaded from mme.modares.ac.ir on 2024-03-29]

[DOR: 20.1001.1.10275940.1396.17.4.25.1]

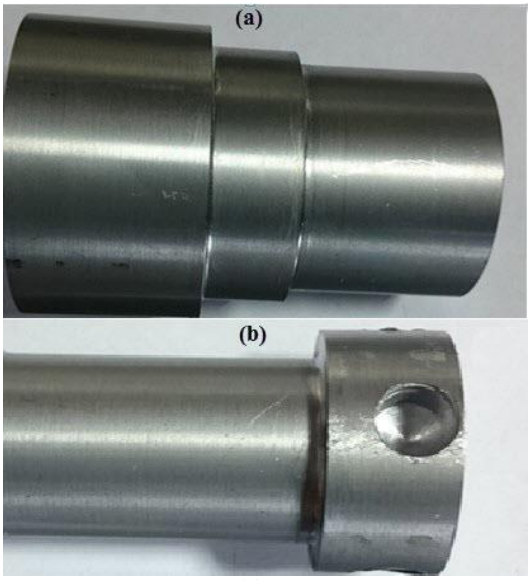


Fig. 1 The main components of friction extrusion a) rotary billet chamber b) plunging die

شکل 1 اجزای اصلی اکستروژن اصطکاکی a) محفظه ماتریس b) قالب سنبه

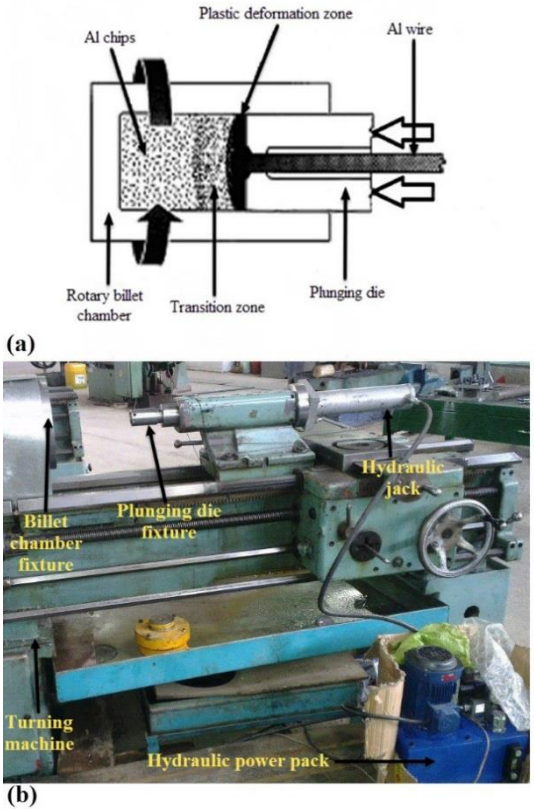


Fig. 2 a) Schematic of friction stir extrusion process b) device setup

شکل 2 a) شماتیک فرایند اکستروژن اصطکاکی اغتشاشی b) تنظیم دستگاه

استفاده از ماده روان‌کار به‌دست آمدند. عرض و ضخامت میانگین براده‌های استفاده شده به ترتیب 3 میلی‌متر و 0.2 میلی‌متر است. ترکیب شیمیایی و درصد جرمی آلیاژ مورد استفاده در این فرایند نیز در جدول 2 آمده است. این آلیاژ دارای استحکام و چقرمگی بالایی بوده و عمده کاربرد آن در صنایع هواپیماسازی و خودروسازی است.

جدول 1 پارامترهای اکستروژن اصطکاکی اغتشاشی

Table 1 Friction stir extrusion parameters

تست	سرعت دورانی (دور بر دقیقه)	نیروی اکستروژن (کیلونیوتن)
1	180	38.4
2	355	38.4
3	500	38.4
4	180	48.1
5	355	48.1
6	500	48.1
7	180	57.7
8	355	57.7
9	500	57.7

جدول 2 ترکیب اسمی آلومینیوم AA7022

Table 2 Nominal composition of aluminum AA7022

عنصر	آلومینیوم	روی	منیزیم	مس	منگنز	سیلیسیم	کروم
درصد جرمی	89.88	4.53	2.50	2.07	0.23	0.20	0.20

2-3- متالوگرافی و تست مکانیکی

ریزساختار نمونه‌ها به وسیله میکروسکوپ نوری و میکروسکوپ الکترونی بعد از فرایند اکستروژن اصطکاکی مورد بررسی قرار گرفت. ساخت نمونه برای بررسی ریزساختاری به ترتیب مطابق استانداردهای ASTM E407-07 [14] و ASTM E3-11 [15] انجام شد. برش نمونه عمود بر راستای اکستروژن انجام گردیده و سپس نمونه مانت سرد شده و عملیات سنباده‌زنی با کاغذهای سنباده از جنس سیلیسیم کارباید آغاز شد. پولیش مکانیکی با استفاده از خمیر الماس 1 میکرون صورت گرفت. عملیات پولیش نهایی نمونه با استفاده از محلول کلوئید سیلیکا انجام پذیرفته است. در مرحله بعدی عملیات اچ کردن به‌منظور آشکارسازی دانه‌ها انجام شده که از محلول معرف کلر استفاده شد. در نهایت با استفاده از میکروسکوپ نوری و میکروسکوپ الکترونی بررسی ریزساختاری روی نمونه انجام شده است.

جهت انجام آزمون میکروسختی ویکرز از استاندارد EN ISO 6507-1 [16] استفاده شد. لذا نمونه به مدت 10 ثانیه تحت بار 50 gf قرار گرفت. در این آزمون برای هر نمونه سختی در هریک از مناطق مرکز و میانه و لبه مقطع عرضی سیم، 3 تا 4 مرتبه اندازه‌گیری شد و مقدار میانگین با تخمین عدم قطعیت بدست آمده‌است. آزمون فشار نیز مطابق استاندارد EN ISO 7500-1 [17] در دمای اتاق انجام گرفت. سرعت پیشروی فک دستگاه فشار جهت انجام آزمون، 0.1 میلی‌متر بر دقیقه بوده است. نسبت قطر به طول نمونه‌ها نیز 2/3 در نظر گرفته‌شد.

3- نتایج

3-1- کیفیت سطح و ریزساختار

براده‌های آلومینیوم استفاده شده و ظاهر فیزیکی نمونه‌های تولید شده در شرایط مختلف در "شکل 3" نشان داده شده است. در تمامی نمونه‌ها ابتدای هر سیم به‌دلیل شروع اکستروژن به‌خوبی شکل نگرفته است. همان‌طور که مشاهده می‌شود برخی از نمونه‌ها از کیفیت سطح خوبی برخوردار نبوده و دارای ترک و پیچ خوردگی و اعوجاج هستند. برخی از نمونه‌های تولید شده در سرعت دورانی کم 180 دور بر دقیقه و نیروی اکستروژن زیاد 57.7 کیلونیوتن نسبت به نمونه‌های دیگر از کیفیت خوبی برخوردار نبودند و به همین خاطر در ادامه تحقیقات مورد بررسی قرار نگرفتند. دلیل پایین آمدن کیفیت نمونه تولیدی در سرعت دورانی 180 دور بر دقیقه این است که در

[Downloaded from mme.modares.ac.ir on 2024-03-29]
[DOR: 20.1001.1.10275940.1396.17.4.25.1]

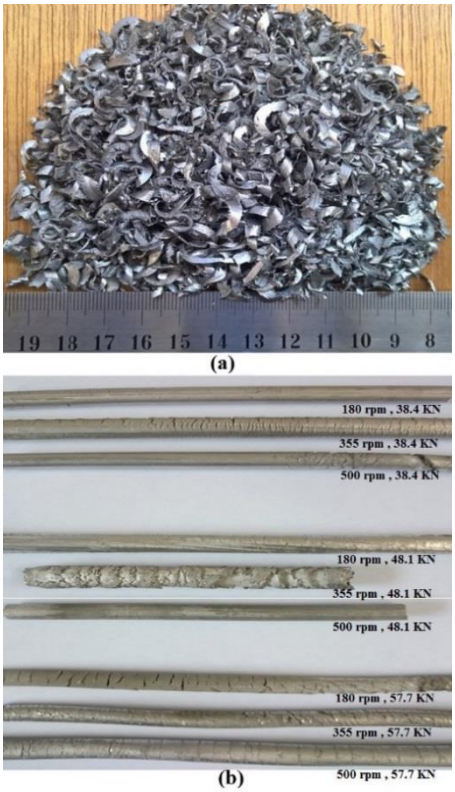


Fig. 3 a) Chips of aluminum AA7022 b) extruded specimens

شکل 3 a) براده‌های آلومینیوم AA7022 b) نمونه‌های اکسترود شده

سرعت دورانی پایین گرمای بسیار کمتری تولید شده و این مقدار گرما برای خمیری شدن و به خوبی جریان یافتن براده‌ها کافی نیست و به همین خاطر نمونه تولیدی حاوی ترک و پیچ‌خوردگی است. در نیروی اکستروژن خیلی زیاد نیز به دلیل بیش از حد فشرده شدن جریان مواد در حین شکل‌گیری، نمونه تولیدی صاف نبوده و دچار اعوجاج شده است. بهترین و با کیفیت‌ترین نمونه از لحاظ ظاهر فیزیکی در سرعت دورانی 500 دور بر دقیقه و نیروی اکستروژن 38.4 کیلونیوتن تولید شد. تصویر مقطع عرضی برخی از سیم‌های اکسترود شده در شرایط مختلف که توسط میکروسکوپ الکترونی گرفته شده در "شکل 4" نشان داده شده است. با یک مقایسه کوچک میان شکل های a-4 و b-4 و c-4 می‌توان دریافت که نمونه تولید شده در سرعت دورانی 500 دور بر دقیقه و نیروی اکستروژن 38.4 کیلونیوتن (شکلc-4) نسبت به نمونه‌های دیگر دارای مقطعی همگن‌تر و عاری از ترک سطحی است. شکل‌های d-4 و e-4 تصویر میکروسکوپ الکترونی با بزرگنمایی بالای نمونه‌های تولید شده در نیروی ثابت 48.1 کیلونیوتن و به ترتیب سرعت‌های دورانی 180 و 500 دور بر دقیقه را نشان می‌دهد. افزایش سرعت دورانی باعث بالا رفتن دما و تفجوشی بهتر مواد می‌شود. همان‌طور که مشاهده می‌شود در "شکل e-4" به خاطر پایین بودن سرعت دورانی، دمای فرایند به نقطه‌ای نرسیده است که تفجوشی صورت بگیرد و به همین خاطر ذرات براده‌های آلومینیوم به‌طور کامل به هم نچسبیده و فضای خالی میان آن‌ها باعث شکل‌گیری حجم عظیمی از تخلخل می‌شود. در "شکل d-4" به‌خاطر بالا بودن سرعت دورانی و بالا رفتن دما، دیگر عیب تخلخل مشاهده نمی‌گردد و نمونه به خوبی شکل گرفته است.

"شکل 5" تصاویر گرفته شده توسط میکروسکوپ نوری و ریزساختار برخی از نمونه‌ها را نشان می‌دهد. با ثابت بودن نیرو و افزایش سرعت دورانی از 180 به 500 دور بر دقیقه، اندازه دانه‌ها افزایش یافته است. دو عامل

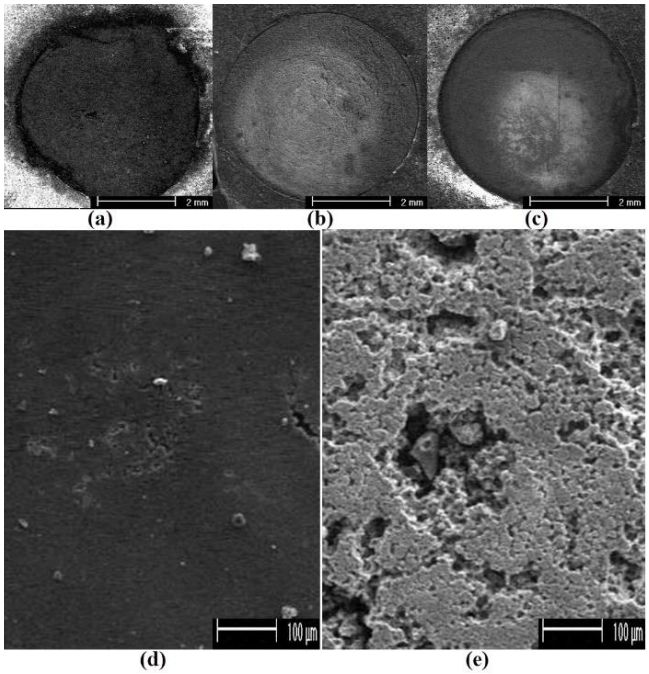


Fig. 4 Transverse cross-section of produced sample in rotational speed and extrusion force of a) 180rpm, 48.1KN b) 500rpm, 48.1KN c) 500rpm, 38.4KN d) the image with high magnification of specimen 500 rpm ,48.1 KN e) 180 rpm ,48.1 KN

شکل 4 مقطع عرضی نمونه تولید شده در سرعت دورانی و نیروی اکستروژن a) 180 دور بر دقیقه و 48.1 کیلونیوتن b) 500 دور بر دقیقه و 48.1 کیلونیوتن c) 500 دور بر دقیقه و 38.4 کیلونیوتن d) تصویر با بزرگنمایی بالا نمونه 500 دور بر دقیقه و 48.1 کیلونیوتن e) 180 دور بر دقیقه و 48.1 کیلونیوتن

اساسی در تعیین اندازه دانه‌ها در حین فرایند نقش دارند. 1) پدیده تبلور مجدد دینامیکی که باعث شکل گیری آرایش مجدد در دانه‌ها و ریزتر شدن آن‌ها می‌شود 2) حرارت وارده به ماده که موجب آنیلینگ آن و افزایش ناحیه متاثر ترمومکانیکی که به عنوان ناحیه گذار شناخته می‌شود و خصوصیات بارز این ناحیه عدم تبلور مجدد می‌باشد. با افزایش سرعت دورانی دما افزایش پیدا کرده و حرارت بالای ایجاد شده باعث آنیلینگ ماده شده و مانع ادامه پدیده تبلور مجدد دینامیکی گشته و در نتیجه اندازه دانه‌ها افزایش پیدا کرده‌اند. تانگ و رینولدز [2] نیز در آزمایش خود به این نتیجه دست یافتند که با افزایش سرعت دورانی اندازه دانه افزایش می‌یابد. از طرف دیگر هرچه نیروی اکستروژن بیشتر باشد نمونه‌ها در مقاطع عرضی از یکپارچگی بهتری برخوردار بوده و جدایش کمتری میان دانه‌ها وجود داشته و فشرده‌تر می‌باشند. با توجه به عکس‌های به‌دست آمده از میکروسکوپ نوری و روش میانگین خطی اندازه دانه هر نمونه محاسبه شده است که در جدول 3 ذکر شده است.

3-2- خواص مکانیکی

"شکل a-6" سختی میانگین نمونه‌های تولید شده در نیروی اکستروژن ثابت 48.1 کیلونیوتن و سرعت‌های دورانی 180، 355 و 500 دور بر دقیقه را برحسب فاصله از مرکز مقطع عرضی سیم را نشان می‌دهد. همان‌طور که از نتایج پیدا است، با افزایش سرعت دورانی مقادیر سختی کاهش پیدا کرده و نمونه تولید شده در سرعت دورانی بالاتر در تمام نقاط مقطع عرضی از مقدار سختی کمتری برخوردار است. دلیل این امر این است که با افزایش سرعت دورانی دما افزایش پیدا کرده و همان‌طور که بیان شد، اندازه دانه‌ها بزرگتر

[Downloaded from mme.modares.ac.ir on 2024-03-29]
[DOR: 20.1001.1.10275940.1396.17.4.25.1]

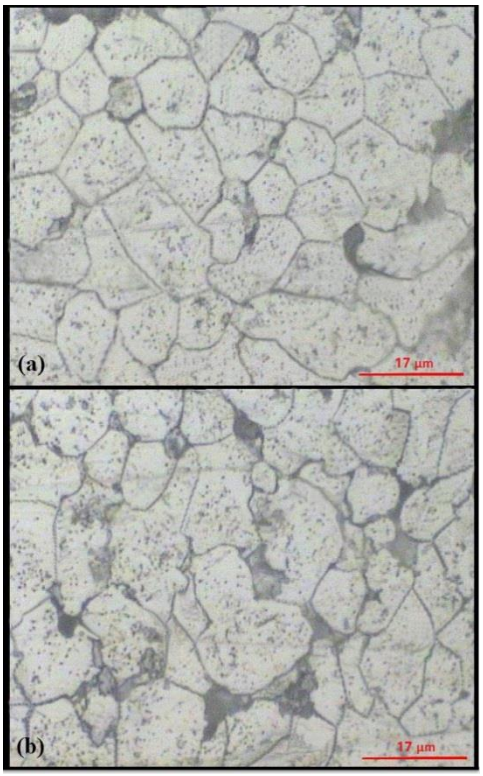


Fig. 5 a) Microstructure of extruded sample at rotational Speed and extrusion force of a) 500rpm, 48.1KN b) 500rpm, 38.4KN

شکل 5 ریزساختار نمونه اکسترود شده در سرعت دورانی و نیروی اکستروژن a) 500 دور بر دقیقه و 48.1 کیلونیوتن b) 500 دور بر دقیقه و 38.4 کیلونیوتن

شده و با افزایش اندازه دانه‌ها خواص مکانیکی ماده همچون مقادیر سختی افت پیدا می‌کند. مقادیر سختی نمونه‌های تولید شده در سرعت دورانی ثابت 500 دور بر دقیقه و نیروهای اکستروژن متفاوت 38.4، 48.1 و 57.7 کیلونیوتن در "شکل 6-b" برحسب فاصله از مرکز مقطع عرضی سیم نشان داده شده است. مشاهده می‌شود که بیشترین مقدار سختی مربوط به نمونه تولید شده در نیروی 57.7 کیلونیوتن می‌باشد. فشرده‌تر شدن نمونه‌ها در نیروهای اکستروژن بالاتر باعث می‌شود که مقطع سیم همگن‌تر بوده و مقادیر سختی در نقاط مختلف سیم یکنواخت‌تر باشند. همچنین طبق نمودارهای خطا در "شکل 6-b" در نیروهای پایین اکستروژن، پراکندگی داده‌ها بیشتر می‌باشد که این بیانگر همگنی کمتر نمونه در مقایسه با نیروهای بیشتر اکستروژن می‌باشد.

مقادیر استحکام تسلیم نمونه‌ها که از آزمون فشار به‌دست آمده‌اند در جدول 4 ذکر شده است. برای محاسبه این مقادیر از آفست 0.2٪ استفاده شد. نمودار تنش- کرنش مهندسی برای نمونه‌های تحت فرآیند اکستروژن اصطکاکی اغتشاشی برحسب سرعت دورانی‌ها و نیروهای اکستروژن مختلف در "شکل 7" نشان داده شده است. نتایج آزمایش فشار با مثبت در نظر گرفتن مقادیر تنش و کرنش جهت سهولت در بررسی آورده شده است. همان‌طور که دیده می‌شود، با افزایش سرعت دورانی استحکام تسلیم کاهش یافته است. دلیل این کاهش در استحکام تسلیم همان درشت‌تر شدن اندازه دانه‌ها با افزایش دما است که ناشی از آنیلینگ نمونه در حین فرایند می‌باشد. استحکام تسلیم علاوه‌بر سرعت دورانی به نیروی اکستروژن نیز وابسته می‌باشد، به‌طوری که افزایش نیروی اکستروژن تا یک حد مشخص باعث افزایش استحکام نمونه می‌گردد. در "شکل 7-b" نمونه 57.7 KN مطابق انتظار به‌دلیل تولید تحت شرایط نیروی اکستروژن بسیار زیاد، دارای اعوجاج بوده و به همین خاطر تحت تنش کمتر و کرنش خیلی پایین در آن شکست رخ داد. تصویر نمونه‌های برش خورده قبل و بعد از آزمون فشار در "شکل 8" نمایش داده شده است. در هنگام تست فشار به‌دلیل شکست در نمونه‌ها ترک‌هایی با زاویه 45 درجه به وجود آمد که در شکل قابل مشاهده است.

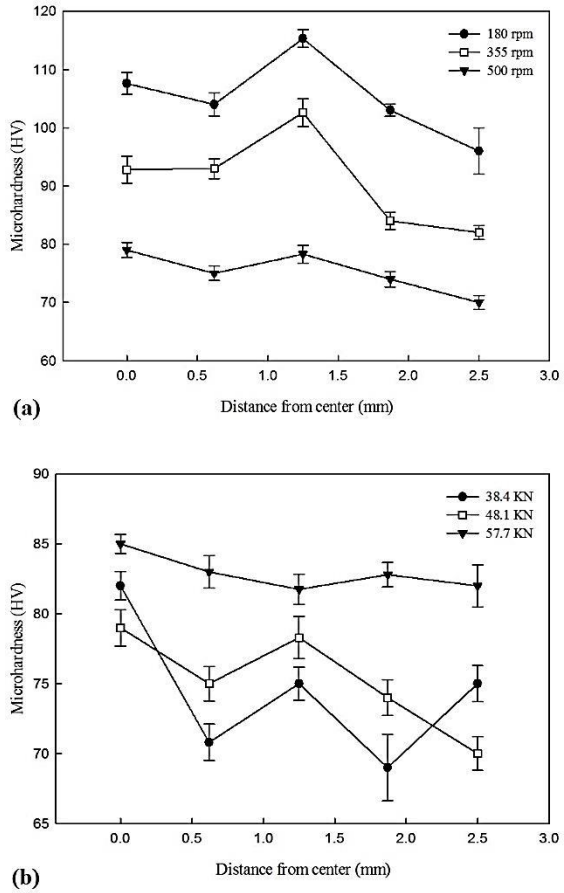


Fig. 6 The average Vickers microhardness of samples at a) fixed extrusion force of 48.1 KN and different rotational Speed b) fixed rotational speed of 500 rpm and different extrusion force

شکل 6 متوسط سختی ویکرز نمونه‌ها در a) نیروی اکستروژن ثابت 48.1 KN و سرعت دورانی‌های مختلف b) سرعت دورانی ثابت 500 rpm و نیروهای متفاوت

جدول 3 متوسط اندازه دانه نمونه‌های مختلف

Table 3 The average grain size of different samples

سرعت دورانی (دور بر دقیقه)	نیرو (کیلونیوتن)	متوسط اندازه دانه (میکرومتر)
180	48.1	8.4
355	48.1	10.9
500	48.1	12.2
500	38.4	11.9
500	57.7	11.5

جدول 4 مقادیر استحکام تسلیم نمونه‌های مختلف

Table 4 The values of yield strength of different samples

سرعت دورانی (دور بر دقیقه)	نیرو (کیلونیوتن)	استحکام تسلیم (مگاپاسگال)
180	48.1	230
355	48.1	210
500	48.1	197
500	38.4	186
500	57.7	174

[Downloaded from mme.modares.ac.ir on 2024-03-29]

[DOR: 20.1001.1.10275940.1396.17.4.25.1]

همچنین در برخی از نمونه‌ها به‌دلیل عدم همراستایی کامل، خمش ناگهانی یا باکلینگ رخ داد که این امر باعث کاهش مقاومت محوری فشاری می‌گردد.

4- جمع‌بندی و نتیجه‌گیری

در این مقاله، نمونه سیم‌های آلومینیومی AA7022 با فرایند اکستروژن اصطکاکی اغتشاشی تولید شده و مورد بررسی قرار گرفتند. براساس مشاهدات و نتایج به‌دست آمده از این پژوهش، نتیجه‌گیری‌های زیر را می‌توان گرفت:

1- در سرعت دورانی‌های خیلی پایین و نیروهای اکستروژن خیلی زیاد نمونه‌های تولیدی از لحاظ فیزیکی و ظاهری کیفیت خوبی نداشتند و بهترین نمونه در سرعت دورانی 500 دور بر دقیقه و نیروی اکستروژن 38.4 کیلونیوتن تولید شد.

2- تصاویر میکروسکوپی نشان داد که با افزایش سرعت دورانی دما افزایش پیدا کرده و با رخ دادن آنیلینگ، پدیده تبلور مجدد دینامیکی متوقف گشته و در نهایت اندازه دانه‌ها رشد می‌یابد.

3- افزایش سرعت دورانی باعث بالا رفتن دما و تفجوشی بهتر مواد شده و از طرفی دیگر افزایش نیروی اکستروژن باعث فشرده‌تر شدن و چسبیدگی بیشتر ذرات آلومینیوم می‌شود.

4- نتایج تست سختی و تست فشار بیانگر این مطلب بود که با افزایش پارامتر سرعت دورانی، خواص مکانیکی همچون سختی و استحکام تسلیم نمونه کاهش می‌یابد. افزایش نیروی اکستروژن نیز تا یک حد مشخص، موجب افزایش در تنش تسلیم ماده شد.

5- مراجع

[1] W. M. Thomas, E. D. Nicholas, S. B. Jones, *Forming metallic composite materials by urging base materials together under shear*, US Patent No. 5262123, 1993.

[2] W. Tang, A. P. Reynolds, Production of wire via friction extrusion of aluminum alloy machining chips, *Journal of Materials Processing Technology*, Vol. 210, No. 15, pp. 2231-2237, 2010.

[3] F. Abu-Farha, A preliminary study on the feasibility of friction stir back extrusion, *Scripta Materialia*; Vol. 66, pp. 615–618, 2012.

[4] X. Li, W. Tang, A. P. Reynolds, Material Flow and Texture in Friction Extruded Wire, *TMS (The Minerals, Metals & Materials Society)*, pp. 339-347, 2013.

[5] H. Zhang, X. Zhao, X. Deng, M. A. Sutton, A. P. Reynolds, S. R. McNeill, X. Ke, Investigation of Material Flow during Friction Extrusion Process, *International Journal of Mechanical Sciences*, Vol. 85, pp. 130–141, 2014.

[6] H. Zhang, X. Li, W. Tang, X. Deng, A. P. Reynolds, M. A. Sutton, Heat transfer modeling of the friction extrusion process , *Journal of Materials Processing Technology*, Vol. 221, pp. 21–30, 2015.

[7] M. A. Ansari, E. Sadeqzadeh, M. K. Besharati, Gh. Faraji, Theoretical and Experimental Investigation of the Effective Parameters on the Microstructure of Magnesium Wire Produced by Friction Stir Extrusion, *Modares Mechanical Engineering*, Vol. 15, No. 6, pp. 346-352, 2015. (in Persian فارسی)

[8] M. Sharifzadeh, M. A. Ansari, M. Narvani, R. Abdi, A. Araee, M. K. Besharati, Evaluation of wear and corrosion resistance of pure Mg wire produced by friction stir extrusion, *Transactions of Nonferrous Metals Society of China*, Vol. 25, pp. 1847–1855, 2015.

[9] I. Dinaharan, R. Sathiskumar, S. J. Vijay, N. Murugan, Microstructural Characterization of Pure Copper Tubes Produced by a novel method firction stir back extrusion, *Procedia Materials Science* , Vol. 5, pp. 1502–1508, 2014.

[10] W. T. Evans, B. T. Gibson, J. T. Reynolds, A. M. Strauss, G. E. Cook, Friction Stir Extrusion: A new process for joining dissimilar materials, *Manufacturing Letters*, Vol. 5, pp. 25–28, 2015.

[11] M. S. Khorrami, M. Movahedi, Microstructure evolutions and mechanical properties of tubular aluminum produced by friction stir back extrusion, *Materials and Design* , Vol. 65, pp. 74–79, 2015.

[12] R. Abdi, N. Shen, M. A. Ansari, M. Narvan, M. K. Besharati, H. Ding, Experimental Analysis and Microstructure Modeling of Friction Stir Extrusion of Magnesium Chips, *Journal of Manufacturing Science and Engineering*, Vol. 138, Issue. 4 041008-1, 2016.

[13] X. Li, W. Tang, A. P. Reynolds, W. A. Tayon, C. A. Brice, Strain and texture in friction extrusion of aluminum wire, *Journal of Materials Processing Technology* , Vol. 229, pp. 191–198, 2016.

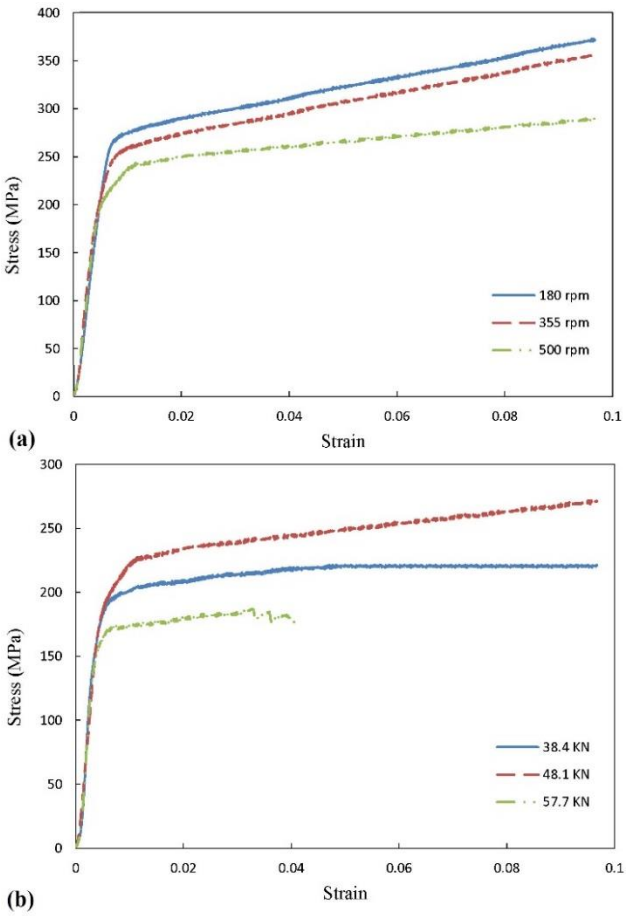


Fig. 7 The stress-strain diagram of samples at a) fixed extrusion force of 48.1 KN and different rotational speed b) fixed rotational speed of 500 rpm and different extrusion force

شکل 7 نمودار تنش و کرنش نمونه‌ها در a) نیروی اکستروژن ثابت 48.1 KN و سرعت دورانی‌های مختلف b) سرعت دورانی ثابت 500 rpm و نیروهای متفاوت

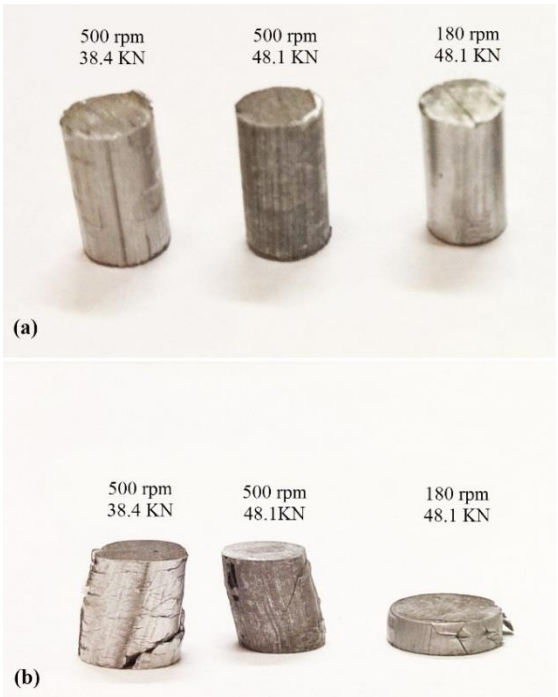


Fig. 8 The image of cutted samples a) before compression test b) after compression test

شکل 8 تصویر نمونه‌های برش خورده a) قبل از آزمون فشار b) بعد از آزمون فشار

[Downloaded from mme.modares.ac.ir on 2024-03-29]

[DOR: 20.1001.1.10275940.1396.17.4.25.1]

[14] ASTM Standard #E407-07 , *Standard test methods for microetching*, 2004.
[15] ASTM Standard #E3-11, *Standard test methods for Sample grounding and Polishing*, 2004.
[16] EN ISO Standard #6507-1, *Vickers hardness standard test for Metallic materials* , 1997.
[17] EN ISO Standard #7500-1, *Standard test methods of compression testing of metallic materials at room temperature*, 2004.

[Downloaded from mme.modares.ac.ir on 2024-03-29]

[DOR: 20.1001.1.10275940.1396.17.4.25.1]