



ارائه شده توسط:

سایت ترجمه فا

مرجع جدیدترین مقالات ترجمه شده

از نشریات معتبر

اثرات اندازه دندانه گذاری در نانو سختی و میکرو سختی شیشه فلزی

حجیم با پایه آهن

چکیده

سختی شیشه فلزی حجیم با پایه آهن BMG طبق نانودندانه گذاری میکروسکوپ نیروی اتمی AFM (نانوسختی) و دندانه گذاری ابزاری با تنظیمات دندانه گذار معمولی (میکروسختی) تحت بارهای ماکزیمم مختلف در درجه حرارت اتاق ارزیابی گردید. نانوسختی و میکروسختی مشخص گردید که قابل مقایسه است. برای هر دو روشهای دندانه گذاری، اثر اندازه دندانه گذاری ISE به شکل افزایش سختی با کاهش بار پیک دندانه گذاری شناسایی گردید. مطرح شده که میزان کرنش وابسته به نرمسازی، سابقه بارگیری و وقفه میان خلق حجم آزاد و نرم سازی مکانیکی باید مسئول ISE در این BMG باشد. علاوه ISE معلوم گردید که در نانودندانه گذاری AFM نسبت به دندانه گذاری ابزاری برجسته تر بوده است. این امر را می توان از طریق توجیه اثر بار پیک وارده و زاویه وجوه دندانه گذار در یک حالت کیفی توضیح داد.

کلمات کلیدی: شیشه فلزی، نانودندانه گذاری میکروسکوپ نیروی اتمی، سختی نانو، سختی میکرو، اثر اندازه دندانه

1-مقدمه

در دهه اخیر، خواص مکانیکی شیشه های فلزی حجیم BMGهای طبق مقیاس نانو تحقیقات گسترده ای را موجب گردیده است. اخیراً، ناهمگنی های ساختاری و مکانیکی میکروسکوپی در BMGهای با پایه CuZr و Ti و Ni و Pd و Zr یافت شده است. براساس تست های نانو ساختاری فضایی، Wang و همکارانش به کمیت سنجی ناهمگنی مکانیکی BMG با پایه $Zr_{64.13}Cu_{15.75}Ni_{10.12}Al_{10}$ پرداختند که کرنش قابل انعطاف آن بنا به گزارش بالای 160 درصد در درجه حرارت اتاق گزارش گردیده است و قابلیت انعطاف فوق العاده به ناهمگنی ساختاری به اندازه میکرومتری مجزا نسبت داده شده است (یعنی نواحی نرم و سخت). ازسوی دیگر، سختی نانودندانه سازی باندهای برشی منفرد در BMGها توسط برخی نویسندگان برای درک بهتر نقش حجم آزاد در مکان یابی برشی

پدیده شناختی در شیشه های فلزی مورد تحقیق قرار گرفته است. Yoo و همکارانش دریافتند که سختی باندهای برشی که ضخامت آنها در دامنه صدها نانومتری گزارش گردیده است، خیلی پایین تر از سختی مربوطه ناحیه بدون شکل می باشد. از مطلب فوق می توان دید که چون توجهات به بررسی خصوصیات مکانیکی نمونه های کوچک افزایش یافته است، تکنیک های دندان گذاری باید طبق یک مقیاس حتی ظریفتری برای تطابق اندازه اثر با ابعاد شی بکار گرفته شود. برای انجام این هدف، نانودندان گذاری میکروسکوپ نیروی اتمی AFM که بنا به ادعا قادر به استخراج اطلاعات مکانیکی کمی همراه با تفکیک فضایی بالای ذاتی تصویربرداری می باشد، می تواند ابزاری قدرتمند برای مشخصه سازی خصوصیات نانومقیاس BMGها باشد. پیمایش قبلی سطح با AFM به فرد امکان انتخاب حیطة های مورد نظر را می دهد. این روزها این تکنیک بطور گسترده ای برای ارزیابی سختی طبق مقیاس نانومتری در انواع مواد بکار گرفته شده است ولیکن بکارگیری آن روی BMGها تا آنجا که می دانیم همچنان یک مسئله پابرجاست.

طی دندان گذاری، جالبترین پدیده همان اثر اندازه دندان گذاری ISE می باشد که به شکل افزایش در سختی H با کاهش بار پیک دندان گذاری P_{max} بیان می شود. به طور عادی، ISE بنا به انتظار در BMGها به دلیل فقدان جابجایی ها و سخت شدگی کرنشی ایجاد نمی شود. ولیکن در برخی تحقیقات ISE در BMGهای با پایه Zr و Pd و Au و جامدات بی شکل گزارش گردیده است. نرمسازی در اثر القای کرنشی به دلیل ایجاد حجم آزاد بیش از حد طی بدشکلی قابل انعطاف به شکل دلیل اصلی برای ISE تلقی می شود. تا به امروز، ISE گزارش شده در BMGها اساسا با دندان گذاری ابزاری در مقیاس میکرومتری (با بار پیک تقریبا mn) مطالعه گردیده است. از اینرو کنجکاویم بدانیم که آیا و چگونه ISE طبق یک مقیاس نانومتری تحت نانودندان گذاری AFM وجود دارد، چرا که مکانیسم های احتمالی ایجاد کننده ISE می تواند نقشی کلیدی را با درک بهتر بدشکلی قابل انعطاف در BMGها ایفا نماید.

با توجه به این امر، ما نانودندان گذاری و تست های دندان گذاری ابزاری را برای ارزیابی سختی دقیقا همین نمونه های BMG $(Fe_{0.432}Co_{0.288}B_{0.192}Si_{0.048}Nb_{0.04})_{96}Cr_4$ را در درجه حرارت اتاق اجرا کرده ایم. نتایج نشان داده است که مقادیر سختی حاصله از نانودندان گذاری AFM با مقادیر بدست آمده از دندان گذاری ابزاری قابل مقایسه است. رفتارهای ISE به وضوح در BMG مطالعه شده نه تنها در مقیاس میکرومتری بلکه در مقیاس

نانومتری وجود دارد. ISE در نانودندانه گذاری AFM نسبت به دندانه گذاری ابزاری مهمتر است. این تغییر و مکانیسم احتمالی ISE در BMGها مورد بحث قرار گرفته است.

2-روش آزمایش

BMG با ترکیب نامی $(\text{Fe}_{0.432}\text{Co}_{0.288}\text{B}_{0.192}\text{Si}_{0.048}\text{Nb}_{0.04})_{98}\text{Cr}_2$ (BMG) با پایه Fe برای رعایت اختصار در این مقاله) برای این مطالعه انتخاب گردید. میله های استوانه ای به قطر 3 میلیمتری و طول 40 میلیمتری با قالبگیری مسی ساخته شد. ساختار بی شکل الیاژ با افتراق اشعه ایکس به کمک تابش Cu K α تعیین گردید (فرانس 29).

تست های دندانه گذاری ابزاری با استفاده از دستگاه دندانه گذار تریبو از شرکت Hysitron با دندانه گذار الماس استاندارد مارک Berkovich اجرا گردید. آزمایشات در میزان بارگذاری ثابت به میزان 2 mN s^{-1} تا حد بارگذاری 50 و 100 و 150 و 200 mN انجام گرفت. دست کم شش تست دندانه گذاری تحت هر شرایط انجام گردید. تست نانودندانه گذاری AFM با استفاده از یک AFM (شرکت Nanoscope III Dimension 3100, DI) مجهز به یک نوک الماسی نصب شده روی یک بازوی فولادی انجام گرفت. حساسیت بازو که طبق نمونه یا قوت کبود قبل و بعد از تست های دندانه گذاری کالیبراسیون شده بود برابر 95 nm V^{-1} با یک ثابت فزنی حدود 235 N m^{-1} می باشد. هندسه نوک دندانه گذار شامل یک هرم سه وجهی تیز بود که قاعده آن مثلث متساوی الاضلاع با زاویه نیمه برابر با $30 \pm 2^\circ$ بود. شعاع انحنا در راس نوک به طور نامی کمتر از 20nm می باشد. فراوانی چرخه دندانه گذاری برای نانودندانه گذاری AFM به اندازه 1.0 Hz (یک چرخه بارگذاری/عدم بارگذاری در هر ثانیه) تنظیم گردید. حداستانه های تحریک از 0.5 تا 2.0V با مقدار تجمعی 0.5V تنظیم گردید که متناظر با بارهای پیک مختلف از 11.15 تا $44.06 \mu\text{N}$ می باشد. قبل از کلیه آزمایشات دندانه گذاری، میله های استوانه ای BMG به استوانه های با ضخامت 5 میلیمتری برش خورده و سطح نمونه ها به دقت صیقلکاری شد تا یک صیقل اینه ای بدست آید تا زبری میانگین کمتر از 5 نانومتری تضمین شود. تصاویر AFM با همان دندانه گذار که در نانودندانه گذاری AFM استفاده شده بود، بدست آمد.

3-نتایج

شکل 1 نشان دهنده منحنی های بار-عمق نماینده $(P-h)$ از آزمایشات دندانان گذاری ابزاری می باشد. بخش بارگذاری منحنی های $(P-h)$ در P_{max} متفاوت بدست آمد که به طور کاملی با هم همپوشانی داشت و ثابت کرد که تست ها بطور قابل ملاحظه ای قابل تکرار است.

مزیت تکنیک دندانان گذاری ابزاری آنست که سختی می تواند با تنها تحلیل منحنی $(P-h)$ ارزیابی گردد، بدون اینکه اثر دندانان گذاری باقیمانده مشاهده گردد. متداولترین شیوه انجام این آنالیز از طریق روش Oliver-Pharr می باشد. ولیکن ما این شیوه را در کار کنونی دنبال نمی کنیم. دلیلش این است که توده سازی شدید ماده معمولا حول و حوش اثر دندانان گذاری در BMG مشاهده می شود و چنین توده سازی اغلب در روش O-P نادیده گرفته نمی شود که باعث تخمین بیش از حد سختی محاسبه شده است. از توپوگرافی های بعد از مرگ بعد از اینکه نمونه در P_{max} برابر با 50mN (شکل 1a) و 200mN (شکل 1b) دندانان گذاری گردید، توده سازی بالا و گسترده می تواند مشاهده گردد. نیز در شکل 2 اشکار گردید که نسبت ارتفاع توده سازی $(h_{pile-up})$ به عمق باقیمانده ماکزیمم (h_{res}) با کاهش بار پیک افزایش یافت که با نتایج Charleux و همکارانش و Jang و همکارانش در موافقت است.

همانگونه که Jang و همکارانش اشاره کردند، تخمین بیش از حد سختی القایی در اثر توده سازی در عمق کوچکتر مشخص تر است که می تواند به این تردید درباره این امر منجر شود که آیا روند ISE مانند ساختگی است یا خیر. دلیل دیگر اینکه چرا ما روش O-P را انجام ندادیم این است که ثابت همبستگی بتا (که سختی S را به مساحت A مربوط می سازد) نمی تواند برای دندانان گذار در نانودندانان گذاری AFM بدست آید. بعلاوه، سخت است که سختی عدم بارگذاری را دقیقا از قسمت عدم بارگذاری منحنی های $(P-h)$ در نانودندانان گذاری AFM بدست آوریم. برای غلبه بر این مشکلات و کسب سختی صحیح، روش استفاده شده توسط Jang و همکارانش برای بررسی ISE در BMGها در کار کنونی اتخاذ شده است. آنها اندازه اثر A را مستقیما از تعداد زیادی تصاویر SEM (تصاویر AFM برای کار ما) اندازه گیری کردند و سختی را طبق رابطه ذیل کسب نمودند:

$$H = \frac{4P}{3\sqrt{3}a^2} \quad (1)$$

که در آن a طول متوسط اندازه گیری شده از مرکز اثر مثلثی تا گوشه می باشد.

ریخت شناسی سطح قبل و بلافاصله بعد از اجرای نانودندانه گذاری AFM در شکل 3a و 3b نشان داده شده است. در شکل 3b، توده سازی عمده ماده نزدیک به دندان‌های مثلثی در مقیاس نانومتری از سمت چپ به سمت راست مشاهده می شود. اندازه و ریخت شناسی دندان‌ها طبق P_{max} یکسان تقریباً

یکسان است و نشان دهنده بهره وری و ثبات تست‌ها می باشد. برای روشنی امر، یک منحنی سطح سه بعدی از ناحیه منتخب شکل 3b در شکل 3c ارائه شد. در سایه روش اشاره شده در فوق برای رسیدگی به توده

سازی در دندان‌های ابزاری، منحنی $h_{pile-up}/h_{res}$ بر حسب P_{max} در نانودندانه گذاری AFM می تواند

همچنین در شکل 2 یافت شود. در اینجا $h_{pile-up}$ متوسط سه مقدار ارتفاع توده سازی یک دندان‌های مثلثی است چرا که پدیده توده سازی به همان منحصری دندان‌های ابزاری با مقایسه شکل 1a و b و شکل 3b نیست.

همچنین در شکل 2 نشان داده شده است که $h_{pile-up}/h_{res}$ برای نانودندانه گذاری AFM با افزایش P_{max}

کاهش یافته است که دقیقاً با همان روندی است که مربوط به دندان‌های ابزاری می شود. باید گفت که

در دندان‌های ابزاری AFM خیلی بزرگتر (0.939-2.176) از دندان‌های ابزاری $h_{pile-up}/h_{res}$ (0.163-0.257) است.

تفاوت را می توان به این حقیقت نسبت داد که یک دندان‌های گذار دقیق تر و P_{max} ی کوچکتر در نانودندانه گذاری AFM استفاده شده است که باعث یک توده سازی برجسته تر در فرانس‌های 25 و 31 و 32 خواهد شد. بعلاوه،

مقدار بزرگ $h_{pile-up}/h_{res}$ برای نانودندانه گذاری AFM به ما مجدداً یادآوری می کند که روش O-P می

تواند برای محاسبه سختی در این مطالعه مناسب نباشد. تصاویر بزرگ شده AFM دو دندان‌های نمایانگر مربوط به

ی دندان‌های برابر با 22.30 و 44.60 μm (دایره‌ها در شکل 3c) با اعداد به ترتیب 1 و 2) در شکل 3d P_{max}

نشان داده شده است. دندان‌های مثلثی منظم با مرزهای روشن می‌تواند مشاهده شود. همان توپوگرافی در شکل 1 برای دندان‌گذاری ایزاری نشان داده شده است.

طبق معادله 1، سختی BMG با پایه آهن با اندازه‌گیری اندازه اثر از روی تصاویر AFM محاسبه می‌شود. تنوع سختی که به شکل تابع P_{max} خلاصه‌سازی شده است در شکل 4a نشان داده شده است.

سختی تعیین شده با دندان‌گذاری ایزاری برابر با $11.51-12.51 \text{ GPa}$ می‌باشد. چون استقامت بازده σ_y در

BMG منتخب به مقدار $\sim 4.0 \text{ GPa}$ تایید شده است، مقدار مزبور با در نظرگیری رابطه $H \approx 3\sigma_y$ (منطقی به نظر می‌رسد. از سوی دیگر، سختی اندازه‌گیری شده توسط نانودندان‌گذاری $H \approx 12.0 \text{ GPa}$)

AFM ($9.98-13.07 \text{ GPa}$) به خوبی با مقدار بدست آمده با دندان‌گذاری ایزاری موافقت دارد. با این حساب ما

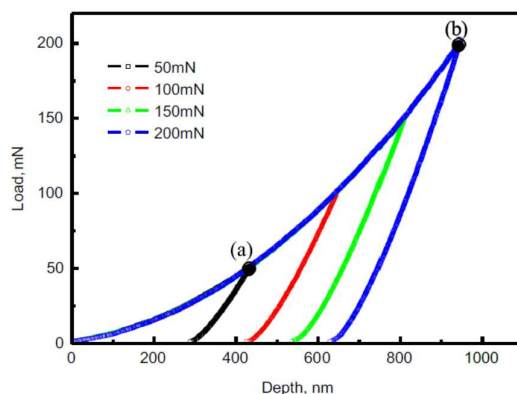
نتیجه می‌گیریم که برای BMG با پایه Fe، مقدار سختی قابل اتکا می‌تواند با نانودندان‌گذاری AFM با P_{max} انتخابی در کار کنونی بدست آید. از روی شکل 4a، ISE به وضوح در هر دو دندان‌گذاری مشاهده می‌شود.

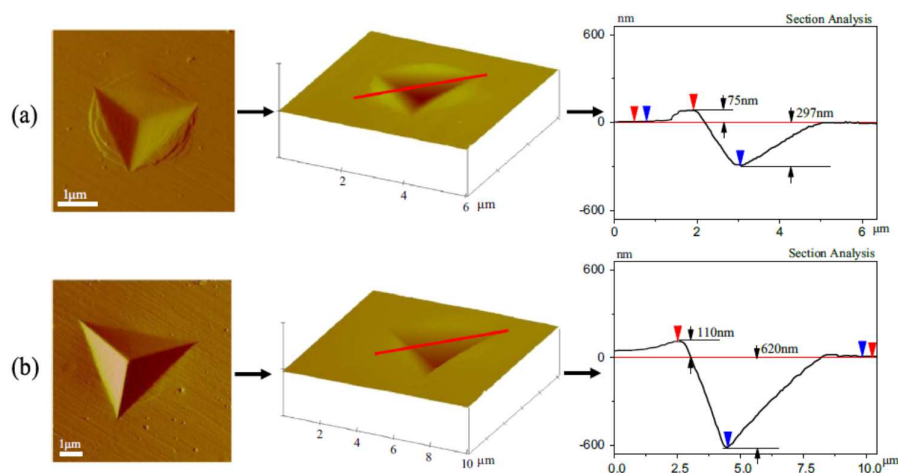
با پیروی از معادله Meyer تجربی، یک قانون قدرت برای توضیح مقیاس وابسته به سختی توسط Milman و همکارانش مطرح گردید که در شکل ذیل نشان داده شده است:

$$H = KP_{max}^n \quad (2)$$

که در آن K مقدار ثابتی است، و $n < 0$ می‌باشد یعنی سختی H حین افزایش پیک بار P_{max} کاهش می‌یابد.

تایید شد که معادله 2 می‌تواند برای بلورهای منفرد و بلورهای متعدد بکار گرفته شود اگر اندازه دندان‌گذاری کوچکتر از اندازه دانه ای باشد.





شکل 1- منحنی های بار دندانانه گذاری ابزارای بر حسب عمق در بارهای ماکزیمم مختلف. منحنی های داخلی نشان دهنده ریخت شناسی AFM و بخش اثر باقیمانده روی نمونه بعد از بارگذاری در 50 mN (a) و 200mN (b) می باشد.

چون ISE برای هر دو حالت دندانانه گذاری استفاده شده مشاهده می شود، تلاش کرده ایم که بررسی کنیم آیا ISE می تواند طبق معادله 2 توضیح داده شود یا خیر. وابستگی سختی به ماکزیمم بار در یک مختصات لگاریتمی دوبل در شکل 4b نشان داده شده است. تعجبی ندارد که یک خطی سازی خوب میان $\log P_{max}$ و $\log H$ در هر دو دندانانه گذاری دیده می شود. در واقع، رفتار مشابه یک Zr-BMG در کار قبلی به تصویر کشیده شده است. ولیکن بدون استفاده از معادله 2 می باشد. معمولاً نمایه قانون توان n در معادله 2 که مربوط به شیب خط برازش یافته می باشد می تواند به طور کمی ISE را مشخص نماید. از شکل 4b، ما $n = -0.066$ را در دندانانه گذاری ابزارای و $n = -0.194$ را در نانودندانانه گذاری AFM به ترتیب یافته ایم. این امر حاکی از آنست که ISE در نانودندانانه گذاری AFM نسبت به دندانانه گذاری ابزارای برجسته تر است.

4- بحث

گزارش شده است که رویدادهای جریان در شیشه های فلزی با اتساع همراه است یعنی ایجاد حجم آزاد.

در شیشه های فلزی، یک غلظت خاص از نواقص جریان c_f به طور اساسی وجود دارد. طی جریان قابل انعطاف در درجه حرارت همگن پایین، غلظت نقص افزایش می یابد. تکامل غلظت نقص $c_f(t)$ توسط معادله 36 معین می شود:

$$\dot{c}_f(t) = a_x \dot{\epsilon}(t) c_f(t) \ln^2 c_f(t) \quad (3)$$

که a_x پارامتر وابسته به درجه حرارت و $\dot{\epsilon}(t)$ میزان کرنش طی دندان گذاری می باشد. با این حساب، تولید حجم آزاد طی جریان قابل انعطاف متناسب به میزان کرنش و غلظت نواقص جریان از قبل موجود در نمونه می باشد.

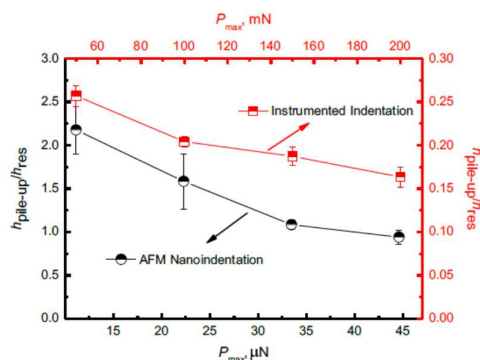
مشخص است که برای مواد الاستیک-پلاستیک تحت دندان گذاری دقیق، منحنی بارگذاری را می توان چنین توضیح داد:

$$P(t) = Ch^m(t) \quad (4)$$

که در آن C و m ثابت های مربوط به خصوصیات مادی می باشند. میزان کرنش طی دندان گذاری را می توان با

رابطه $\dot{\epsilon}(t) = \dot{h}(t)/h(t)$ و با این حساب برای دندان گذاری تحت میزان بارگذاری ثابت k (به شکل $P(t) = kt$) محاسبه نمود، $\dot{\epsilon}(t)$ می تواند به شکل ذیل بیان گردد:

$$\dot{\epsilon}(t) = (k/C)^{1/m} \frac{1}{m} t^{1/m-1} \frac{1}{(k/C)^{1/m} t^{1/m}} = \frac{1}{mt} \quad (5)$$



شکل 2- تغییر در نسبت ارتفاع توده سازی $(h_{pile-up})$ به ماکزیمم عمق باقیمانده (h_{res}) به عنوان

تابعی از P_{max} (X بالایی و Y سمت راست برای دندان‌گذاری ابزاری و X پایینی و Y چپ برای نانودندان

گذاری AFM به ترتیب)

طبق گفته Spaepen و Argon، معادله جریان که بر میزان کرنش برشی در شیشه‌های فلزی حاکم است می‌تواند به شکل ذیل نوشته شود.

$$\dot{\gamma}(t) = 2c_f(t)\alpha_0 k_{f,0} \frac{\varepsilon_0 v_0}{\Omega} \sinh\left(\frac{\tau \varepsilon_0 v_0}{2k_B T}\right) \exp\left(\frac{-\Delta G}{k_B T}\right) \quad (6)$$

براساس معادله جریان شیشه‌های فلزی کلاسیک تدوین شده توسط Spaepen & Argon، آقایان Van Steenberge و همکارانش یک رابطه بین سختی و میزان کرنش به ترتیب ذیل مطرح ساخت:

$$H(\approx 3\sqrt{3}\tau) \propto \sinh^{-1}\left(\frac{\alpha\dot{\gamma}}{c_f}\right) \quad (7)$$

که در آن τ استرس برشی است، α یک مقدار ثابت است، و $\dot{\gamma}$ میزان کرنش برشی متناسب با میزان کرنش می باشد. توجه کنید که تابع دندان‌گذاری Van Steenberge و همکارانش شامل

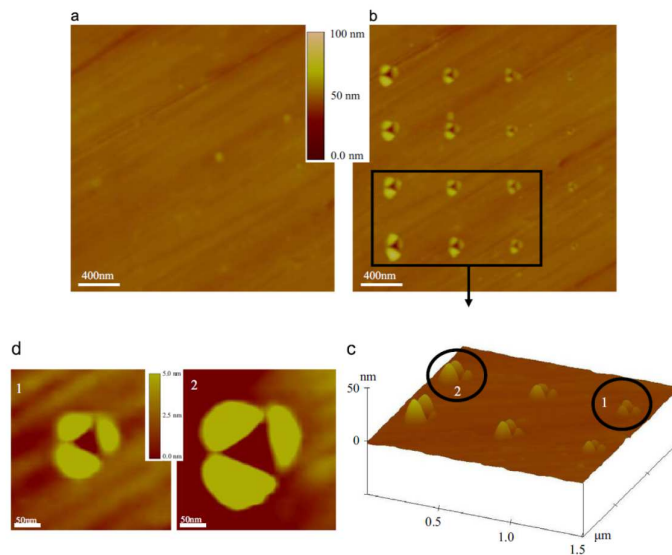
یک قسمت بارگذاری 40 ثانیه‌ای در P_{max} مختلف می باشد. این حالت بارگذاری به $\dot{\varepsilon}$ بالاتر برای یک

مقدار P_{max} کوچکتر در h اختیاری طی فرایند بارگذاری دندان‌گذاری می باشد هرچند همه مقادیر $\dot{\varepsilon}$ تمایل دارند که سرانجام ثابت باشند، همانگونه که در شکل 4 در فرانس 24 دیده می شود. طبق معادله 3، تولید حجم

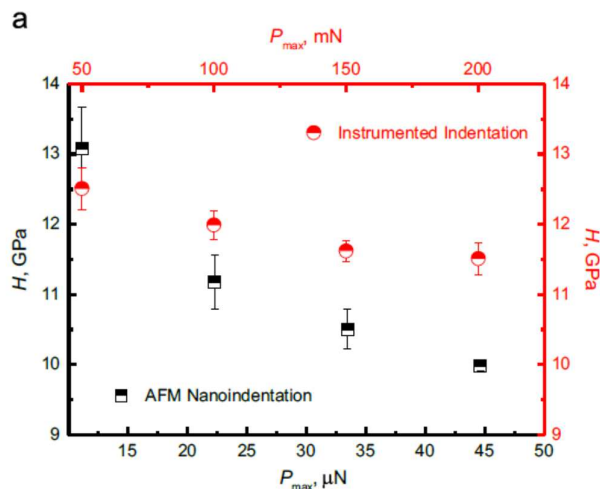
آزاد برای P_{max} بزرگتر برجسته تر است و ISE با این حساب براساس رابطه 4 الی 7 مشاهده خواهد شد.

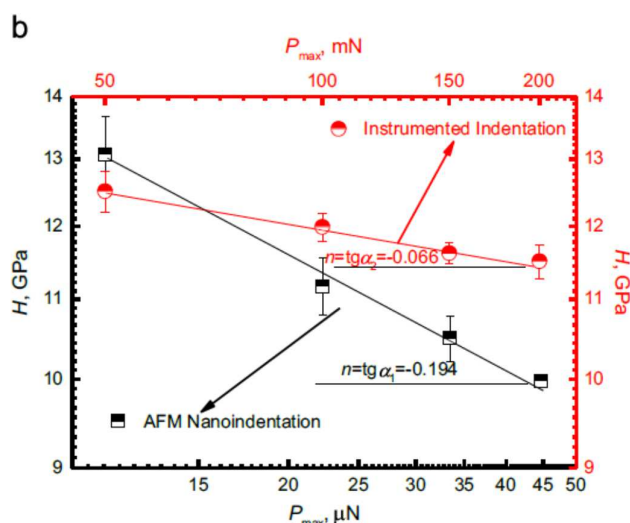
نرم شدگی کرنشی در اثر تجمع مداوم بیش بود حجم آزاد طی بدشکلی به طور موفقیت آمیز برای توضیح ISE در شیشه‌های فلزی استفاده شده است که اخیراً توسط Jang و همکارانش حذف شده است که آزمایشات دندان‌

گذاری را تحت یک میزان کرنش ثابت (0.05 s^{-1}) به جای یک زمان بارگذاری ثابت برای بررسی علت اصلی ISE مشاهده شده در یک BMG ی با پایه Zr اجرا کرده است.



شکل 3- نتایج نانودندانه گذاری ماتریس 4×4 AFM ی BMG ی با پایه آهن. (a) تصویر قبل از دندانه گذاری. (b) دندانه گذاری تصویر و P_{max} از 11.15 به $44.60 \mu\text{N}$ (از به ترتیب دندانه گذاری بالایی سمت راست به نوع سمت چپ پایینی) افزایش یافته است. (c) تصویر AFM توپوگرافیکی مساحت انتخابی در (b)، (d) تصاویر بزرگشده AFM از دندانه های علامتگذاری شده به شکل (c). (نوبت اول $P_{max} = 22.30 \mu\text{N}$ و نوبت دوم $P_{max} = 44.60 \mu\text{N}$ معادل می باشد.





شکل 4- وابستگی سختی روی بار دندانانه گذاری (محور X بالایی و محور Y سمت راست برای دندانانه گذاری ابزاری، محور X پایین و محور Y سمت چپ برای نانودندانانه گذاری AFM). (a) در مختصات خطی و (b) در مختصات لگاریتمی دوبل.

انها بحث کردند که چون میزان کرنش دندانانه گذاری ثابت باقی مانده، ISE بنا به انتظار رخ نمی دهد. در کار کنونی، میزان بارگذاری ثابت (2 mN s^{-1}) برای دندانانه گذاری ابزاری استفاده می شود. با این حساب، برای متفاوت، میزان کرنش دندانانه گذاری نیز در یک h خاصی ثابت خواهد بود که منجر به فقدان ISE می باشد که با پدیده تجربی هماهنگ نمی باشد. مع ذلک، ما در اینجا همچنان به مکانیسم نرمسازی کرنش ایجاد شده توسط Vansteenbergه برای دلایل ذیل اتکا می کنیم.

تولید حجم آزاد طی جریان قابل انعطاف نه تنها متناسب با میزان کرنشی، بلکه متناسب با غلظت نواقص جریان از قبل موجود در نمونه می باشد. طبق معادله 3، غلظت نواقص C_f همچنان افزایش می یابد مادامی که جریان

قابل انعطاف $\dot{\epsilon} > 0$ باشد. اگر ترکیب عددی معادله 3 را لحاظ کنیم (هرچند نمی تواند در اینجا به دلیل

فقدان پارامترهای مناسب مانند α_x و غیره محاسبه شود) با مقدار اولیه قابل کاربرد C_f می توانیم دست کم

بفهمیم که مقدار ایجاد نقص همچنین به زمان آزمایش بستگی خواهد داشت. طی دندانانه گذاری تحت میزان کرنش

ثابت یا میزان بارگذاری ثابت (دندانه گذاری ابزاری در کار ما)، هرچه P_{max} کاربردی بالاتر باشد، مدت طولانی تری برای رسیدن به P_{max} نیاز است و با این حساب مقدار بیشتری حجم آزاد با در نظر گیری ترکیب عددی معادله 3 جمع می شود.

از سوی دیگر، نرم شدگی مکانیکی همراه با بدشکلی که ایجاد حجم آزاد می کند الزاما فوری رخ نمی دهد. در واقع رفتار بدشکلی وابسته به زمان طی دندانه گذاری و فشرده سازی تک محوری BMGها در درجه حرارت اتاق گزارش شده است. از اینرو در تست دندانه گذاری بدون دوره نگهداری، حجم آزاد تولید شده طی مرحله اولیه بارگذاری می تواند اثری را بر رفتار نرم شدگی مکانیکی قسمت بارگذاری ذیل داشته باشد. بعبارت دیگر، برای سازگاری با حجم آزاد اضافی تولید شده قبلی، دندانه گذاری با افزایش بار همچنان طی زمان نرم خواهد شد. بعلاوه، غلظت نقص افزایش یافته بعد از فرایند ایجاد حجم آزاد تسریع خواهد شد که طبق معادله 3 می باشد. با این حساب بادر نظر گیری سابقه بارگیری همراه با وقفه میان خلق حجم و نرم شدگی مکانیکی (یعنی خصوصیت دینامیک نرم شدگی)، حجم آزادتر برای دندانه گذاری با بار پیک بزرگتر جمع بندی خواهد شد که نیاز به زمان بیشتری برای رسیدن به P_{max} دارد که ISE مشاهده شده را بدست می دهد.

برای نانودندانه گذاری AFM در کار کنونی، فرکانس چرخه دندانه گذاری به اندازه 1.0Hz تنظیم گردید. با این حساب هرچه بار پیک بزرگتر باشد، میزان کرنش بالاتر خواهد بود. با این حساب مکانیسم مبتنی بر میزان کرنش وابسته به نرم شدگی مکانیکی برای توضیح ISE برجسته خواهد بود. بعلاوه، طبق گفته Jang و همکارانش، رخداد STZها می تواند تحت کنترل اندازه دندانه گذاری یا حجم بدشکلی الاستیک/قابل انعطاف القایی با دندانه گذاری باشد. سختی بالاتری را می توان در دندانه گذاری کم عمق با استفاده از یک دندانه گذار دقیق تر با زاویه تتای خط مرکزی به وجه کوچکتر مشاهده کرد. این امر بدان خاطر است که حجم تحت استرس بالای زیر دندانه گذار به قدری کوچک است که جمعیت کافی از STZها را ندارد با این حساب شیشه برای برش بویژه محل ها لازم است. زاویه تتا در دندانه گذار AFM، حدود 30 درجه می باشد که کوچکتر از زاویه دندانه گذار ابزاری با حدود 65.3 درجه می باشد. از اینرو بار خیلی پایین همراه با اثر زاویه روی سختی می تواند در ISE برجسته تر در نانودندانه گذاری AFM مشاهده شده در کار کنونی بنا به شکل 4 نقش داشته باشد.

نانو سختی و میکروسختی BMG $(\text{Fe}_{0.432}\text{Co}_{0.288}\text{B}_{0.192}\text{Si}_{0.048}\text{Nb}_{0.04})_{98}\text{Cr}_2$ با نانودندانه گذاری AFM و دندانه گذاری ابزاری تحت بارهای ماکزیمم مختلف در درجه حرارت اتاق کمیت سنجی گردید. مشخص شد که نانوسختی و میکروسختی قابل مقایسه نبود. تحت هر دو حالت دندانه گذاری، ISE به شکل افزایش سختی H با کاهش بار پیک دندانه گذاری P_{max} تظاهر کرد. نرم شدگی وابسته به میزان کرنش در اثر تجمع مداوم مازاد حجم اضافی طی بدشکلی، همراه با سابقه بارگیری و وقفه میان ایجاد حجم آزاد و نرم شدگی مکانیکی مطرح گردید که مسئول ISE در BMG می باشد. در نانودندانه گذاری AFM، ISE مشخص گردید که اهمیت بیشتری نسبت به دندانه گذاری ابزاری دارد که به P_{max} نسبتاً پایین تر و دندانه گذار دقیق تر نسبت داده می شود.



References

- [1] R. Vaidyanathan, M. Dao, G. Ravichandran, S. Suresh, Acta Mater. 49 (2001) 3781.
- [2] A. Greer, A. Castellero, S. Madge, I. Walker, J. Wilde, Mater. Sci. Eng. A 375-377 (2004) 1182.
- [3] T. Ichitsubo, S. Hosokawa, K. Matsuda, E. Matsubara, N. Nishiyama, S. Tsutsui, A.Q.R. Baron, Phys. Rev. B 76 (2007) 140201.
- [4] J. Das, M.B. Tang, K.B. Kim, R. Theissmann, F. Baier, W.H. Wang, J. Eckert, Phys. Rev. Lett. 94 (2005) 205501.
- [5] B.J. Park, H.J. Chang, D.H. Kim, W.T. Kim, K. Chattopadhyay, T.A. Abinandanan, S. Bhattacharyya, Phys. Rev. Lett. 96 (2006) 245503.
- [6] A. Concustell, N. Mattern, H. Wendrock, U. Kuehn, A. Gebert, J. Eckert, A. Greer, J. Sort, M. Baro, Scr. Mater. 56 (2007) 85.
- [7] H. Wagner, D. Bedorf, S. Kütchemann, M. Schwabe, B. Zhang, W. Arnold, K. Samwer, Nat. Mater. 10 (2011) 439.
- [8] X.H. Du, J.C. Huang, K.C. Hsieh, Y.H. Lai, H.M. Chen, J.S.C. Jang, P.K. Liaw, Appl. Phys. Lett. 91 (2007) 131901.
- [9] Y.H. Liu, G. Wang, R.J. Wang, D.Q. Zhao, M.X. Pan, W.H. Wang, Science 315 (2007) 1385.
- [10] Y.H. Liu, D. Wang, K. Nakajima, W. Zhang, A. Hirata, T. Nishi, A. Inoue, M. W. Chen, Phys. Rev. Lett. 106 (2011) 125504.
- [11] J.G. Wang, D.Q. Zhao, M.X. Pan, C.H. Shek, W.H. Wang, Appl. Phys. Lett. 94 (2009) 031904.
- [12] B.-G. Yoo, K.-W. Park, J.-C. Lee, U. Ramamurty, J.-I. Jang, J. Mater. Res. 24 (2009) 1405.
- [13] B.-G. Yoo, Y.-J. Kim, J.-H. Oh, U. Ramamurty, J.-I. Jang, Scr. Mater. 61 (2009) 951.
- [14] B.-G. Yoo, J.-Y. Kim, Y.-J. Kim, L.-C. Choi, S. Shim, T.Y. Tsui, H. Bei, U. Ramamurty, J.-I. Jang, Int. J. Plast. 37 (2012) 108.
- [15] L.-C. Choi, Y.-J. Kim, Y.M. Wang, U. Ramamurty, J.-I. Jang, Acta Mater. 61 (2013) 7313.
- [16] L.-C. Choi, Y. Zhao, Y.-J. Kim, B.-G. Yoo, J.-Y. Suh, U. Ramamurty, J.-I. Jang, Acta Mater. 60 (2012) 6862.
- [17] B. Bhushan, V.N. Koinkar, Appl. Phys. Lett. 64 (1994) 1653.
- [18] F. Sansoz, T. Gang, Ultramicroscopy 111 (2010) 11.
- [19] H. Zhang, J. Tang, L. Zhang, B. An, L.-C. Qin, Appl. Phys. Lett. 92 (2008) 173121.
- [20] X. Li, H. Gao, C.J. Murphy, L. Gou, Nano Lett. 4 (2004) 1903.
- [21] S.N. Dub, Y.Y. Lim, M.M. Chaudhri, J. Appl. Phys. 107 (2010) 043510.
- [22] I. Manjka, J. Maniks, Acta Mater. 54 (2006) 2049.
- [23] Y.V. Milman, A.A. Golubenko, S.N. Dub, Acta Mater. 59 (2011) 7480.
- [24] N. Vansteenberghe, J. Sort, A. Concustell, J. Das, S. Scudino, S. Surinach, J. Eckert, M. Baro, Scr. Mater. 56 (2007) 605.
- [25] J.-I. Jang, B.-G. Yoo, Y.-J. Kim, J.-H. Oh, L.-C. Choi, H. Bei, Scr. Mater. 64 (2011) 753.
- [26] F. Yang, K. Geng, P. Liaw, G. Fan, H. Choo, Acta Mater. 55 (2007) 321.
- [27] N. Li, K.C. Chan, L. Liu, J. Phys. D: Appl. Phys. 41 (2008) 155415.
- [28] N. Li, L. Liu, K.C. Chan, Q. Chen, J. Pan, Intermetallics 17 (2009) 227.
- [29] Z.L. Long, Y. Shao, G.Q. Xie, P. Zhang, B.L. Shen, A. Inoue, J. Alloys Compd. 462 (2008) 52.
- [30] W.C. Oliver, G.M. Pharr, J. Mater. Res. 7 (1992) 1564.
- [31] L. Charleux, S. Gravier, M. Verdier, M. Fivel, J.J. Blandin, J. Mater. Res. 22 (2007) 525.
- [32] L. Charleux, S. Gravier, M. Verdier, M. Fivel, J.J. Blandin, Mater. Sci. Eng. A 483-484 (2008) 652.
- [33] D. Pan, A. Inoue, T. Sakurai, M.W. Chen, Proc. Natl. Acad. Sci. USA 105 (2008) 14769.
- [34] F. Spaepen, Acta Metall. 25 (1977) 407.
- [35] A.S. Argon, Acta Metall. 27 (1979) 47.
- [36] P. de Hey, J. Sietsma, A. van den Beukel, Acta Mater. 46 (1998) 5873.
- [37] M. Heggen, F. Spaepen, M. Feuerbacher, J. Appl. Phys. 97 (2005) 033506.
- [38] L. Anand, C. Su, Acta Mater. 55 (2007) 3735.
- [39] A. Concustell, J. Sort, A.L. Greer, M.D. Baró, Appl. Phys. Lett. 88 (2006) 171911.
- [40] Y.J. Huang, J. Shen, Y.L. Chiu, J.J. Chen, J.F. Sun, Intermetallics 17 (2009) 190.
- [41] A. Castellero, B. Moser, D.I. Uhlentaut, F.H.D. Torre, Acta Mater. 56 (2008) 3777.
- [42] F. Xu, Z.L. Long, X.H. Deng, P. Zhang, Nonferrous Met. Soc. China 23 (2013) 1646.
- [43] J.C. Ye, J. Lu, C.T. Liu, Q. Wang, Y. Yang, Nat. Mater. 9 (2010) 619.
- [44] H.B. Ke, P. Wen, H.L. Peng, W.H. Wang, A.L. Greer, Scr. Mater. 64 (2011) 966.

برای خرید فرمت ورد این ترجمه، بدون واتر مارک، اینجا کلیک نمایید.



این مقاله، از سری مقالات ترجمه شده رایگان سایت ترجمه فا میباشد که با فرمت PDF در اختیار شما عزیزان قرار گرفته است. در صورت تمایل میتوانید با کلیک بر روی دکمه های زیر از سایر مقالات نیز استفاده نمایید:

لیست مقالات ترجمه شده ✓

لیست مقالات ترجمه شده رایگان ✓

لیست جدیدترین مقالات انگلیسی ISI ✓

سایت ترجمه فا ؛ مرجع جدیدترین مقالات ترجمه شده از نشریات معتبر خارجی