****

**استحکام برشی اکسی نیترید آلومینیوم**

**چکیده**

نیترید آلومینیوم (AION) یک سرامیک شفاف پلی کریستالین است. این یک ماده جذاب به عنوان ماده پنجره با استحکام بالا است. در این کار ما به تجزیه و تحلیل نتایج چهار مجموعه از آزمایشات موج شوک صفحه ای گزارش شده برای تعیین استحکام برسی AION می پردازیم. تحلیل ما نشان می دهد که فشردگی AION تحت یک شیفت حدود 16-20 GPa قرار می گیرد که نسبتاً فشرده تر می شود. هرچند، AION به حفظ استحکام برشی در تنش های بالاتر ادامه می دهد. دلیل شیفت مشاهده شده باید درک شود و به طور رضایت بخشی باید توضیح داده شود.

**کلمات کلیدی:** اکسی نیترید آلومینیوم، سرامیک، ثوابت الاستیک، Hugoniot، استحکام برشی.

**مقدمه**

نیترید آلومینیوم (AION یکی از سه ماده مهم در Al2O3 و سیستم AIN است که دو ماده دیگر اعضای نهایی AL2O3 و AIN است. زمانی که نسبت AL2O3 و AIN 9:5 باشد، دارای ساختار مکعبی است و ترکیب آن Al23O27N5 (35.7 mole % AIN). فاز مکعبی AION بین 28-40 mole % از AIN می ماند و چگالی آن را درصد مول تغییر می کند. چگالی ایده آل با 35.7 mole% از AIN 3.711 Mg/m^ [1] است. همچنین شفاف است و شفافیت خود را حتی زمانی که تخلخل 1-2.6% به واسطه حجم در ماده حاضر است حفظ می کند. چگالی یک AION شفاف بین 3.6 و 3.67 Mg/m3 تغییر می کند. همچنین دارای ویژگی های مکانیکی عالی مشابه با Al2O3 است. همچنین ماده ای با دوام برای کاربردهای نیازمد سختی بالا، استحکام مکانیکی و شفافیت الکترومغناطیسی گسترده است. ویژگی های الاستیک AION پلی کریستالین و وابستگی آن به فشار و دما توسط Graham et. al. [2]. اندازه گیری شده است. درصد مول AION در ماده آنها بین 30 و 35.7 تغییر نمود. چگالی ماده AION آنها بین 3.604 و 3.649 Mg/m3 برای ماده با درصد مول AIN تغییر نمود. ماده AION استفاده شده در مرجع 2 دارای تخلخل متغیر بی 2.6 و 1.8 درصد بود. درصد مول 35.7 ماده AIN آنها دارای تخلخل 3.644±0.004 Mg/m3 بود که متکی بر تخلخل 1.9 درصد در AION بود. مقادیر اندازه گیری شده ثوابت الاستیک برای چهار ماده AION پلی کریستالین گزارش شده در مرجع 2 در جدول 1 داده شده است. مشتقات و دمای ثوابت الاستیک تنها برای دو تا از چهار ماده AION اندازه گیری شد.

کاربرد پتانسیل AION نیاز به این داشت که رفتار آن تحت شرایط بارگذاری دینامیک مطالعه شود. نتایج آزمایشات تاثیر دینامیک [3-4] که AION باید به طور بالقوه یک ماده بادوام به صورت جایگزینی برای یاقوت کریستال تک در محیط تاثیر مرتبط باشد. این کار، چهار بررسی مستقل [5-8] را برای تعیین پاسخ موج شوک AION انگیزه بخشید. چگالی های ماده های AION استفاده شده در مراجع 5-8 از 3.51 تا 3.67 Mg/m3 تغییر نمود. مواد با چگالی کمتر شفاف نبودند. هدف اولیه مطالعه کنونی، استفاده از نتایج این چهار بررسی موج شوک برای بررسی این مورد بود که آیا AION استحکام برسی را تحت انتشار موج شوک صفحه ای حفظ می کند یا خیر، زیرا استحکام برشی یک ماده برای اهمیت آن تحت شرایط بارگذاری تاثیر مهم در نظر گرفته می شود.

جدول 1. ویژگی های AION

ویژگی

چگالی

سرعت موج الاستیک

طولی

برشی

حجمی

ماژول الاستیک

حجمی

برشی

نسبت پویزون

مشتق فشار

ماژول حجمی

ماژول برشی

**آزمایشات و مواد**

ماهیت های چهار مطالعات موج شوک صفحه ای روی AION در جدول 2 نشان داده شده است. جزئیات آزمایشات انجام گرفته در این مطالعات در مراجع 8-5 نشان داده شده است. بنابراین، جزئیات این چهار مجموعه از آزمایشات در اینجا فراهم نشده است. ویژگی های چگالی و پلاستیکی مواد AION استفاده شده در این مطالعات در جدول 1 داده شده است. مواد استفاده در مرجع 7 و 8 توسط آزمایشگاه تحقیقات نظامی (ARL) فراهم شد. ویژگی های ماده ARL در ستون آخر جدول 1 داده شده است.

جدول 2. ماهیت مطالعات موج شوک

|  |
| --- |
| تنش اطلاعات عیب یابی مطالعات |
| 15 تنش های طولی، جانبی و خرده |
| 21 تنش های طولی، جانبی |
| 180-61 سرعت شوک و جرم |
| 89-5 تنش های طولی، جانبی و شاخص انکسار |

به علت تغییر در چگالی به نظر نمی رسد مقادیر سرعت های موج الاستیک به طور چشمگیری از یکی به دیگری تغییر نماید به جز برای سرعت موج طولی گزارش شده برای بالاترین چگالی ماده 3.68 Mg/m3 استفاده شده توسط Cazamias et al. [5]. این نشان دهنده مقادیر بالاتر از ماژول حجی و نسبت پویزون برای این ماده در مقایسه با بقیه ماده AION در جدول 1 است. چون تنها یک آزمایش فشردگی شوک در 4.7 GPa در این چگالی بالای AION در مرجع 5 انجام شد، نتایج این آزمایش ویژه در کار کنونی گنجانده نشده است.

**نتایج**

نتایج این آزمایشات روی AION می تواند به شرح زیر توصیف شود.

دامنه های HEL از 10.5 تا 12.1 GPa تغییر می کند. این تغییر نشاندهنده وابستگی نظام مند HEL به چگالی اولیه AION است. نویسندگان مرجع 5 و 6، HEL دامنه های 10.5-10.9 GPa و به ترتیب 10.7 GPa گزارش نمودند. Sekine et al [7] یک مقدار نسبتاً بالاتر از HEL را گزارش نمودند، یعنی 11.2-12.1 GPa در مقایسه با 8.7-10.7 GPa گزارش شده توسط Thornhill et. al. [8] قرار گرفت هرچند ماده AION دارای چگالی یکسان بود. مقادیر بازده (Y) و تنش های برشی (t) از مقادیر HEL مورد نظر محاسبه شد و نسبت های پویزون از 6.6 تا 7.9 GPA و 3.3 تا 3.9 GPa تغییر می کند. t نصف Y است. این مقادیر از مقادیر تنش بازده و تنش برشی نزدیک HEL متفاوت نیست، یعنی 9.9 GPa از اندازه گیری های Thornhill et. al. [8] به دست امد. جدول 3 نشاندهنده مقادیر اندازه گیری شده (T(X) طولی، جانبی، (T(y) و مقادیر محاسبه شده میانگین، < (T>, تنش ها و برش (t)، تنش برای AION است. عدم قطعیت ها در این مقادیر، به ترتیب 1،2،6 و 3 درصد است.

جدول 3. خلاصه داده های شوک از مرجع 6.



پاسخ شوک AION گزارش شده توسط Sekine et al [7] و Thomhill et. al. [8] در جدول 4 خلاصه شده است. تغییر شکل غیرالاستیک AION بالای HEL از طریق رابطه بین سرعت شوک (Us) و سرعت جزئی (up) به دست آمده در این دو مطالعه ارائه شده است.

جدول 4. نتایج پاسخ شوک AION



SEkine et al داده های مرجع 5 را در دستیابی به رابطه خطی Us-up گنجاند. به علت چگالی ماده استفاده شده در مرجع 5، یعنی 3.51 Mg/m3، بسیار کمتر از چگالی AION در مرجع 7 استفاده شد و اگر در تعیین رابطه خطی Us-up مستثنی شود و s به جای 8.08 و 0.761 نشان داده شده در جدول 4، 7.86 km/s and 0.834, می شود. مقادیر C0 و s داده شده در پرانتز، مقادیر به دست آمده از داده های آزمایشات نشاندهنده انتشار یک موج تک است یعنی، 125 GPa و فراتر از آن. دو مقدار K0 به دست آمده با روش بالا برابر 227 و 916 GPa است. مقدار K0 به دست آمده توسط Thornhill et a [8] برابر 211 GPa است، یعنی نزدیک به مقدار ماژول حجمی AION و بسیار متفاوت از مقادیر مرجع 7. اینها نشان می دهد که منحنی فشردگی AION به دست آمده در مرجع 7 سخت تر از مقدار به دست آمده در مرجع 8 است. هر دو مطالعه نشاندهنده مشتق فشار ماژول حجمی است که باید تقریباً نیمی از مقدار به دست آمده توسط Graham et. al. [2]، یعنی 4.5 باشد. این نشان می دهد که حتی اگر سرعت موج شوک پیرو پیشروی الاستیک با دامنه برابر با یا بزرگتر از سرعت موج حجمی در AION حرکت کند، بسیار فشرده تر خواهد شد که از نتایج اندازه گیری های سرعت موج اولتراسونیک فشار بالا که در مرجع 2 گزارش شده است انتظار می رود. این مورد در شکل 1 نشان داده شده است.



شکل 1. فشردگی AION

داده های Vaughan et. al. [6] نشان می دهد که AIONT، استحکام برشی دامنه را بین 3 و 4 GPa بالاتر از HEL حفظ می کند.

Graham and Brooks [10] نشان دادند که داده های موج شوک فشار بالا می تواند برای ارائه اندازه مشخصی از افست برشی تحت این فرض استفاده شود که افست ثابت است و هیچ تغییر فازی رخ نداده است. این نشان می دهد که افست حجمی در تنش صفر به دست آمده از برون یابی داده های شوک فشار بالا، محاسبه تنش برشی حفظ شده را میسر می سازد. اعمال این رویه برای داده ها بالای 16 یا 17 GPa در مرجع 8، نشاندهنده مقادیر افست حجم بی 0.020 و 0.028 است. افست تنش برشی توسط ضرب این و ماژول حجمی داده می شود. مقادیر محاسبه شده از تنش برشی 4.4 و 6.0 GPa است. به علت گذار فاز پیشهادی در AION در فشارهای بالا، داده های مرجع 7 نشاندهنده مقدار باور کردنی ممکن نبود.

شکل 2. نشاندهنده فشردگی شوک AION کم چگالی از مرجع 5 و 6 و داده های کمی از تنش پایین از مرجع 8 است. این نشان می دهد که داده های موج شوک زیر 16 GPa صرفه نظر از چگالی تمایل به ماندن در افست متناهی از هیدورستات AION تولید شده از داده های اولتراسونیک دارد [2]. علاوه بر این، مقادیر تنش میانگین به دست آمده از داده های Vaughan et al [6] در هیدروستات قرار می گیرد اما برای مشتق شدن از آن در زمان قرار گرفتن تحت تنش ورای 16.5 GPa آغاز می شود. بنابراین به نظر می رسد که AION زمانی که تحت شوک 16 GPa و بالای آن قرار می گیرد در حالیکه استحکام برشی که قبلاً بحث شده بود حفظ می شود، شروع به فشرده تر شدن می نماید.

شکل 2. فشردگی AION تا 30 GPa



در این زمان، هیچ توضیح ممکنی وجود ندارد که بتواند برای نرم شدن مشاهده شده فشردگی AION بالای 16 GPa پیشنهاد شود. داده های مرجع 8 نشاندهنده هیچ شواهدی از تبدیل فاز و نه یک شاهد غیرمبهم برای تبدیل پیشنهاد شده توسط Sekine et al [7] نیست.

**نتیجه گیری**

نیاز به انجام مطالعات بیشتر برای تعیین علل اساسی برای پاسخ شوک غیرمعمول مشاهده شده AION وجود دارد.

**تقدیرات**

بررسی های Dr.Mccauley در آماده سازی این رونوشت مفید بوده است.

