





موضوع پایان نامه:

بررسی حد شکل پذیری ورق های دو لایه فلزی

به روش تجربی و عددی

نگارش:

ابوذر دهقانی

استاد راهنما:

دکتر سید رضا حمزه لو

آنچه ارائه می گردد:

چکیده

مقدمه و بررسی موضوع و پیشینه کارهای انجام شده

ضرورت و اهمیت مساله

بررسی منحنی حد شکل پذیری به روش تجربی

بررسی منحنی حد شکل پذیری به روش المان محدود

نتایج آزمون های تجربی و شبیه سازی

نتیجه گیری و پیشنهادات

چکیده:

امروزه استفاده از ورق های دولایه فلزی و شکل دهی آن ها در صنایع مختلف نظیر خودروسازی، صنایع هوایی، هوا فضا، دریایی، خانگی و شیمیایی مورد توجه قرار گرفته است. استفاده از ورق های دولایه فلزی، فواید بسیاری دارد که از جمله آنها می توان به مواردی مانند: بهبود شکل پذیری مواد سبک اما سخت، دستیابی به استحکام مکانیکی بالا همراه با انعطاف پذیری خوب، افزایش مقاومت در برابر خوردگی و سایش، افزایش میرایی صوت و ارتعاش، توزیع یکنواخت دما، کاهش برگشت فنی و چین خوردگی و در نهایت کاهش وزن و هزینه قطعات اشاره داشت.

در این پایان نامه شکل پذیری ورق های دولایه فلزی با استفاده از دو روش تجربی و المان محدود مورد بررسی قرار می گیرد. همچنین منحنی حد شکل پذیری ورق دو لایه که از ترکیب دو فلز **Almg6-St321** و همچنین **Almg6-St321** آنیل شده بدست آمده است مورد بررسی قرار گرفته و با یکدیگر مقایسه می شوند.





سازمان اسناد و کتابخانه ملی
جمهوری اسلامی ایران

مقدمه:

* پیشگفتار

* ضرورت و اهمیت انجام پروژه

* تاریخچه استفاده از ورق های دو لایه

* اهداف مورد نظر در انجام پروژه

* خلاصه ای از نوآوری

* معرفی ورق های چند لایه



فرآیندهای شکل‌دهی ورقهای فلزی یکی از مهمترین عملیات فلزکاری به شمار می‌روند، که امروزه در بسیاری از صنایع از جمله خودرو سازی، صنایع هواپیمایی، صنایع دریایی، شیمیایی و خانگی کاربرد دارند. استقبال از این فرایندها بدان جهت است که هزینه قطعات تولیدی با این روشها کمتر از روشهای دیگر است. مهمترین پارامتر موثر این روش نسبت استحکام به وزن بالای قطعات تولید شده می باشد به نحوی که قطعات با وزن کم دارای استحکام بسیار بالایی هستند.



انستیتوت ملی استاندارد

ضرورت و اهمیت انجام پروژه

- با توجه به تحقیقات انجام شده، تا کنون فعالیت های تئوری، تجربی و عددی وسیعی در زمینه **شکل پذیری ورق های تک لایه** و بر روی تاثیر پارامتر هایی از جمله خصوصیات رفتاری ماده (توان کرنش سختی، توان حساسیت به نرخ کرنش و ضریب استحکام)، شرایط مربوط به ریز ساختار مواد (اندازه دانه ها) و همچنین شرایط محیطی (مسیر بار گذاری، نرخ کرنش، دما) بر روی شکل پذیری ورق های تک لایه به عمل آمده است اما در زمینه **شکل پذیری ورق های دو لایه** تحقیقات کمتری صورت گرفته که بیشتر به صورت تجربی بوده است و همچنین تاثیر پذیری شکل پذیری ورق های دو لایه از خصوصیات رفتاری مواد لایه ها و هندسه ورق دو لایه و اجزاء آن مورد بررسی قرار نگرفته است.

- با توجه به موارد ذکر شده، در این رساله سعی بر آن است که **شکل پذیری ورق های دو لایه مورد بررسی قرار گیرد**. البته نحوه بررسی شکل پذیری این ورق ها با رسم منحنی های حد شکل پذیری خواهد بود، که به دو صورت تجربی و **المان محدود (عددی)** صورت می پذیرد. همچنین **منحنی حد شکل پذیری ورق دو لایه به روش تجربی با منحنی حد شکل پذیری بدست آمده از روش المان محدود مقایسه می گردد**.



دانشگاه گیلان
گیلان

خلاصه ای از نوآوری های پروژه

۱- بررسی تجربی تاثیر پذیری شکل پذیری ورق های دو لایه با توجه به عملیات حرارتی انجام شده.

۲- استفاده از شبیه سازی با روش المان محدود برای آزمایش های تجربی کشش و اتساع برای تعیین منحنی های حد شکل پذیری ورق های دو لایه.



طبق مطالعات آماری لی و همکارانش، با پیدایش بحران سوخت در سال ۱۹۷۳، کاهش مصرف سوخت اتومبیل ها یکی از مهمترین مسایلی تلقی شد و به عنوان مثال تلاشهایی توسط شرکت هایی نظیر جنرال موتورز و کرایسلر برای بهبود شکل پذیری موادی همچون آلومینیوم در دمای معمولی انجام شد تا بدین ترتیب مواد سبکتر و سخت تر جایگزین مواد سنگین تر شده و مصرف سوخت کاهش یابد. آنها سعی به شکل دهی گرم این ماده داشتند. اما با کاهش قیمت سوخت تلاش ها متوقف گشت، تا اینکه مجدداً از سال ۱۹۸۷ این مسئله مهم شد، به طوریکه مصرف آلومینیوم در سال ۱۹۸۷ از ۱۰۶ میلیون پوند به ۴۰۴ میلیون پوند در سال ۱۹۹۷ رسید .



دانشگاه تربیت مدرس
موسسه تحقیقاتی

معرفی ورق های چند لایه و کاربرد آنها

۱- فواید ورق های چند لایه

۲- تقسیم بندی ورق های چند لایه



۱- فواید ورق های چند لایه

- ۱- کم کردن وزن
- ۲- کاهش قیمت
- ۳- بهبود شکل پذیری
- ۴- مقاومت در برابر خوردگی و اکسید شدگی
- ۵- استحکام مکانیکی بالا همراه با انعطاف پذیری
- ۶- میرایی صوت، میرایی ارتعاشی و عایق حرارتی



انستیتوت ملی استاندارد

استاندارد ملی ایران

۲- تقسیم بندی ورق های چند لایه

- ۱- ورق های متشکل از فلز/پلیمر/فلز
- ۲- ورق های متشکل از فلز/کامپوزیت با ماتریس پلیمری/فلز(ورق های ساندویچی)
- ۳- ورق های فلز/فلزو مواد پلیمری



انستیتوت تحقیقات فولاد

مروری بر پیشینه تحقیق

تحقیقات انجام شده در مورد شکل دهی و شکل پذیری ورق های دو لایه

محقق	سال	توضیحات
سمیاتین و پیهلر	1979	تغییر شکل ورق های فولادی با روکش آلومینیومی و ورق آلومینیومی با روکش فولادی
موری و کوریموتو	1996	شکل پذیری ورق های دو لایه آلومینیوم و فولاد زنگ نزن (AA1100 و SUS 340 نورد گرم)
آلکارازا	1999	ناپایداری در ورق های دو لایه فلزی را به صورت دینامیکی در شرایط کشش دو محوری مورد بررسی قرار داده است. معادله سخت شوندگی هلمن، وس و پراگر
یوشیدا و همکارانش	2003	با استفاده از آزمایش کشش و بار گذاری دوره ای خمشی بر روی ورق دو لایه خواص مواد تشکیل دهنده را بدون تخریب و جداسازی لایه ها به دست آورند. مدل سخت شوندگی پراگر و چابوشه
دانش منش و کریمی	2003	استحکام اتصال و شکل پذیری ورق فولادی با پوشش آلومینیومی را مورد بررسی قرار داده اند-نورد سرد
لنگ و همکارانش	2005	شکل دهی هیدروفرمینگ یک ورق لایه ای با لایه خیلی نازک وسط را به صورت عملی و با استفاده از FEM مورد بررسی قرار دادند
جلالی و همکارانش	2009	شکل پذیری ورق های دولایه فلزی Al 1100-St 12 را با استفاده از مدل لایه معادل و بر مبنای مدل M-K از روش تئوری و تجربی مورد بررسی قرار داده اند
ونتال و همکارانش	2011	فرآیند شکل دهی حرارتی ورقهای پلیمری چند لایه را بصورت تجربی و تحلیلی را با روش المان محدود مورد بررسی قرار دادند.
سرر	2012	شکل پذیری ورق های چند لایه مطالعه تحلیلی انجام داد.
زاهدی و همکارانش	2014	شکل پذیری ورق های دو لایه ساخته شده از آلومینیوم ۱۰۵۰ و فولاد کم کربن St12 در فرآیند شکل دهی تدریجی تک نقطه ای به روش عددی و تجربی تحقیقاتی انجام داده اند



بررسی منحنی حد شکل پذیری به روش تجربی

آزمایش‌های تجربی به دو دسته تقسیم‌بندی می‌شوند. دسته اول مربوط به آزمایش‌هایی می‌شوند که با انجام آنها اطلاعات مورد نیاز برای تحلیل شبیه سازی حد شکل پذیری به منظور دستیابی به منحنی حد شکل‌پذیری انجام می‌پذیرند و دسته دوم آزمایش‌هایی که از طریق آن نمودار FLD مربوط به ورق‌های دولایه بدست می‌آید.

جهت تعیین تجربی نمودار حد شکل‌پذیری، ورق با انجام آزمایش‌های متعدد، تحت شرایط مختلف بارگذاری (کرنش) قرار گرفته و گلویی موضعی روی آن ایجاد می‌شود. با اندازه‌گیری کرنش‌های اصلی در نزدیکی محل گلویی شدن، منحنی تجربی حد شکل‌پذیری حاصل می‌شود.

رایج‌ترین روش در تعیین تجربی کرنش‌ها، شبکه‌بندی ورق به شکل‌های مختلف (عموما دایره) قبل از انجام آزمایش می‌باشد.





ورق‌های مورد استفاده برای انجام آزمایش‌ها:

در این پروژه، از ورق‌های Almg6 آنیل شده، St321 , Almg6 , استفاده شد.

در آزمایش‌ها از ورق Almg6 با ضخامت 1 mm ، ورق Almg6 آنیل شده با ضخامت 1 mm و ورق St321 با ضخامت 0.4 mm استفاده گردید.

به منظور تشکیل ورق دو لایه از دو ترکیب Almg6-St321 , Almg6-St321 آنیل شده استفاده گردید.



دانشگاه تربیت مدرس
موسسه تحقیقات

آزمایش انجام پذیرفته در این پروژه را می توان به دو بخش تقسیم بندی نمود:

الف - آزمایش های تعیین خواص لایه های فلزی که مربوط به فراهم آوردن اطلاعات مورد نیاز برای بخش شبیه سازی می شوند.

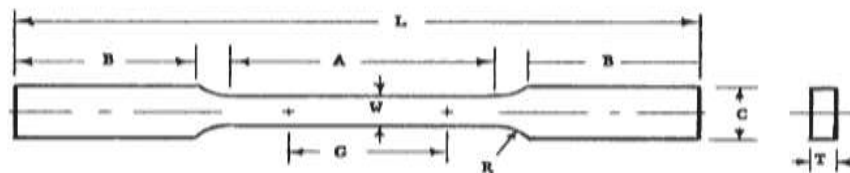
ب - آزمایش هایی که منجر به یافتن تجربی منحنی حد شکل پذیری (FLD) می گردند.



دانشگاه تربیت مدرس

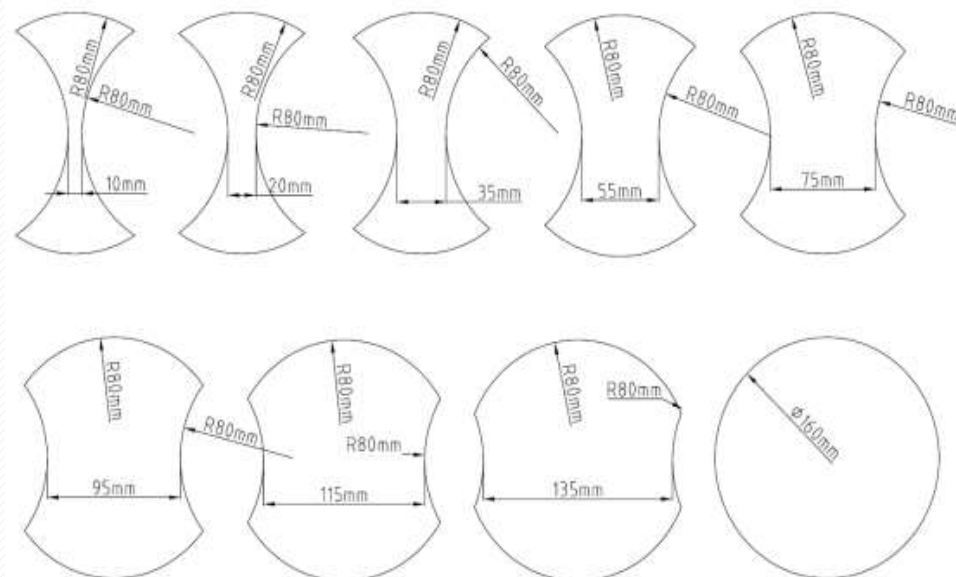
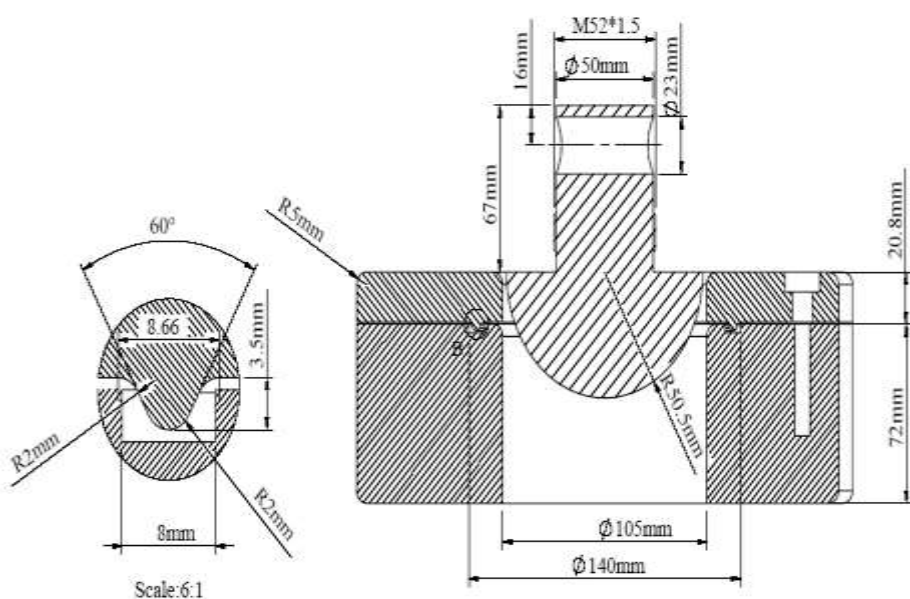
ابعاد قالب و نمونه کشش های مربوط به روش تجربی:

ASTM E 517 - 00



Dimensions

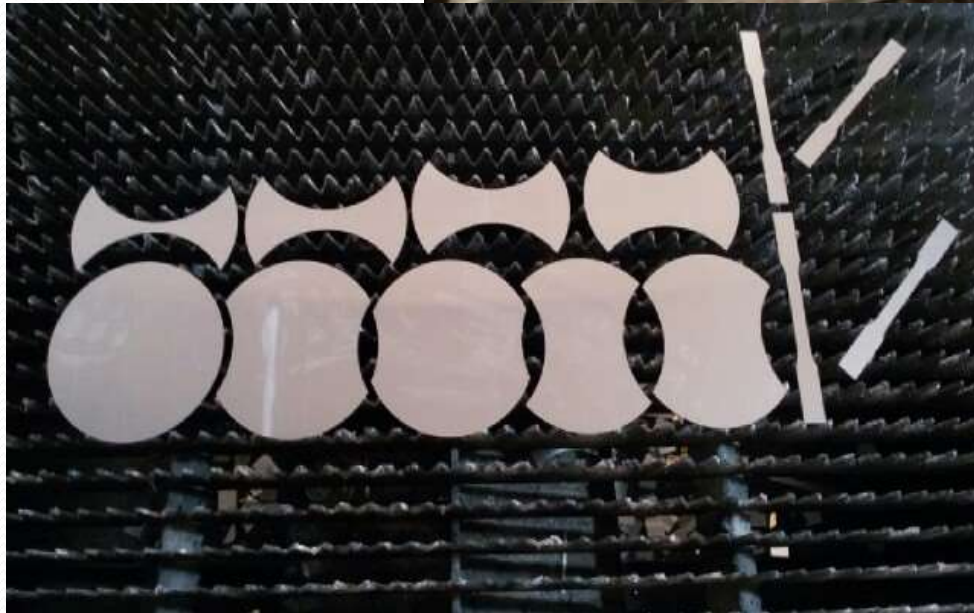
		Specimen A			
		Standard		Alternative	
		in.	mm	in.	mm
G	Gage length	2.00 ± 0.01	50 ± 0.25	1.00 ± 0.005	25 ± 0.13
W	Width (Note 2 and Note 3)	0.500 ± 0.01	12.5 ± 0.25	0.500 ± 0.01	12.5 ± 0.025
T	Thickness	thickness of material		thickness of material	
R	Radius of fillet, min	$\frac{1}{2}$	13	$\frac{1}{2}$	13
L	Overall length, min	8	200	$7\frac{1}{4}$	180
A	Length of reduced section, min	3	75	$2\frac{1}{4}$	60
B	Length of grip section, min	2	50	2	50
C	Width of grip section, approximate	$\frac{3}{4}$	20	$\frac{3}{4}$	20



برش نمونه های کشش با دستگاه لیزر و حکاکی نمونه ها:



دانشگاه تربیت مدرس
موسسه تحقیقات مهندسی مواد و متالورژی





دانشگاه سهند
شهر سهند

دستگاه کشش :



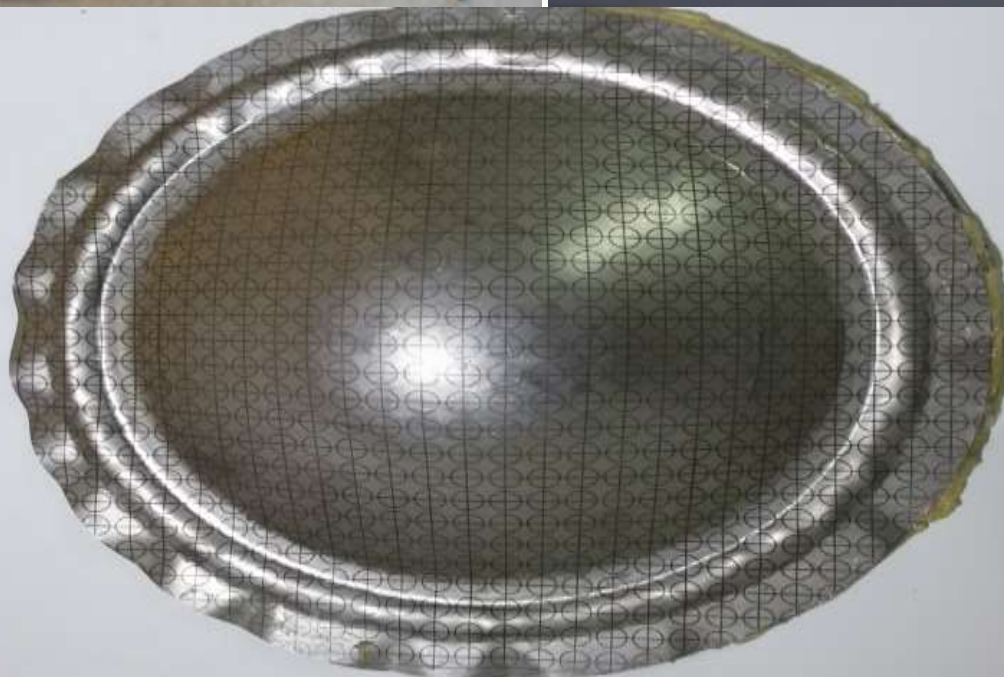
با توجه به استاندارد ASTM:E646-9، نرخ کرنش مجاز برای انجام آزمایش $0.05-0.5 \text{ 1/min}$ در نظر گرفته شد.





دانشگاه تربیت مدرس

اجزاء مربوط به قالب کشش ناکازيما و يك نمونه بدست آمده:





دانشگاه تربیت مدرس

اندازه گیری اقطار بیضی ها در اطراف منطقه گلویی شده با استفاده از خط کش میلر:





بررسی منحنی حد شکل پذیری به روش المان محدود

از مزایای دستیابی به منحنی حد شکل پذیری به صورت FEM می‌توان به موارد عمده زیر اشاره داشت:

- ۱- کاهش زمان لازم برای رسیدن به FLD نسبت به فرآیندهای تجربی
- ۲- سهولت بررسی تأثیر پارامترهای فرآیند و هندسه ورق دو لایه و اجزاء آن بر شکل‌پذیری ورق دو لایه
- ۳- کاهش هزینه لازم برای دستیابی به منحنی حد شکل‌پذیری نسبت به فرآیندهای تجربی
- ۴- تشخیص لحظه گلویی شدن موضعی و تعیین دقیق مقدار کرنش‌های حد شکل‌پذیری (البته پس از تأیید نهایی مدل و جواب‌های حاصل از آن).
- ۵- برای یافتن FLD با استفاده از مدل‌سازی فرآیندهای تجربی نیاز به مدل‌سازی حداقل ۹ مدل مختلف می‌باشد.



سازمان اسناد و کتابخانه ملی
جمهوری اسلامی ایران

طریقه مدلسازی نمونه ها در نرم افزار آباکوس :

- * ابتدا تحلیل عددی، می بایست اجزا مدل شوند. در روش مدلسازی فرآیندهای تجربی در بخش اتساع، ورق، سنبه، ماتریس، ورق گیر و آویزه مدل می شوند.
- * باید در ابتدای کار به این موضوع اشاره داشت که در ورق های دولایه $1/2$ ورق مدل شدند تا زمان حل کاهش یابد با اعمال شرایط مرزی تقارن روی سطوح مشخص، اثر بخش های مدل نشده لحاظ خواهد شد. لازم به ذکر است که ورق های فلزی به صورت جامد- تغییر شکل پذیر مدلسازی شدند.



دانشگاه تربیت مدرس
موسسه تحقیقات

رفتار ورق‌ها به صورت الاستیک - پلاستیک در نظر گرفته شد. همچنین نحوه سخت شدن مواد به صورت آیزوتروپیک فرض شد. ورق‌ها در حالت پلاستیک ناهمسانگرد در نظر گرفته شدند.

در روش مدل‌سازی فرآیندهای تجربی به آن جهت که فرآیند پیچیده است، از روش حل Explicit استفاده شد. استفاده از روش Explicit این امکان را می‌دهد که سرعت انجام فرآیند بیشتر شود. البته در تحقیقات مشخص شده که اگر سرعت فرآیند بیش از 10 m/s شود، نیروها دچار نوسان خواهند شد. در سرعت‌های کمتر از 5 m/s نتایج تغییری نشان نمی‌دهند.

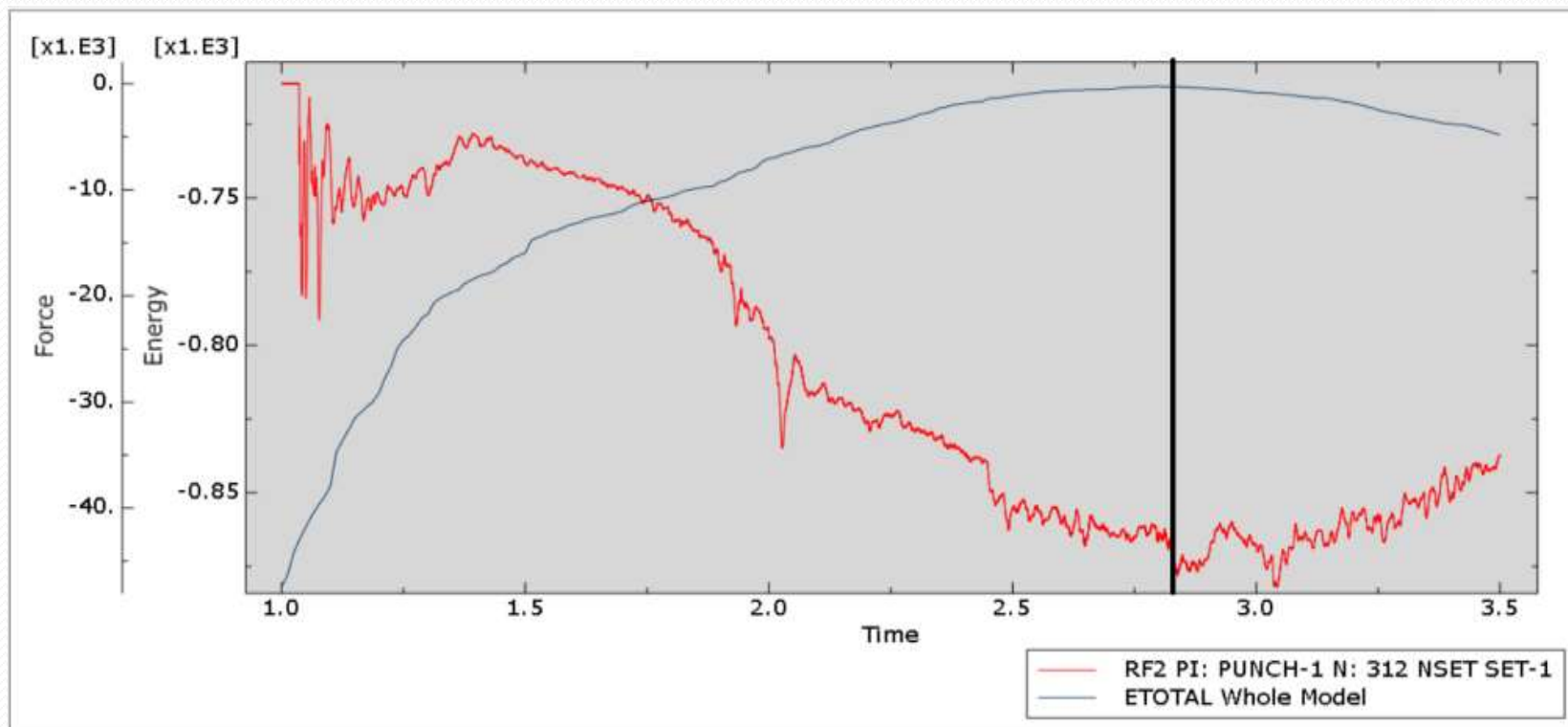
در این پروژه شرایط اصطکاکی بین سنبه و ورق به صورت اصطکاک کلمبی برای بدست آوردن منحنی حد شکل‌پذیری حاصل شده است.

المان مورد اشاره با کد S4R در نرم‌افزار معین شده و به لحاظ هندسی از درجه خطی می‌باشد. این المان قادر به ارائه تمامی مؤلفه‌های کرنش می‌باشد.



دانشگاه شیراز
پیشرفت و توسعه

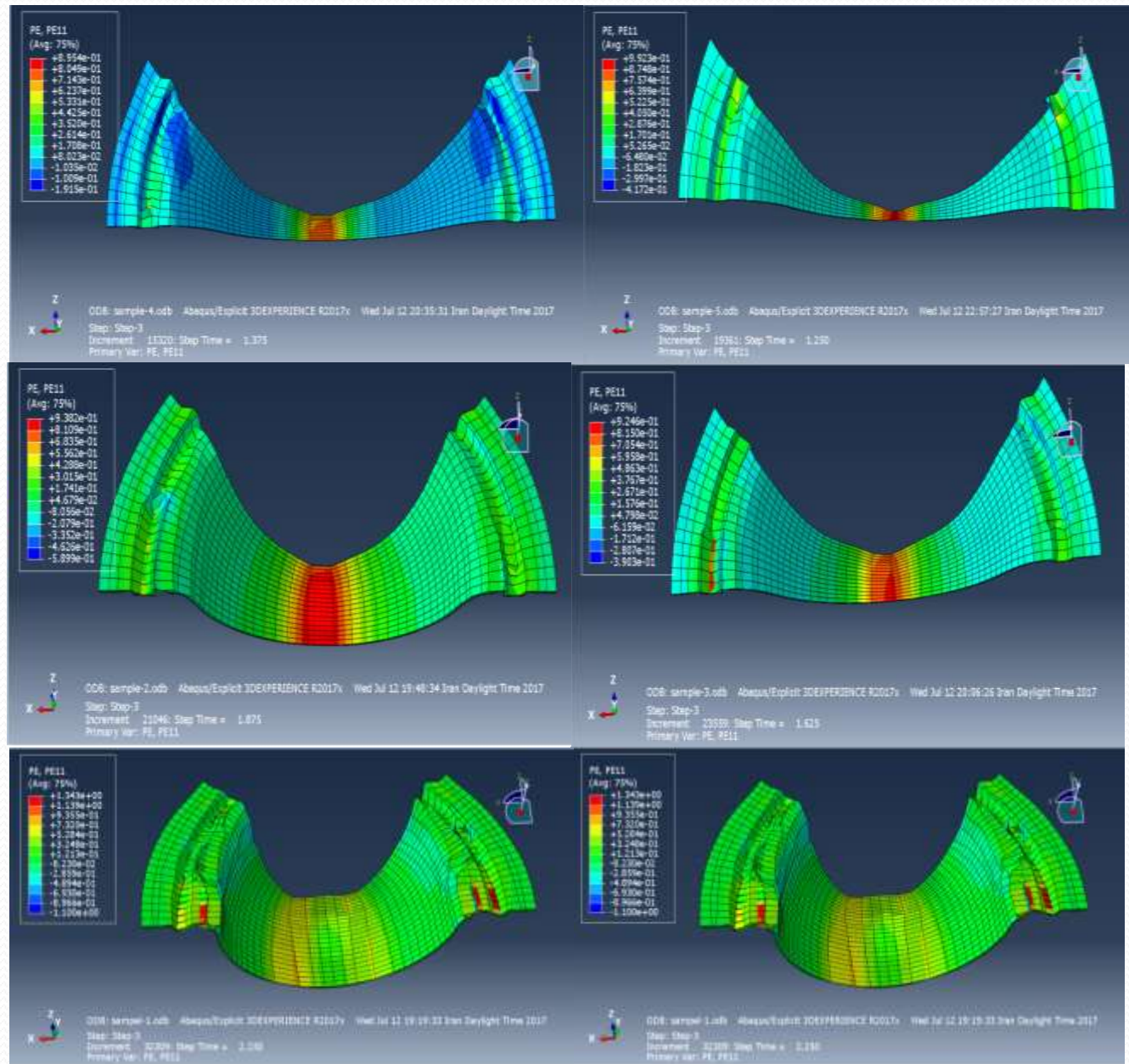
برای بدست آوردن منحنی حد شکل پذیری در نرم افزار از نمودار افت نیرو مطابق روش تجربی و مجموع انرژی کرنش می توان لحظه گلوئی شدن را نیز محاسبه نمود.





دانشگاه تربیت مدرس

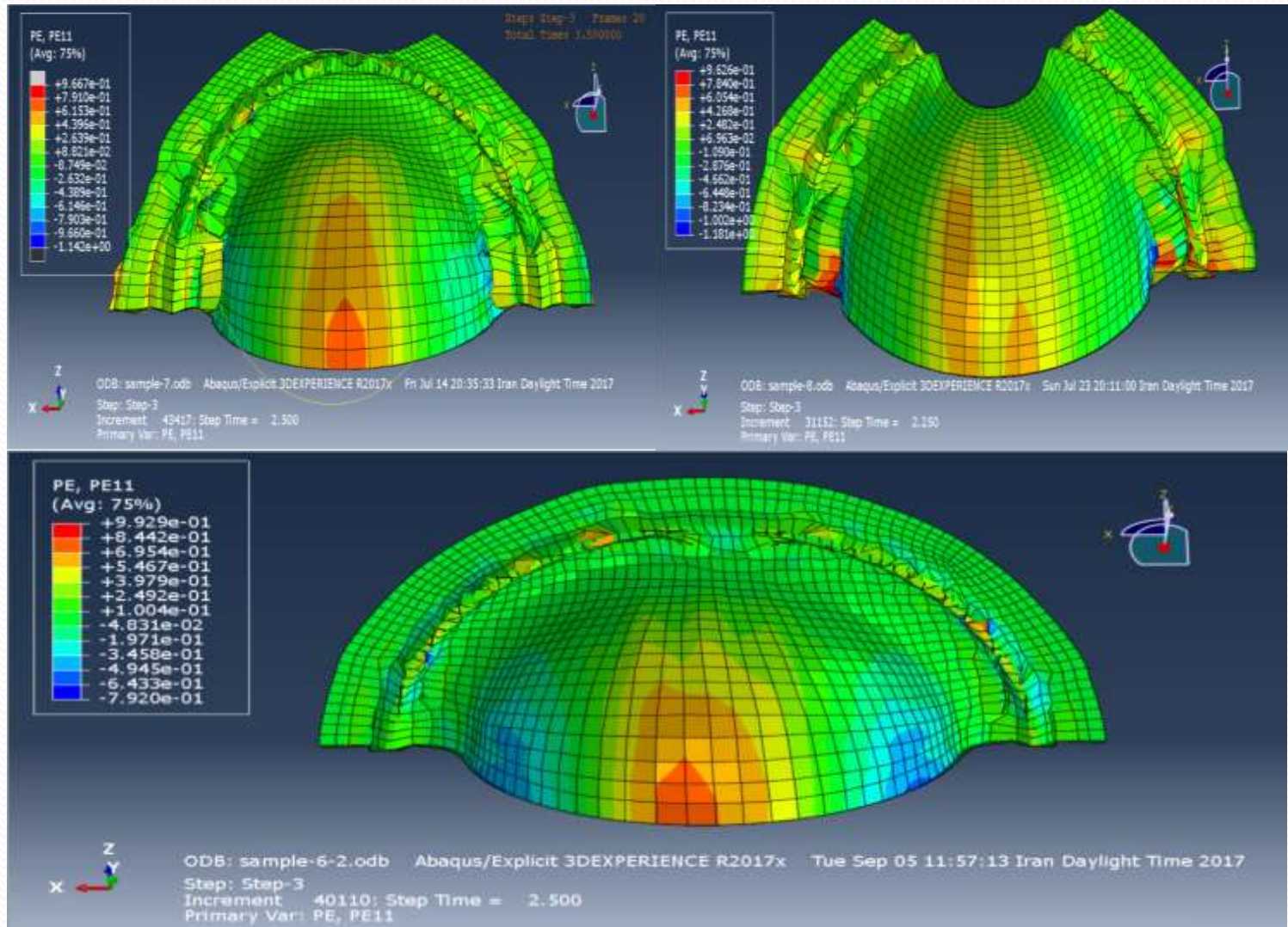
نمونه های بدست آمده با استفاده از نرم افزار آباکوس :





دانشگاه تربیت مدرس

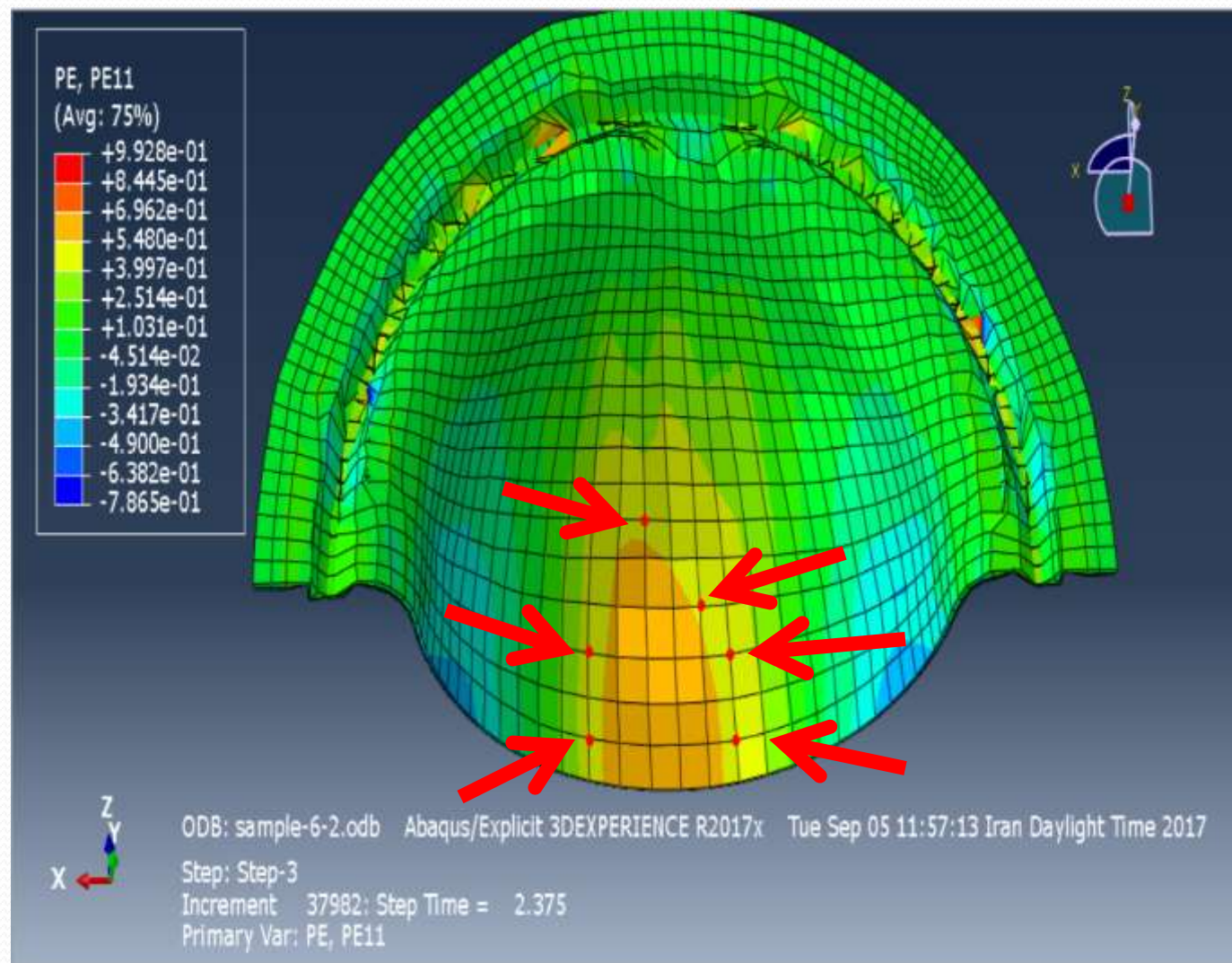
نمونه های بدست آمده با استفاده از نرم افزار آباکوس :





طریقه خواندن نودهای مربوط به FLD

دانشگاه تربیت مدرس
موسسه تحقیقات





دانشگاه شیراز

نتایج آزمون‌های تجربی و شبیه‌سازی

ترکیب شیمیایی مربوط به St321

C2	Si1	S	P1	Mn2	Ni3	Cr3	Mo2	V3	Cu5
0.07388	0.41697	0.0052	0.02401	1.6821	10.45997	19.2093	0.27493	0.0408	0.20933
Sn2	Co1	Al7	B1	Nb	Fe%	W	Ti4		
0.01063	0.08379	0.31352	0.0011	0.0058	66.87	0.02747	0.29106		

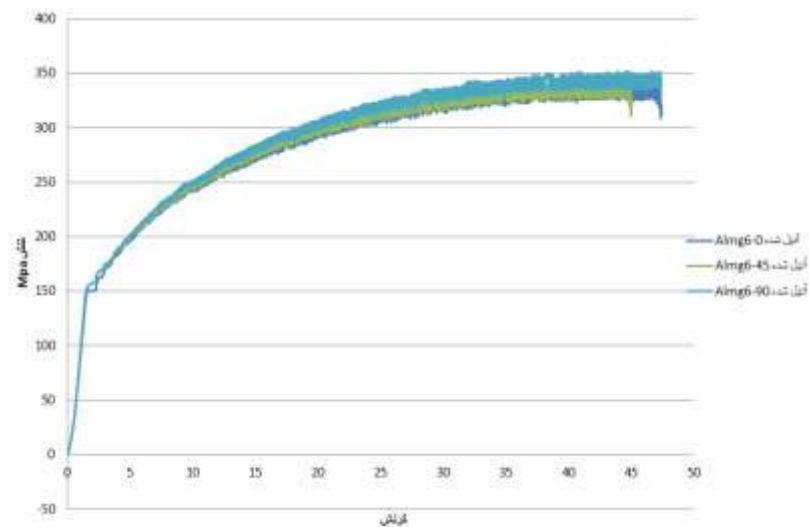
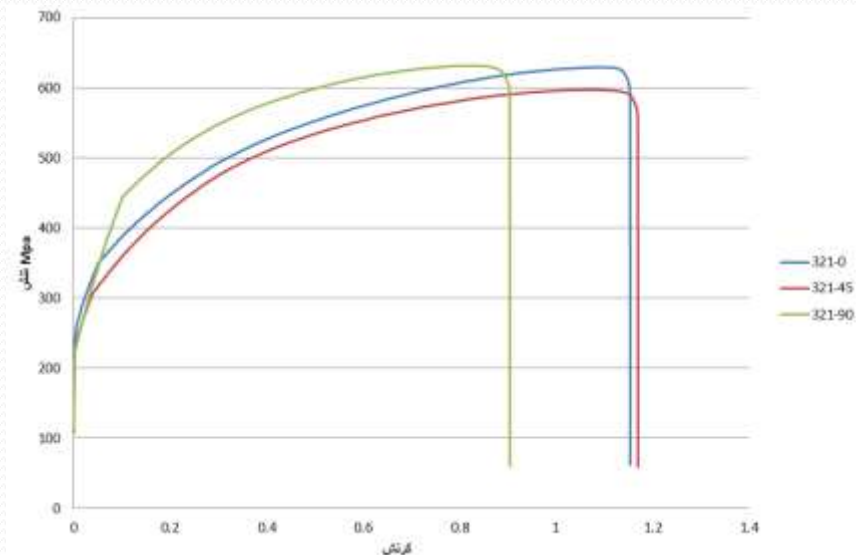
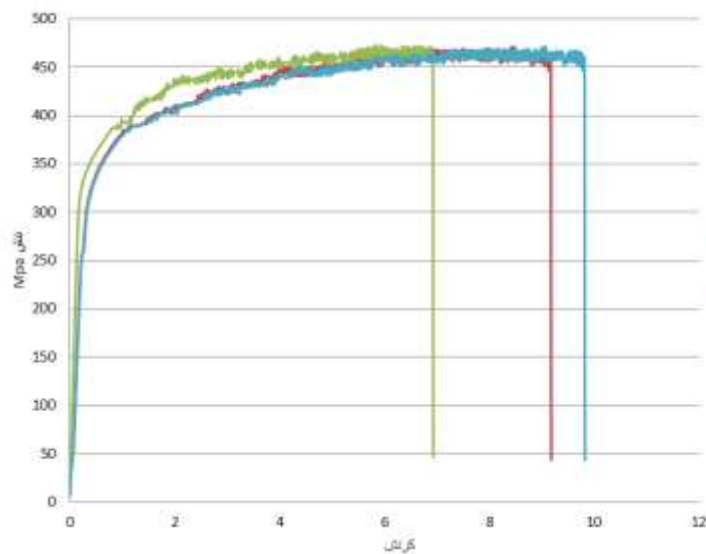
ترکیب شیمیایی مربوط به Almg6

RUN	Si1	Fe2	Cu3	Mn3	Mg5	Sn5	Ti4	Cr1	Ni6	Pb5
AVG	0.1464	0.56951	0.03954	0.64163	7.06117	0.00265	0.03196	0.06909	0.00901	0.00282
RUN	Zr2	Be3	Sb5	Al%	Sn5	B2				
AVG	0.00012	0.00278	0.00808	91.4279	0.00283	0.00053				



دانشگاه آزاد اسلامی
شیراز

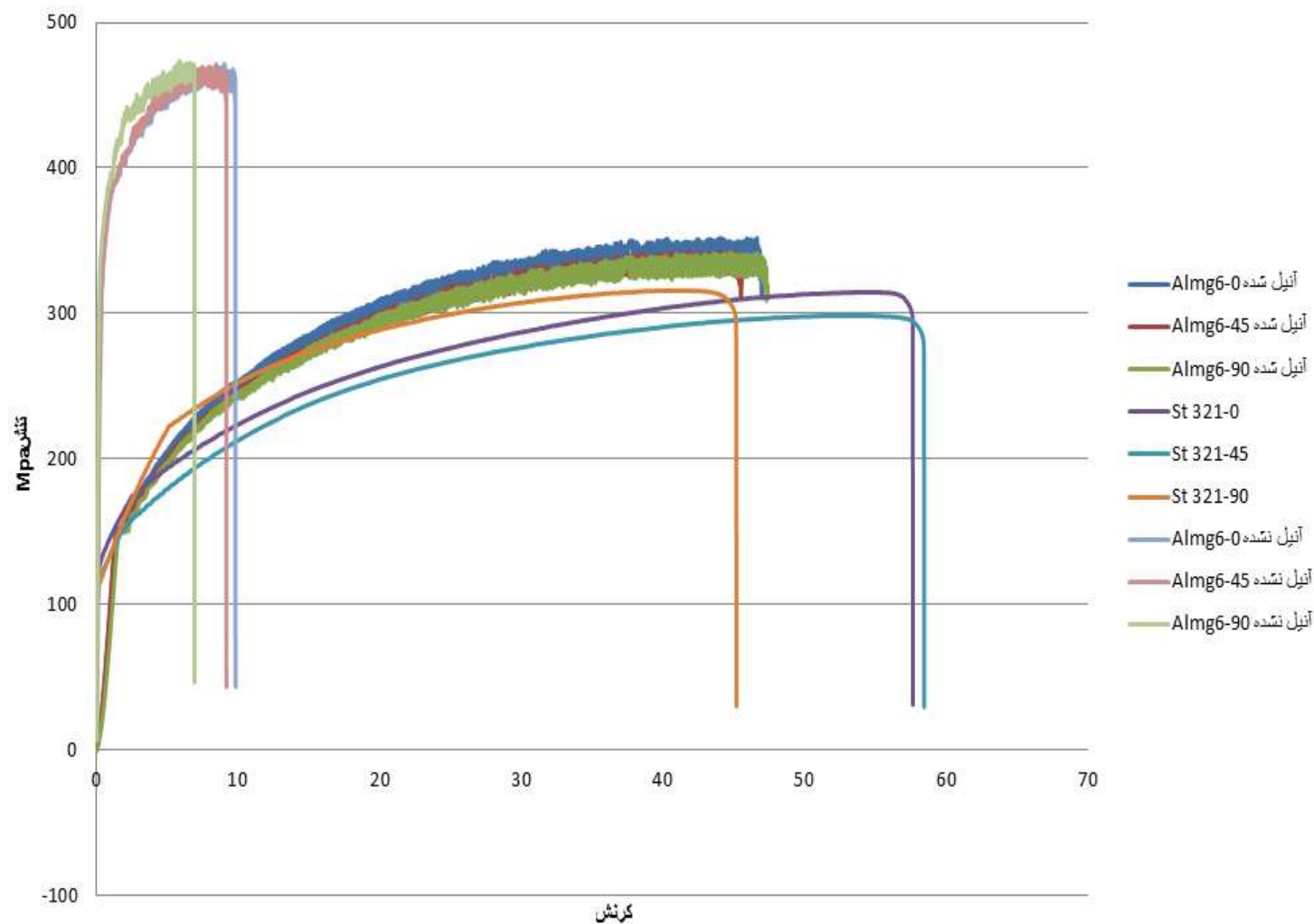
نمودار های تنش - کرنش حقیقی مواد





دانشگاه شیراز

مقایسه نمودار های تنش - کرنش

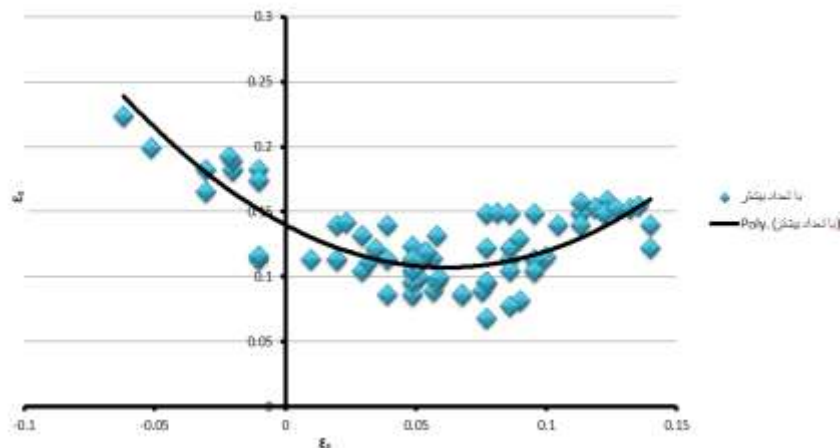




دانشگاه تربیت مدرس

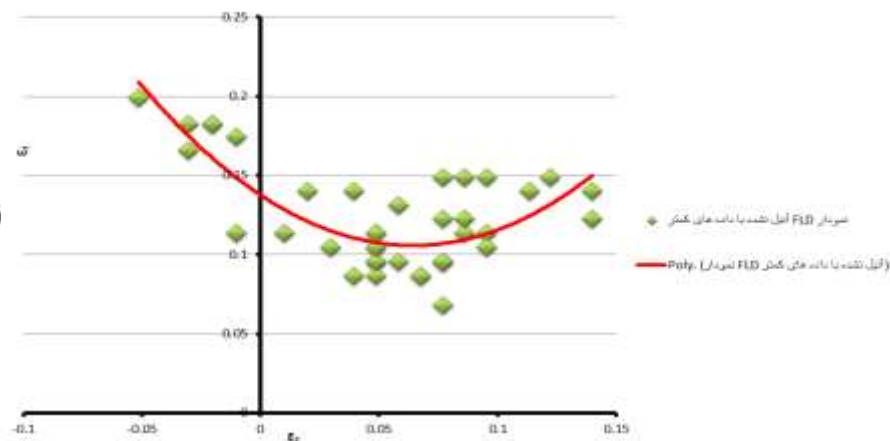
طریقه بدست آوردن نقاط مربوط به منحنی های حد شکل پذیری

رسم نمودار با نقاط بیشتر:

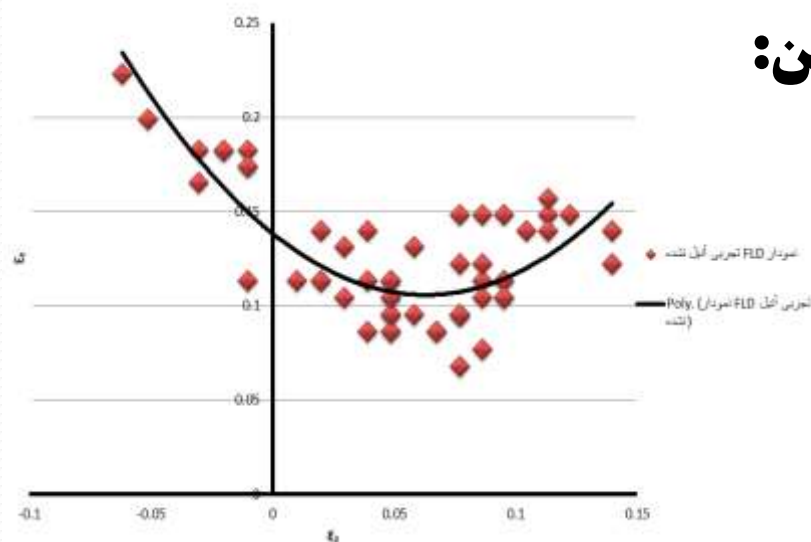


رسم نمودار با نقاط کمتر:

نمودار FLD آتیل نشده با داده های کمتر



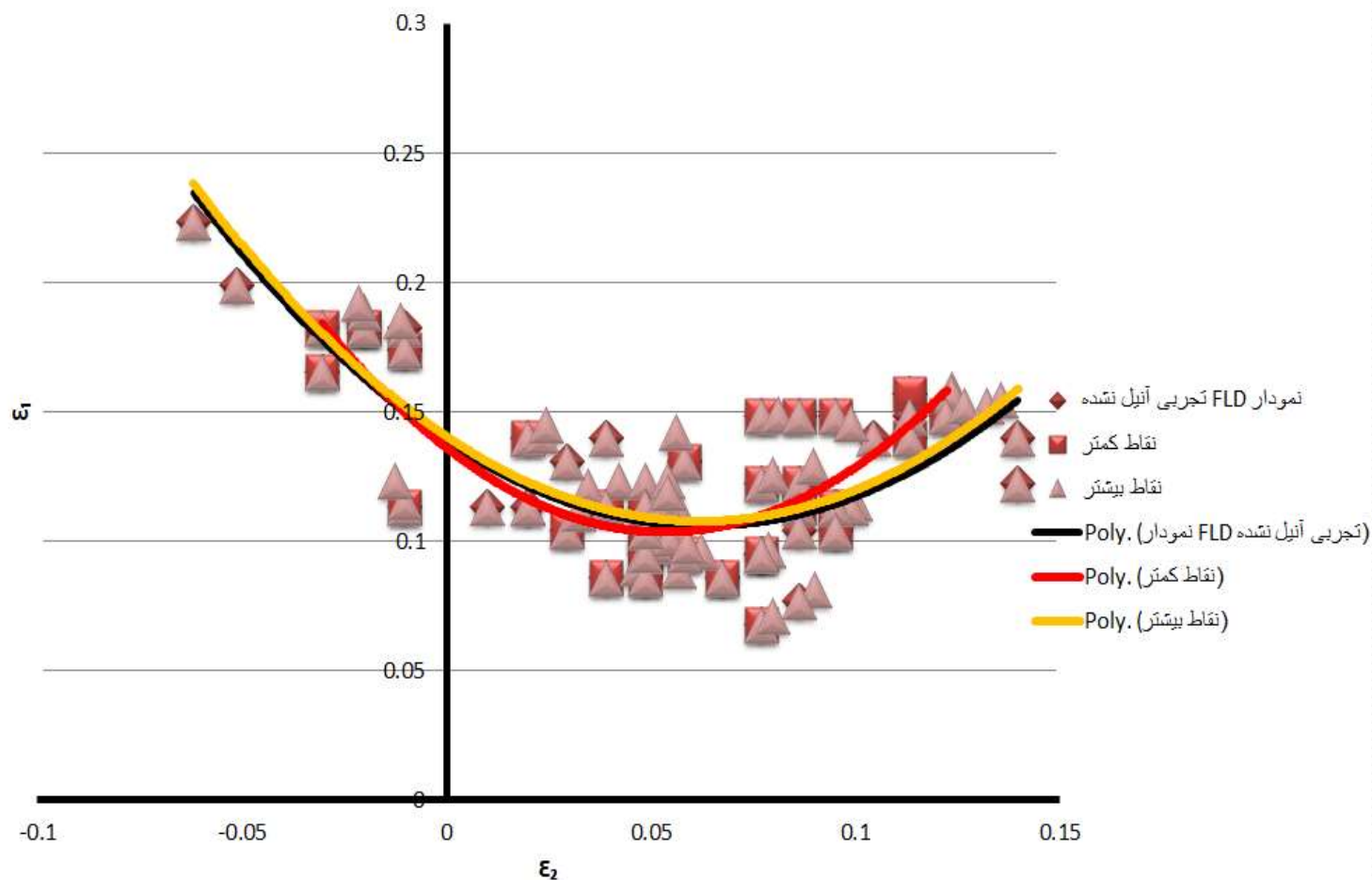
رسم نمودار با نقاط میانگین:





دانشگاه سهند
شهر سهند

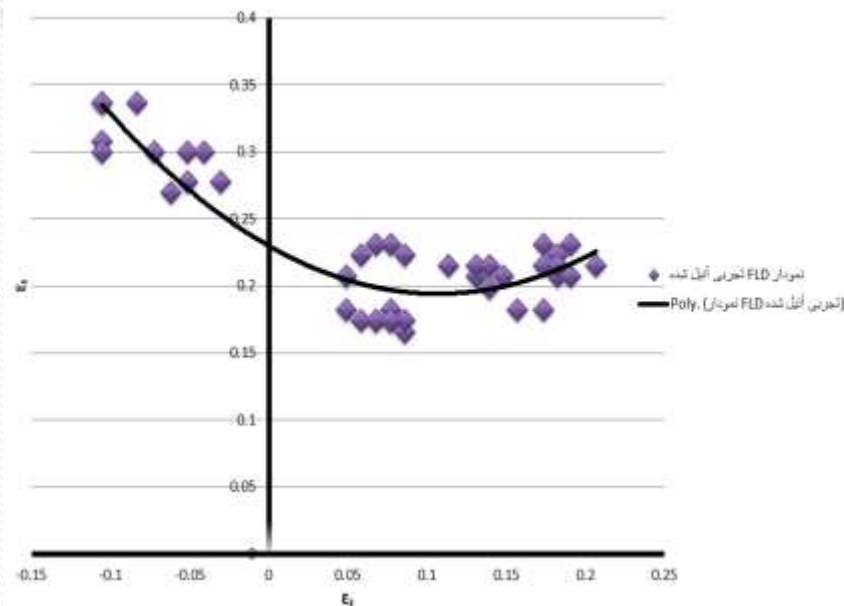
مقایسه نمودار های بدست آمده با نقاط مختلف:



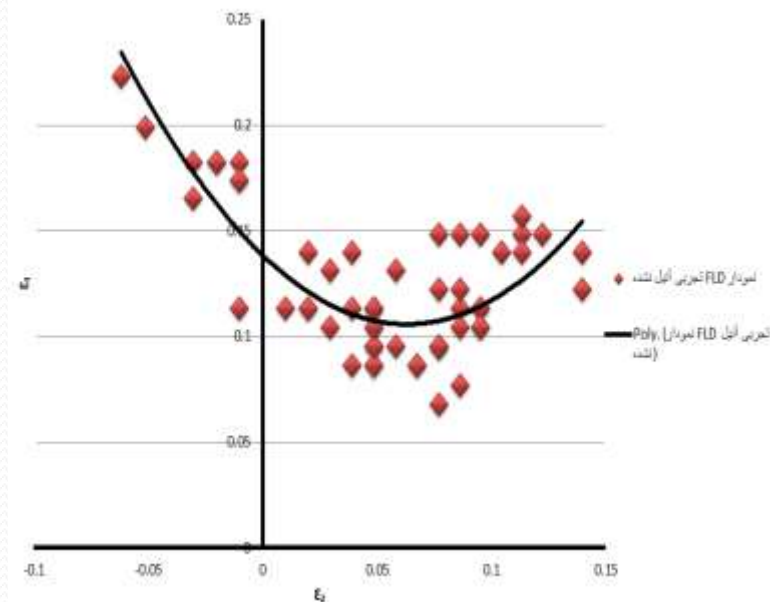


دانشگاه سهند ساری

منحنی های حد شکل پذیری ورق های دو لایه روش تجربی



رسم منحنی Almg6-St321 آنیل شده

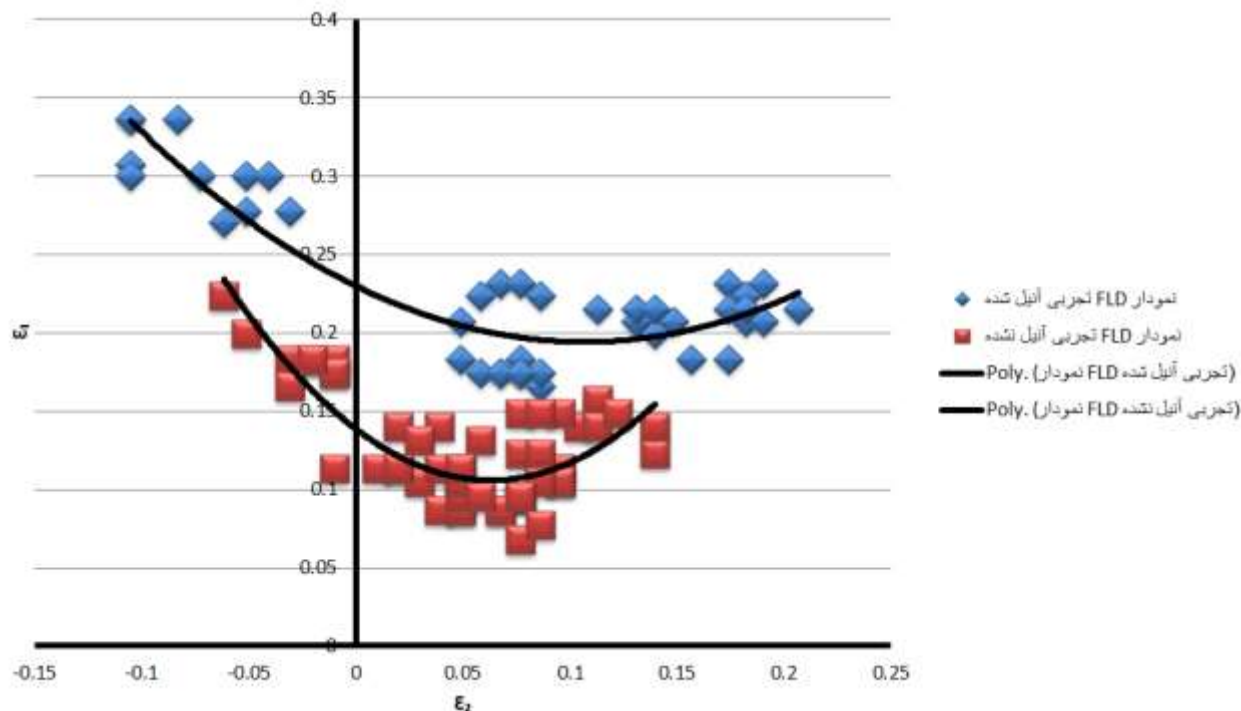


مربوط به منحنی Almg6-St321



دانشگاه گیلان
پایگاه تحقیقاتی

مقایسه نمودار های بدست آمده در روش تجربی :



مربوط به مقایسه نمودار ورق های دو لایه Almg6-St321 و Almg6-St321 آنیل شده

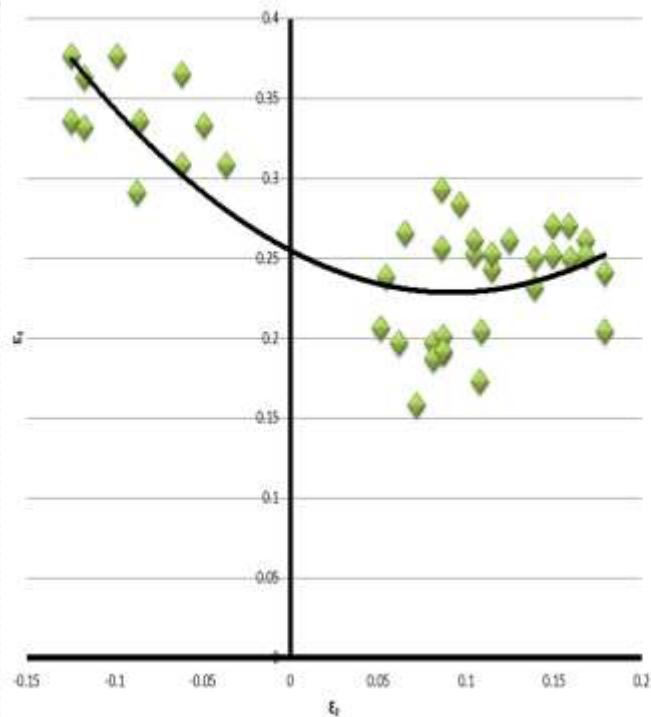
روش تجربی

		ϵ_1 MAX	ϵ_1 MIN	ϵ_2 MAX	ϵ_2 MIN
Almg6-St321	آنیل شده	0.34	0.19	0.21	-0.11
Almg6-St321	آنیل نشده	0.24	0.11	0.14	-0.06

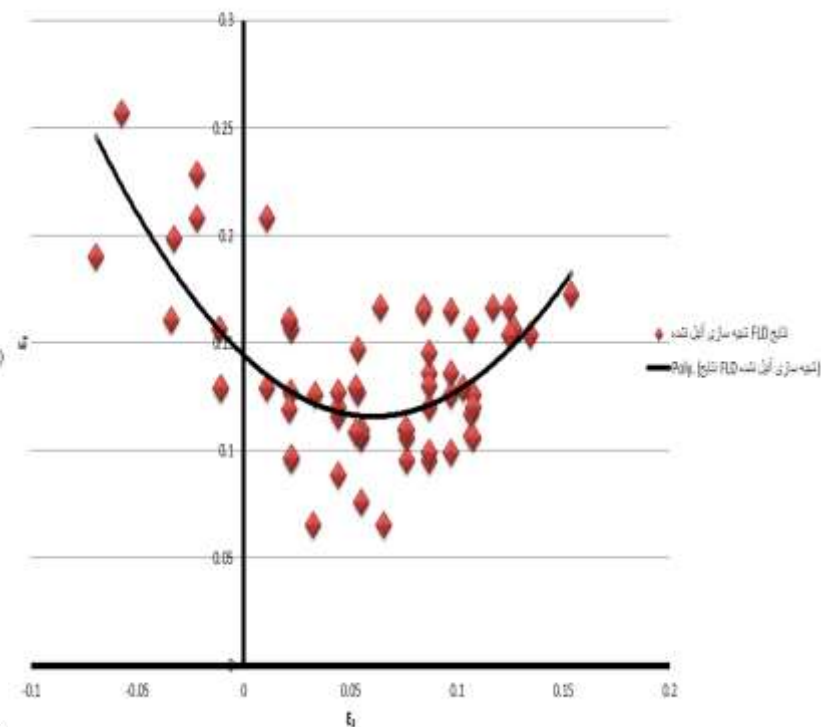


دانشگاه گیلان
دانشگاه گیلان

منحنی های حد شکل پذیری ورق های دو لایه روش عددی



منحنی حد شکل پذیری Almg6-St321 آنیل شده به روش المان محدود

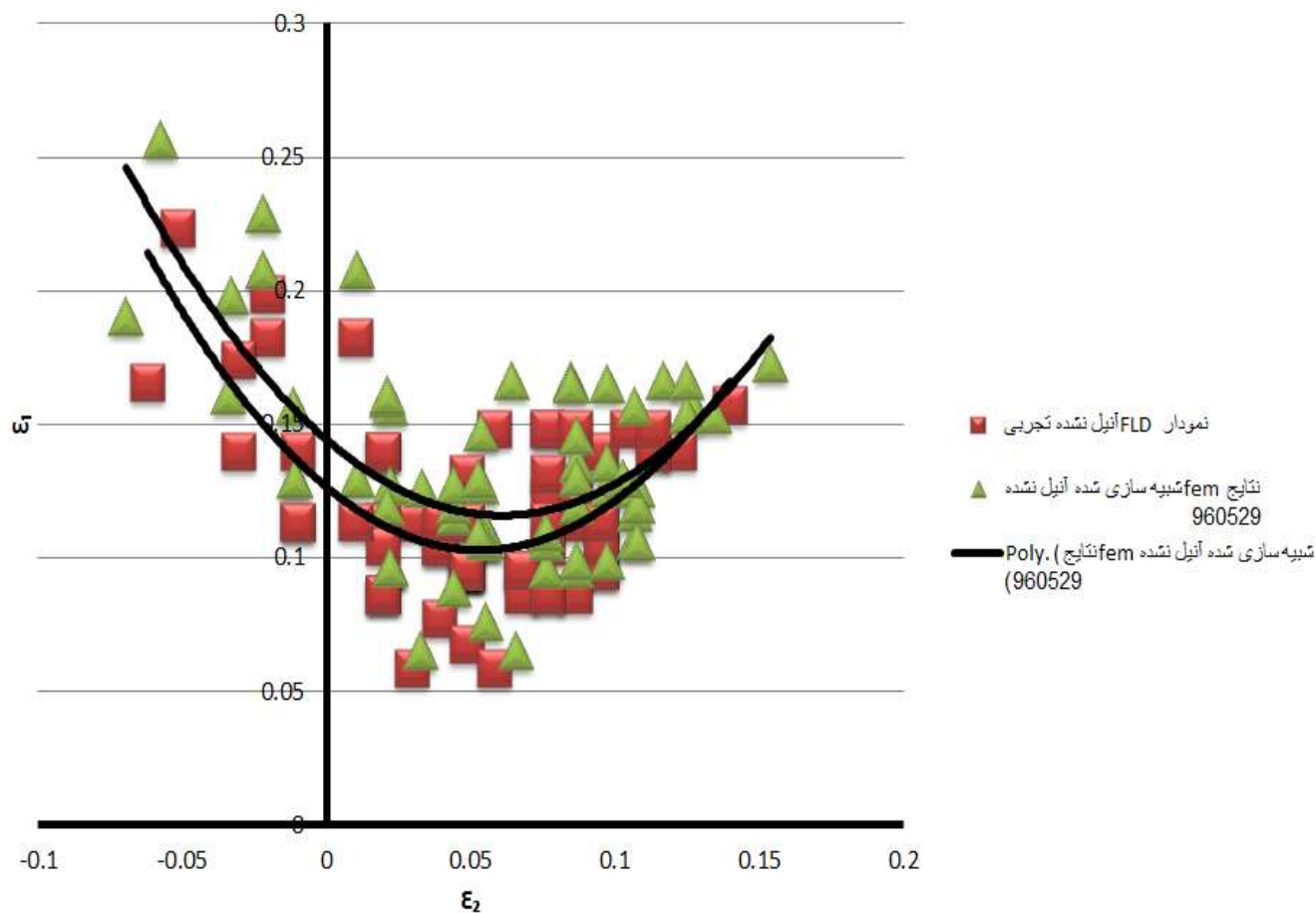


منحنی حد شکل پذیری Almg6-St321 به روش المان محدود



دانشگاه شیراز
پروژه تحقیقاتی

مقایسه نتایج شبیه سازی و تجربی (صحه گذاری نتایج)

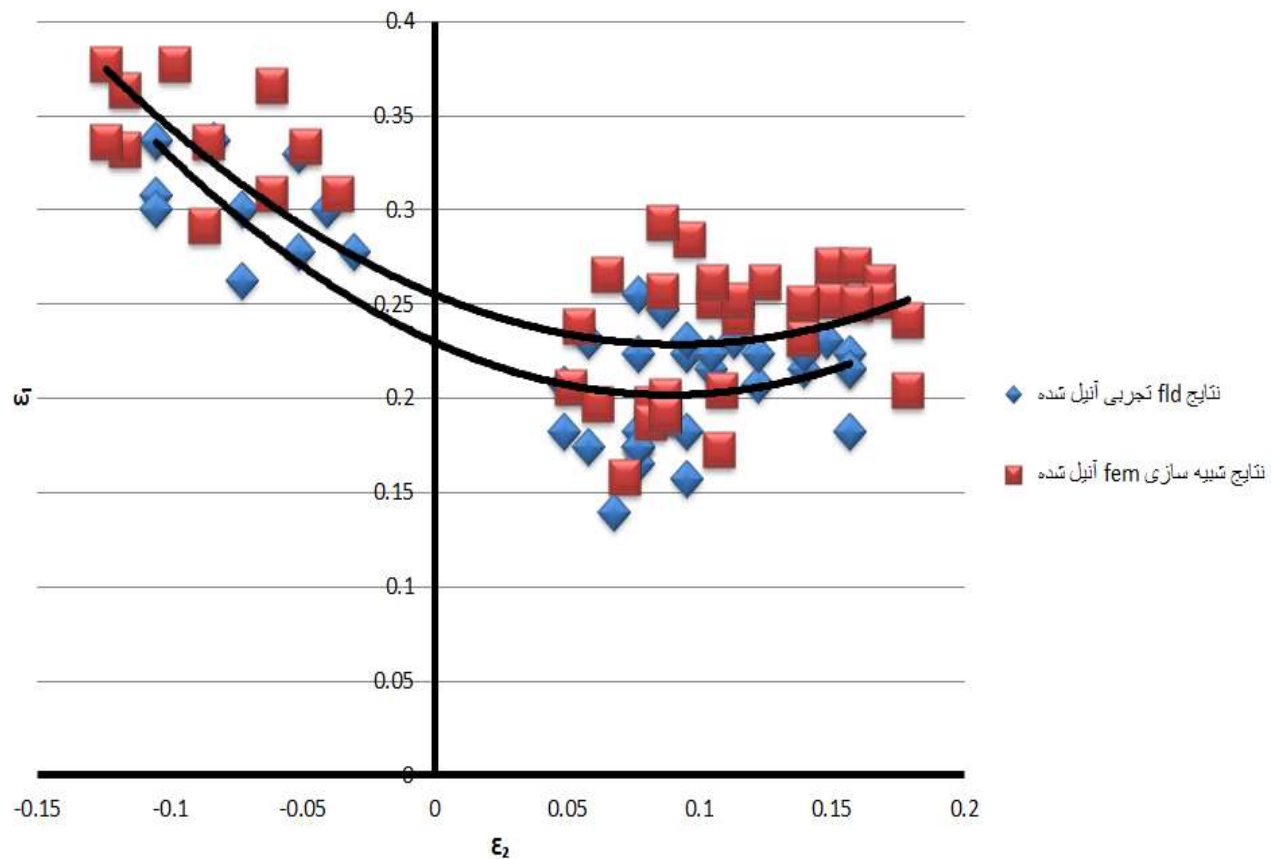


مقایسه منحنی حد شکل پذیری Almg6-St321 به روش تجربی و FEM



دانشگاه سهند ساری

موسسه تحقیقات و فناوری

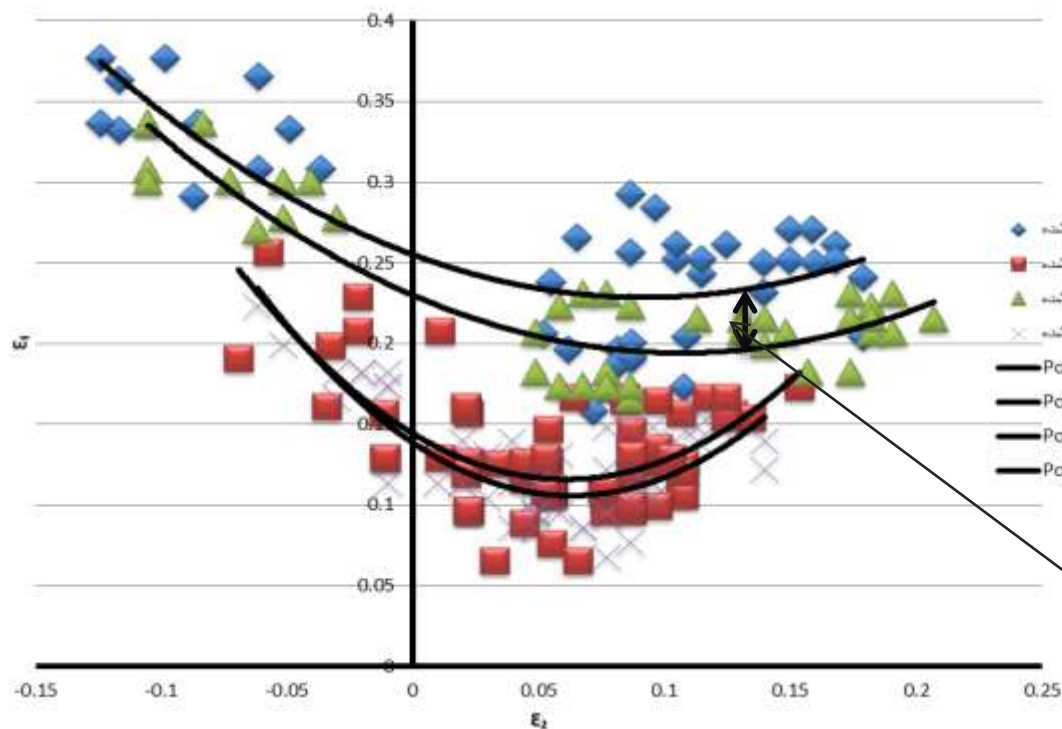


مقایسه منحنی حد شکل پذیری Almg6-St321 آنیل شده به روش تجربی و FEM



دانشگاه شیراز

مرکز تحقیقات



منحنی حد شکل پذیری ورق های دو لایه ALMG6-ST321 حاصل از روش تجربی و شبیه سازی

روش المان محدود					
		ε_1 MAX	ε_1 MIN	ε_2 MAX	ε_2 MIN
Almg6-St321	آنیل شده	0.38	0.23	0.17	-0.13
Almg6-St321	آنیل نشده	0.24	0.12	0.15	-0.07



دانشگاه تربیت مدرس

اندازه گیری ارتفاع گنبدی شکل (LDH)

اندازه LDH ورق های دو لایه Almg6-St321

نمونه شماره 1	نمونه شماره 2	نمونه شماره 3	نمونه شماره 4	نمونه شماره 5	نمونه شماره 6	نمونه شماره 7	نمونه شماره 8	نمونه شماره 9
25.5	28.8	14.8	14.5	15	20.5	16.8	17.2	13.3

اندازه LDH ورق های دو لایه Almg6-St321 آنیل شده

نمونه شماره 1	نمونه شماره 2	نمونه شماره 3	نمونه شماره 4	نمونه شماره 5	نمونه شماره 6	نمونه شماره 7	نمونه شماره 8	نمونه شماره 9
41.4	39.3	32.6	29.4	27.3	30.5	25.2	23.3	20.7



نتیجه گیری و پیشنهاد ادامه تحقیق

۱- مقایسه نتایج حاکی از آن بود که در روش المان محدود ، فرآیندهای تجربی تطابق قابل قبولی با هم داشتند. بیشترین میزان انحراف بین نتایج روش تجربی با روش المان محدود به 12.8% می رسد.

۲- با استفاده از ورق های دو لایه، در صورت انتخاب مناسب ترکیب ورقها می توان شکل پذیری ورقی که دارای شکل پذیری کم است را افزایش داد. به عنوان مثال در مورد ورق دو لایه Almg6-St321 (ضخامت آلومینیوم ۱ میلیمتر و ضخامت فولاد ۰.۴ میلیمتر) شکل پذیری ترکیب خیلی پایین بود ولی وقتی که ورق Almg6 با همان ضخامت را آنیل نموده و ترکیب Almg6-St321 آنیل شده را مورد آزمایش قرار دادیم به این نتیجه رسیدیم که شکل پذیری ترکیب دوم خیلی بهتر شد و کاربرد بیشتری پیدا نمود.

۳- همانطور که در بخش پنجم مشخص شد در نتایج مربوط به بخش تجربی، اندازه کرنش های اصلی و فرعی در دو نمونه آنیل شده و آنیل نشده ورق های دولایه حدود ۳۷.۵٪ افزایش داشته که این امر بیانگر این نکته می باشد که با یک عملیات حرارتی ساده در ورق Almg6 می توان شکل پذیری ورق را افزایش داد.



۴- با استفاده از یک ترکیب مناسب از ورق های دو لایه برای فرایند کشش عمیق می توان شکل پذیری را به طور محسوسی افزایش داد که این امر با استفاده از LDH قابل مشاهده می باشد. با توجه به اندازه های بدست آمده به این نتیجه رسیدیم که در ورق دو لایه با ترکیب Almg6-St321 آنیل شده ۳۸.۳۵٪ افزایش شکل پذیری نسبت به ترکیب Almg6-St321 بدست می آید.

۵- در مواردی که یکی از لایه ها به عنوان پوشش برای لایه دیگر (فلز پایه) استفاده می شود، شکل پذیری ورق دو لایه به سمت فلز پایه کشیده می شود. میزان حداقل ضخامت هر لایه به منظور تاثیر گذاری در شکل پذیری ورق دو لایه بستگی به ترکیب اجزاء تشکیل دهنده ورق دو لایه و مجموعه خصوصیات هندسی و مکانیکی هر یک از لایه ها دارد.



دانشگاه تربیت مدرس

پیشنهاد ادامه تحقیق

- بهره گیری از مدل های تئوری نظیر M-K، انشقاق، عیوب میکرو و G. J در تعیین FLD ورق دولایه فلزی و مقایسه نتایج حاصله با نتایج تجربی
- ۲- بررسی اثر بارگذاری بر روی شکل پذیری ورق دو لایه
- ۳- انجام تحلیل تئوری با در نظر گرفتن معیار های تسلیم گوناگون نظیر معیار های بارلات، BBC2003, BBC2002, BBC2000 به منظور بررسی اثر معیار های تسلیم مختلف بر روی شکل پذیری ورق دو لایه
- ۴- بررسی تئوری، تجربی و عددی شکل پذیری ورق های دو لایه با ضخامت های مختلف جهت استفاده در فرایندهای مختلف
- ۵- بررسی تئوری، تجربی و عددی شکل پذیری ورق های ساندویچی با در نظر گرفتن یک لایه نازک پلیمری انعطاف پذیر بین دو لایه فلزی



سازمان اسناد و کتابخانه ملی
جمهوری اسلامی ایران

ممنون از توجه شما

چه دعایی کنمت بکشترازمین

که خدا پخیره باز اناقت باشد