



ارائه شده توسط :

سایت ترجمه فا

مرجع جدیدترین مقالات ترجمه شده

از نشریات معتربر

بررسی تاثیر ویژگی مواد و آرایش هر لایه، بر روی شکل پذیری ورقه های دو

فلزی

چکیده

استفاده از ورقه های دو فلزی متشکل از دو ورقه ی فلزی متفاوت با ویژگی های مختلف، به صورت روز افزون در سال های گذشته، افزایش پیدا کرده است. بهبود ها در شکل پذیری ورقه های دو فلزی با طراحی لایه های مناسب، یکی از مهم ترین چالش ها برای صنعتی سازی این ورقه ها میباشد. هدف اصلی این مقاله بررسی کردن تاثیر ویژگی های مواد در لایه ها بر روی شکل پذیری ورقه های دو فلزی، به صورت تحلیل و آزمایشی میباشد. مدل های تحلیل برای پیش بینی دیاگرام حد شکل پذیری (FLD) مبتنی بر مدل M-K با استفاده از توابع کارایی بارلات - لیان و هیل، توسعه پیدا کرده است. کار های آزمایشی نیز بر روی ورقه های آلومینیوم (AL3105) / فولاد کربنی (St14) برای اعتبار سنجی مدل های تحلیلی، انجام شده است. نتایج نشان داده است که شکل پذیری ورقه های دو فلزی با افزایش مقاومت کرنشی و توان حساسیت نرخ کرنش این لایه ها بهبود پیدا میکند، با وجود این که تغییرات ضریب توان هر لایه با شکل پذیری بیشتر، نسبت به لایه با شکل پذیری کمتر تاثیر مهم تری را بر روی شکل پذیری ورقه ها دارد. به علاوه، نتایج نشان داد که یک اثیر حسوس غیر خطی در اثر تغییر ضخامت لایه ها بر روی شاخص FLD₀ وجود دارد. همچنین مشخص شد که تاثیر ضریب های ناهمسانگردی لایه ها، در مقایسه با دیگر ویژگی های مواد قابل اغماض میباشد، اما آرایش این لایه های فولادی ناهمسانگرد با لایه های آلومینیوم ایزوتروپیک در کنار آرایش لایه ها در جهت چرخشی هماهنگ (0°-0°) میتواند اندکی موجب بهبود شکل پذیری این ورقه های دو لایه ای شود.

واژگان کلیدی : ورقه های دو فلزی شکل پذیری خواص مواد مدل M-K طراحی لایه ها

1. مقدمه

اخیراً، استفاده از فلز ها به صورت صفحه های ترکیبی و به خصوص ورقه های دو فلزی، به دلیل ویژگی های مکانیکی مطلوب، ویژگی های شیمیایی و فیزیکی مانند مقاومت بالا و وزن کم، تعدیل لرزش، مقاومت در برابر سایش و رسانش

مناسب گرمایی و الکتریکی در صنایع مختلف توجه زیادی را به خودش جلب کرده است. ورقه های آلومینیوم - فولاد (Al-st) یکی از رایج ترین ورقه هایی هستند که در این زمینه مورد استفاده قرار میگیرند که در آن ها روکش کاری را میتوان با روش های مختلف مانند غلتش روکش، اتصال چسبنده و یا شکل گیری انفجاری وغیره، اجرا کرد. این ورقه های دو فلزی شامل دو فلز مختلف به عنوان لایه ای با مقاومت بالا (St) میباشند که به یک لایه ی سبک با شکل پذیری پایین (Al) متصل شده اند. ازین رو، رفتار شکل پذیری آن ها نسبت به هر کدام از این لایه ها به صورت منفرد متفاوت میباشد و بررسی تاثیر ویژگی های مواد در هر لایه بر روی شکل پذیری این ورقه های دو لایه ای برای به دست آوردن طراحی بهینه در این ورقه ها، ارزشمند میباشد.

دیاگرام حد شکل پذیری (FLD) به صورت رایج برای ارزیابی شکل پذیری این ورقه های فلزی در روند های شکل پذیری فلزات، مورد استفاده قرار میگیرد. FLD یک رسم از کرنش اصلی نسبت به کرنش فرعی است که در شروع شرایط نازک شدن فلز به صورت موضعی، به دست می آید. این منحنی نشان دهنده ی بیشترین کرنش اصلی مجاز نسبت به کرنش فرعی است که بالاتر از این مقدار، موجب تغییر شکل کلی ورقه ها میشود. مفهوم FLD توسط کیلر و گودوین برای اولین بار در سال 1968 بیان شد. علاوه بر این بسیاری ای محققان نیز این قضیه را در مورد ورقه های تک فلزی ، شکل پذیری ورقه های دو فلزی و دیگر موارد گزارش دادند. سمتیاتین و پیهله ر به بررسی شکل پذیری آلومینیوم های روکش کاری شده با فولاد ضد لک و ورقه های آلومینیوم - فولاد ضد لک پرداختند و کار آن ها مبتنی بر نازک شدن فلز به صورت موضعی و بحرانی، انجام شده بود. نتایج آن ها نشان داد که موضعی سازی نهایی و شکست، تحت تاثیر آرایش لایه ها میباشد. موری و کوریموتو نیز به بررسی شکل پذیری ورقه های آب کاری شده با فولاد - آلومینیوم به صورت آزمایشی پرداختند. آن ها از روند های رسم عمیق با سوراخ کاری های سیلندری و تست های شکل گیری کششی ، با پانچ نیم کره ای استفاده کردند تا شکل پذیری این ورقه ها را مورد بررسی قرار دهند. آن ها به این نتیجه رسیدند که شکل پذیری بالاتر ، زمانی به دست می آید که آلومینیوم در قسمت خارجی جام در قسمت تست های کشش و رسم عمیق، قرار داشته باشد. یوشیدا و هینو نیز حدود شکل پذیری لایه های فلزی تحت شرایط تنش دو محوری را بررسی کردند. آن ها یک معیار برای سمت چپ منحنی FLD مبتنی بر نظریه ی نازک شدن

موضعی هیل ارائه کردند. به علاوه، تست های کشش پانچ بر روی ورقه های آلومینیومی آبکاری شده با فولاد، انجام شده و نتایج آن مورد بررسی قرار گرفتند. کیم و همکارانش شکل پذیری ورقه های ساندویچی اتصال غلطشی AA5182/polypropylene/AA5182 را مورد بررسی قرار دادند. آن ها از نظریه M-K مرتبط با تابع کارایی هیل استفاده کردند تا بتوانند FLD این صفحه های ساندویچی را پیش بینی کنند. آن ها متوجه شدند که هر چه ضخامت این ورقه های ساندویچی بیشتر باشد، شکل پذیری این ورقه ها بهتر میشود. جلیلی و همکارانش به بررسی شکل پذیری ورقه های دو لایه AL1100-St12 به صورت تحلیلی و آزمایشی، پرداختند. آن ها پیش بینی کردند که FLD یک ورقه ای دو لایه ای، بین FLD المان های تشکیل دهنده ای آن میباشد. آن ها همچنین تاثیر ویژگی های مکانیکی مواد بر روی شکل پذیری ورقه های دو فلزی را بررسی کردند. باقزاده و همکارانش نیز به بررسی کشش عمیق هیدرومکانیکی ورقه های آلومینیوم – فولاد دو لایه ای، مبتنی بر معیار نا همسانگردی به صورت تحلیلی و آزمایشی پرداختند. آن ها نشان دادند که ویژگی های مکانیکی ، ضخامت و آرایش این لایه ها میتواند موجب محدود شدن نسبت کشش در لایه های دو فلزی شود. لیو و همکارانش مطالعه های مختلفی را مبتنی بر مدل آسیب گورسون AA5052/polyethylene/AA5052 – تورگارد – نیدلمن (GTN) بر روی شکل پذیری ورقه های ساندویچی

انجام دادند.

TarjomeFa.Com

نماد شناسی

ضریب استقامت	C
سایز دانه ها	d_0
ضریب تاهرمگونی	h
ضریب سایز دانه ها	k
شانص هبل	M
توان کارایی لیان - بارلات	A
توان حسابیت نرخ کرنش	m
توان سفت شدن کرنش	n
میزان سختی اولیه ی سطح	R_G
ضریب های ناهمسانگردی در 0 و 90 درجه در جهت چرخش	r_0, r_{90}
ضریب های ناهمسانگردی نرمال	r
نسبت بخش تنش اصلی	α
نسبت افزایش کرنش موقو به افزایش کرنش در جهت 1	β
بخش اصلی کرنش	ε_i
کرنش مؤثر	$\bar{\varepsilon}$
نسبت کرنش فرعی به کرنش اصلی	ρ
بخش اصلی تنش	σ_i
اجزایی تنش	σ_{ij}
تشش مؤثر	$\bar{\sigma}$
نسبت تنش اصلی به تنش مؤثر	φ
ضخامت ورقه ها	t
تابع کارایی	f
ضریب تناسب	d_λ
نسبت ضخامت	S

آن ها به این نتیجه رسیدند که ورقه های ساندویچی دارای قابلیت شکل پذیری بهترین نسبت به ورقه های تک فلزی AA5050 هستند و افزایش ضخامت لایه ی پلی اتیلن موجب بهبود شکل پذیری این ورقه های ساندویچی میشود. پارسا و همکارانش، شکل پذیری آلومینیوم 3105/Polypropylene/Al 3105 را به صورت نظری و آزمایشی مورد بررسی قرار دادند. آن ها مشاهده کردند که توافق خوبی بین مدل های عددی که مبتنی بر روش GTN و کارهای آزمایشی به دست آمده است، وجود دارد. دهقانی و سلیمی به بررسی ورقه های آبکاری شده ی مس - فولاد ضد زنگ 304L در کشش های عمیق پرداختند و بررسی های عددی و آزمایشی را بر روی آن ها انجام دادند. تاثیر ویژگی های مواد، نسبت کشش و توزیع ضخامت لایه های مختلف بر روی شکست این لایه های دو ورقه ای، مورد بررسی قرار گرفت. مقایسه ها بین نتایج آزمایشی و شبیه سازی ها نشان داد که روش المان محدود میتواند تاثیر ویژگی های هر لایه بر روی شکستگی قسمت دولایه ای را به صورت مناسب نشان دهد. کاراجیبانی و همکاراش به بررسی منحنی حد شکل پذیری (FLC) از ورقه های دولایه ای به دست آمده آلومینیوم (1100) / مس (C10100) از شبیه سازی های مبتنی بر دو معیار شامل شتاب کرنش پلاستیک معادل و کرنش اصلی، پرداختند. آن ها به این نتیجه رسیدند که مدل توسعه یافته که توسط آزمایش ها نیز تایید شده است میتواند FLC را در حالت مطلوب صفحه های دو لایه

بررسی کند. هاشمی و کرجیبانی دیاگرام های مرتبط با حد شکل گیری را برای ورقه های دو لایه ای آلومینیوم - مس ، با استفاده از روش های محاسباتی مبتنی بر نظریه ای M-K اصلاح شده به دست آورده و نتایج معادل برای این صفحه های دو لایه ای را هم ارائه دادند. آن ها نشان دادند که یک توافق خوب بین روش پیشنهاد شده و نتایج آزمایشی وجود دارد. استفاده از روش معادل میتواند FLD ورقه های دو لایه ای را با ویژگی های تعریف شده از لایه ها نشان دهد، اما این روش باید ویژگی های ورقه ای ترکیبی را به صورت مجزا برای هر لایه دریافت کند. علاوه بر این، تلاش های عددی و آزمایشی بیان شده در بالا، میتوان گفت که بررسی شکل گیری ورقه های لایه ای ، برای گسترش درک مبنایی در مورد روند های شکل گیری، اهمیت زیادی دارد.

در این مقاله، یک بررسی تحلیلی بر روی شکل گیری ورقه های دو لایه ای مبتنی بر مدل M-K با استفاده از توابع کارایی غیر مربعی هیل و لیان ، انجام شده است. یک مطالعه ای پارامتری جامع نیز برای پیدا کردن تاثیر ویژگی های مواد از هر لایه، انجام شده است. نتایج تحلیلی نیز با نتایج آزمایشی به دست آمده برای ورقه های آلومینیومی دو لایه ای AL3105-St14 مقایسه شده است تا مدل توسعه یافته، با استفاده از نتایج آزمایش تایید شود. نتایج به دست آمده نشان دهنده ای تاثیر ویژگی های اصلی هر لایه بر روی شکل پذیری نهایی ورقه های دو فلزی بود.

2. روش تحلیلی

2.1 مدل دو لایه ای M-K ورقه های دو لایه ای

روش Marciniak-Kuczynski (M-K) یکی از رایج ترین تکنیک هایی است که برای پیش بینی کردن دیاگرام حد شکل گیری (FLD) مورد استفاده قرار میگیرد. بر اساس این روش، فرض میشود که یک شیار باریک در سطح وجود دارد که مرتبط با نا همگن بودن ماده میباشد. ازین رو، دو ناحیه ای همگن (ناحیه ای A و B) وجود دارد که در شکل 1 نشان داده شده است. توسعه ای مدل M-K را میتوان بر اساس فرض های زیر انجام داد :

- (1) این شیار نسبت به تنش اصلی بر روی سطح ماده حالت عمود دارد
- (2) شرایط تنش در صفحه در نظر گرفته میشود.
- (3) شرایط اتصال سخت بین دو لایه از فلز در نظر گرفته میشود.

قالب کاری مدل M-K برای تغییر شکل فلزی این ورقه های دو لایه ای به صورت زیر توصیف شده است. ضریب ناهمگن بودن اولیه برای هر لایه به صورت زیر نشان داده میشود :

$$h_0 = t_0^b / t_0^a \quad (1)$$

که t_0^b و t_0^a نشان دهنده ی ضخامت ناحیه های همگن و نا همگن به ترتیب ، میباشد. ضخامت هر دوی این نواحی به صورت زیر میباشد :

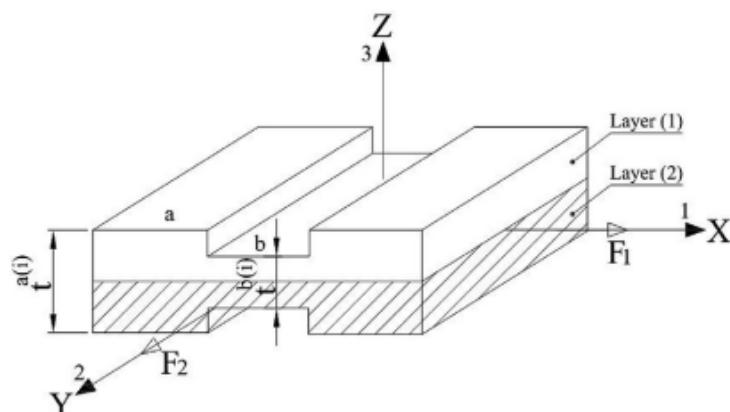
$$t_{aorb} = t_0^{aorb} \cdot \exp(\varepsilon_3^{aorb}) \quad (2)$$

که ε_3^b و ε_3^a کرنش های ضخامت میباشد. همچنین ضخامت اولیه ی ناحیه ی ناهمگن (t_0^b) را میتوان بر اساس ناحیه ی (t_0^a) به صورت زیر نشان داد :

$$t_0^b = t_0^a - 2 \left(R_G + k d_0 \bar{\varepsilon}^b \right) \quad (3)$$

که R_G میزان سختی اولیه ی سطحی، k ضریب سایز دانه ها و $\bar{\varepsilon}^b$ نیز سایز دانه ها و d_a نیز کرنش موثر در ناحیه ی همگن میباشد. ازین رو، نا همگن بودن را میتوان به صورت زیر تعریف کرد :

$$h = h_0 e^{(\varepsilon_3^b - \varepsilon_3^a)} \quad (4)$$



شکل 1 مدل هندسی مورد نظر در مدل تحلیلی

در حالی که ضریب اولیه‌ی ناهمگونی برای ورقه‌های دو لایه‌ای فلزی به صورت زیر مشخص می‌شود:

$$h_0 = \frac{\sum t_0^{b(i)}}{\sum t_0^{a(i)}} \quad (5)$$

که $t_0^{b(i)}$ و $t_0^{a(i)}$ ضخامت اولیه‌ی نواحی همگن و ناهمگن برای i امین لایه می‌باشند. با در نظر داشتن مقدار اولیه‌ی ضریب ناهمگونی که توسط میزان سفتی اولیه‌ی سطح مشخص و سایز دانه‌ها مشخص می‌شود، ضریب ناهمگونی برای هر لایه از این ورقه‌های دو فلزی در طول تغییر شکل را می‌توان به صورت زیر مشخص کرد:

$$h = \left(\left(t_0^{a(i)} - 2 \left(R_G^{(i)} + k^{(i)} d_0^{(i)} \bar{\varepsilon}^{b(i)} \right) \right) \cdot \exp \left(\varepsilon_3^{b(i)} - \varepsilon_3^{a(i)} \right) \right) / t_0^{a(i)} \quad (6)$$

بر اساس مدل M-K، بارگذاری فلز ورقه‌ای در ناحیه‌ی همگن تا زمانی که نازک شدن موضعی رخدده در ناحیه‌ی همگن ادامه پیدا می‌کند. در این شرایط، افزایش کرنش بر روی هر لایه تا زمانی که یکی از نابرابری‌های زیر رخدده باشد،

ادامه پیدا می‌کند:

$$d\bar{\varepsilon}^{b(i)} / d\bar{\varepsilon}^{a(i)} \geq N \quad (i = 1, 2) \quad (7)$$

که $d\bar{\varepsilon}^{b(i)}$ و $d\bar{\varepsilon}^{a(i)}$ افزایش‌های کرنش معادل منطقه‌ی تحت تاثیر و منطقه‌ی امن در هر لایه به ترتیب (i) می‌باشد. همچنین، N یک عدد به اندازه‌ی کافی بزرگ است که نشان دهنده‌ی شکست در ناحیه‌ی نقصانی می‌باشد. یک فرض رایج این است که $N=10$ در مرجع‌های قبلی در نظر گرفته شده است. ازین رو روش تحلیلی برای پیش‌بینی کردن وضعیت کرنش – تنش در هر لایه در ناحیه‌ی تحت تاثیر در طول روند بارگذاری ارائه می‌شود.

الزامات سازگاری بین ناحیه‌ی a و b نیز به صورت برابر کرنش‌ها در جهت 2 برای دو ناحیه‌ی هر لایه در ورقه‌های بارگذاری شده‌ی دو فلزی، به صورت زیر دیده می‌شود:

$$d\varepsilon_2^{b(i)} = d\varepsilon_2^{a(i)} \quad (8)$$

به علاوه، در طول بارگذاری ورقه‌های دو فلزی کلی از انتهای مرزی هر ورقه در جهت 1، منطقه‌های امن و تحت تاثیر (a و b) تحت نیروی مشابه هستند (F_1). این شرایط تعادل به صورت زیر نشان داده می‌شود:

$$\sum_{i=1}^2 F_1^{a(i)} = \sum_{i=1}^2 F_1^{b(i)} \quad (9)$$

که در آن $F_1^{b(i)}$ و $F_1^{a(i)}$ نیروی های اعمال شده به ترتیب در منطقه i و b برای لایه i مباشد. با حذف کردن

عرض مشابه از ورقه در منطقه های مختلف، معادله های بالا را میتوان بر اساس کرنش موثر $(\bar{\sigma}^{a,b(i)})$ و ضخامت

صفحه $(t^{a,b(i)})$ در نواحی مختلف به صورت زیر نوشت :

$$\sum_{i=1}^2 \frac{\sigma_1^{a(i)}}{\bar{\sigma}^{a(i)}} \bar{\sigma}^{a(i)} t^{a(i)} = \sum_{i=1}^2 \frac{\sigma_1^{b(i)}}{\bar{\sigma}^{b(i)}} \bar{\sigma}^{b(i)} t^{b(i)} \quad (10)$$

که نسبت کرنش اصلی $\left(\sigma_1^{a,b(i)}\right)$ به تنش موثر $(\bar{\sigma}^{a,b(i)})$ به صورت یک متغیر $\varphi^{(i)} = \sigma_1^{a,b(i)} / \bar{\sigma}^{a,b(i)}$ تحت

شرایط تنش صفحه، تعریف میشود. یک شرایط سخت کاری ایزوتropیک و سفت شدن نرخ کرنش را در نظر بگیرید،

سپس تنش موثر برای هر لایه $(\bar{\sigma}^{(i)})$ در هر ناحیه را میتوان با استفاده از معادله ای اسویفت، به صورت زیر نوشت :

$$\bar{\sigma}^{(i)} = C^{(i)} (\bar{\varepsilon}^{(i)})^{n^{(i)}} \left(\frac{\dot{\varepsilon}^{(i)}}{\bar{\varepsilon}} \right)^{m^{(i)}} \quad (11)$$

که $C^{(i)}, n^{(i)}, m^{(i)}$ به ترتیب توان حساسیت نرخ کرنش، توان سفت شدن کرنش و ضریب استقامت برای هر ماده i

فلزی میباشد. اکنون، تابع کارایی را باید برای محاسبه کردن $\bar{\varepsilon}^{(i)}$ برای هر ناحیه در هر لایه به دست آورد. در تحقیقات،

معیار های کارایی غیر مربعی هیل و لیان - بارلات مورد استفاده قرار گرفته است.

2.2 معیار کارایی ناهمسان گردی

تابع های کارایی لیان - بارلات تحت شرایط تنش صفحه از نظر اجزای اصلی تنش (σ_1, σ_2) به صورت زیر نشان

داده میشود :

$$|\sigma_1|^A + |u\sigma_2|^A + \frac{c}{2-c}|\sigma_1 - u\sigma_2|^A = \frac{2}{2-c}\bar{\sigma}^A \quad (12)$$

که A توان تابع کارایی است که شکل کارایی سطحی را نشان میدهد. این توان برای 8 FCC و برای 6 BCC میباشد.

ضریب های u و c را میتوان به صورت زیر مشخص کرد :

$$c = 2 \sqrt{\frac{r_0}{1+r_0} \frac{r_{90}}{1+r_{90}}} \quad (13)$$

$$u = \sqrt{\frac{r_0}{1+r_0} \frac{1+r_{90}}{r_{90}}} \quad (14)$$

برای ایزوتروپی های صفحه ای ($u = 1$)، ($r_0 = r_{90} = r$)، ضریب c و پارامتر u به صورت زیر میباشد :

$$c = 2r / (1+r) \quad (15)$$

که r_0 و r_{90} ضریب های ناهمسان گردی در جهت های 0 و 90 درجه نسبت به جهت چرخش فلز ها در صفحه میباشد. همچنین، پارامتر r نیز به عنوان ناهمسان گردی نرمال در تابع کارایی غیر مربعی تعریف میشود. بنابراین،

کرنش موثر هر لایه $\dot{\varepsilon}^{(i)}$ را میتوان با استفاده از قانون جریان Prandtle-Reuss به صورت زیر به دست آورد :

$$d\varepsilon_{ij} = d\lambda \frac{\partial f}{\partial \sigma_{ij}} \quad (16)$$

که ضریب تناسب و f نیز تابع کارایی میباشد. با استفاده از معیار کارایی بارلات - لیان مرتبط با قانون Prandtle-Russ، نسب بندی تنش موثر در زمان افزایش ، به صورت زیر نشان داده میشود :

$$\begin{aligned} & \frac{d\varepsilon_1}{sign(\sigma_1)|\sigma_1|^{A-1} + sign(\sigma_1 + \sigma_2)\frac{c}{2-c}|\sigma_1 + \sigma_2|^{A-1}} \\ &= \frac{d\varepsilon_2}{sign(\sigma_2)|\sigma_2|^{A-1} - sign(\sigma_1 - \sigma_2)\frac{c}{2-c}|\sigma_1 - \sigma_2|^{A-1}} \\ &= \frac{-d\varepsilon_3}{sign(\sigma_1)|\sigma_1|^{A-1} + sign(\sigma_2)|\sigma_2|^{A-1}} = \frac{d\bar{\varepsilon}}{\frac{c}{2-c}\bar{\sigma}^{A-1}} \end{aligned} \quad (17)$$

که $d\varepsilon_1$ ، $d\varepsilon_2$ ، $d\varepsilon_3$ اجزای کرنش افزایشی رد راستای جهت اصلی (1و2و3) و Δ افزایش کرنش موثر شده است.

اکنون، رابطه‌ی تنش – کرنش از هر لایه در صفحه‌ی دو فلزی را میتوان در هر دو ناحیه از صفحه تعیین کرد.

به صورت مشابه، تابع کارایی غیر مربع هیل به صورت زیر نشان داده میشود :

$$\begin{aligned} J|\sigma_2 - \sigma_1|^M + G|\sigma_3 - \sigma_1|^M + O|\sigma_1 - \sigma_2|^M + P|2\sigma_1 - \sigma_2 - \sigma_3|^M \\ + Q|2\sigma_2 - \sigma_1 - \sigma_3|^M + L|2\sigma_3 - \sigma_1 - \sigma_2|^M = \bar{\sigma}^M \end{aligned} \quad (18)$$

که J ، Q ، P ، O ، G و L بر اساس تست‌های کششی مطابق با پارامترهای ناهمسان گردی در جهت‌های مختلف

و M توان معیار کارایی است که نشان دهنده‌ی شکل سطح کارایی میباشد. این توان از بررسی‌های آزمایشی به دست

آمده است که اشاره به روش‌های مورد استفاده توسط داریانی و عضدی دارد که به صورت $M_1(St14)=2.7$

در این مطالعه تنظیم شده است. تحت شرایط تنش صفحه و ایزوتروپی صفحه‌ای، تابع کارایی $M_2(AL3105)=2.3$

به صورت زیر نوشته میشود:

$$|\sigma_1 + \sigma_2|^M + (2r+1)|\sigma_1 - \sigma_2|^M = 2(r+1)\bar{\sigma}^M \quad (19)$$

دوباره، با استفاده از تابع کارایی هیل مرتبط با قانون Prandtle – Reuss، رابطه‌ی تنش – کرنش معادل را میتوان

به صورت زیر به دست آورد :

$$\begin{aligned} & \frac{d\varepsilon_1}{sign(\sigma_1 + \sigma_2)|\sigma_1 + \sigma_2|^{M-1} + sign(\sigma_1 - \sigma_2)(1+2r)|\sigma_1 - \sigma_2|^{M-1}} \\ &= \frac{d\varepsilon_2}{sign(\sigma_1 + \sigma_2)|\sigma_1 + \sigma_2|^{M-1} - sign(\sigma_1 - \sigma_2)(1+2r)|\sigma_1 - \sigma_2|^{M-1}} \\ &= \frac{-d\varepsilon_3}{2sign(\sigma_1 + \sigma_2)|\sigma_1 + \sigma_2|^{M-1}} = \frac{d\bar{\varepsilon}}{2(1+r)\bar{\sigma}^{M-1}} \end{aligned}$$

2.3 پیش‌بینی دیاگرام حد شکل پذیری (FLD)

در روند شکل پذیری، شرایط بارگذاری به صورتی است که مسیر کرنش متناسب باشد. بنابراین، پارامتر $\rho = d\varepsilon_2/d\varepsilon_1$

که به عنوان نسبت افزایش کرنش‌های اصلی در نظر گرفته میشود، ثابت میباشد. بر اساس قانون عدم فشردگی در

جريان های پلاستیک، ضخامت کرنش به صورت زیر نشان داده میشود: $d\varepsilon_3 = d\varepsilon_2 + d\varepsilon_{1\parallel}$. بر همین اساس، نسبت

تنش های اصلی به صورت $\alpha = \sigma_2 / \sigma_1$ را میتوان با استفاده از معادله ۱۷ یا ۲۰ و یک نسبت کرنش مشخص ρ .

به دست آورد. همچنین، نسبت کرنش اصلی (σ_1) به تنش (σ) به صورت متغیر $\varphi = \sigma_1 / \bar{\sigma}$ و نسبت

به صورت نسبت کرنش موثر $(d\varepsilon_1)$ به کرنش اصلی $(d\varepsilon)$ تعریف میشود که در طول محاسبه های

دیاگرام حد شکل گیری، افزایش پیدا میکند.

	مقدار	متغیر ها
AL3105	St14	ماده
0.5	0.5	ضخامت ، (mm) t_0
70000	210000	مدول یانگ (Mpa) E
0.33	0.3	نسبت پواسون
2700	7850	تراکم (kg/m^3)
302	548.44	ضریب استقامت ، (Mpa) C
0.103	0.229	تووان سفت شدن کرنش n
0.001	0.01	توان حساسیت نرخ کرنش m
1.6	4	پارامتر های ناهمسان گردی r
0.26	1.51	سایز دانه ، (um) d_0
20	10	

TarjomeFa.Com

مقادیر کرنش های اصلی و فرعی برای مشخص کردن مرز ها در منحنی FLD برای ورقه های دو لایه ای تحت روند

تغییر شکل به صورت معادله ها و روش تحلیلی بالا با استفاده از معادله ۷ تعریف میشود. بر همین اساس،

مقادیر اولیه $\rho = 0.005$ و $\beta^{b(i)} = 0.5$ برای ناحیه ای امن لایه ها فرض میشود در حالی که مقادیر کرنش برای

ناحیه ای تحت تاثیر، تعریف نشده است. مقادیر $\alpha^{b(i)}$ برای هر دو لایه تعریف شده است. سپس، مقادیر ρ و

با برای ناحیه ای تحت تاثیر در هر دو لایه تعریف میشود. بنابرین، با در نظر داشتن معادله ۸ و

مقادیر مشخص شده $\beta^{b(i)}$ ، کرنش موثر ناحیه ای تحت تاثیر برای هر دو لایه محاسبه میشود.

نخست، مجموعه معادله های پارامتری در نقشه‌ی مایپل توسعه یافته و سپس معادله های غیر خطی حل شده و منحنی های FLD رسم شده با استفاده از نرم افزار MATLAB، اجرا میشود. شکل 2 نشان دهنده‌ی جدول شماتیک الگوریتم نشان داده شده میباشد.

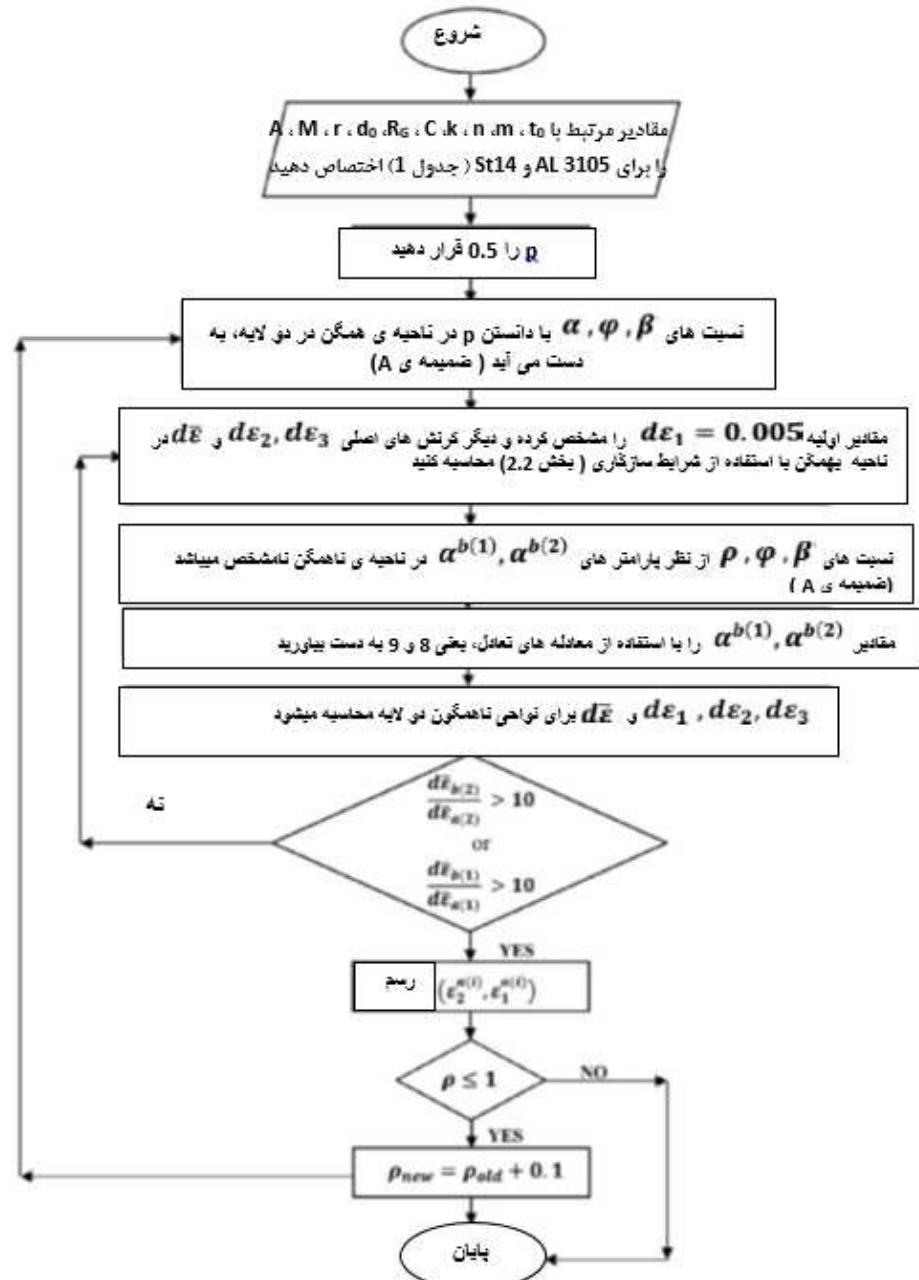
3. روند های آزمایشی

برای اعتبار سنجی مدل تحلیلی، یک مجموعه از کارهای آزمایشی انجام شده است تا دیاگرام های حد شکل پذیری به دست آمده توسط روش های Gosh و Hecker، ارزیابی شود. ساز و کار آزمایشی در شکل 3a نشان داده شده است. نمونه های تست به صورت ورقه ای با ضخامت 0.5mm از فولاد کربنی، ماشین کاری میشود (St-14) و ضخامت 0.5mm از آلیاژ های آلومینیوم (AL3105) مورد ارزیابی قرار گرفته است. حالت هندسی اجزای این قالب گیری ها برای کشش های نیم کره ای در شکل 3b نشان داده شده است. ویژگی های مواد مورد استفاده در تست ها نیز در جدول 1 نشان داده شده است.

لایه های جداگانه‌ی مجزا با استفاده از استون چری زدایی شده و سپس با استفاده از لایه های نازک از پلی اورتان چسبنده، به هم متصل میشوند. حالت هندسی نمونه های آماده شده در شکل 4 نشان داده شده است. همانطور که در شکل نشان داده شده، 4 نمونه‌ی سوراخ شده (نمونه‌ی 1 تا 4) با عرض های مختلف برای ارزیابی سمت چپ منحنی های FLD و چهار نمونه‌ی مستطیلی (نمونه‌ی 5 تا 8) برای ارزیابی قسمت سمت راست منحنی های FLD در ورقه های دو لایه مورد استفاده قرار گرفته است. (شکل 5a)

تمام این تست ها با استفاده از یک پرس 25 تنی هیدرولیک با سرعت چرخش 5mm در دقیقه، انجام شده است. بر اساس تحلیل های دانه های دایره‌ای (CGA)، دانه های دایره‌ای مختلف با قطر 5mm بر روی سطح نمونه ها برای اندازه گیری بخش های کرنش به صورت آزمایشی، مورد استفاده قرار گرفته است. برای هر نمونه، کرنش های اصلی و فرعی از دانه های تغییر شکل یافته در ناحیه‌ی نازک شده، اندازه گیری میشود. سمت فولادی لایه های Al/St در تماس با پانچ نیم کره ای قرار دارد. شکل 5b نشان دهنده‌ی نمونه های سوراخ شده‌ی تغییر شکل یافته بعد از روند شکل دهی میباشد. همانطور که در این شکل نشان داده شده است، برای ارزیابی شاخص M تابع کارایی، یک سری

از نمونه های لایه ای با ضخامت 0.5mm از صفحه های St14 و AL3105 با حالت های هندسی مشابه با شکل 4 و 5 مورد تست قرار گرفتند. منحنی های FLD به دست آمده از هر لایه، در کنار لایه های ترکیبی در شکل 6a نشان داده شده است. شاخص های M_1 و M_2 با استفاده از منحنی های درون یابی شده ای چند جمله ای، کالیبره شده است.

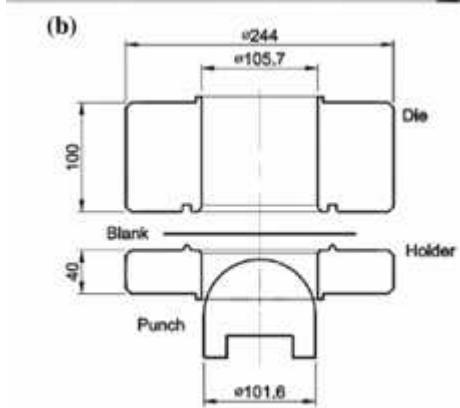


شکل 2 روند های شماتیک برای محاسبه ی منحنی FLD در ورقه های دو لایه

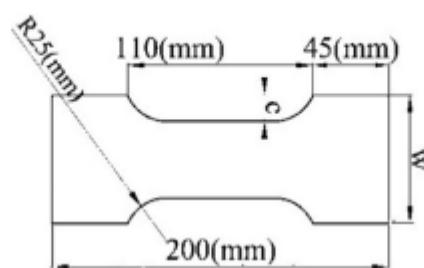
نمونه های تغییر شکل یافته در ورقه های جداگانه ای آلومینیوم و فولاد و ورقه های دو لایه در شکل 6b نشان داده شده است. منحنی های محاسبه شده نشان میدهد که ورقه ای دو لایه ای FLD بین منحنی های آلومینیوم و فولاد به تنها ی، قرار دارد. همانطور که از نمونه های آزمایشی در شکل 6b مشاهده میشود، نمونه های فولاد کرنش بیشتر از دایره را تحمل نکردند و ارتفاع گنبدی بیشتر از نمونه آلومینیوم با کشش کمتر و ارتفاع گنبد کمتر در نمونه ایجاد شد. همچنین نمونه های شکسته شده از ورقه های دولایه ای نشان داد که شکست لایه ای آلومینیوم نسبت به لایه ای فولاد سریع تر رخ داد (شکل 6c). این موضوع را میتوان به عنوان یک دلیل برای کاهش FLD ورقه ای دو لایه ای نسبت به لایه ای فولاد دانست.

4. نتایج و مباحث

دیاگرام حد شکل گیری ورقه های دو لایه ای AL3105-St14 با استفاده از مدل های تحلیلی بر اساس روش M-K با توابع کارایی غیر مربعی هیل و بارلات - لیان به دست آمده است. کرنش های اصلی - فرعی در سر حد شکست به صورت آزمایشی اندازه گیری شده است. شکل 7 نشان دهنده مقایسه بین منحنی های FLD پیش بینی شده با هر دو روش تحلیلی و آزمایشی برای ورقه های دو لایه ای AL3105-St14 میباشد که شکست ممکن است بالای این منحنی ها ایجاد شود. همانطور که میتوان از این شکل ها مشاهده کرد، معیار های ناهمسان گردی در تابع کارایی ، تاثیر محسوسی بر روی منحنی FLD پیش بینی شده دارد، اما نتایج به دست آمده از نقطه پایین تر (FLD_0) بر اساس معیار هیل و معیار بارلات - لیان مشابه هم هستند. نتایج نشان میدهد که FLD به دست آمده با استفاده از تابع کارایی بارلات - لیان دارای سازگاری بهتری با مشاهده های آزمایشی در هر دو حالت تنفس - فشردگی (سمت چپ) و تنفس - تنفس (سمت راست) نواحی منحنی FLD ، ارائه میدهد.

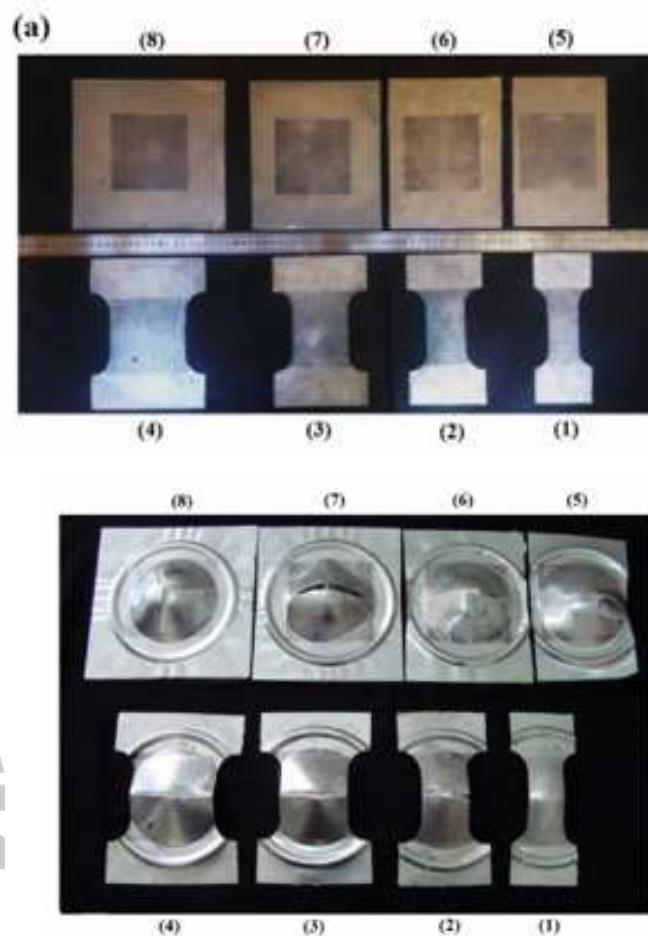


شکل 3 (a) نمایی از ساز و کار آزمایشی (b) حالت هندسی قاب شکل دهی کشش نیم کره ای



Sample No.	1	2	3	4	5	6	7	8
W(mm)	75	100	125	150	125	150	175	200
C(mm)	17.5	25	25	25	-	-	-	-

شکل 4 حالت هندسی نمونه های تست آزمایشی



شکل ۵ (a) نمونه های تست آماده شده (b) نمونه های تغییر شکل پیدا کرده بعد از شکل گیری کشش

TarjomeFa.Com

References

- [1] Maleki H, Bagherzadeh S, Mollaee-Dariani B, Abrinia K. Analysis of bonding behavior and critical reduction of two-layer strips in clad cold rolling process. *J Mater Eng Perform* 2013;22:917–25, <http://dx.doi.org/10.1007/s11665-012-0342-9>.
- [2] Takuda H, Mori K, Fujimoto H, Hatta N. Fracture prediction in stretch forming using finite element simulation combined with ductile fracture criterion, 67: 1997.
- [3] Tajyar A, Masoumi A. Investigation of mechanical properties of bimetallic square tubes produced by shape rolling of Al/Cu circular pipes. *J Mech Sci Technol* 2016;30:4299–306, <http://dx.doi.org/10.1007/s12206-016-0844-8>.
- [4] Keefer SP. Circular grid system-A valuable aid for evaluating sheet metal formability. *SAE Tech. Pap.*, SAE International 1968, <http://dx.doi.org/10.4271/680092>.
- [5] Goodwin GM. Application of strain analysis to sheet metal forming problems in the press shop. *SAE Tech. Pap.*, SAE International 1968, <http://dx.doi.org/10.4271/680093>.
- [6] Semiatin SL, Piehler HR. Formability of sandwich sheet materials in plane strain compression and rolling. *Metall Trans A* 1979;10:97–107, <http://dx.doi.org/10.1007/BF02686412>.
- [7] Semiatin SL, Piehler HR. Deformation of sandwich sheet materials in uniaxial tension. *Metall Trans A* 1979;10:85–96, <http://dx.doi.org/10.1007/BF02686411>.
- [8] Mori T, Kurimoto S. Press-formability of stainless steel and aluminum clad sheet. *J Mater Process Technol* 1996;56:242–53, [http://dx.doi.org/10.1016/0924-0136\(95\)01838-7](http://dx.doi.org/10.1016/0924-0136(95)01838-7).
- [9] Yoshida F, Hino R. Forming limit of stainless steel-clad aluminium sheets under plane stress condition. *J Mater Process Technol* 1997;63:66–71, [http://dx.doi.org/10.1016/S0924-0136\(96\)02601-5](http://dx.doi.org/10.1016/S0924-0136(96)02601-5).
- [10] Kim KJ, Kim D, Choi SH, Chung K, Shin KS, Barlat F, et al. Formability of AA5182/polypropylene/AA5182 sandwich sheets. *J Mater Process Technol* 2003;139:1–7, [http://dx.doi.org/10.1016/S0924-0136\(03\)00173-0](http://dx.doi.org/10.1016/S0924-0136(03)00173-0).
- [11] Jalali Aghchai A, Shakeri M, Mollaee-Dariani B. Influences of material properties of components on formability of two-layer metallic sheets. *Int J Adv Manuf Technol* 2013;66:809–23, <http://dx.doi.org/10.1007/s00170-012-4368-9>.
- [12] Aghchai AJ, Shakeri M, Mollaee-Dariani B. Theoretical and experimental formability study of two-layer metallic sheet (Al1100/St12). *Proc Inst Mech Eng Part B J Eng Manu* 2008;222:1131–8, <http://dx.doi.org/10.1243/09544054JEM1140>.
- [13] Bagherzadeh S, Mollaee-Dariani B, Malekzadeh K. Journal of Materials Processing Technology Theoretical study on hydro-mechanical deep drawing process of bimetallic sheets and experimental observations. *J Mater Process Tech* 2012;212:1840–9, <http://dx.doi.org/10.1016/j.jmaproc.2012.04.002>.
- [14] Bagherzadeh S, Mirnia MJ, Dariani BM. Numerical and experimental investigations of hydro-mechanical deep drawing process of laminated aluminum/steel sheets. *J Manuf Process* 2015;18:131–40, <http://dx.doi.org/10.1016/j.jmapro.2015.03.004>.
- [15] Liu J, Liu W, Xue W. Forming limit diagram prediction of AA5052/polyethylene/AA5052 sandwich sheets. *Mater Des* 2013;46:112–20, <http://dx.doi.org/10.1016/j.matdes.2012.09.057>.
- [16] Parsa MH, Ettehad M, Al Ahkami SN. FLD determination of AL 3105/Polypropylene/AL 3105 sandwich sheet using numerical calculation and experimental investigations. *Int J Mater Form* 2009;2:407, <http://dx.doi.org/10.1007/s12289-009-0502-0>.
- [17] Parsa MH, Ettehad M, Matin PH, Al Ahkami SN. Experimental and numerical determination of limiting drawing ratio of Al3105-Polypropylene-Al3105 sandwich sheets. *J Eng Mater Technol* 2010;132:31004, <http://dx.doi.org/10.1115/1.4001264>.
- [18] Dehghani M. Analytical and experimental analysis of the formability of copper-stainless-steel 304L clad metal sheets in deep drawing; 2015, <http://dx.doi.org/10.1007/s00170-015-7359-9>.
- [19] Karajbani E, Hashemi R, Sedighi M. Forming limit diagram of copper two-layer sheets: numerical simulations and experimental verifications. *Int J Adv Manuf Technol* 2016;1–10, <http://dx.doi.org/10.1007/s00170-016-9585-1>.
- [20] Hashemi R, Karajbani E. Forming limit diagram of Al-Cu two-layer metallic sheets considering the Marciniak and Kuczyński theory; 2016, <http://dx.doi.org/10.1177/0954405416654419>.
- [21] Marciniak Z, Kuczyński K. Limit strains in the processes of stretch-forming sheet metal. *Int J Mech Sci* 1967;9:609–20, [http://dx.doi.org/10.1016/0020-7403\(67\)90066-5](http://dx.doi.org/10.1016/0020-7403(67)90066-5).
- [22] Gronostajski JZ, Zimniak Z. Theoretical simulation of sheet behaviour in forming processes. *J Mater Process Technol* 1992;31:57–63, [http://dx.doi.org/10.1016/0924-0136\(92\)90006-E](http://dx.doi.org/10.1016/0924-0136(92)90006-E).
- [23] Assempour A, Nurcheshmeh M. The Influence of Material Properties on the Shape and Level of the Forming Limit Diagram. *SAE Tech. Pap.*, SAE International 2003, <http://dx.doi.org/10.4271/2003-01-1149>.
- [24] Swift HW. Plastic instability under plane stress. *J Mech Phys Solids* 1952;1:1–18, [http://dx.doi.org/10.1016/0022-5096\(52\)90002-1](http://dx.doi.org/10.1016/0022-5096(52)90002-1).
- [25] Barlat F, Lian K. Plastic behavior and stretchability of sheet metals Part I: A yield function for orthotropic sheets under plane stress conditions. *Int J Plast* 1989;5:51–66, [http://dx.doi.org/10.1016/0749-6419\(89\)90019-3](http://dx.doi.org/10.1016/0749-6419(89)90019-3).
- [26] Hill R. Theoretical plasticity of textured aggregates. *Math Proc Cambridge Philos Soc* 1979;85:179–91, <http://dx.doi.org/10.1017/S0305004100055596>.
- [27] Dariani BM, Azodi HD. Finding the optimum Hill index in the determination of the forming limit diagram. *Proc Inst Mech Eng Part B J Eng Manuf* 2003;217:1677–83, <http://dx.doi.org/10.1243/095440503772680604>.
- [28] Ghosh AK, Hecker SS. Stretching limits in sheet metals: in-plane versus out-of-plane deformation. *Metall Trans* 1974;5:2161–4, <http://dx.doi.org/10.1007/BF02643929>.
- [29] Li X, Song N, Guo G, Sun Z. Prediction of forming limit curve (FLC) for Al-Li alloy 2198-T3 sheet using different yield functions. *Chinese J Aeronaut* 2013;26:1317–23, <http://dx.doi.org/10.1016/j.cja.2013.04.011>.

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 معترض خارجی