

## مطالعه تجربی شکل دهی ورق‌های فلزی با استفاده از انرژی شیمیایی

رضا عباسیان<sup>۱</sup>، مهران مرادی غریبوند<sup>۲</sup>، بوذرجمهر قاسمی<sup>۳</sup>

### چکیده

در این تحقیق فرآیند شکل‌دهی ورق‌های فولادی با استفاده از انرژی فعل و انفعالات شیمیایی یک نوع سیمان خاص به منظور جایگزینی نیروی پرس متداول صورت گرفته است. بدین منظور دستگاه آزمایشی طراحی و ساخته شده است. در این دستگاه مواد شیمیایی با انبساط و حرارتی که ایجاد می‌کنند قادرند ورق فولادی به ضخامت ۱ میلی‌متر و قطر ۱۲۰ میلی‌متر را به شکل نیمکره‌ای تغییر شکل دهند.

تجربه نشان می‌دهد که با توجه به فشار هیدرواستاتیکی یکنواخت و دمای تولید شده در حدود ۱۵۰ درجه سانتیگراد عمل شکل‌دهی بدون ایجاد چروک خوردگی صورت می‌گیرد که جزئیات دستگاه طراحی شده و نحوه عمل آن در پی می‌آید.

**کلمات کلیدی:** شکل دهی شیمیایی، آنتالپی، ورق فولادی، قوانین ترمودینامیک.

### ۱- مقدمه

نیرو و حرارتی که ایجاد می‌شود قابل کنترل بوده و همراهی این دو افزون بر تسهیل در شکل‌گیری ورق، باعث جلوگیری از چروک خوردگی ورق نیز می‌شود. از مزایای این روش این است که می‌توان بر روی ورق‌های با قابلیت کشش پایین عملیات کشش انجام داد. همچنین فشار هیدرواستاتیکی ناشی از انبساط مواد به همراه حرارت باعث می‌شود نیروی کمتری برای ورق‌گیر نیاز باشد لذا، با کاهش سطح تماس ورق و ورق‌گیر، قطعات نیاز به دور بری کمتری دارند. از آنجا که ماده شیمیایی استفاده شده، قابل بازیابی است، از نقطه نظر زیست محیطی روش فوق مفید و از نظر اقتصادی برای کارگاه‌های تولیدی کوچک و متوسط برای قطعات با تیراژ کم و حجم زیاد در مقایسه با روش متداول پرس و قالب مقرون به صرفه می‌باشد.

کشش عمیق ورق‌های فلزی از دیرباز تا کنون به توسط سنبه و قالب صورت گرفته است در فرایند هیدرو فرمینگ از فشار سیال جهت شکل دهی استفاده می‌شود [۱]. در این روش به جای سنبه از ماده شیمیایی استفاده شده که با انبساط و افزایش حجم می‌تواند ورق‌های فلزی را به شکل ماتریس دلخواه در آورد. در این روش به دلیل اینکه ماده شیمیایی از حالت مایع با وسکوزیته بالا به حالت جامد تبدیل می‌شود، از یک طرف، نیازی به سنبه و پرس نیست و از طرف دیگر آب بندی بین ورق و سیال به راحتی صورت می‌گیرد. یکی از مزایای دیگر این روش ایجاد نیروی کافی همراه با حرارت است که به شکل‌گیری ورق کمک می‌کند.

۱- عضو هیات علمی دانشگاه آزاد اسلامی واحد ایذه: Abbasian-reza@yahoo.com

۲- استادیار دانشگاه صنعتی اصفهان/دانشگاه آزاد اسلامی واحد نجف آباد

۳-دانشیار دانشکده مکانیک دانشگاه آزاد اسلامی واحد نجف آباد

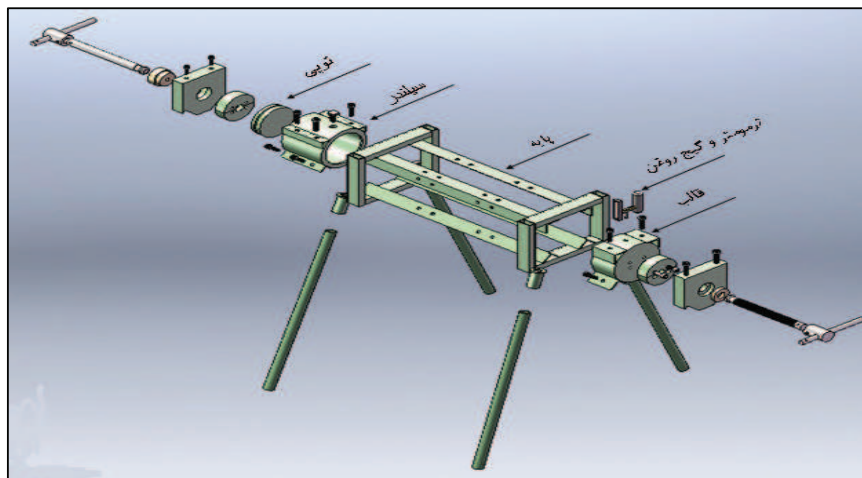
میزان انرژی آزاد شده از ئیدراسیون مواد شیمیایی  $\frac{65}{2} \frac{\text{KJ}}{\text{mol}}$  است که مقداری از آن بصورت گرما خواهد بود. برای شکل دهی نمونه فوق نیاز به ۳۰۰ گرم از ماده شیمیایی است که معادل ۵ مول بوده لذا، انرژی کل آزاد شده  $349/4 \text{KJ}$  است.

با استفاده از قوانین ترموشیمی [۳] میزان انرژی که به صورت گرما آزاد می‌شود، با توجه به ظرفیت گرمایی ویژه آهن  $\frac{\text{J}}{\text{gr}} \text{C}^0 = 0.44$  (CFe) و ظرفیت گرمایی ماده شیمیایی  $\frac{\text{J}}{\text{gr}} \text{C}^0 = 1.1$  (C) و متوسط افزایش دمای مواد و دستگاه، حدود  $344388 \text{ J}$  است لذا، انرژی  $5030 \text{ J}$  سبب ایجاد فشار هیدروستاتیکی بر روی ورق و جدار سیلندر می‌گردد، که با توجه به حجم سیلندر و سطح ورق، فشار  $5/87 \text{ MPa}$  و نیروی تغییر شکل ورق  $8/3$  تن خواهد بود.

به منظور مقایسه میزان انرژی، قطعه فوق با پرس هیدرولیک نیز تولید و نیروی آن به میزان ۹ تن اندازه‌گیری گردید.

### ۳- طراحی و ساخت دستگاه

برای امکان سنجی شکل دهی ورق فولادی با استفاده از نیروی انبساط و حرارت ماده شیمیایی دستگاهی طراحی و ساخته شد این دستگاه مطابق شکل ۱ از قسمتهای زیر تشکیل شده است.



شکل (۱): نقشه انفجاری

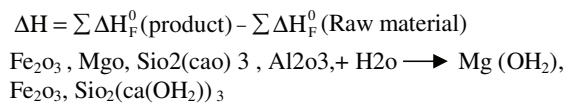
در این روش می‌توان به منظور صرفه‌جویی اقتصادی، ورق‌های فولادی با قابلیت کشش بالا مانند st13 و st14 را با ورق‌های ارزان تر که قابلیت کشش کمتری دارند جایگزین نمود.

### ۲- مواد تشکیل دهنده

ماده شیمیایی استفاده شده در این روش از خانواده سیمان‌ها است. این ماده حاوی  $(\text{c}_3\text{s})$  یا  $(\text{cao})_3 \text{ sio}_2$  و  $\text{Al}_2\text{O}_3$  بوده، که به ترتیب اولی سبب ئیدراسیون و افزایش حجم و ترکیب دوم باعث ایجاد چسبندگی می‌شود این ماده سریعاً در حضور آب ئیدراته شده و علاوه بر افزایش حجم حرارت زیادی تولید می‌کند. فاکتورهای متعدد در میزان انرژی این مواد تاثیر دارند. از جمله، اندازه و شکل کریستال که خود تابعی از دمای تشکیل فاز است.

### ۲-۱- تغییرات آنتالپی

میزان تغییرات انرژی آزاد شده در طی فعل و انفعال شیمیایی با استفاده از قوانین ترمودینامیک و جداول خواص ترمودینامیکی مواد [۲] محاسبه می‌شود.



که در این رابطه  $\Delta H_F^0$  تغییرات آنتالپی واکنش می باشد.

با استفاده از جداول خواص ترمودینامیکی مواد شیمیایی:

$$\Delta H = -986.6 \frac{\text{KJ}}{\text{mol}} - [(-635 \frac{\text{KJ}}{\text{mo}}) - (-287 \frac{\text{KJ}}{\text{mo}})] = -65.2 \frac{\text{KJ}}{\text{mol}}$$

۳-۱- پایه  
 در این طرح امکان تعویض قالب و سیلندر، حرکت رفت و برگشتی قالب و تخلیه مواد بر روی پایه فراهم شده است.

۳-۲- سیلندر  
 جداره بیرونی استوانه ای و جداره داخلی به شکل مخروطی است، که فواید مخروطی بودن آن از قرار زیر است.  
 - تخلیه سریع مواد عمل شده بعد از شکل دهی ورق  
 - انسداد انتهای سیلندر با تویی مخروطی بدون نیاز به نیرو  
 - به حداقل رساندن حجم مواد داخل سیلندر برای بهینه سازی فرایند.



شکل (۲): دستگاه ساخته شده



شکل (۳): قطعات تولید شده

در جدول شماره ۱ و ۲ به ترتیب مشخصات ابعادی و الاستیکی درج شده است.

جدول (۱): مشخصات قطعه ی تولید شده را نشان می دهد.

قطر نمونه	۱۲۰ میلی متر
ضخامت اولیه ی ورق	۱ میلی متر
ضخامت ثانویه ی ورق	۰/۸ میلی متر
حداکثر عمق کشش	۲۰ میلی متر
زمان تولید	۱۰ دقیقه

۳-۳- قالب  
 در این دستگاه قالب به شکل نیمکره ای است که قابلیت حرکت رفت و برگشتی دارد. شایان ذکر است پله ای که در ابتدای قالب تعبیه شده کار ورق گیر را به عهده دارد.

۳-۴- تویی  
 به شکل مخروطی است و به منظور:  
 - آب بندی انتهای سیلندر و جلوگیری از خروج سیال  
 - تخلیه مواد مصرف شده تعبیه شده است .

۳-۵- ترمومتر و مخزن روغن  
 ترمومتر، تغییرات دمای قالب را نشان می دهد. تغییرات دما با مصرف ماده شیمیایی ارتباط مستقیم دارد. در ابتدا قبل از شکل گیری ورق، قالب پر از روغن است. هنگامی که ورق فولادی توسط فشار هیدروستاتیکی ماده شیمیایی به داخل قالب حرکت می کند، روغن از قالب به داخل مخزن رانده می شود و با توجه به میزان روغن در مخزن پایان مرحله شکل گیری قالب رویت خواهد شد.

زمان و سرعت شکل گیری ورق با میزان خروج روغن از قالب به داخل مخزن روغن می تواند سنجیده شود.

۴- روش کار دستگاه  
 ورق بین قالب حاوی روغن و سیلندر حاوی مواد قرار داده می شود و در این حال، ورق در پله ای که به همین منظور در

جدول (۲): مشخصات الاستیکی نمونه (ورق ST12) را نشان می‌دهد.

مدول یانگ	ضریب پواسون	تنش تسلیم	استحکام کششی	جرم حجمی	درصد کربن	سختی	درصد تغییر طول نسبی شکست
۲۰۰ GPa	۰/۳	۲۸۰ MPa	۲۷۰-۴۱۰ MPa	۷۸۰۰ Kg/m <sup>3</sup>	۰/۱	۶۵HRB	٪۲۸

## ۵- نتایج و بحث

در این مقاله روش جدید برای شکل‌دهی ورق‌های فلزی ارائه گردید. میزان نیروی تولید شده جهت فرایند با استفاده از روابط ترمودینامیکی محاسبه و با نتایج تجربی مقایسه گردید. حرارت تولید شده توسط فعل و انفعال شیمیایی ماده در این آزمایش با توجه به میزان ماده مصرف شده حدود  $200^{\circ}\text{C}$  می‌باشد. حرارت فوق، جریان مواد را در حالت پلاستیک تسهیل می‌کند و از این رو شکل‌گیری ورق بدون وجود چروک خوردگی راحت‌تر صورت می‌گیرد. علاوه بر این، به دلیل حداقل تماس ورق با ورق گیر نیاز به دور بری، کمتری دارد. در این فرایند ماده شیمیایی مصرف شده قابل بازیابی است و نیازی به تجهیزات گران قیمت از قبیل دستگاه پرس و مصرف انرژی بالا جهت تولید نیرو نمی‌باشد. این روش می‌تواند با داشتن مزایای فوق برای تولید قطعات با تیراژ کم در کارگاههای کوچک و متوسط بکار گرفته شود که در این صورت هزینه تولید آن بعلاوه حذف پرس به نحو چشم‌گیری کاهش می‌یابد. با توجه به همزمانی اعمال نیرو با ایجاد حرارت، ورق‌های فولادی با قابلیت کشش پایین را می‌توان شکل داد که این عمل

باعث استحکام قطعه شده و از طرف دیگر، به دلیل کاهش قیمت مواد مصرفی، قدرت رقابت در بازار را افزایش می‌دهد.

## ۶- نتیجه گیری

این مقاله به معرفی یک روش جدید شکل‌دهی ورق با استفاده از انرژی فعل و انفعال شیمیایی می‌پردازد. مزایای این روش عبارتند از:

- ۱- عدم نیاز به تجهیزات اعمال نیرو مانند پرس
- ۲- ایمنی بالاتر نسبت به روشهای متداول
- ۳- هزینه تولید کمتر
- ۴- کاهش قیمت مواد مصرفی با جایگزین کردن ورق با قابلیت کشش کمتر (مانند ورق روغنی)
- ۵- جریان بهتر مواد در ورق‌های فلزی در طی فرایند شکل‌دهی به دلیل تولید حرارت در طی فعل و انفعال شیمیایی
- ۶- نیروی اعمال شده به صورت فشار هیدروستاتیکی ناشی از انبساط ماده شیمیایی است که چون در ابتدا به صورت سیال می‌باشد، قابلیت اعمال نیرو در تمام سطوح را داراست و از این رو شکل‌گیری اشکال پیچیده با این روش ساده‌تر می‌باشد.

## مراجع

- 1- Asme, Handbook of metal forming
- 2- Ira.N.Levine, Physical Chemistry, "Standard state thermodynamic properties at 25' c and 1 bar. "pp 877, Mc Graw – Hill Book Co, Fourth edition
- ۳- رابرت ای. آلبرتی، رابرت جی. سیلی، شیمی فیزیک، جلد اول ترمو دینامیک "خواص ترمو دینامیکی مواد شیمیایی در  $25^{\circ}\text{C}$  و ۱bar، ص ۴۵۷، ترجمه دکتر علی اصغر زینی اصفهانی، انتشارات مرکز دانشگاهی، تهران