بسم الله الرحمن الرحيم

۱۳۸۷ /۹/ ۲۳

۱۰۲۱۲٤

دانشگاه بیرجند

دانشکده مهندسی

پایان نامه کارشناسی ارشد مکانیک (ساخت و تولید)

عنوان:

تحلیل تجربی و عددی یک میلگرد مسی در فرآیند تغییر شکل پلاستیکی شدید

اساتید راهنما:

دکتر سید یوسف احمدی بروغنی

دکتر سید حجت هاشمی

استاد مشاور:

دکتر خلیل خلیلی

نگارش:

عبدالرضا رضائی

۱۳۸۷ /۹/ ۲۳

زمستان ۱۳۸۵

۱۰۲۱۲۴

باسمه تعالی

تائیدیه اعضای هیئت داوران حاضر در جلسه دفاع از پایان نامه تحصیلی دوره کارشناسی ارشد

اعضای هیئت داوران نسخه نهایی پایان نامه **آقای عبدالرضا رضایی**

تحت عنوان : **اکستروژن در کانالهای زاویه دار با مقطع یکسان و مقایسه نتایج تجربی و تحلیل عددی انجام گرفته روی یک بیلت مسی**

از نظر فرم و محتوی بررسی و درجه کارشناسی ارشد عالی را به ایشان اعطا نمود.

عضو هیات داوران	نام و نام خانوادگی	رتبه علمی	امضاء
۱-استاد راهنمای اول	دکتر سید یوسف احمدی بروغنی	استادیار دانشگاه بیرجند	
۲-استاد راهنمای دوم	دکتر سید حجت هاشمی	استادیار دانشگاه بیرجند	
۳- استاد مشاور	دکتر خلیل خلیلی	استادیار دانشگاه بیرجند	
۴-استاد مدعو	دکتر محمدرضا الهامی	استادیار دانشگاه امام حسین	
۵-استاد مدعو	دکتر جواد خادم	استادیار دانشگاه بیرجند	
۶- نماینده تحصیلات تکمیلی	دکترسیدعلی میربزرگی	استادیار دانشگاه بیرجند	

کلیه مزایا اعم از چاپ، تکثیر، نسخه برداری، ترجمه، اقتباس،... از پایان نامه کارشناسی ارشد برای دانشگاه بیرجند محفوظ می باشد. نقل مطالب با ذکر منبع بلامانع است.

تقدیم به روان پاک پدر

و

تقدیم به مادرم

سپاسگزاری

اینک که به لطف خدا نگارش پایان نامه به انجام رسیده است، بر خود لازم می دانم از تلاش های استادم آقای دکتر احمدی و جناب آقای دکتر خلیلی برای هماهنگی ها و رفع موانعی که به هنگام کار با آن روبرو بودم سپاسگزاری کنم. از جناب آقای مهندس سراج پور نیز به خاطر راهنمایی های ارزنده ای که در رابطه با انتخاب پروژه به من نمودند، سپاسگزاری می کنم. در نهایت از تمامی دوستان دانشگاهی بخصوص آقای مهندس افتخاری و آقای مهندس عبدالهیان که در پاره ای مواقع حین انجام پروژه مرا یاری نموده اند، سپاسگزارم. همچنین از مساعدت مالی استانداری محترم خراسان جنوبی متشکرم.

چکیده

تلاش های بسیاری برای مطالعه شکل دهی سوپرپلاستیک در آلیاژهای مختلف صورت گرفته است. از نقطه نظر مکانیکی، مواد کریستالی برای رسیدن به رفتار سوپرپلاستیک باید دانه ریز شوند. فرایند پرسکاری در کانال های با مقطع یکسان زاویه دار (ECAE)، اندازه دانه ای در حد میکرومتر و یا حتی نانومتر در قطعه ایجاد کرده که موجب بهبود خواص مکانیکی می گردد. مطالعات قبلی نشان داده که توزیع کرنش بعد از تغییرشکل پلاستیک شدید رابطه ای مستقیم با اندازه دانه دارد. در این پایان نامه از روش اجزاء محدود برای شبیه سازی فرایند برای ماده مس خالص آنیل شده که از درون قالب گذرد، استفاده شده است. در فرایند ECAE پارامترهای زیادی مانند زاویه کانال ها، زاویه گوشه ECAE می خارجی و شعاع داخلی در محل تقاطع کانال ها، اصطکاک بین قطعه و قالب، طول قطعه و طول کانال خروجی مورد توجه می باشند. اثر این پارامترها بر روی توزیع کرنش، تنش، نحوه تغییرشکل قطعه، نحوه پرشدن قالب و نیروی بکارگرفته شده مورد بررسی قرار گرفته است. همچنین برخی از نتایج شبیه سازی مانند نیروی وارده به سنبه و نحوه تغییر شکل المانهای قطعه با نتایج تجربی مقایسه گردیده و در نهایت تغییرات خواص مکانیکی ماده مورد استفاده در حالت خام، پس از یک مرحله و بعد از دو مرحله عبور از قالب، توسط آزمون کشش تعیین گردیده است.

هدف اصلی این پروژه توصیف و شرح تکنیکی جهت مقاوم سازی ماده از طریق فرآیندهای کنترل کننده دانه ای ماده وریز دانه کردن آن می باشد.

فصل اول: آشنایی با فرآیند اکستروژن در کانال های با مقطع یکسان زاویه دار ۱
۱-۱ مقدمه ۲
۱-۲ اصول تغییر شکل پلاستیک شدید ۳
۱-۳ روش های تغییر شکل پلاستیک شدید ۳
۱-۴ فرآیند ECAE ۹
۱-۵ کاربرد ECAE ۱۱
۱-۶ عوامل تاثیرگذار در فرآیند ECAE ۱۴
۱-۶-۱ اثر پارامترهای ماده روی کرنش ۱۵
۱-۶-۱-۱ اثر کرنش سختی روی مقدار کرنش ۱۶
۱-۶-۱-۲ اثر حساسیت نرخ کرنشی روی مقدار کرنش ۱۶
۱-۶-۲ اثر پارامترهای فرآیند روی کرنش ۱۷
۱-۶-۲-۱ تاثیر هندسه قالب روی کرنش ۱۷
۱-۶-۲-۲ اثراصطکاک روی مقدار کرنش ۱۸
۱-۶-۲-۳ اثر اعمال پس فشار روی مقدار کرنش ۱۸
۱-۶-۲-۴ اثر سرعت فشردگی روی مقدار کرنش ۱۹
۱-۶-۲-۵ تعداد دفعات فشردگی ۲۰
۱-۶-۲-۶ روش های فشردگی ECAE با چندین مرتبه فشردگی ۲۱
۱-۶-۲-۷ دمای فشردگی ۲۹
۱-۷ قالب‌های پیشرفته در فرایند ECAE ۲۹
۱-۸ آنالیز فرآیند ECAE به روش اجزاء محدود ۳۳

فصل دوم: پیشینه پژوهش..... ۳۵

فصل سوم: آشنایی با روش اجزاء محدود (FEM) و نرم افزار ANSYS..... ۴۵

۳-۱ آشنایی با روش اجزاء محدود (FEM)..... ۴۶

۳-۲ تاریخچه استفاده از روش اجزاء محدود..... ۴۷

۳-۳ حل مسائل در روش اجزاء محدود..... ۴۸

۳-۴ تاریخچه و معرفی نرم افزار ANSYS..... ۵۰

۳-۵ مراحل شبیه سازی فرآیندهای شکل دهی به کمک نرم افزار ANSYS..... ۵۰

۳-۶ المان های ANSYS..... ۵۱

۳-۶-۱ ثوابت حقیقی المانها..... ۵۲

۳-۶-۲ خواص مواد..... ۵۲

۳-۶-۲-۱ مدل کارسختی سینماتیک دو خطی..... ۵۳

۳-۶-۲-۲ مدل کارسختی سینماتیکی چندخطی..... ۵۴

۳-۶-۲-۳ مدل کارسختی ایزوتروپیک چند بخشی..... ۵۵

۳-۶-۲-۴ مدل کار سختی ایزوتروپیک دوخطی..... ۵۵

۳-۶-۲-۵ مدل کار سختی ایزوتروپیک غیر خطی..... ۵۶

۳-۶-۲-۶ مدل کار سختی ناهمسانگرد..... ۵۶

فصل چهارم: تحلیل فرآیند اکستروژن در کانالهای زاویه دار با مقطع یکسان در نرم افزار ANSYS..... ۵۸

۴-۱ مقدمه..... ۵۹

۴-۲ رفتار تماس در نرم افزار ANSYS برای تحلیل فرآیند ECAE..... ۶۰

۴-۲-۱ مدل اصطکاک در رفتار تماس ۶۲
۴-۳ المان های استفاده شده در شبیه سازی فرآیند ECAE ۶۴
۴-۴ مراحل شبیه سازی فرآیند ECAE برای حالت سه بعدی در نرم افزارANSYS ۶۷
فصل پنجم: مقایسه نتایج حاصل از شبیه سازی فرآیند توسط نرم افزار ANSYS با نتایج بدست آمده از تست تجربی ۷۵
۵-۱ مقدمه ۷۶
۵-۲ بررسی و مقایسه پارامترهای موثر در فرآیند ECAE توسط نرم افزار ANSYS ۷۸
۵-۲-۱ بررسی همگرایی و تعداد المان های لازم ۷۸
۵-۲-۲ بررسی اثر زاویه ϕ ۷۹
۵-۲-۳ بررسی اثر زاویه ψ ۸۶
۵-۲-۴ بررسی اثر اصطکاک ۹۷
۵-۲-۵ بررسی اثر شعاع داخلی r ۱۰۱
۵-۲-۶ بررسی اثر طول قطعه کار ۱۰۳
۵-۳ نتایج تجربی در فرآیند ECAE و مقایسه آنها با نتایج شبیه سازی عددی ۱۰۵
فصل ششم: نتیجه گیری و پیشنهادات ۱۲۳
۶-۱ نتایج ۱۲۴
۶-۲ پیشنهادات ۱۲۷
پیوست ۱ ..... ۱۲۹
منابع ۱۳۳

فصل اول:

آشنایی با فرآیند اکستروژن در کانال های با مقطع یکسان زاویه دار

۱-۱ مقدمه

با ایجاد تغییر شکل پلاستیکی شدید[۱](SPD) بر روی فلزات و آلیاژها می توان با کاهش اندازه دانه ها به بهبود خواص آنها پرداخت. در میان روشهای مختلف شناخته شده در تغییر شکل پلاستیک شدید، اکستروژن در کانالهای زاویه دار با مقطع یکسان[۲] (ECAE) در بسیاری از کاربردهای عملی مدنظر قرار گرفته است. این روش در حدود ۳۵ سال پیش در واحد soviet اختراع گردید[1] و تلاشهای بسیاری روی مطالعه جنبه های تکنیکی روش، کاربردهای ممکن، تجهیزات و ابزارهای آن انجام شده است. در اواسط سالهای ۱۹۸۰ تحقیقات و پیشرفتها، ECAE را به جنبه عملی کاربرد آن در خطوط تولید در برخی از موارد خاص نزدیک کرد. بعد از معرفی این روش به غرب در آغاز سال های ۱۹۹۰، بهبود ساختار و دانه بندی مواد و تبدیل اندازه دانه ها در حد میکرون و نانو مد نظر قرار گرفت که این امر باعث تحقیقات گسترده ای روی ارزیابی ساختار و مشخصات ماده بعد از فرایند ECAE و دیگر روشهای SPD گردید. متأسفانه فعالیتهای علمی و دانشگاهی بسیاری انجام گردیده که مورد حمایت صنایع و پیشرفتهای مهندسی و تکنولوژی قرار نگرفته است و تفاوت فاحشی میان انتشارات علمی متعدد و نمونه های ECAE ساخته شده و به ثبت رسیده وجود دارد. به گونه ای که در آغاز سال ۲۰۰۳ تعداد مقالات منتشر شده در این زمینه بالغ بر ۱۲۰۰ مورد بوده در حالی که تعداد موارد عملی ۱۹ مورد بوده است. که در این میان تنها ۵ مورد به جنبه های مهندسی و کاربردی فرایند پرداخته بودند و در بقیه موارد، این فرایند به عنوان یک تکنیک آزمایشگاهی در نظر گرفته شده بود.

۱-Severe Plastic Deformation

۲- Equal Channel Angular Extrusion

۱-۲ اصول تغییر شکل پلاستیک شدید

اولین بار اصول تغییر شکل پلاستیک شدید روی فلزات توسط بریجمن[۱] در دهه ۱۹۵۰ میلادی تبدیل به کاری کلاسیک شد[2]. در اواسط دهه ۱۹۸۰، روسلان ولیف[۲] و همکارانش در انیستیتوی مربوط به مسائل سوپرپلاستیسیته در یوفای روسیه پی برند که تکنیک تغییرشکل پلاستیک شدید، پتانسیل بالایی در تولید ریزساختار با اندازه دانه بسیار ریز و در نتیجه بهبود سوپرپلاستیسیته روی مواد را دارا می باشد. بدون شک ولیف را باید تاثیرگذارترین شخص در مورد شناسایی این فرآیند تا به امروز دانست [3].

اصل اساسی در روش های تغییرشکل پلاستیک شدید ایجاد کرنش بسیار زیاد روی ماده بدون تغییری در ابعاد نهایی قطعه می باشد و از آنجا که سطح مقطع قطعه اولیه تغییری نمی کند با روش های شکل دهی صنعتی متداول مانند اکستروژن، نورد، آهنگری و کشش تفاوت عمده ای دارد.

۱-۳ روش های تغییر شکل پلاستیک شدید

در این قسمت به توضیح فرآیندهای مهم تغییرشکل پلاستیک شدید پرداخته می شود و مزایا و معایب هر یک از این فرآیندها نیز بررسی می گردد.

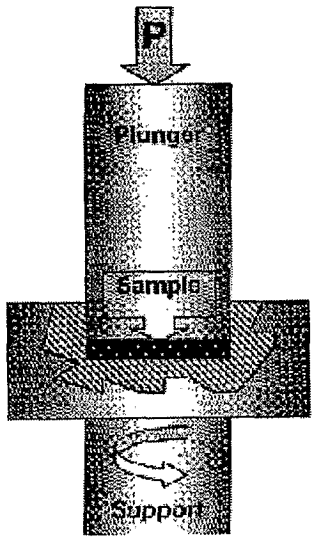
۱- فرآیند پیچش و فشار[۳] (TC)، فرآیندی است که در آن به صورت همزمان مطابق شکل(۱-۱) فشار و پیچش به قطعه اعمال می گردد. این فرآیند در اوایل سال های ۱۹۵۰ توسط بریجمن ارائه

۱-Bridgman

۲-Ruslan Valiev

۳-Torsion and Compression

گردید. به علت ناهمگنی کرنشی در نمونه و اشکالات فنی مربوط به فشار بالای مورد نیاز، از این تکنیک بیشتر در لابراتوارها برای فلزات سخت مانند بین فلزی ها[1] به شکل دیسک های دایره ای با قطر کمتر از ۱۵ میلیمتر استفاده می شود [4].



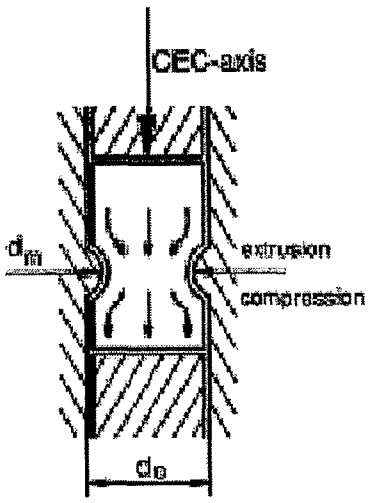
شکل۱-۱: فرآیند پیچش و فشار TC

۲- در اواخر سال های ۱۹۷۰، ریچارت[2] و همکارانش فرآیند کششی فشاری متناوبی را به نام CEC[3] معرفی کردند که شامل جریان فلز تحت کشش و فشار متناوب می باشد. این پروسه به نظر می رسد که برای کاربردهای صنعتی مناسب باشد، ولی فقط در آزمایشگاه ها مورد استفاده قرار گرفته است[4]. شکل(۱-۲) نمایی از این فرآیند را نشان می دهد.

۱-Inter Metallic

۲-Richert

۳-Cyclic Extrusion Compression

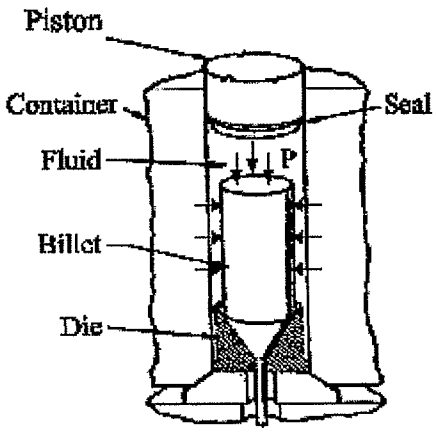


شکل۱-۲: فرآیند کششی فشاری متناوبیCEC [4]

۳- از دیگر روش های تغییر شکل پلاستیک شدید اکستروژن هیدرواستاتیک[۱] می باشد[5]. دراین روش مطابق شکل(۱-۳) قطعه ای از فلز بصورت میل گرد در داخل محفظه ای با دیواره های ضخیم و صلب قرار می گیرد و سپس با فشار سیالی که همه سطوح میل گرد بجز قسمتی که با قالب در تماس است را احاطه کرده است، محصول از میان قالب خارج می شود. در این روش بین دیواره میل گرد و محفظه اصطکاکی وجود ندارد ، چون اصولا تماس فیزیکی میان آنها وجود ندارد و اطراف میل گرد توسط سیال با فشار بالا احاطه شده است. مهمترین عیب این روش این است که میل گرد باید در قسمت انتهایی بصورت مخروطی با دهانه قالب تماس پیدا کند که این امر مستلزم عملیات ماشینکاری روی میل گرد قبل از استفاده است. عیب دیگر روش اکستروژن هیدرواستاتیک این است که در این روش فشار شعاعی و محوری با هم برابر است. بنابراین تجهیزات و ابزار مورد نیاز

۱-Hydrostatic Extrusion

برای انجام این فرآیند باید از استحکام بیشتری برخوردار باشد و نکته دیگر این روش محدودیت نقطه جوش سیال است که اغلب نمی توان از اکستروژن گرم استفاده نمود.

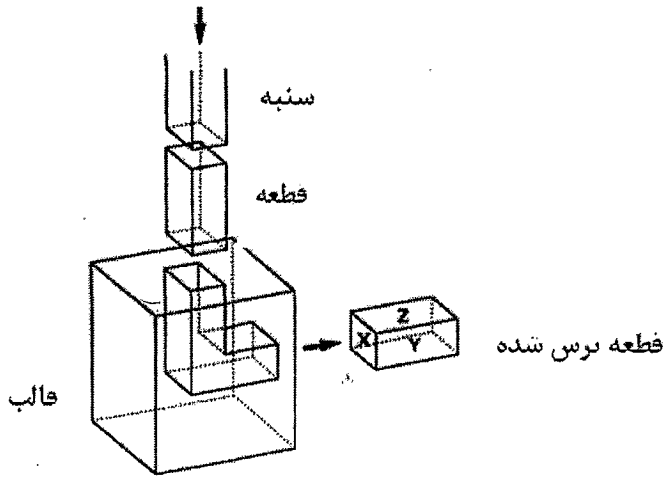


شکل۱-۳: فرآیند اکستروژن هیدرستاتیک[5]

۴- در اوایل سال های ۱۹۷۰ میلادی سگال[۱] تکنیکی به نام ECAE را هنگام کار در انسیتوی تکنولوژی مینسک[۲] ابداع کرده و از این جهت که کانال های ورودی و خروجی دارای سطح مقطع مساوی بودند این فرآیند ECAE نامیده شد. کرنش برشی بزرگی با ثابت ماندن سطح مقطع در محل تقاطع دو کانال به قطعه اعمال می گردد [1,2,4,6]. شکل (۱-۴) نمایی از فرآیند ECAE را نمایش می دهد.

۱-Segal

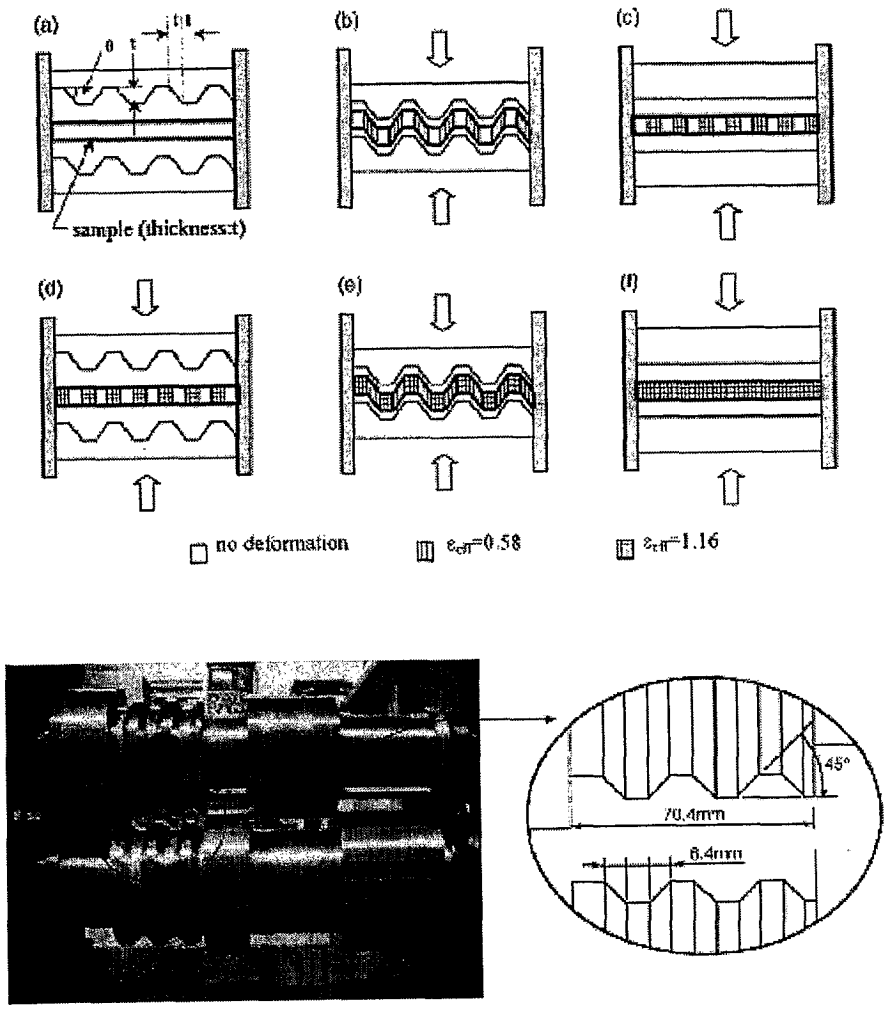
۲-Minsk Technical Institute



شکل۱-۴: شماتیک فرآیند ECAE [6]

۵- یکی دیگر از روشهای موجود در تغییر شکل پلاستیک شدید پرسکاری مقید شده در شیار[۱] (CGP) می باشد[7]. در این روش مطابق شکل(۱-۵) قطعه ای صفحه ای شکل میان یک جفت قالب که در آنها شیارهایی ایجاد شده قرار می گیرد. بعد از پرس، نواحی شیبدار (هاشورخورده) تحت تغییر شکل برشی در حالت کرنش صفحه ای قرار می گیرند. آنگاه صفحه مربوط بین دو سطح کاملا صاف شده و بعد از دوران ۱۸۰ درجه ای دوباره در قالب شیاری قرار می گیرد و باقی قسمتهای تغییر شکل نیافته نیز تحت کرنش برشی قرار می گیرند و سپس توسط پرس صاف می شوند. با تکرار فرایند CGS بدون تغییر در ابعاد اولیه ورق مقدار زیادی کرنش پلاستیک در قطعه ایجاد می شود.

۱- Constrained Groove Pressing

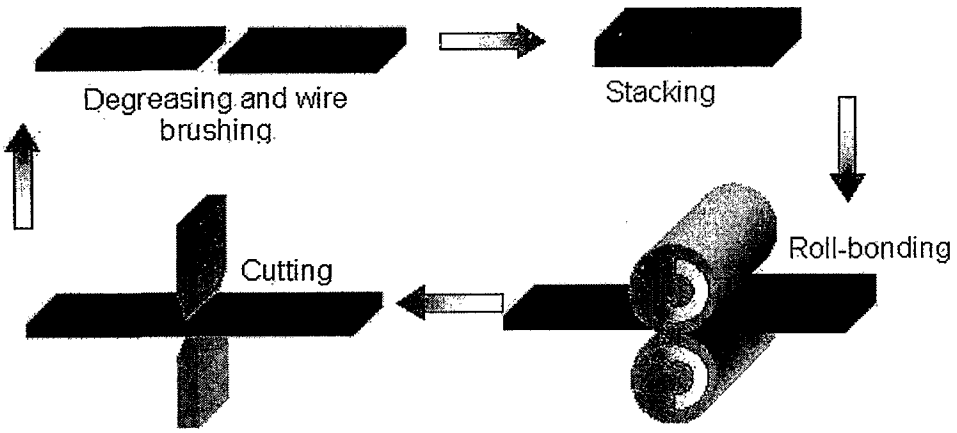


شکل۱-۵: شماتیک فرآیند CGS [7]

۶- از دیگر روشهای تغییر شکل پلاستیک شدید روش ARB[1] می باشد که در مورد ورق های فلزی به کار برده می شود[8]. در این روش مطابق شکل(۱-۶) دو لایه ورق فلزی با ضخامت مشخص بر روی هم قرار گرفته و بعد از عملیات نورد ضخامت آنها ۵۰٪ کاهش می یابد. ورق حاصل به دو نیم تقسیم شده و بعد از بین بردن گریسهای سطحی و اکسید زدایی بر روی هم قرار گرفته و

۱- Accumulative Roll Bonding

عمل نورد تکرار می شود. در هر بار تکرار این فرآیند تعداد لایه ها افزایش مـی یابـد و ایـن عمـل تـا دستیابی به مقدار کرنش مطلوب ادامه می یابد.



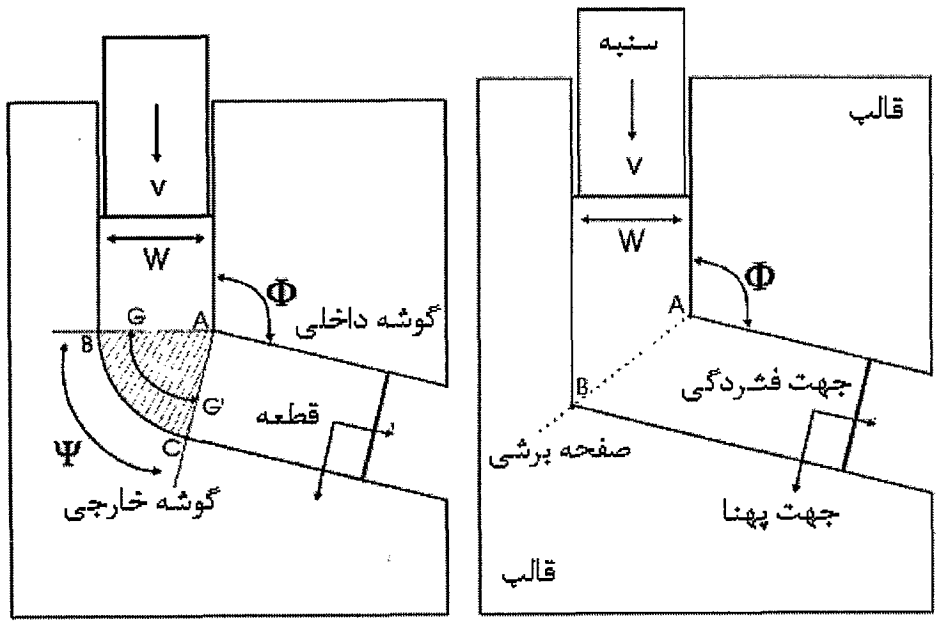
شکل۱-۶: شماتیک فرآیند ABR[8]

۱-۴ فرآیند ECAE

فرآیند ECAE فرآیندی حرارتی مکانیکی[۱] برای ایجاد ساختار بسیار ریز در آلیاژهـای فلـزی مـی باشد تا خواص مکانیکی آنها بطور چشمگیری بهبود یابد. در این فرآیند قطعه کار فلـزی از دو کانـال عبور داده می شود که این دو کانال دارای سطح مقطع یکسان بـوده و بـه شـکل L تحـت زاویـه φ (بین ۹۰ تا ۱۳۵درجه) به هم متصل شده اند و ممکن است که در گوشه خارجی تقاطع دو کانال نیـز انحنایی با زاویه ψ وجود داشته باشد، قطعه کار حین عبور از محـل تقـاطع دو کانـال تحـت کـرنش بالایی قرار می گیرد (شکل (۱-۷)). قطعه در هر بار عبور از کانال هـا کـرنش هـا را در خـود حـبس کرده که این امر موجب تغییر ریزساختار در قطعه می شود. این فرآیند تا ریزشدن دانه هـا بـه انـدازه

۱- Thermomechanical

مورد نظر ادامه خواهد داشت [1,4,9,10,11]. همه فرآیندهای تغییرشکل پلاستیک شدید توانایی ایجاد مواد با اندازه دانه در اندازه نانومتر را دارند، اما روش ECAE به خاطر توانایی در تولید نمونه هایی با چگالی بیشتر دانه های بسیار ریز، با انجام تکرار فرآیند در چندین بار عبور با ثابت ماندن سطح مقطع برای قطعات در مقیاس بزرگتر، بیشتر مورد توجه محققین قرار گرفته است.



(ب) (الف)

شکل ۱-۷: شماتیک فرآیند ECAE برای الف: زاویه گوشه $\psi = 0$ ب: زاویه گوشه $\psi > 0$ [10]

در هر مرتبه که قطعه از داخل قالب عبور داده می شود تغییر شکل خمیری شدیدی در ناحیه تقاطع دو کانال ایجاد می گردد. به این ناحیه، منطقه تغییر شکل پلاستیکی[1] گفته می شود. همچنین از این جهت که تغییرشکل در نزدیکی صفحه برشی صورت می گیرد با دیگر روش های

۱-Plastic Deformation Zone