دانشگاه سیستان و بلوچستان

تحصیلات تکمیلی

پایان نامه کارشناسی ارشد در رشته مهندسی مواد

گرایش شناسایی و انتخاب مواد مهندسی

عنوان:

پیش بینی اندازه دانه در فرایند تغییرفرم شدیدبا استفاده از روش تحلیلی Bezier و عددی المان محدود اویلر-لاگرانژ دلخواه

استاد (اساتید) راهنما:

دکتر قدرت الله رودینی

دکتر کیوان نارویی

تحقیق و نگارش:

افسانه نارویی

این پایان نامه از حمایت مالی معاونت پژوهشی دانشگاه سیستان و بلوچستان بهره مند شده است

مهر ۱۳۹۱

بسمه تعالی

این پایان نامه با عنـوان **پیش بینی اندازه دانه در فرایند تغییرفرم شدید با استفاده از روش تحلیلی Bezier و عددی المان محدود اویلر-لاگرانژ دلخواه** قسمتی از برنامه آموزشی دوره کارشناسی ارشد **مهندسی مواد** توسـط دانشـجو **افسانه نارویی** با راهنمایی استاد پایان نامه **آقایان دکتر قدرت الله رودینی و دکتر کیوان نـارویی** تهیـه شـده اسـت. استفاده از مطالب آن به منظور اهداف آموزشی با ذکر مرجع و اطلاع کتبی به حوزه تحصیلات تکمیلی دانشـگاه سیستان و بلوچستان مجاز می باشد.

افسانه نارویی

این پایان نامه ..... واحد درسی شناخته می شود و در تاریخ ..... توسط هیئت داوران بررسـی و درجـه ..... به آن تعلق گرفت.

	نام و نام خانوادگی	**امضاء**	**تاریخ**
استاد راهنمای اول:	دکتر قدرت الله رودینی		
استاد راهنمای دوم:	دکتر کیوان نارویی		
داور ۱:	دکتر داود محبی		
داور ۲:	دکتر امید سپهی		

نماینده تحصیلات تکمیلی:

تعهدنامه اصالت اثر

اینجانب افسانه نارویی تعهد می کنم که مطالب مندرج در این پایان نامه حاصل کار پژوهشی اینجانب است و به دستاوردهای پژوهشی دیگران که در این نوشته از آن استفاده شده است مطابق مقررات ارجاع گردیده است. این پایان نامه پیش از این برای احراز هیچ مدرک هم سطح یا بالاتر ارائه نشده است.

کلیه حقوق مادی و معنوی این اثر متعلق به دانشگاه سیستان و بلوچستان می باشد.

نام و نام خانوادگی دانشجو: افسانه نارویی

امضاء

چکیده:

یکی از روش‌های کاهش اندازه دانه جهت بهبود خواص مکانیکی، استفاده از روش تغییر شکل پلاستیک شدید می‌باشد. اکستروژن در کانال زاویه دار همسان از جمله این روش ها است که در آن معمولاً یک نمونه فلزی با مقطع گرد و یا مربعی از داخل دو کانال متقاطع با مقطع یکسان عبور داده می‌شود. در اثر این عبور بدون تغییر سطح مقطع، کرنش پلاستیک بزرگی به نمونه وارد می‌گردد. این کرنش بالا، توجه محققین در زمینه‌های تحقیقاتی متعددی را به خود جلب نموده است. در زمینه‌های تحقیقاتی تجربی محققین در این روش قادر به مطالعه رفتار ماده در کرنش‌های پلاستیک بزرگ، بررسی رفتار در مراحل کار سختی III به بعد، تغییر ریز ساختار به زیر میکرون و حتی نانو، افزایش استحکام به مقدار بالا همزمان با حفظ چقرمگی و غیره نام برد. در زمینه‌های تحقیقاتی تئوری پس از معرفی تغییر شکل پلاستیک شدید، تئوری نابجایی‌ها، تئوری پلاستیسته کریستال‌ها، ومعادلات ساختاری در کرنش‌های بالا تحول زیادی یافتند. در تحقیق حاضر، در ابتدا با استفاده از روش تئوری خطوط جریان و تلفیق آن با روش تئوری حد بالا، یک میدان سرعت-کرنش در حالت دو بعدی ارائه گردیده و بر مبنای آن مقادیر کرنش و نرخ کرنش محاسبه شده است، در نهایت با کمک فرمولاسیون استرین و همکاران، اندازه دانه در ریزساختار پیش بینی شد. نتایج شبیه‌سازی با نتایج تئوری و تجربی سایر محققین مقایسه شدکه تطابق خوبی بین نتایج آنالیز حاضر و نتایج تجربی حاصل گردید.

کلمات کلیدی: تئوری نابجایی ها- پلاستیسیته کریستال ها- خطوط جریان- حد بالا

فهرست شکل‌ها

عنوان صفحه

شکل ۲-۱ اصول روش ECAE. ۷

شکل ۲-۲ شماتیک قالب ECAE..... ۸

شکل ۲-۳ شماتیک قالب ECAE ارائه شده توسط الف)سگال ب)ایواهاشی..... ۹

شکل ۲-۴ شماتیک قالب ECAE ارائه شده توسط لوییس...... ۱۰

شکل ۲-۵ چهار مسیر اصلی در فرایند ECAE..... ۱۱

شکل ۲-۶ برهم کنش تغییرفرم برشی متوالی در پاس اول و دوم ECAE..... ۱۳

شکل ۲-۷ میکروگراف های نوری بیلتAl-Mg اکسترود شده بعد از۴سیکل در۴مسیر مختلف..... ۱۵

شکل ۲-۸ میکروساختارهایAlخالص بعد از تغییرفرم در دمای اتاق..... ۱۸

شکل ۲-۹ تغییرات استحکام و داکتیلیته در طولECAE..... ۱۹

شکل ۲-۱۰ رابطه بین تنش کششی نهایی، تغییرات طول وتعداد پاس ECAE فولادArmco..... ۱۹

شکل ۲-۱۱ رابطه بین استحکام کششی و تعدادپاس برای فولادهای کربنی. ۲۰

شکل ۲-۱۲ مقایسه رابطه استحکام و داکتیلیته در تست کشش برای موادECAEو نورد سرد ۲۱

شکل ۲-۱۳ استحکام کششی نهایی موادECAEونوردسرد بعنوان تابعی از کرنش اعمالی ۲۱

شکل ۲-۱۴ اثر اندازه دانه بر نرخ تشکیل سوپر پلاستیسیته..... ۲۲

شکل ۲-۱۵ اثر تغییرفرم ناشی از ECAE بر عمر خستگی مواد..... ۲۳

شکل ۲-۱۶ شماتیک ساده ترین حالت یک قالبECAE..... ۲۵

عنوان صفحه

شکل ۲-۱۷ شماتیک یک قالب CAD ۲۶

شکل ۲-۱۸ شماتیک یک قالب ECAE با گوشه انحنادار ۲۷

شکل ۲-۱۹ قالب ECAE با در نظر گرفتن پنج نیم زاویه مختلف ۲۸

شکل ۲-۲۰ (الف): میدان خطوط لغزش و (ب): هدوگراف سرعت ۲۸

شکل ۲-۲۱ مدل تغییرفرم در فرایندECAE ۳۱

شکل ۲-۲۲ ناپیوستگی سرعت روی سطوح الف)ورودی ب)خروجی ۳۲

شکل ۲-۲۳ ساختار سلولی شامل دو منطقه دیواره سلول و درون آن ۳۸

شکل ۲-۲۴ ساختار نابجایی درون دیواره سلول ۴۱

شکل ۲-۲۵ تنوع کسر حجمی دیواره های سلول بعنوان تابعی از کرنش در آلیاژ مس ۴۶

شکل ۳-۱ (الف): قالب ECAE مقطع گرد (ب) نمونه فلزی و (ج) مونتاژ نمونه و قالب. ۵۰

شکل ۳-۲ (الف) شماتیک نمونه در حین اکستروژن و (ب) شماتیک منطقه تغییر فرم قسمت الف.....۵۱

شکل ۳-۳کمان دلخواهی از یک دایره در مختصات کارتزین.....۵۳

شکل ۳-۴ شماتیک برای محاسبه ds..... ۶۱

شکل ۴-۱ الف) نمونه ب) نمونه تحتECAE در قالبی باϕ=۹۰ وΨ=۱۰ ..... ۶۷

شکل ۴-۲ کانتور کرنش در شعاع گوشه‌های الف)۱ب)۱.۵ ج)۲.....۶۸

شکل ۴-۳ دیاگرام کرنش برحسب فاصله از ته قالب ۷۰

شکل ۴-۴ کانتور کرنش شبیه سازی نارویی وکریمی در شعاع گوشه الف)۱ ب)۱.۵ ج)۲میلیمتر.....۷۲

عنوان صفحه

شکل ۴-۵ مقایسه چگونگی توزیع کرنش برحسب شعاع گوشه..... ۷۳

شکل ۴-۶منحنی نیروبر حسب زمان در تحقیقB.Aour..... ۷۳

شکل ۴-۷ نواحی مختلف قطعه تحت تغییرفرم..... ۷۴

شکل ۴-۸ کرنش پلاستیک معادل در تحقیق حاضربرای زوایای مختلف قالب..... ۷۶

شکل ۴-۹اثر زاویه قالب بر کرنش معادل ۷۷

شکل ۴-۱۰ مش تغییرفرم ناشی از شبیه سازی نمونه ها در ۹۰ =ϕ و الف:۰=Ψ ب:۱۰=Ψ ج:۲۰=Ψ د:۲۸=Ψ... ۷۹

شکل ۴-۱۱ کانتورکرنش در تحقیق حاضر برای زوایای مختلف خارجی الف)۵درجه ب) ۴۵درجه ج) ۹۰ درجه..... ۸۲

شکل ۴-۱۲ توزیع اندازه دانه در فرایندECAE محاسبه شده توسط بایک و همکاران..... ۸۴

شکل ۴-۱۳ کانتور توزیع اندازه دانه در تحقیق نارویی و کریمی طاهری..... ۸۵

شکل ۴-۱۴ کانتور توزیع اندازه دانه در تحقیق فوق..... ۸۵

شکل ۴-۱۵ کانتور اندازه دانه ریزساختار در تحقیق فوق برای زوایای مختلف قالب..... ۸۷

شکل۴-۱۶کانتوراندازه دانه ریزساختار برای زوایای مختلف خارجی..... ۸۹

فهرست مطالب

عنوان **صفحه**

فصل اول: مقدمه..... ۱

۱-مقدمه..... ۲

فصل دوم: مروری بر تحقیقات قبلی..... ۵

۲-مروری بر تحقیقات قبلی..... ۶

۲-۱تعاریف اولیه و پارامترهای موثر بر ECAE..... ۶

۲-۲ تغییر شکل در قالبECAE و زوایای ϕ وψ..... ۷

۲-۳ مسیرهای مختلف در فرایندECAE و اثر آن بر تغییرفرم..... ۱۱

۲-۴ مکانیزم ریزدانگی و تاثیر مسیر کرنش..... ۱۳

۲-۵ تغییرات ریزساختار در طول فرایندECAE..... ۱۶

۲-۶ تغییرات خواص مواد در اثر فرایندECAE..... ۱۸

۲-۶-۲ استحکام و داکتیلیته..... ۱۸

۲-۶-۳ خاصیت سوپرپلاستیسیته..... ۲۲

۲-۶-۴خستگی..... ۲۳

۲-۷ محاسبه کرنش با استفاده از هندسه قالب..... ۲۵

۲-۸ تئوری خطوط میدان لغزش در فرایندECAE..... ۲۸

۲-۹ محاسبه میدان سرعت سینماتیکی در فرایندECAE با استفاده از تئوری حد بالا..... ۳۰

عنوان | صفحه

۲-۱۰ بررسی رفتار کارسختی مواد تحت کرنش های بالا با استفاده از مدل نابجایی..... ۳۷

۲-۱۱ سینتیک جریان پلاستیک و تغییرات دانسیته نابجایی متناسب با آن در فرایندECAE..... ۳۹

فصل سوم: آنالیز میدان سرعت سینماتیکی..... ۴۸

۳- آنالیز میدان سرعت سینماتیکی..... ۴۹

۳-۱مقدمه..... ۴۹

۳-۲ مدل‌سازی فرایندECAE..... ۴۹

۳-۲-۱ روش بزیر و تقریب برنشتاین..... ۵۲

۳-۲-۲ میدان سرعت سینماتیکی مجاز..... ۵۶

۳-۲-۳استفاده از تئوری حد فوقانی برای محاسبه نیروی لازم در فرایندECAE..... ۶۰

۳-۳ خلاصه ای از کدMaple..... ۶۳

فصل چهارم: نتایج و بحث..... ۶۵

۴-نتایج و بحث..... ۶۶

۴-۱مقدمه..... ۶۶

۴-۲شبیه سازی ECAE..... ۶۶

۴-۲-۲اثر شعاع گوشه..... ۶۷

۴-۲-۳اثر زاویه داخلی بر کرنش..... ۷۴

۴-۲-۴اثر زاویه خارجی بر تغییرفرم و کرنش پلاستیک ایجاد شده در بیلت..... ۷۸

۴-۳ پیش بینی اندازه دانه بر اساس مدل پلاستیسیته کریستال ها..... ۸۳

عنوان **صفحه**

۴-۳-۲اثر زاویه داخلی بر اندازه دانه.....۸۶

۴-۳-۳ اثرزاویه خارجی بر اندازه دانه.....۸۸

فصل پنجم: نتیجه گیری و پیشنهادات.....۹۰

۵- نتیجه گیری و پیشنهادات.....۹۱

۵-۱ نتیجه گیری.....۹۱

۵-۲پیشنهادات.....۹۳

مراجع.....۹۴

فصل اول

مقدمه

۱- مقدمه

امروزه انتخاب مواد در صنایع مختلف، بر اساس برتری خواص فیزیکی و مکانیکی آنها نسبت به یکدیگر انجام میشود. بعنوان نمونه، درخودروسازی، صنایع هوافضا و کشتی سازی مهمترین معیار انتخاب مواد، استحکام بالا بهمراه سبک وزن بودن آنها می باشد. طبق نظریه هال- پچ[۱]، مهمترین پارامتر تاثیرگذار بر استحکام ماده، اندازه دانه است. بطوریکه هر چه اندازه دانه کاهش یابد، استحکام مواد افزایش می یابد. در علم مواد، راهکارهای متعددی مانند نورد سرد، اسپاترینگ، فرایندهای پلاسما، آلیاژسازی مکانیکی و انجماد جهت کاهش اندازه دانه پیشنهاد شده است، اما با این روش‌ها نمی‌توان آلیاژی با اندازه دانه بسیار ریز و در مقیاس حجمی تولید نمود. بنابراین توجه به سمت تکنیک‌های جدید در جهت ساخت مواد با اندازه دانه‌های در حد نانو جلب شده است. لازم به ذکر است که مواد با دانه‌های بسیار ریز (UFG)[۲] بر اساس تعریف به موادی گفته می‌شود که دارای اندازه دانه کوچک‌تر از صد نانومتر باشد. از طرفی در مواد حجمی، وجود مرزهای دانه با زاویه بالا (HAGB)[۳] بهمراه یکنواخت بودن ریزساختار در سرتاسر حجم نمونه، نشان دهنده استحکام مطلوب این مواد می باشد که روش های تغییر فرم رایج مانند نورد و کشش سیم این ویژگی ها را ایجاد نمیکنند. بنابراین از روش های تغییرفرم خاصی بنام روش های تغییرفرم پلاستیک شدید (SPD)[۴] استفاده میشود. در این روش ها، تغییرفرم پلاستیک شدید، باعث شکل گیری کرنش های پلاستیک بزرگ با ایجاد برش ساده میشود که این کرنش ها نیز به بهبود ریزساختار و کاهش اندازه دانه می انجامد.

---

۱ $\sigma_y = \sigma_. + kd^{-0.5}$

۲ Ultra fine grain

۳ High angle grain boundary

۴ Sever plastic deformation

از حدود سال های۱۹۸۰، تغییر شکل پلاستیک شدید (SPD) به عنوان یک روش مؤثر در تولید فلزات با ساختار زیر میکرون و در حد نانو معرفی گردید. از آن پس، تحقیقات وسیعی به منظور توسعه روش‌های SPD و روش‌های ایجاد فلزات با ساختار بسیار ریز با خواص مکانیکی و فیزیکی مطلوب انجام شده است. برخی از این فرایندها همچون ARB[۱]، ECAP[۲]، HPT[۳] برای تولید مواد UFG (بسته به ساختار کریستالی) به کار گرفته شده و دانه‌هایی در محدوده ۵۰۰-۷۰ نانومتر نیز از طریق اعمال این روش‌ها تولید شده است[۴-۱].

یکی از متداول‌ترین روش‌های تغییر شکل پلاستیک شدید، برای تولید قطعه با ریزساختار خیلی ریز و همگن، اکستروژن در کانال زاویه‌دار همسان(ECAE[۴]) می باشد.

اکستروژن در کانال زاویه دار همسان (ECAE) یک روش شکل دهی مواد است که در آن تغییر شکل در قالبی با دو کانال با سطح مقطع یکسان و متقاطع با زاویه‌ای مشخص انجام می‌گیرد. این فرایند برای اولین بار در سال ۱۹۷۸ توسط سگال معرفی گردید. پس از آن زمان و تا به امروز، بسیاری از کاربردهای جالب توجه این فرایند نظیر تولید مواد نانو ساختار و کاربردهای متالورژی پودر بهبود یافته اند. از دیگر ویژگی‌های این فرایند، امکان انجام آن در مسیرهای گوناگون و همچنین اعمال تعداد پاسهای مختلف است که این موارد در خواص نهایی محصول بسیار مؤثر می باشند. در این پروژه سعی به بررسی پارامترهای این فرایند و کرنش پلاستیک حاصل از آن و نهایتا پیش بینی اندازه دانه در ساختارهای بدست آمده، شده است[۳،۵].

[۱] Accumulative Roll Bonding
[۲] Equal Channel Angular Pressing
[۳] High pressure torsion
[۴] Equal Channel Angular Extrusion

ساختار پایان نامه:

پس از مرور مختصری بر کارهای محققین گذشته در زمینه فرایند ECAE در فصل دوم، کار انجام گرفته در این تحقیق در دو بخش مدلسازی و شبیه سازی بر مبنای این مدلسازی در دو فصل سوم و چهارم، به صورت زیر گردآوری شده است:

۱- مدلسازی:

- آشنایی با منحنی بزیر و استفاده از آن جهت مدلسازی هندسی خطوط جریان
- بکارگیری خطوط جریان و محاسبه یک میدان سرعت سینماتیکی مجاز
- تعیین مولفه های نیرو، کرنش و نرخ کرنش به کمک این میدان
- پیش بینی اندازه دانه در فرایندECAE
- ارائه مختصری از کد نوشته شده در این تحقیق با کمک نرم افزارMaple

۲- شبیه سازی:

- شبیه سازی فرایندECAE بر مبنای محاسبات مدلسازی و پارامترهای مختلف هندسی قالب(شعاع گوشه، زاویه داخلی و زاویه خارجی)

در انتها در فصل پنجم، نتیجه گیری نهایی از مطالعات انجام گرفته در این تحقیق و پیشنهادات، بصورت اختصار ذکر شده است.

فصل دوم

مروری بر کارهای انجام شده

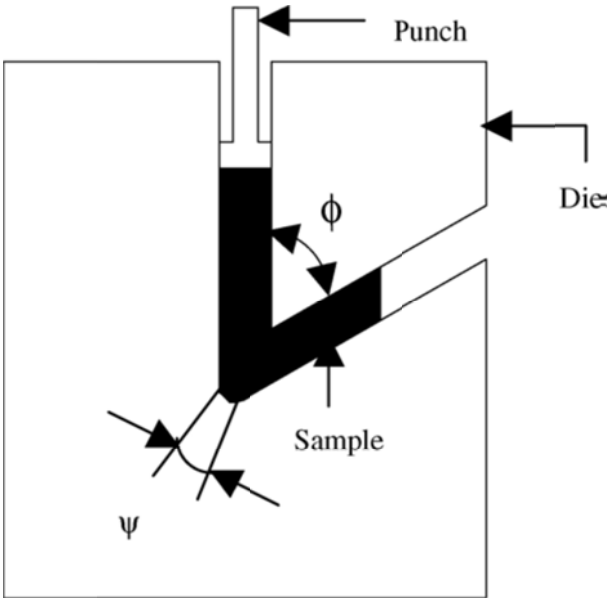
۲- مروری بر تحقیقات قبلی

۲-۱- تعاریف اولیه و پارامترهای موثر بر ECAE

امروزه روش های متعددی جهت تولید ساختارهای دانه ریز از طریق ایجاد کرنش های پلاستیک بزرگ، مانند فورج، اکستروژن، کشش سیم و نورد پیشنهاد شده است. اما در تمامی این روش ها عیوب بارزی مشاهده شده است که کاربرد آنها را محدود می کند. از جمله این معایب می توان به کاهش سطح مقطع اولیه بیلت[۱] که با تغییرات هندسی قطعه کاری همراه است، نیاز به نیروهای بالا، و نتیجتا یک تغییر فرم غیر یکنواخت اشاره نمود. بهمین دلیل است که در فرایندی چون نورد معمولی، ایجاد کرنش های بالا فقط در فویل های نازک مشاهده میشود. جهت حل این مشکلات، فرایندهای تغییر فرم شدید همچون ECAE بکار گرفته میشوند.

مزیت برجستهECAE قابلیت تغییرفرم شدید نمونه از طریق برش ساده می باشد که در پی آن امکان انجام فرایند در چندین پاس جهت حصول کرنش های بالا، بدون تغییر در ابعاد نمونه وجود دارد. هر بارعبور از قالب یک پاس نامیده شده و سبب ایجاد کرنش در ماده می‌شود، بگونه ای که با انجام هر پاس این فرایند در یک قالب ۹۰ درجه، شدت کرنش به میزان ۱.۱۵ افزایش می یابد. همانطور که در شکل ۲-۱ نشان داده شده است، در طی این فرایند یک شمش یا بیلت از یک قالب خاص که دارای یک کانال با زاویه داخلیϕ است، به طور مکرر عبور داده می‌شود[۶-۸].

[۱] Billet

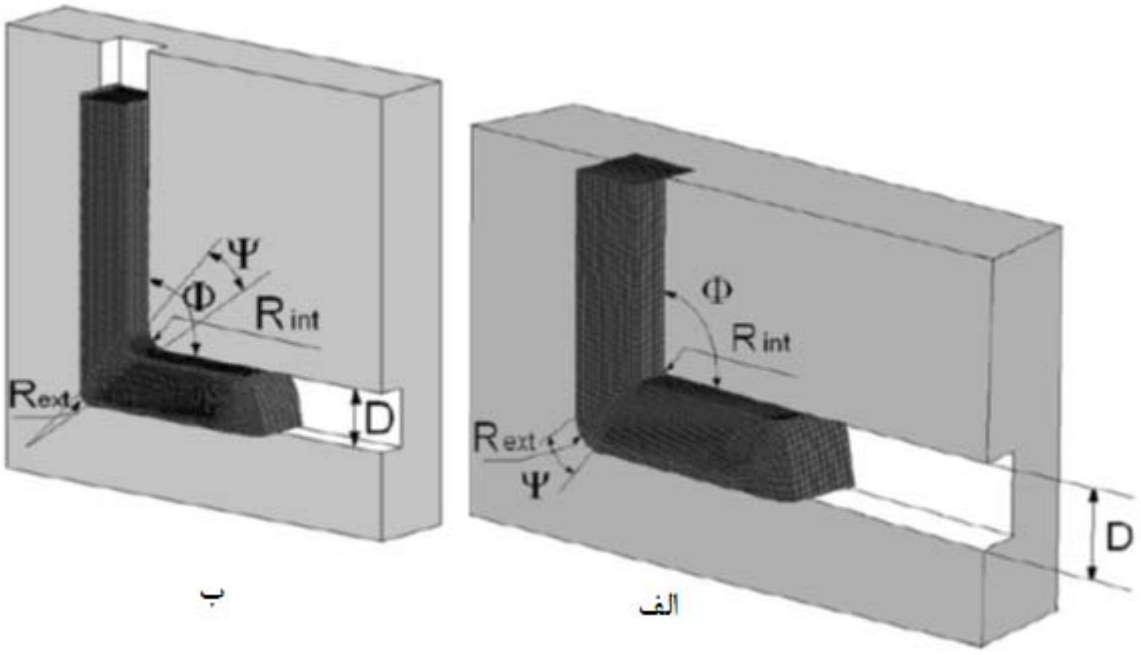


شکل۲-۱ اصول روشECAE [۶]

در این فرایند با گذشت تقریبا ۴ پاس، می توان به میکروساختار پایدار و همگن مورد نظر دست یافت. بعلاوه با انتخاب مناسب مسیر ورود بیلت به قالب در هر پاس، می توان شاهد میکروساختارهای متنوع بود[۶]. لازم به ذکر است که انجام این فرایند در دماهای بالاتر نیازمند تجهیزات ویژه‌ای از نظر مقاومت گرمایی و دوام قالب است[۹] .

۲-۲ تغییر شکل در قالب ECAE و زوایای ϕ و ψ

یکی از پارامترهای مهم درECAE، هندسه قالب می باشد که روی سیلان صحیح مواد در قالب و افزایش کرنش مورد نظر و در نتیجه کاهش خرابی قطعه اثرگذار است . همانگونه که قبلا ذکر شد قالب این فرایند از ۲ کانال با سطح مقطع مشابه که تحت زاویه خاصی بهم برخورد کردند، تشکیل شده است.(شکل ۲-۲)

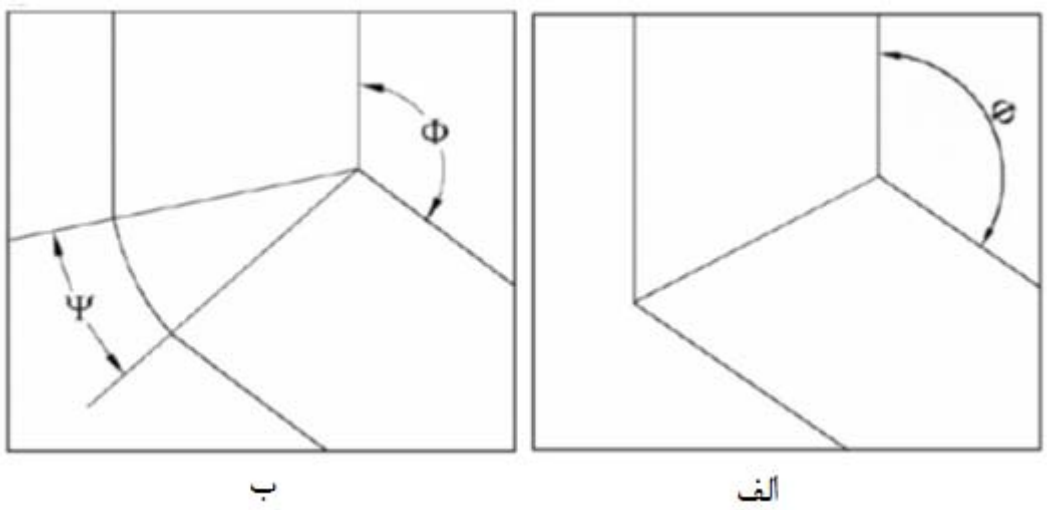


شکل۲-۲ قالب ECAE الف) $R_{int} < R_{ext}$ ب) $R_{ext} < R_{int}$ [۱۰]

مواد در قالب اکسترود شده و تحت مکانیزم برشی ناشی از یک فشار هیدرواستاتیک بالا در طول کانال ها تغییر فرم می دهد [۱۰] .

کرنش بدست آمده در این فرایند بطور مستقیم برخواص مکانیکی قطعه تاثیر گذار است و بنابراین طراحی قالب جهت دستیابی به مقادیر کرنش بالاتر، باید بهینه باشد. اثر پارامترهای هندسی روی کرنش پلاستیک حاصل مورد مطالعه قرار گرفته است. نتیجه این بررسی ها نشان می دهد که شعاع ماده پرکننده باید بر دیواره های قالب مماس باشند و افزایش شعاع داخلی منجر به افزایش تغییر فرم حاصله می شود.(همچنین شعاع داخلی نباید تیز باشد) [۱۰-۱۲].

مدل های ارائه شده برای قالب ECAE، توسط سگال و ایواهاشی بصورت شکل۲-۳ می باشند:



شکل۲-۳قالب ECAE ارائه شده توسط الف) سگال ب) ایواهاشی[۱۰]

همانطور که مشخص است در قالب مدل ایواهاشی، معایب زیر وجود دارد:

۱- لبه تیز درونی قالب باعث سایش[۱] سریع آن می شود که این خود نیز به تخریب موادی که درون قالب اکسترود میشود، می انجامد.

۲-مقدار بالای زاویه Ψ، جریان صحیح مواد را در فرایند ECAE بعلت غیر مماس بودن دیواره ها بر شعاع خارجی از بین می برد.

[۱] Wear