موسسه آموزش عالی غیرانتفاعی اروندان

انجمن علمی دانشگاه اروندان خرمشهر

جزوه درس اصول شکل دادن فلزات

WWW.USS.VCP.IR

به نام خدا

دانشگاه اروندان خرمشهر

گروه مهندسی ساخت و تولید

جزوه درسی اصول شکل دادن فلزات

(METAL FORMING)

مدرس: مهندس حسین توصیفیان

مقدمه ای بر فرآیندهای شکل دهی فلزی

۱-۱. مقدمه

شکل دهی فلزات شامل فرايندهايي است كه در انها يك شمشال(billet) يا پولك(blank) فلزي بوسيله چند ابزار يا قالب شكل داده مي شود. اين فرايندها عموما با افزايش خواص مكا نيكى در قطعات همراه می باشند به گونه ايي كه مي توان گفت شكل دهى فلزى عملياتى است كه در نتيجه ان شكل و خواص قطعات از طريق تغيير شكل مومسان و بدون هر گونه عمليات براده برداری تغيير می يابد. از مشخصه های اين مجموعه فرايندها يكى تغيير در كيفيت سطوح و ديگری دگرگونى ريز ساختار است كه به بهبود خواص مكانيكى می انجامد. مواد اوليه يا به اصطلاح قطعاتى كه بايد شكل داده شوند ممكن است به صورت گرم يا سرد-عملا منظور دمای محيط است- به فرايند وارد شوند.اگرچه نيرو يا انرژی مورد نياز شكل دهى در حالت گرم كمتر است،عموما ايجاد تغيير شكل ماندگار در فلزات نيروی زيادی را به كار ميگيرد. بدين سان ميتوان گفت ايجاد تغيير شكل مومسان در نتيجه اعمال انرژی زياد از اختصاصات اين فرايندها بوده كه در ساير روشهای شكل دهى نظير ريخته گری وجود ندارد. شكل دهى فلزات فرايندی كاملا ديناميک است به گونه ای كه معمولا از ان به عملياتى سريع و غير ارام تعبير می گردد. طراحي و كنترل چنين فرايندهايي به ويژگيهاي جنس ماده، شرايط در فصل مشترك ابزار و قطعه كار، مكانيك تغيير شكل پلاستيك (سيلان فلز)، تجهيزاتي كه مورد استفاده قرار مي گيرند و ملاحظات كيفيت نهايي سطح محصول بستگي دارد. اين عوامل انتخاب هندسه ابزار، ماده اوليه و شرايط شكل دهي نظير درجه حرارت ابزار و قطعه كار و روانكاري را تحت تاثير قرار مي دهند. به دليل پيچيدگيهاي حاكم بر بسياري از فرايندهاي شكل دهي فلزي، انواع روشهاي شبيه سازي و مدلسازي مثل شيوه هاي تحليلي، محاسباتي و فيزيكي به منظور طراحي بهينه فرايند مورد استفاده قرار مي گيرند. سه تعريف اساسى در شناخت مكانيزم حاكم بر فرايندهای شكل دهى فلزى وجود دارد . نخست شمشال(billet) ، تختال (slab) و پولك (blank) ميباشد كه اگرچه هر يك تعاريف خاص خود را دارنداما در حالت كلي به معناي قطعه ايی هستند كه شكل داده خواهد شد. دومين تعريف مربوط به عامل اعمال انرژی يا ضربه می باشد كه انرا رم يا كوبه گویند.سومين تعريف به قالب باز ميگردد و ان ابزاری است شامل يک يا چند حفره كه قطعه به كمک ان شكل دهى می شود. اين سه اصطلاح در بيشتر فرايندهای شكل دهي فلزات مطرح بوده، اشنايی با انها از مقدمات ورود به بحث است.

۱-۲. جنبه تاريخي

شكل دهي در كنار ريخته گري و متالورژي پودر سه روش عمده در ساخت و توليد محصولات فلزي مي باشند. البته شكل دهي نسبت به دو روش ديگر قديمي تر و توسعه يافته تر است. جديد ترين اكتشافات در تاريخچه شكل دهي فلزي ازنوعي چكش كاري مس و طلا درنواحي مختلف خاورميانه و مشخصا در قلمرو ايران باستان در ۸۰۰۰ سال قبل از ميلاد مسيح حكايت دارند. شكل دهي فلزات در ان زمان، عملياتي دور از تصور نمي باشد زيرا فرايند تصفيه با كمك ذوب و تفكيك شيميايي تا ان مقطع از تاريخ تحول بشر ناشناخته و بدين سان دشواري جداسازي ناخالصيها از سنگ معدن و مشكلات ان اساسا منتفي بوده است. بديهي است اين نقيصه قابليت كار نخستين محصولات تاريخ شكل دهي فلزي را محدود مي نموده است. با ظهورفرايند تصفيه مس در ۴۰۰۰ سال قبل از ميلاد روش مفيدي به منظور خالص سازي فلزات از طريق واكنش هاي شيميايي در فاز مايع بدست امد. بعد ها و در عصر مس بشر دريافت چكش كاري فلزات به طور مطلوبي استحكام انها را افزايش مي دهد (پديده ايي كه امروزه به عنوان كرنش سختي شناخته شده است). احساس نياز به استحكام هاي بالا انگيزه جستجوي الياژهايي شد كه بطور ذاتي مستحكم باشند ، جستجويي كه ابتدا به پيدايش برنز (الياژ مس و قلع) و پس از ان اهن (الياژهاي اهن و كربن) منجر شد. عصر اهن كه تاريخچه اغازان به ۱۲۰۰ سال قبل ازميلاد باز ميگردد ۱۳۰۰ سال پس از عصر برنز اغاز شد. علت اساسي اين تاخير نبود فلزاتي بود كه بتوانند درجه حرارت مورد نياز براي ذوب و تصفيه سنگ اهن را تحمل نمايند. تا قرن ۱۳ميلادي بسياري از فرايندهاي شكل دهي فلزي به صورت دستي انجام مي شدند. در اين زمان چكش هايي با سرعت زياد (tilt hammer) ساخته و براي نخستين بار در اهنگري لوله ها و ميله ها به كار گرفته شدند. اين ماشين از قدرت اب به منظور بالا

بردن بازويي اهرمي شكل كه ابزار چكش كاري در يك انتهاي ان قرار داشت، بهره مي گرفت. پس از بالا رفتن چكش، اهنگر انرا ازاد مي نمود تا در اثر نيروي وزن خود سقوط كرده و نيروي اهنگري را تامين كند. اين وسيله ساده براي قرنها مورد استفاده قرار گرفت. پس از تجهيزات اهنگري، غلطك هاي نورد رشد و تكامل تدريجي يافتند. در دفترچه يادداشت لئوناردو داوينچي طرحي مشتمل بر نقشه يك ماشين نورد سرب براي قاب پنجره هاي رنگي در سال ۱۴۸۰ ميلادي وجود دارد. در ۱۴۹۵ ميلادي داوينچي در جريان توليد ورقهاي تخت نورد شده از جنس فلزهاي قيمتي روي دستگاه نورد دستي و به منظورسكه زني قرار گرفت. در سالهاي بعد چندين دستگاه نورد در المان، انگلستان، ايتاليا و فرانسه طراحي شد. لازم به ذكر است طراحي دستگاههاي نورد گرم كه قادر به نوردكاري فلزات اهني داغ باشند ۲۰۰ سال به طول انجاميد. اين پيشرفت اهسته بيش از هر چيز با تهيه محدود اهن مرتبط مي شد. تا ميانه قرن ۱۸ ميلادي نيروي محركه غلطكهاي اوليه نورد كه ورق و صفحات تخت توليد مي نمودند انرژي هيدروليكي اب بود. درطول انقلاب صنعتي در انتهاي قرن ۱۸ ميلادي، فرايندهايي به منظور توليد اهن و فولاد در مقياس وسيع و به گونه ايي كه بتوانند تقاضاي محصولات فولادي را ارضا نمايند، طراحي شدند. از جمله اين ابتكارات مي توان به اختراع چكشهاي بخار سرعت بالا

(high speed steam hammer) كه در انها چكش با نيروي بخار بالا مي رفت و نيز پرس هاي هيدروليك كه در انها نيروي مورد نياز از طريق قدرت هيدروليك تامين مي شد، اشاره نمود. در نتيجه توسعه اين تجهيزات، قطعات متنوعي نظير اجزا لوكوموتيو ساخته وروانه بازار شدند. به طور مشابه اختراع موتور بخار به توسعه فرايند نورد منجر شد و به دنبال ان در قرن نوزدهم ميلادي محصولات مختلف فولادي به صورت انبوه نورد شدند. در صد سال گذشته پيشرفت هاي زيادي در زمينه هاي نوين شكل دهي فلزات از نظر تجهيزات، مواد جديد، خواص ويژه و كاربرد حاصل شده است. ازنمونه هاي جديد تجهيزات و ادوات مي توان به پرس هاي پيچي و مكانيكي اشاره نمود. همگام با پيشرفتهاي تدريجي در زمينه ماشين الات شكل دهي، مواد اوليه نيز بهبود كيفي يافته و گستره وسيع تري را شامل شدند. امروزه دامنه وسيعي ازفولادهاي كم كربن و فولادهاي پيشرفته استحكام بالا در صنايع خودروسازي به كار گرفته مي شوند. فلزاتي نظير الومينيوم، تيتانيوم و الياژهاي پايه نيكل به صورت روز افزون در صنايع هوافضا و ديگر شاخه هاي مهندسي مورد استفاده قرار مي گيرند. در سالهاي اخير روش هاي پيشرفته شكل دهي كامپوزيت ها و مواد استراتژيك گسترش يافته است. به علاوه ظهور كدهاي كامپيوتري در تقابل با كاربر و كامپيوترهاي ارزان به كيفيت بهتر محصولات و راندمان بالاتر فرايندهاي شكل دهي فلزي منجر شده است.

۱-۳.مروری بر خواص مواد

در اين قسمت خلاصه ايي از مهمترين خواص مكانيكي مواد ارائه می گردد. گرچه اين مرور اجمالی نكات عميق مربوط به مكانيك مواد را شامل نمی شود اما بدون ترديد دامنه وسيعی از اصطلاحات و تعاريف لازم را در بر می گيرد.

۱-۱-۳ نيروی محوری يا نرمال:

منظوراز نيروی محوری، نيرويی است كه عمود بر سطح اعمال ميگردد. دو تعريف زير از اين مفهوم ريشه می گيرند:

الف. نيروی كششی :

نيرويی است كه اعمال ان به دو انتهای قطعه، تمايل به ازدياد طول ايجاد می كند.(شكل ۱-۱)

شكل ۱-۱.نمايش نيروی كششی

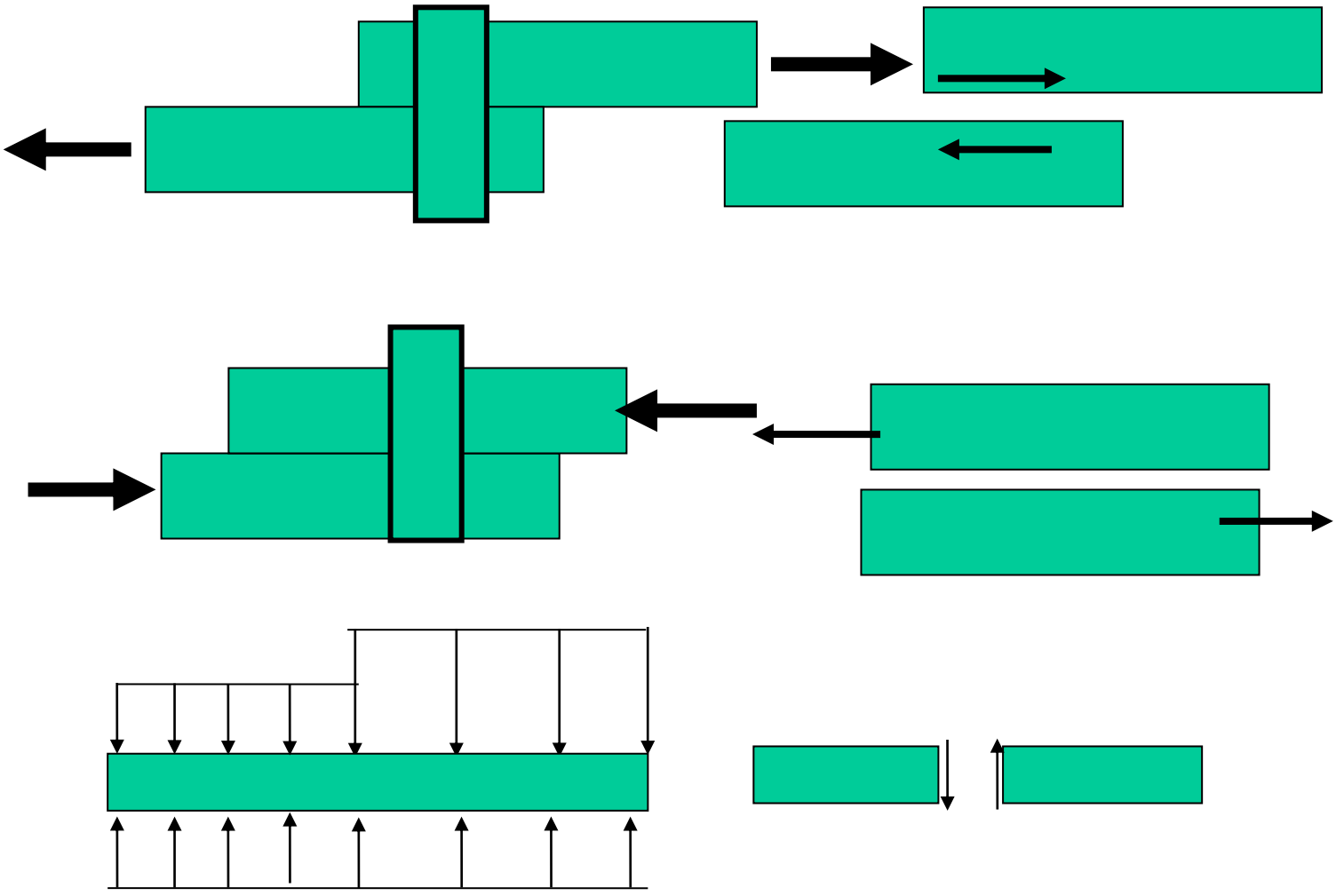
ب.نیروی فشاری:

نیرویی است که دو انتهای قطعه را در جهت کاهش طول می فشارد.(شکل۲-۱)

شکل۲-۱.نمایش نیروی فشاری.

۲-۱-۳. نیروی برشی یا مماسی :

نیرویی است موازی با سطح قطعه که مطابق شکل ۳-۱ تمایل به جداسازی اجزا از یکدیگردارد.



شکل۳-۱.نمایش نیروی برشی

۳-۱-۳. تنش:

یکی از مهمترین معیارهای طراحی و مقایسه خواص مواد است.تنش به صورت کلاسیک نیروی عمودی وارد بر واحد سطح تعریف میگردد. تنش و فشار به لحاظ فیزیکی هم ارز می باشند و یکای یکسان(نیوتن بر متر مربع)دارنداما به لحاظ عملی ، واژه تنش معمولا برای جامدات و واژه فشار بیشتر برای سیالات به کار می رود.شکل ۴-۱ توضیحاتی در این زمینه ارائه می کند.

$$\sigma = \frac{F}{A}$$

که در ان:

F: نیروی عمودی وارد بر سطح.

A: سطح مقطع جسم.

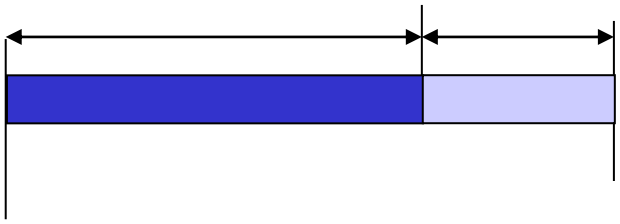
σ: تنش

شکل ۴-۱.تعریف تنش و مفهوم ان

۴-۱-۳. کرنش:

نسبت تغییر طول یک ماده - که در نتیجه فرایند تغییر شکل ایجاد می شود- به طول اولیه انرا کرنش گویند. کرنش کمیتی بدون بعد است. شکل ۵-۱ وتوضیحات ان به این مطلب می پردازد.

.



$$\varepsilon = \frac{e}{L - L_o}$$

e: تغییر طول

Lo: طول اولیه ماده

L: طول ثانویه ماده

ε : کرنش مهندسی

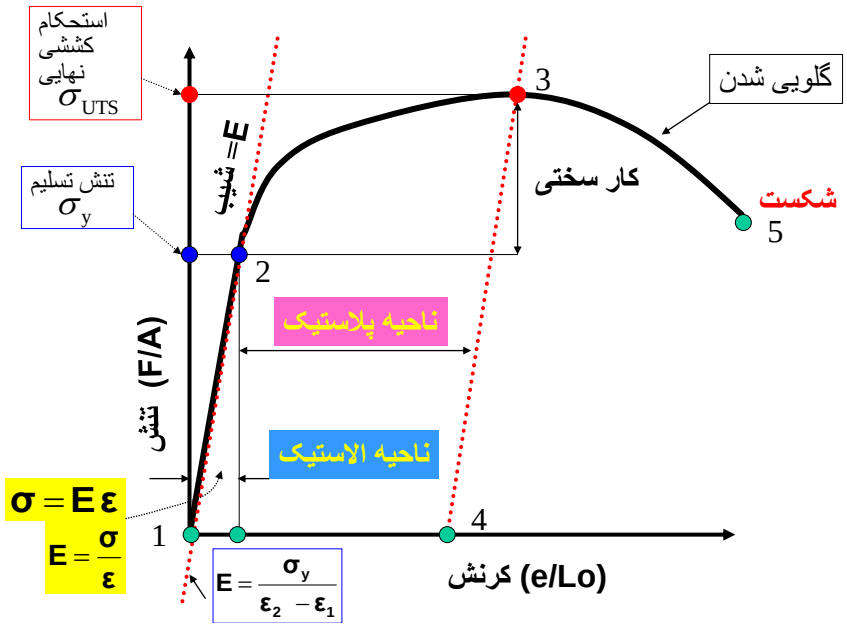
شکل ۵-۱ . کرنش مهندسی و مفهوم ان .

۵-۱-۳. نمودار تنش وکرنش

این نمودار رابطه تنش را بـر حسـب کـرنش نشـان مـی دهـد کـه بیـان دقیقی از رفتار ماده و مبین بسیاری خواص مکانیکی مهم ان است.هر ماده نمودار تنش و کرنش منحصر بفرد خود را دارد و البتـه بـرای یـک جنس مشخص ماده،این نمودار مسـتقل از ابعـاد نمونـه ایـی اسـت کـه تحت ازمون کشش - متداولترین ازمون بـرای تعیـین خـواص مکـانیکی مواد- یاازمون فشار قرار خواهد گرفت. شکل ۶-۱ دستگاه هیدرولیکی مخصوص ازمایش کشش و فشار را نمایش میدهد. نمونه اسـتانداردی از ماده مورد نظر به فکهای دستگاه بسته شده و ازمون اجرا میگردد.

شکل ۶-۱. دستگاه هیدرولیکی BALDWIN ،ویژه ازمون کشش و فشار

در طول ازمایش مقدار نیرو وازدیاد طول نمونه روی دستگاه ثبت می شوند. نمودار تنش بر حسـب کـرنش کـه شـبیه بـه نمـودار رسم شده در شکل۷-۱ میباشد، با این اطلاعات قابل رسم است.



شکل ۷-۱ .نمودار تنش- کرنش.

۶-۱-۳. ناحیه الاستیک (نقطه ۱ تا ۲).

در این ناحیه پس از حذف بار یا نیرو، قطعه (یا نمونه ایی که تحت ازمایش قرار می گیرد) به هندسـه و شـکل اولیـه بـاز مـی گردد.این اتفاق بسیار شبیه به کشیدن یک فنر یا یک تکه لاستیک و سپس ازاد نمودن ان است. در ایـن ناحیـه تـنش بـه صـورت خطی با کرنش متناسب است. و می توان گفت:

$$\sigma = E\varepsilon$$

$$E = \frac{\sigma}{\varepsilon}$$

که در ان :

σ :تنش (نیوتن بر متر مربع)

E : مدول الاستیک یا مدول یانگ (نیوتن بر متر مربع)

ε : کرنش

۳-۱-۷. حد تسلیم (نقطه ۲)

نقطه ایی است که در ان تغییر شکل دائم رخ می دهد. با عبور از این نقطه،ماده هرگز به هندسه و طول اولیه باز نمی گردد.

۳-۱-۸. ناحیه پلا ستیک (نقطه ۲ تا ۳)

چنانچه ماده در محدوده ایی فراتر از نقطه تسلیم بار گذاری شود ، در صورت حذف بار به ابعاد اولیه باز نمی گردد و بدین سان مقداری تغییر شکل دائم در ان ایجاد می شود. چنانچه در نقطه ۳ بار از روی جسم بر داشته شود، منحنی مسیری موازی با ناحیه الاستیک و از نقطه ۳ به نقطه ۴ را خواهد پیمود. در این حالت فاصله بین نقاط ۱ تا ۴ روی محور افقی بیانگر میزان تغییرشکل ماندگار خواهد بود. باید توجه داشت تغییر شکل پلاستیك در اثر لغزش صفحات اتمي در امتداد صفحات و جهات كريستالي معين كه جمعا سيستمهاي لغزشي معين ناميده مي شود، انجام مي گيرد.

۳-۱-۹. کرنش سختی (کار سختی)

چنانچه ماده در نقطه ۴ دوباره بارگذاری شود منحنی به نقطه ۳ باز می گردد. این بازگشت موازی ناحیه الاستیک و با شیبی برابر مدول یانگ رخ خواهد داد.اکنون ماده در نقطه ۳ دارای حد تسلیم بیشتری از نقطه ۲ می باشد.این افزایش در حد تسلیم ماده که در نتیجه ایجاد کرنش یا تغییر شکل ماندگار در ان است را کرنش سختی گویند. در واقع تغيير شكل پلاستيك در زير دماي تبلور مجدد موجب افزايش سختي و استحكام و كاهش شكل پذيري قطعه مي گردد.

۳-۱-۰. تنش کششی (نقطه ۳)

بیشترین مقدار تنش روی منحنی تنش - کرنش، به تنش کششی (TS) یا تنش کششی نهایی (UTS) معروف است. تنش کششی نهایی در واقع بیشترین مقدار تنش است که ماده می تواند بدون شکست تحمل کند.

۳-۱-۱۱.نقطه شکست (نقطه ۵)

اگر ماده در نقطه ۳ (تنش کششی نهایی) به صورت کششی بارگذاری شود، تغییر شکل ان غیر یکنواخت بوده و پدیده گلویی شدن رخ خواهد داد. در واقع ضمن باریک شدن نمونه مقدار تنش نیز کم شده، سر انجام در نقطه ۵ شکست اتفاق می افتد.

۳-۱-۱۲.استحکام.

مقا ومت ماده را در برابر تغییر شکل و تمایل انرا به حفظ نمودن شکل اولیه ،استحکام گویند.استحکام به صورت کمی و شهودی در مفاهیم تنش تسلیم و تنش کششی نهایی قابل درک است. به دیگر بیان هر اندازه تنش تسلیم یا تنش کششی نهایی ماده ای بیشترباشد ،استحکام ان بیشتر خواهد بود و بالعکس. فولادهای پر کربن و فلزات الیاژی استحکام بالاتری از فلزات خالص دارند.

۳-۱-۱۳.سختی.

مقاومت ماده را در برابر فرورفتگی ،خراش و سایش سختی گویند. سختی یک جسم معمولا بر حسب معیارهای برینل و راکول بیان می گردد.استحکام و سختی مفاهیم بسیار نزدیکی هستند زیرا هر دو به ماهیت پیوندهای شیمیایی مواد باز می گردند. معمولا سختی و استحکام با هم رابطه مستقیم دارند به گونه ایی که بالا بودن یکی مترادف با زیاد بودن دیگری نیز می باشد.در جدول ۱-۱ سختی چند ماده مختلف بر حسب معیار برینل ارائه شده است.

۱۴-۱-۳.شکل پذیری (چکش خواری)

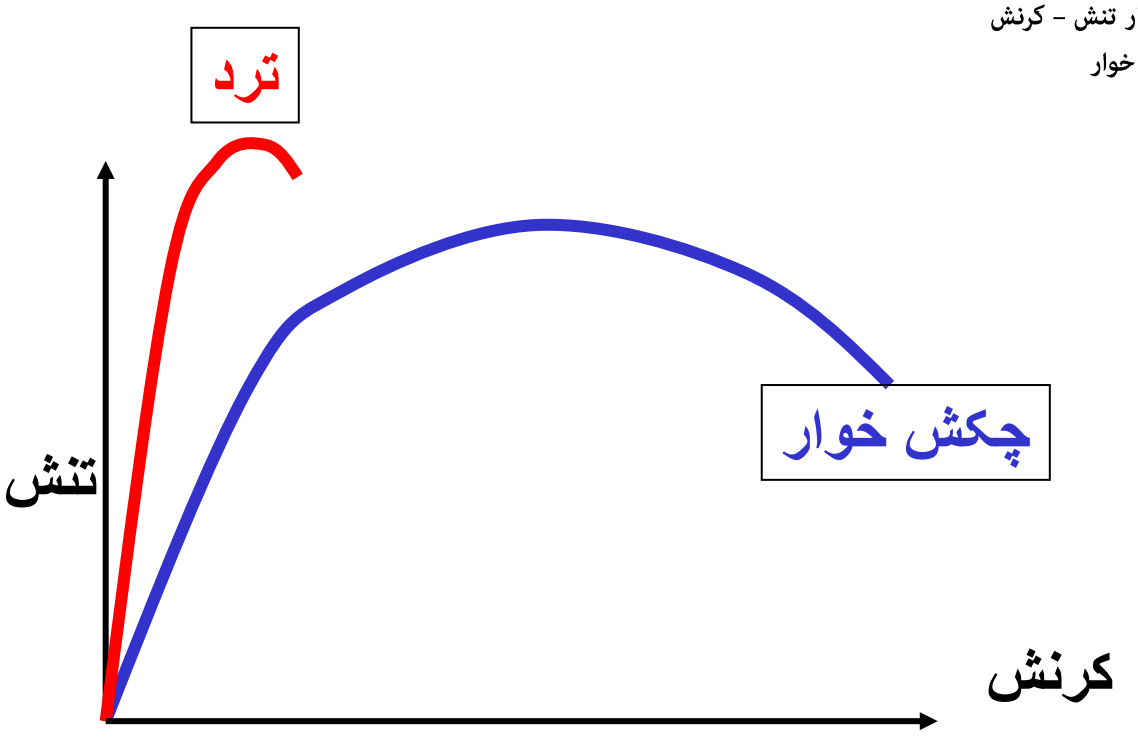
میزان تغییر شکل ماده قبل از شکست را شکل پذیری گویند. به لحاظ عددی مقدار کرنش به ازائ تنش شکست و روی منحنی تنش- کرنش، معیاری از شکل پذیری ماده خواهد بود. فولاد های کم کربن ،الومینیوم ، مس و برنج نمونه ایی از بهترین مواد شکل پذیر می باشند.

۱۵-۱-۳. شکنندگی یا تردی(بریتلنس)

عدم قابلیت شکل پذیری ماده تا قبل ازنقطه شکست را شکنندگی گویند. بر خلاف قطعات چکش خوار ، مواد ترد تا قبل از شکست نهایی تغییر شکل ناچیزی از خود نشان می دهند. شیشه،اهن ریخته گری ،سرامیک وفولادهای پر کربن نمونه هایی از چند ماده ترد هستند. نمودار تنش- کرنش مواد ترد دارای تفاوت اساسی با مواد چکش خوار است. شکل ۸-۱ به صورت شماتیک به این مطلب پرداخته است.

Material	Brinell Hardness
Pure Aluminum	15
Pure Copper	35
Mild Steel	120
304 Stainless Steel	250
Hardened Tool Steel	650/700
Hard Chromium Plate	1000
Chromium Carbide	1200
Tungsten Carbide	1400
Titanium Carbide	2400
Diamond	8000
Sand	1000

جدول ۱-۱. مقایسه سختی چند ماده متداول صنعتی.



شکل ۸-۱. مقایسه نمودار تنش – کرنش مواد ترد و مواد چکش خوار

۱۶-۱-۳. چقرمگی

قابلیت جذب انرژی یک ماده ، کیفییتی از ان ماده است که به چقرمگی معروف می باشد.اگرچه ارائه تصوری شهودی از این خاصیت دشوار است ، چقرمگی یک ماده را از دو طریق اندازه گیری می کنند. نخست محاسبه مساحت زیر منحنی تنش-کرنش است که انرژی جذب شده توسط ماده را در واحد حجم ارائه می کند. دومین روش تست ضربه می باشد که در واقع قابلیت جذب انرژی در اثر ضربه و پیش از شکست را ارزیابی می نماید.

۱۷-۱-۳.خستگی

قطعاتي كه تحت تنش‌هاي تكراري قرار دارند ممكن است در سطح تنشي بسيار پايين‌تر از استحكام تسليم در حالت تنش يكنواخت دچار شكست شوند. اين فرآيند كه عامل شكست حداقل ۹۰% سازه‌هاي مكانيكي است خستگي ناميده مي‌شود.

۱۸-۱-۳. ناهمسانگردی

تغيير در خواص مكانيكي ماده در جهات مختلف را ناهمسانگردي گويند. مهمترين عامل ناهمسانگردي خواص مومسان در فلزات، جهتگيري ترجيحي دانه ها يا به ديگر بيان گرايش اماري دانه ها به جهت هاي بلور شناسي خاص است.

۱-۴. عوامل موثر بر خواص مواد

در حالت کلی دو عامل، یکی درجه حرارت ودیگری محیط بر خواص مواد اثر می گذارند. افزایش درجه حرارت به کاهش مدول الاستیک ، تنش تسلیم و استحکام کششی نهایی و کاهش ان به افزایش چکش خواری و کاهش تردی می انجامد. مراد از بحث محیط نیز اشاره به نقش سولفیدها ، اکسیژن و مخصوصا اکسیژن موجود در اب ونیزاثر تششع بر خواص مواد می باشد.

۱-۵. دسته بندی فرایندهای شکل دهی فلزات

فرایندهای شکل دهی فلزات را می توان از دیدگاههای مختلف دسته بندی نمود:

- کارداغ، کارگرم وکارسرد.
- شکل دهی حجمی و شکل دهی صفحه ایی.
- فرایندهای شکل دهی اولیه وثانویه .
- فرایندهای شکل دهی یکنواخت و غیر یکنواخت.
- فرایندهای شکل دهی تدریجی و پیوسته.

حال برای عمیق تر شدن مطلب هر یک از مفاهیم و اصطلاحات فوق به اختصار موردبررسی قرار می گیرند.

کار سرد:

*در درجه حرارتی کمتر از ۰.۳ نقطه ذوب فلز مورد نظر انجام میشوند.

*درعمل و برای بسیاری فلزات مهندسی این دما به مثابه دمای اتاق می باشد.

*پدیده کار سختی حاکم میباشد.

کار گرم:

*درجه حرارت بین ۰.۳ تا ۰.۵ نقطه ذوب فلز می باشد.

* تنش سیلان تا حدی کمتر از فرایندهای کار سرد است.

کار داغ:

*در دمایی بالاتر از دمای تبلور مجدد انجام می گیرند.

*درجه حرارت بیشتر از ۰.۵ یا ۰.۶ نقطه ذوب فلز است.

فرایندهای شکل دهی صفحه ایی:

*ماده خام ورودی به صورت ورق است.

*تغیرات در ضخامت بسیار کم می باشد.

*تنش های اعمالی اغلب کششی هستند.

فرایندهای شکل دهی حجمی:

*ماده ورودی به صورت میله یا بیلت یا از این قبیل است.

*ضخامت قطعه به صورت محسوسی کاهش می یابد.

* تنش های اعمالی اغلب فشاری هستند.

فرایندهای شکل دهی اولیه:

*بیشتر برای تولید ماده اولیه سایر فرایندها کاربرد دارند.

* از این دسته می توان فرایندهایی نظیر نورد،کشش و اکستروژن را نام برد.

فرایندهای شکل دهی ثانویه:

*بیشتر برای تولید قطعات ترکیبی کاربرد دارند.

*ماده خام انها از فرایندهای شکل دهی اولیه بدست می اید.

* از این دسته می توان به فرایندهایی نظیراهنگری و کشش عمیق اشاره نمود.

فرایندهای شکل دهی یکنواخت:

*اساسا حالت تنش ثابت دارند.

*محصول به صورت پیوسته شکل دهی میگردد.

* از این دسته می توان فرایندهایی نظیر نورد،کشش و اکستروژن را نام برد.

فرایندهای شکل دهی غیر یکنواخت:

*حالت تنش در طول فرایند شکل دهی به طور پیوسته تغییر میکند.

* از این دسته می توان به فرایندهایی نظیراهنگری و کشش عمیق اشاره نمود.

فرایندهای شکل دهی یک بعدی:

*یک خط یا صفحه تماس بین ابزار و قطعه کار وجود دارد.

*تنها یک حرکت نسبی برای ایجاد هندسه مورد نظر لازم است.

فرایندهای شکل دهی دو بعدی:

*تنها یک خط تماس بین ابزار و قطعه کار وجود دارد.

* ایجاد هندسه مورد نظرمستلزم داشتن دو حرکت نسبی است.

*فرایندهای شکل دهی تدریجی از این د سته اند.

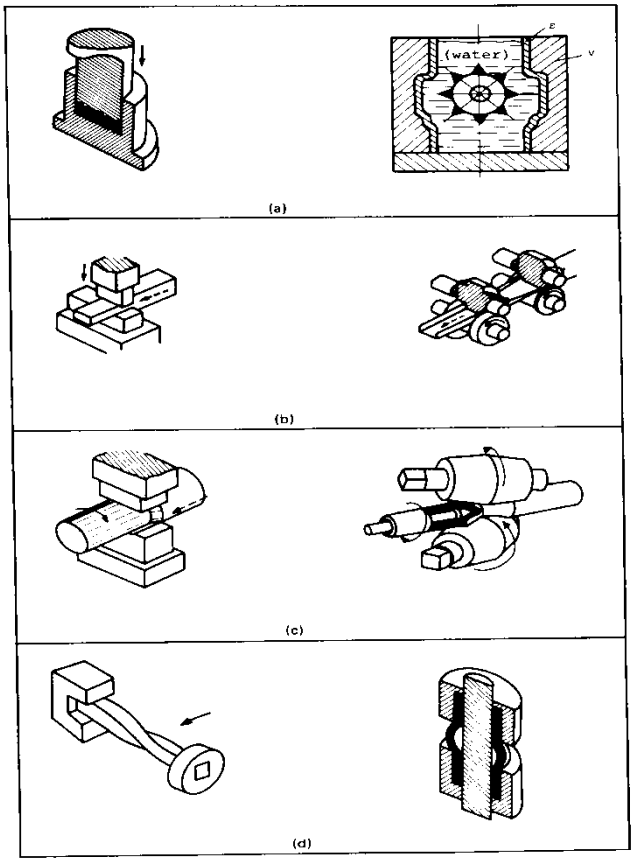
فرایندهای شکل دهی ازاد:

*ابزار فاقد هندسه و شکل نهایی قطعه است.

فرایندهای شکل دهی نهایی:

*ابزار دارای بیشترین شباهت به شکل نهایی قطعه میباشد.

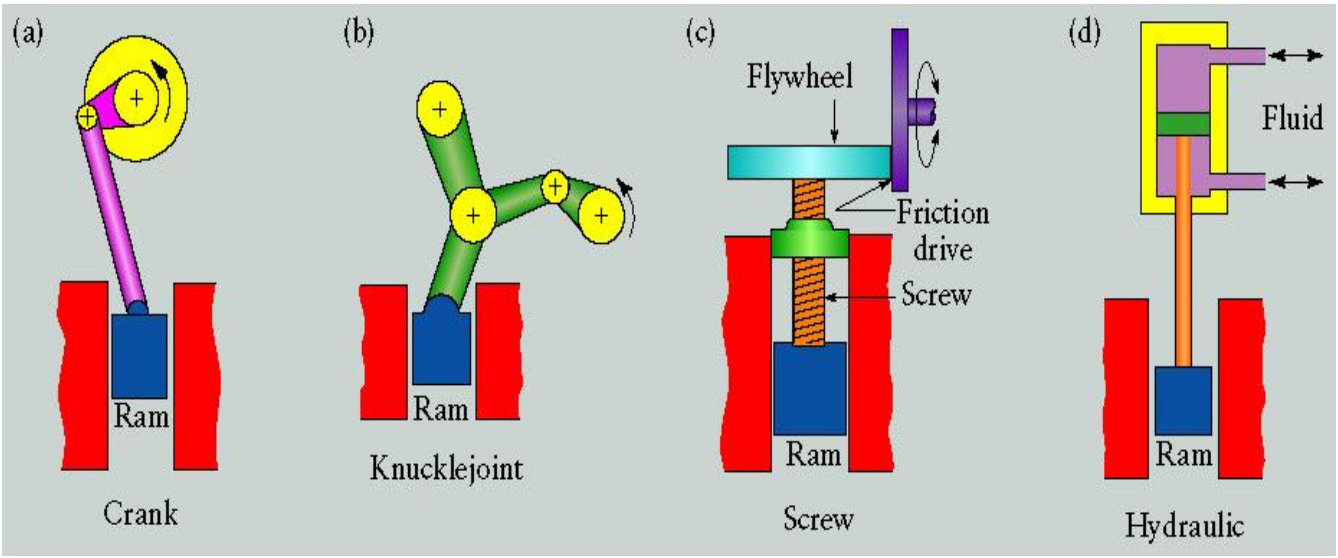
شکل ۹-۱ شماتیک مربوط به چهار تعریف اخیر را ارائه میکند.



شکل۹-۱. a) فرایندهای شکل دهی نهایی،b) فرایندهای شکل دهی یک بعدی c) فرایندهای شکل دهی دو بعدی d) فرایندهای شکل دهی ازاد.

۱-۶. انواع ماشین های شکل دهی فلزی

فرایندهای مختلف شکل دهی فلزی تنوع وسیعی از تجهیزات و ماشین الات را می طلبند. مهمترین ماشین هاي شکل دهي فلزي عبارتند از پرس ها، چکشها وماشینهاي مخصوص فرایندهاي شکل دهي با نرخ بالاي انرژي. از این میان پرسها کاربرد بیشتري در فرایندهاي شکل دهي فلزي پیدا کرده اند. پرس ها با مکانیزم هاي متفاوتي ساخته مي شوند. معروفترین پرسها عبارتند از پرسهاي مکانیکي، هیدرولیکي، قفلي و پیچي که در شکل شماتیك ۱۰-۱ ارائه شده اند.



شکل ۱۰-۱. طرح شماتیك انواع پرس. a) مکانیکي b) قفلي c) پیچي d) هیدرولیکي

در میان انواع مختلف پرس ، پرسهاي مکانیکي و هیدرولیکي بیشتر مورد استفاده قرار مي گیرند. در مقایسه با نوع هیدرولیکي، پرسهاي مکانیکي سرعت بیشتر و دقت کمتر دارند. باید توجه نمود قابلیت تنظیم کورس در پرسهاي هیدرولیکي به مراتب بهتر بوده، قدرت بیشتري در اعمال نیرو دارند. در حالت کلي مي توان مهمترین ویژگیهاي پرسهاي هیدرولیك را به صورت زیر دانست.

- سرعت ثابتي را در طول کورس فراهم مي کنند.

- برخي محدوديتها در اعمال نيرو دارند.
- هزينه هاي اوليه بالايي را مي طلبند.
- نگهداري انها اسان است.

در مورد پرسهاي مكانيكي نكات زير وجود دارد:

- به صورت ميل لنگ يا خارج از مركز وجود دارند.
- كورس انهامحدود است.
- انرژي ان به ميزان ذخيره شده در چرخ طيار بستگي دارد.
- در نقطه مرگ پايين مي تواند انرژي بسيار زيادي را تامين كند.
- در طراحي قالب مي بايست احتياط نمود تا از شكست ان جلوگيري شود.

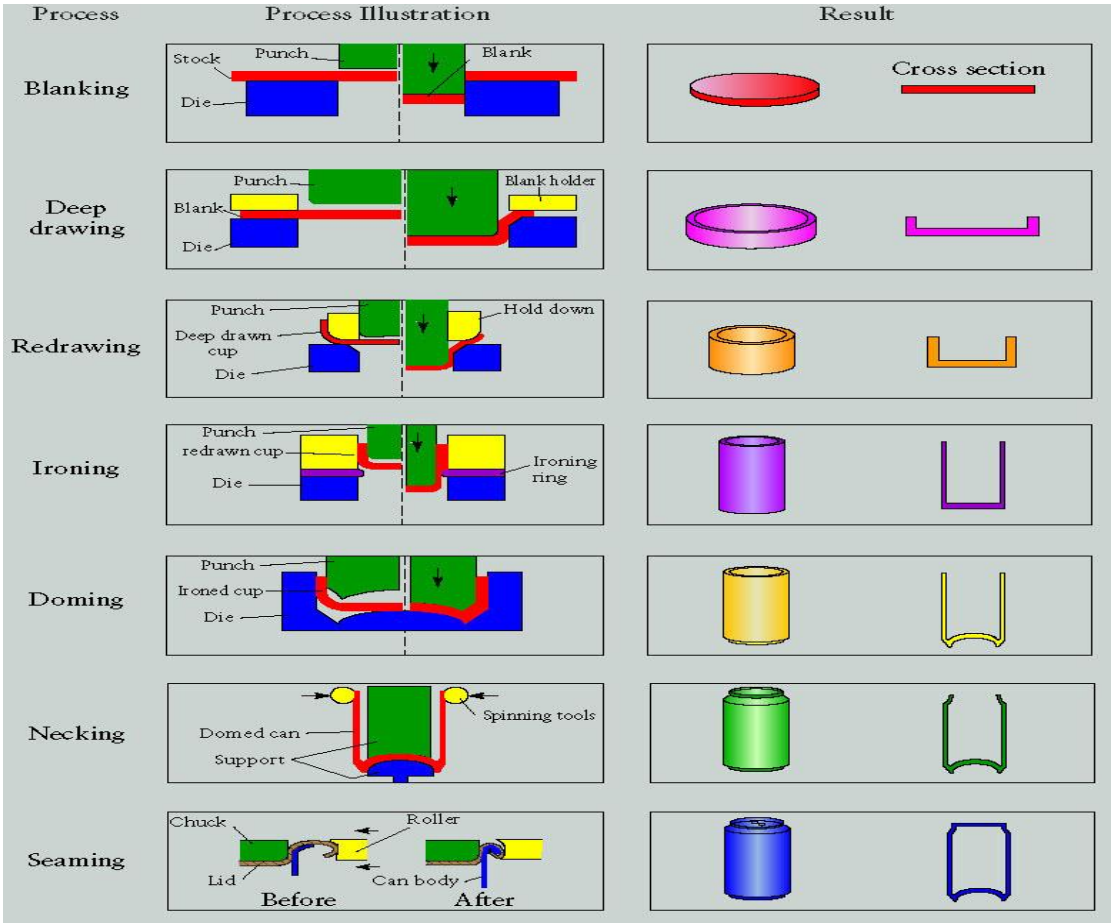
فصل دوم:

فرآیندهای شکل دهی صفحه ایی

۱- مقدمه:

شکل دهی ورق های فلزی نقش بسیار مهمی را در دنیای ساخت و تولید ایفا می کند. بسیاری قطعات پیرامون ما، از لولای ساده در گرفته تا قطعات خودرو با فرایندهای شکل دهی صفحه ایی تولید می شوند.

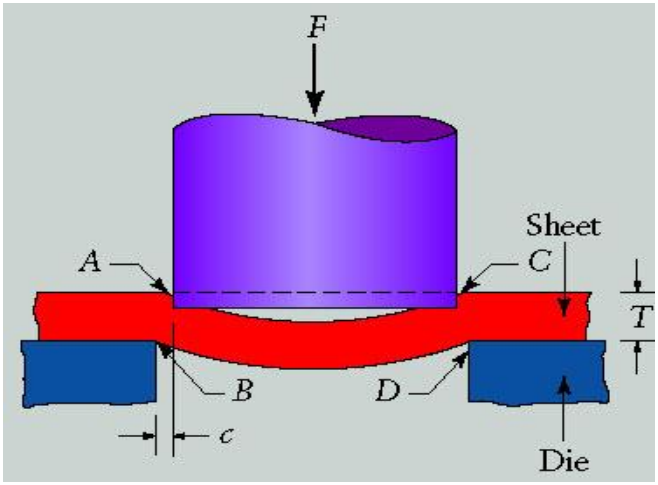
شکل ۱-۲ طرح نمونه ایی از فرایند های شکل دهی فلزی که درتولید قوطیهای انواع نوشیدنی ها به کار می روند را ارائه می کند.



شکل ۱-۲. انواع فرایندهای شکل دهی ورق های فلزی.

منظور از فرایندهای شکل دهی صفحه ایی، شکل دهی ورق های فلزی با نسبت بزرگی از مساحت سطح ورق به ضخامت ان می باشد. معمولا نیروهای کششی در شکل دهی ورق ها مطرح هستند و در این قسمت بکارگیری تنش های فشاری عموما به کمانش، چین خوردگی وپیچش منجر می شود. عواملی نظیر ازدیاد طول، تنش تسلیم، ناهمسانگردی، اندازه دانه ها، تنش های پسماند، برگشت فنری و کمانش از مهمترین پارامترهای مطرح در شکل دهی ورق ها می باشند. برش، خمکاری، هیدروفرمینگ، شکل دهی انفجاری و کشش عمیق مشهورترین فرایندهای شکل دهی صفحه ایی هستند که هریک ویژگیها و امتیازات خاص خود را دارند. از این میان مهندسین طراح با بررسی خواص مکانیکی مورد نیاز و انتخاب موادی که خواص مورد نظر را تامین کنند ، مناسب ترین تکنیک تولید را برمی گزینند. در این بخش اساس تمامی فرایندهای شکل دهی ورق های فلزی ارائه و در هر مورد توضیحاتی بیان شده است.

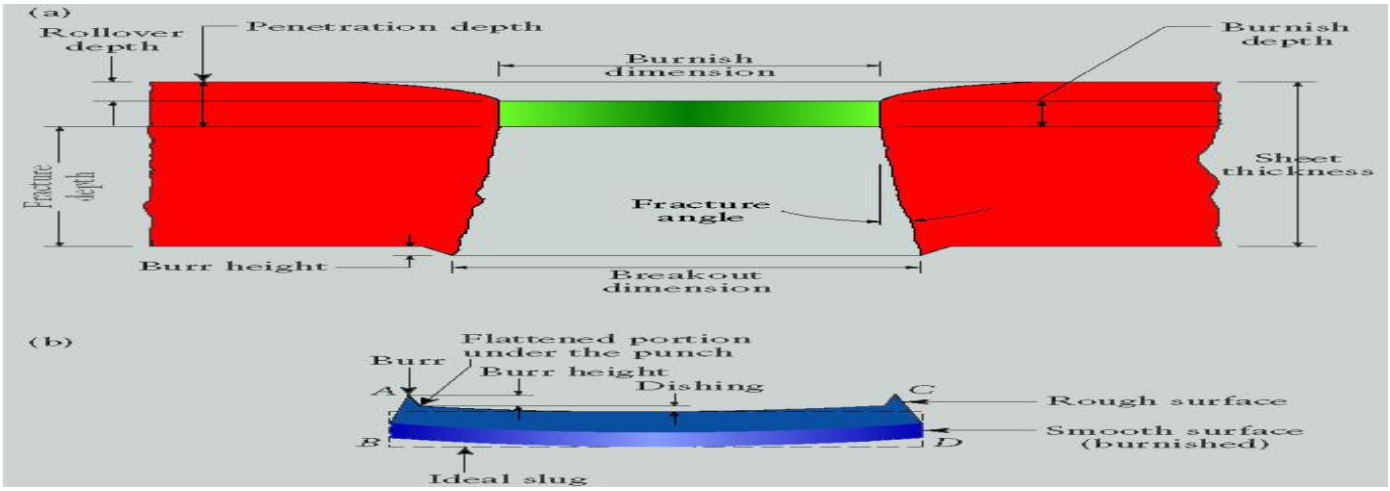
۱- برش (Shearing):



شکل دهی فلزات در اثر تنش برشی بین سنبه و ماتریس را برش گویند. شکل ۱-۲ شماتیک فرایندهای برش با سنبه و ماتریس را ارائه می کند. این فرایند روش متداول ایجاد سوراخ در ورق های فلزی است.

شکل ۱-۲. برش ورق بین سنبه و حفره ماتریس.

فولادهای کم کربن متداولترین جنس برای ورق های فلزی برش هستند.البته در صنایع هوایی بیشتر از الومینیوم و تیتانیوم استفاده می شود.همانگونه که در شکل ۲-۲ نیز نمایان است برش معمولا با شکل گیری ترکهایی در هر دو لبه بالا و پایین قطعه کار اغاز میگردد.این ترکها بهم رسیده و جدایش پولک از ورق اتفاق می افتد.



شکل ۲-۲. مشخصات سوراخ و پولک ایجاد شده.a) سوراخ ایجاد شده توسط سنبه.b) پولک جدا شده از ورق.

باید توجه داشت به دلیل تنش های پسماند حاصل از فرایند برش ،ابعاد پولک نسبت به ابعاد مقطع سنبه تا حدودی افزایش می یابد (بازگشت الاستیک) . بدین سان پولک حاصل از فرایند برش اندکی از حفره ماتریس چاق تر خواهد بود. پارامترهای این فرایند عبارتند از:

*شکل قطعه که هندسه سنبه و ماتریس را تعین میکند.

*سرعت سنبه

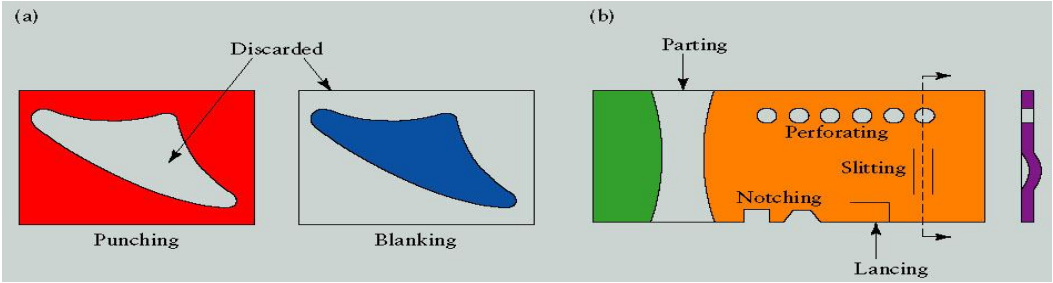
*روانکاری

*لقی بین سنبه و حفره ماتریس

چندین عملیات بر پایه فرایند برش انجام میشوند که مهمترین انها به شرح زیر اند:

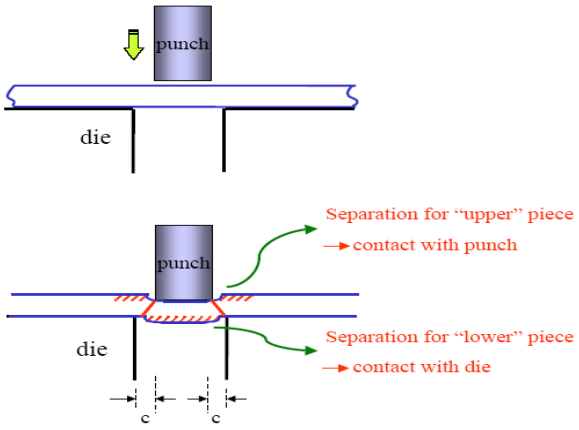
*عملیات بلنک زنی(پولک زنی) که در ان مطابق شکل ۳-۲ قسمت جدا شده از ورق، بلنک (پولک) مورد نظر میباشد . بد یهی اینکه در این حالت قسمت باقیمانده ورق اضا فی میباشد.

*عملیات سوراخ زنی که در ان مطابق شکل ۳-۲ قسمت جدا شده از ورق،اضافی بوده و قسمت باقیمانده بلنک (پولک) میباشد.



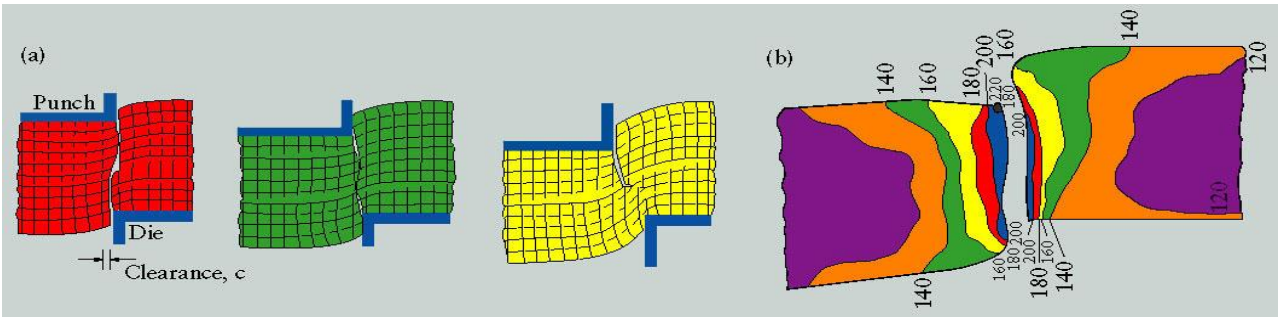
شکل۳-۲. a) نمایش عملیاتهای بلنک زنی و سوراخ زنی. b) مثالهایی از فرایندهای مختلف برش در ورق های فلزی.

در بحث برش و طراحی قالب ، لقی و انتخاب مقدار مناسب ان بسیار حائز اهمیت می باشد. در حالت کلی میزان لقی تابعی از جنس ورق و ضخامت ان ، ابعاد بلنک وفا صله مرزهای برش تا لبه های ورق می باشد. میزان لقی برای مواد نرم کمتر از مواد سخت تر در نظر گرفته می شود.مطابق شکل ۴-۲ با افزایش لقی تمایل ورق به کشیده شدن در حفره ماتریس بیشتر از تمایل ان به برش خواهد بود.



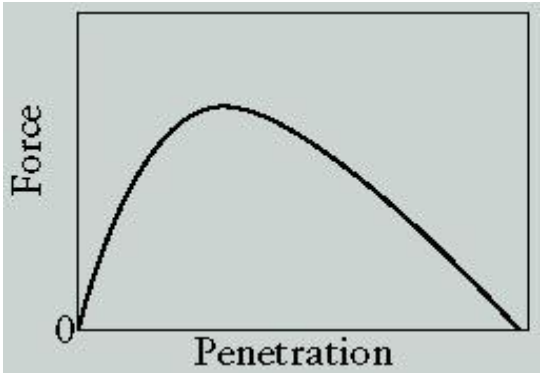
شکل ۴-۲ .با افزایش لقی ،تمایل ورق به کشیده شدن در حفره ماتریس زیاد می گردد.

در عمل مقدار لقی بین ۲ تا ۱۰ در صد ضخامت ورق در نظر گرفته می شود. در شکل a - ۵-۲ اثر لقی بین سنبه و ماتریس در ناحیه تغییر شکل و در قسمت b کانتورهای سختی بر اساس معیار ویکرز برای یک ورق فولادی AISI 1020 با ضخامت ۶.۴ میلیمتر بررسی شده است.



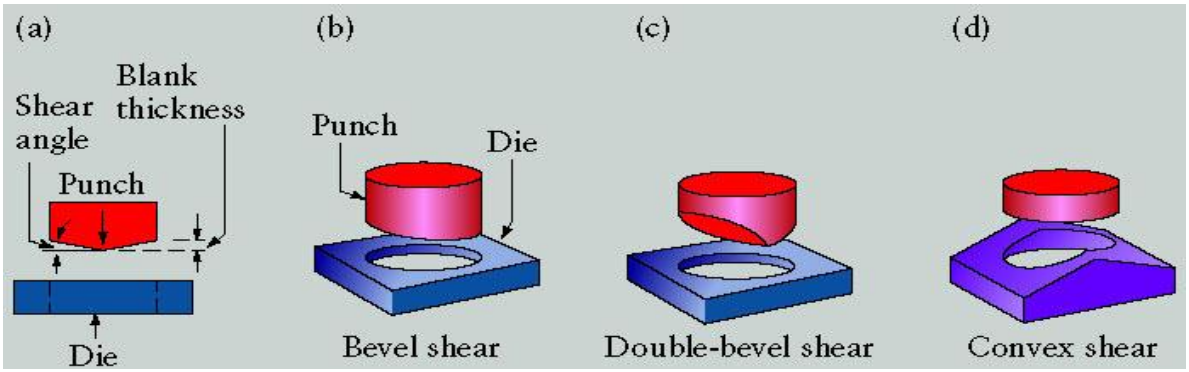
شکل ۵-۲ a) اثر لقی بین سنبه و ماتریس در ناحیه تغییر شکل b) کانتورهای سختی بر اساس معیار ویکرز

شکل ۶-۲ نمودار نیرو بر حسب عمق نفوذ سنبه در ورق را نشان می دهد. سطح زیر نمودار بیانگر کار لازم برای انجام عملیات برش می باشد.این مساحت که بیانی از نیروی مورد نیاز شکل دهی (تناژ پرس) است به شکل قطعه و پارامترهای فرایند بستگی دارد.



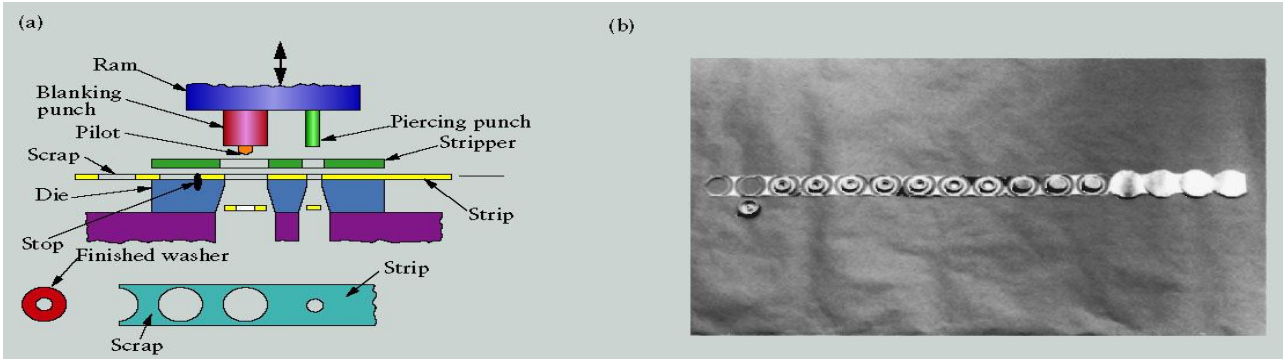
شکل ۶-۲. نمودار نیرو بر حسب جابجایی سنبه (عمق نفوذ)

به منظور کاهش نیروی مورد نیاز معمولا و با در نظر گرفتن ملا حظاتی سر سنبه یا ماتریس را به صورت شیبدار می سازند و اصطلاحا انرا قیچی کردن سر سنبه یا ماتریس گویند.(شکل ۲-۷)



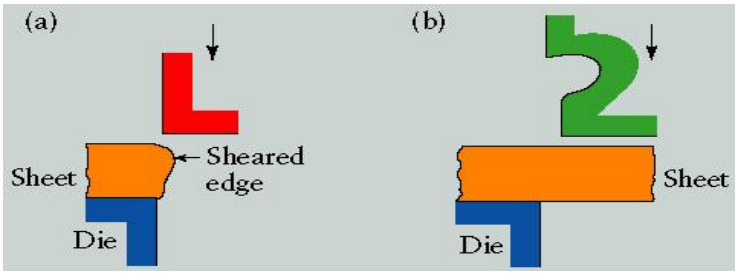
شکل ۲-۷ . مثالهایی از قیچی کردن سر سنبه و ماتریس

در برخی موارد لازم است تعدادی عمل برش به صورت سری روی ورق انجام گیرد. بدین منظور چند ایستگاه کاری (مرحله) در قالب تعبیه می شود به گونه ایی که در هر مرحله بخشی از قطعه ایجاد شده و با هدایت ورق به سمت خروجی قالب در اخرین ایستگاه ، محصول تکمیل می گردد. چنین قالبی را قالب مرحله ایی گویند. شکل ۲-۸ فرایند تولید واشر در یک قالب مرحله ایی را ارائه می کند.



شکل ۲-۸. a) تولید واشر در قالب مرحله ایی.b) نمایش ورق برش خورده در یک قالب مرحله ایی و محصول نهایی این فرایند (درب بالایی قوطی اسپری)

سطوح بریده شده بوسیله قالبهای معمولی حتی در مواردیکه همه پارامترها - از جمله لقی - بهینه انتخاب شوند، سطوح صاف و تمیزی نیستند. بنابراین اگر هدف تولید قطعات با دیواره های پرداخت باشد لازم است عمل اصلاح نیز صورت گیرد. شکل ۲-۹ به این مطلب می پردازد.

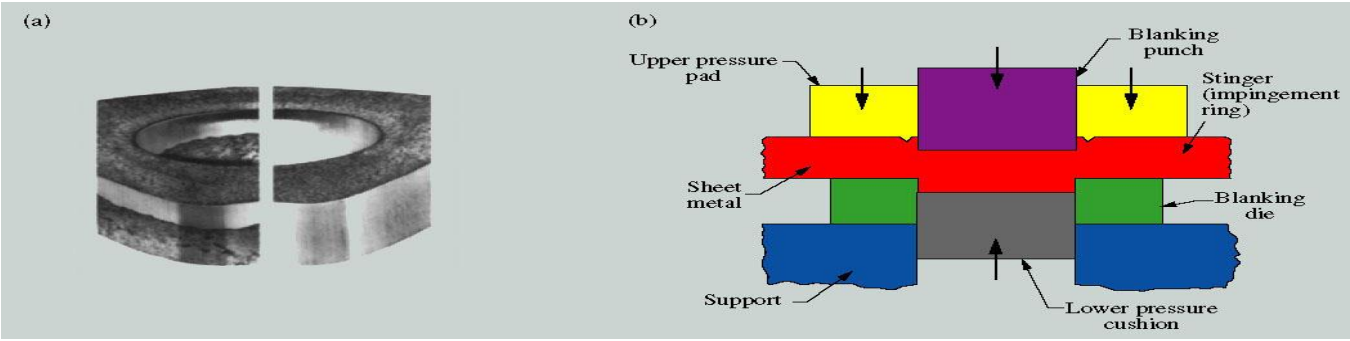


شکل ۲-۹. a) اصلاح یک لبه برش خورده. b) ترکیب عمل برش و اصلاح در یک ضرب پرس.

تلاش برای تولید قطعات با دیواره های صاف و پرداخت بوسیله خود عمل برش ونه هیچ عملیات اضافی دیگر به ساخت قالبهای دقیق منجر شد. در این قالبها معمولا سنبه در حفره ماتریس وارد نمی شود و فقط تا سطح ماتریس در ورق فرو می رود. مشخصه متمایز این روش لقی بسیار کم بین سنبه و ماتریس است.در شکل

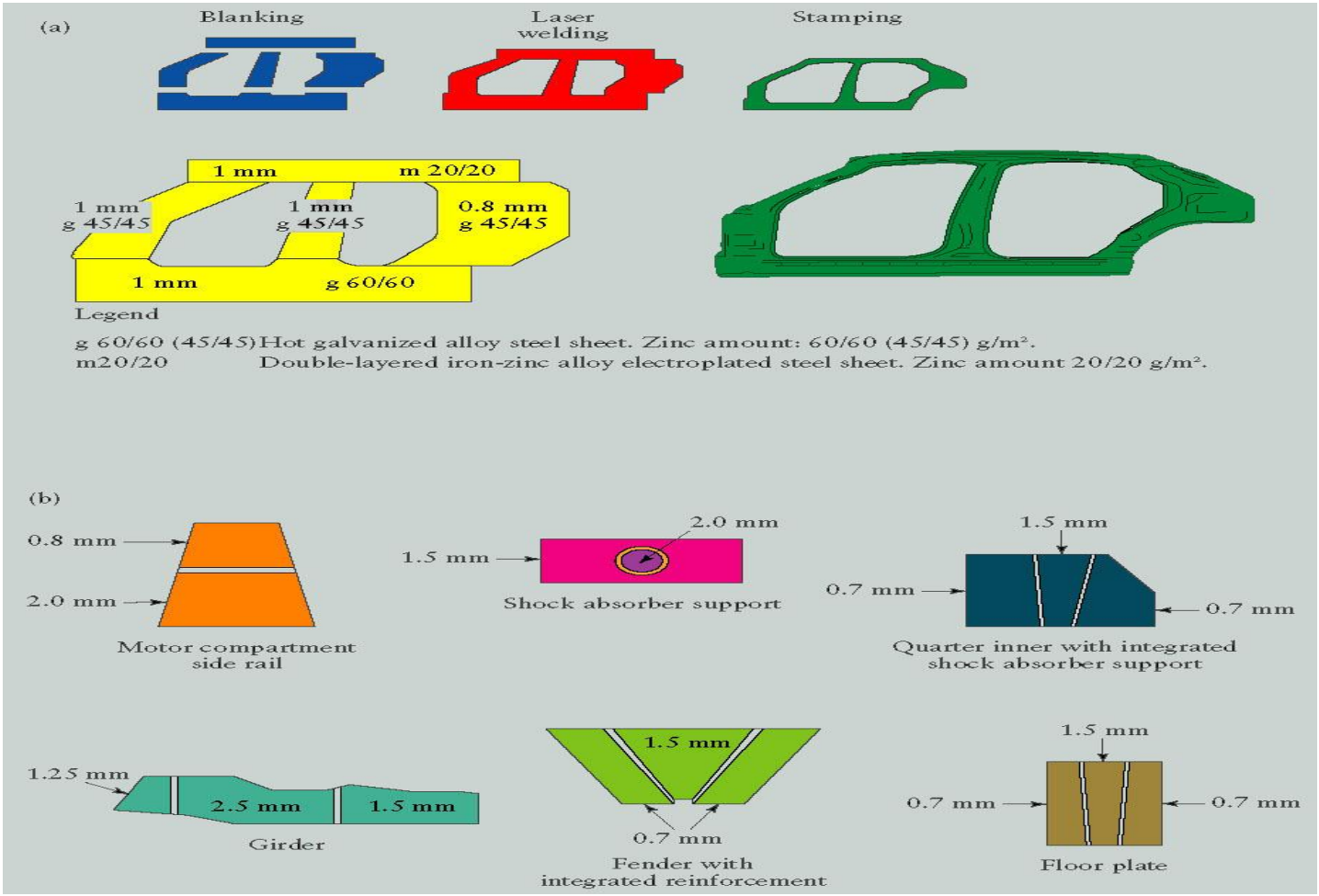
a- ۲-۱۰ مقایسه ایی عملی بین کیفیت سطح حاصل شده از قالبهای برش معمولی وقالبهای دقیق ارائه شده است.

شکل b -۲-۱۰ طرح شماتیک یک قالب دقیق را نمایش می دهد.



شکل ۱۰-۲. a) محصول قالب سنتی (چپ) و قالب دقیق (راست). b) طرح شماتیک قالب دقیق

علاوه بر موارد گذشته ، صنعت پیشرفته امروزشیوه های دیگری از فرایند برش فلزات را نیز مورد استفاده قرار می دهد. یکی از نمونه های معروف ، جوش دادن دو یا چند ورق فلزی است که عموما دارای ضخامت و حتی جنسهای متفاوتی می باشند. این مجموعه ورق های جوش خورده تشکیل یک ورق یکپارچه را می دهند که تحت عملیات بلنک زنی قرار میگیرد.تکنیک اخیر که خصوصا در صنایع خودرو سازی به کار گرفته می شود را بلنک زنی اتصالات تیلور می گویند.

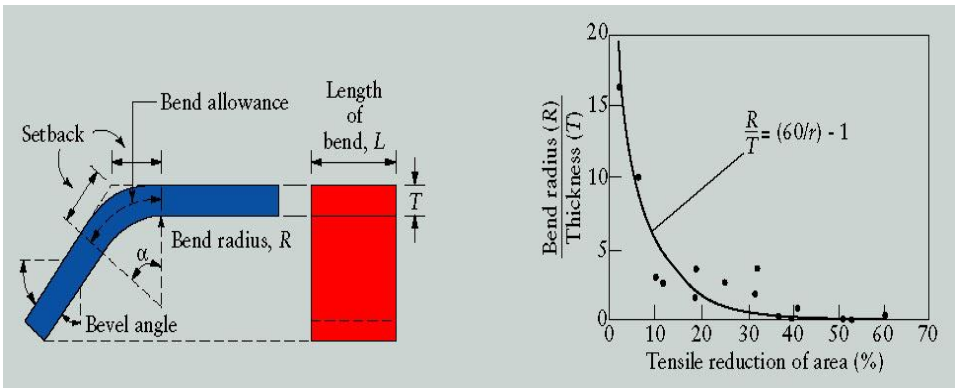


شکل ۱۱-۲. a) تولید بدنه خارجی خودرو به روش بلنک زنی اتصالات تیلور b) نمونه هایی از بدنه های جوش خورده (عموما به روش جوشکاری لیزر

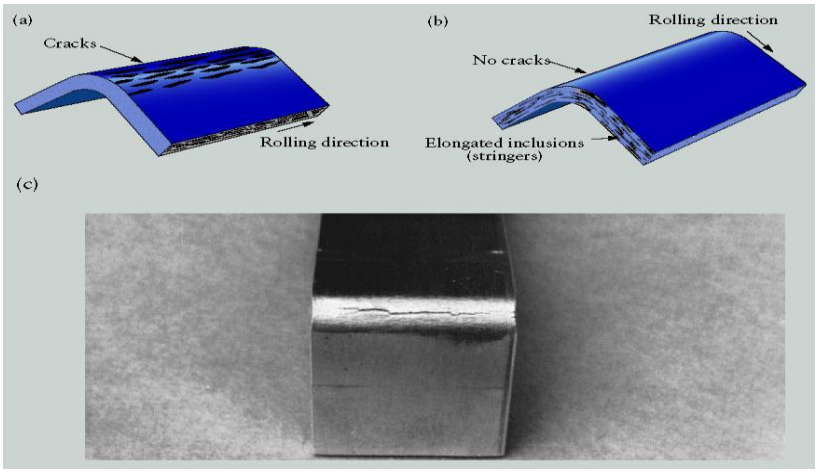
۲- خمکاری (BENDING):

خمکاری به دسته ایی از فرایندهای شکل دادن سرد گفته می شود که در ان ورق های فلزی تحت خمش قرار گرفته و زاویه دار می شوند. تنش اعمالی در این فرایند بیش از تنش تسلیم و کمتر از تنش کششی نهایی قطعه می باشد. با توجه به شکل a - ۱۲-۲ شعاع خم از سطح داخلی ان ارزیابی شده،همچنین طول خم نیز همان عرض ورق می باشد. در عملیات خمکاری - که عموما

حول یک محور انجام می شود- سطح داخلی ورق در معرض تنشهای فشاری بوده و سطح بیرونی ان تنش های کششی را تحمل می کند. در واقع خمکاري فلزاز يك سو موجب ايجاد تنش هاي كششي روي سطح خارجي خم- كه فلز بايستي در انجا كشيده شود- شده واز سوي ديگربه ايجاد تنش هاي فشاري روي قسمت دروني خم- كه فلز در انجا فشرده مي شود- منجر مي گردد. محور خنثي عبارت است از خطي كه فلز در امتداد ان نه كشيده مي شود و نه فشرده مي گردد. از عيوب عمده اين فرايند ميتوان به چين خوردگی در لايه های داخلی- تحت فشار- و پارگی در لايه های خارجی ورق- تحت كشش- اشاره نمود.شكل ۲-۱۲-b رابطه بين نسبت شعاع خم به ضخامت ورق و ميزان كاهش مقطع ورق در ازمون كشش را ارائه می کند. همانگونه که ازنمودباربرمی اید ورق های فلزی که قابلیت کاهش مقطع در انها تا ۵۰ درصد باشد می توانند بدون انکه دچار ترک خوردگی (پارگی) شوند تحت خمکاری قرار گیرند.



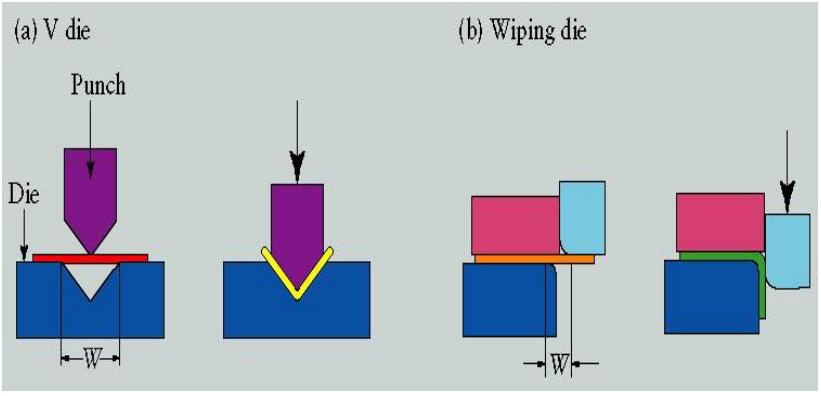
شکل ۲-۱۲ . a) پارامترهای خمکاری b) نمودار رابطه تجربی میان نسبت شعاع خم به ضخامت ورق و میزان کاهش مقطع ورق



بهتر است به منظور جلوگیری از ترک خوردگی ، جهت خمکاری و جهت نورد اولیه ورق یکسان باشد. اساس این پیشنهاد به اثار ناشی از تمرکز تنش در ناخالصی های ورق- که نورد شده و از این رو افزایش طول داشته اند - باز می گردد. این مطلب در شکل ۲-۱۳ و توضیحات ان بررسی شده است.

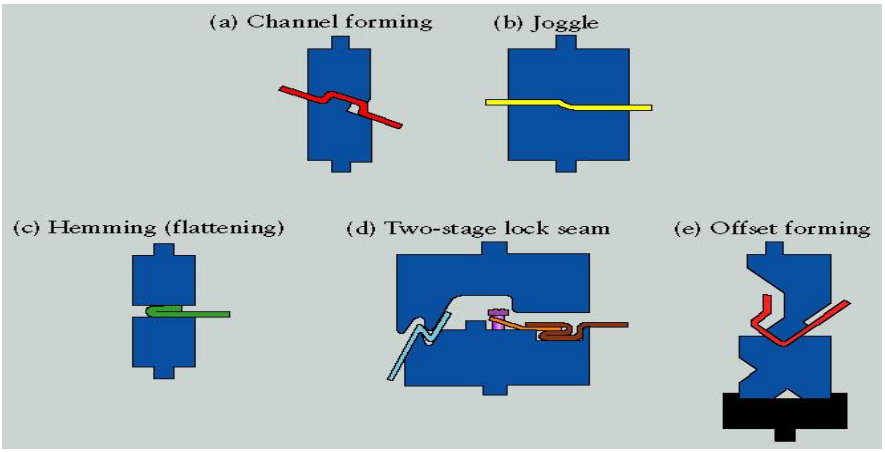
شکل ۲-۱۳. a) خمکاری در راستای نورد b) در جهت عمود بر راستای نورد c) نمایش ترک خوردگی روی شعاع خارجی یک ورق الومینیوم که تا زاویه ۹۰ درجه خم شده است .

با كاهش شعاع خم يا افزايش ضخامت ميله (به ازائ شعاع خمشي به اندازه كافي بزرگ) فلز در معرض تنش هاي كششي بزرگي قرار خواهد گرفت. هرگاه تنش هاي كششي بيشتر از تنشهاي فشاري شوند، قطعه كار خواهد شكست، بنابر اين لازم است تنشهاي كششي سطح خارجي را در يك حد مجاز نگه داشت. حداقل شعاع خمشي كه بعد از ان ماده ترك بر مي دارد را حد شكل دادن يا حد خمكاري گويند كه عموما به بصورت ضريبي از ضخامت (۲ تا ۴ برابر) و غيره بيان مي گردد. خمکاری در قالبهای V شکل ونیز قالبهای روبشی، دو روش متداول ایجاد خم در ورقهای فلزی هستند که در شکل ۲-۱۴ ارائه شده اند.



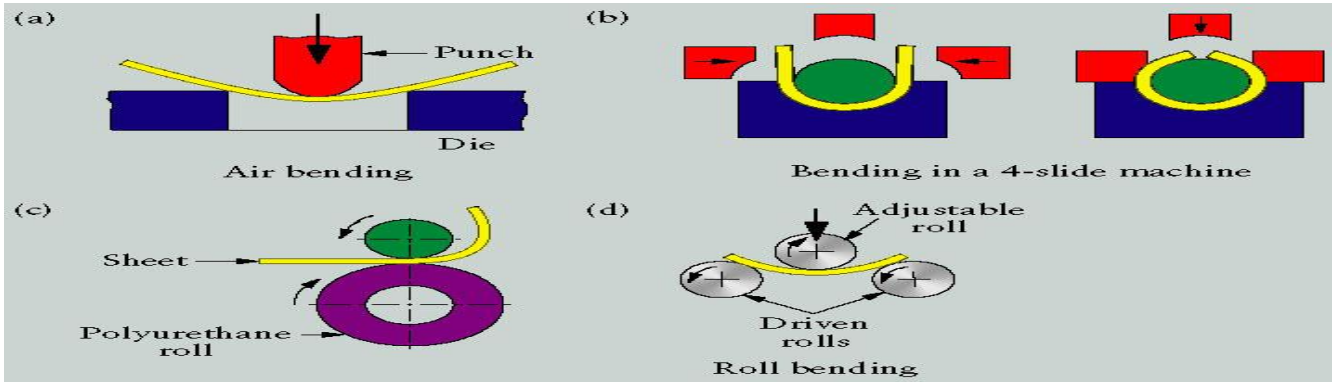
شکل۱۴-۲. مدلهایی از خم. a) خمکاری در قالب v شکل b) خمکاری در قالب روبشی c)

برخی عملیاتهای خمکاری با به کار گیری پرس های خمشی انجام می گیرند. ظرفیت این پرس ها از ۲۰ تا ۲۰۰ تن می باشد و چند نمونه شماتیک انها در شکل ۱۵-۲ نشان داده شده است.



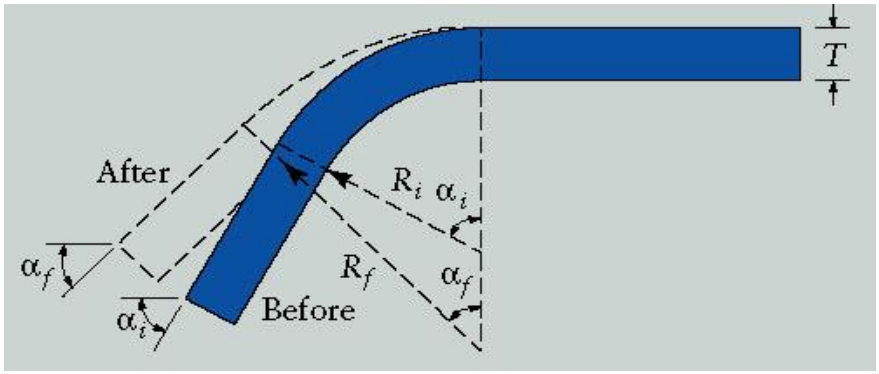
شکل ۱۵-۲. نمونه هایی از فرایندهای خمکاری در پرس های خمشی.
a) حديده كانالي b) قالب خم c) تخت كاري . d) خم دو طرفه E) قالب داراي زاويه منفرجه به شكل گردن غاز

شکل ۱۵-۲ طرح شماتیک عملیاتهای مختلف خمکاری را نشان می دهد.



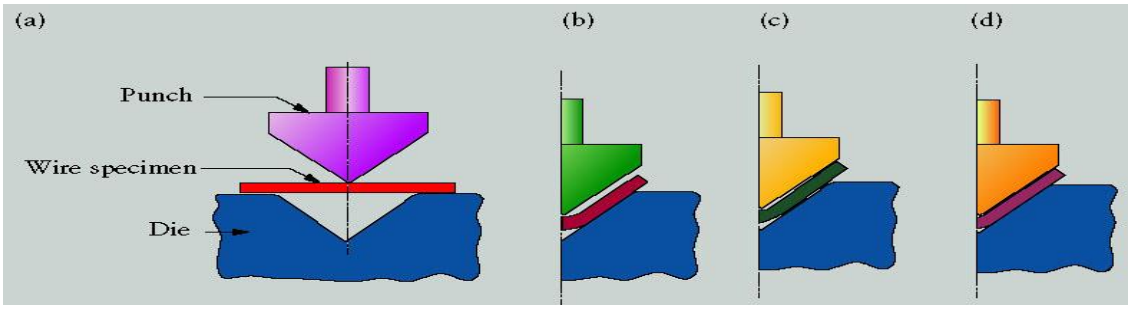
شکل ۱۵-۲. شماتیک عملیات های خمکاری. a) خمکاری بادی یا خمکاری ازاد (چون ورق تکیه گاهی جز هوا ندارد به این نام موسوم است) b) خمکاری در ماشینهای چهار پارچه c) خمکاری موافق (غلطک بالایی ورقهای بزرگ فلزی را به سمت غلطک پایین کشیده و در ان انحنا ایجاد می کند) . d) خمکاری غلطکی (برای ورق ها)

یکی از مباحث مهم در خمکاری پدیده برگشت فنری می باشد. این پدیده از رفتار الاستیک ماده پس از حذف بار(پایان شکل دهی و توقف در اعمال نیروی خمکاری) ناشی می شود. در واقع در هنگام بارگذاري، نمونه ابتدا به صورت الاستيك و سپس بطور پلاستيك تغيير شكل مي دهد. وقتي نيرو از روي جسم برداشته مي شود ناحيه الاستيك تغيير شكل خود را باز مي يابد و به برگشت فنري مي انجامد. همانگونه که از شکل ۱۴-۲ بر می اید ورق تمایل دارد به حالت تخت قبل از خمکاری بازگردد. درنتیجه شعاع خم مقداری افزایش خواهد یافت. مقدار بر گشت فنری که معمولا بین ۵ تا ۱۰ درجه می باشد به جنس ماده ، ضخامت ، دانه بندی و عملیات حرارتی بستگی دارد. براي مثال در فولاد بسته به سختي ان حدود ۰.۵ تا ۵ درجه و در برنز فسفر دار ۱۰ تا ۱۵ درجه مي باشد. بايد توجه داشت برخي مواد مثل مس نرم نيز عملا هيچگونه برگشت فنري ندارند.



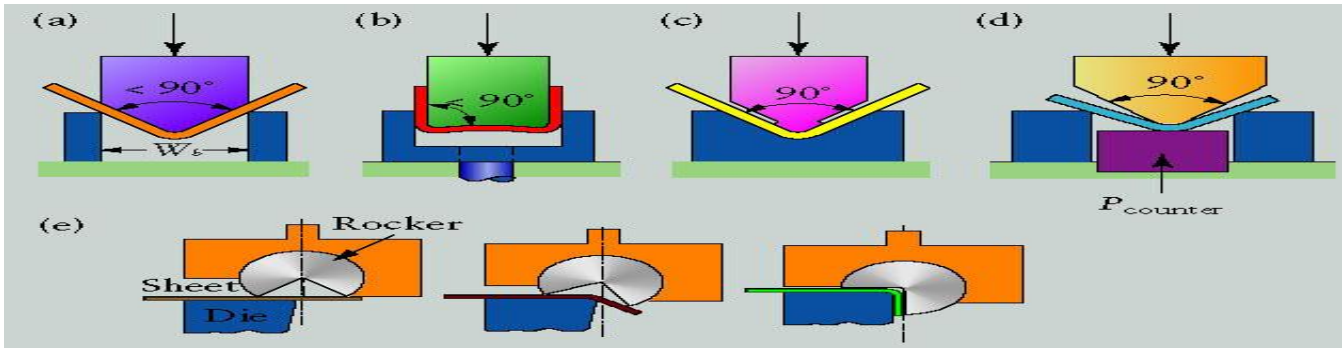
شکل ۲-۱۴. پدیده برگشت فنری

حالتهایی نیز وجود دارد که در انها پس از خمکاری ، ماده به خم شدن بیشتر (کاهش شعاع خم) تمایل نشان می دهد.این حالت را برگشت فنری منفی می گویند. شکل ۲-۱۵ طرح شماتیک خمکاری یک سیم مدور در قالب V شکل را ارائه می کند. این نوع خمکاری می تواند به پدیده برگشت فنری منفی منجر شود که احتمال وقوع ان در خمکاری ازاد اساسا منتفی است.



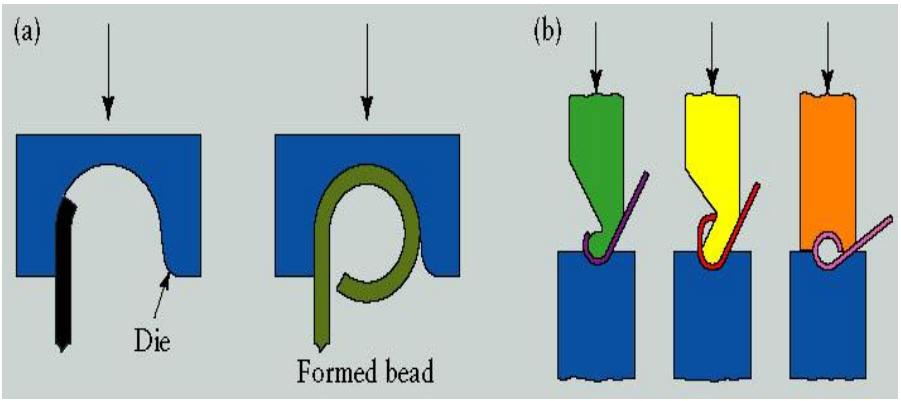
شکل ۲-۱۵ . خمکاری منجر به برگشت فنری منفی

به منظور غلبه بر پدیده برگشت فنری راهکارهای متفاوتی وجود دارد. خمکاری قطعه با زاویه ایی بیشتر از زاویه خم مورد نظر ، کوبش قطعه کار در انتهای عملیات خمکاری برای کاهش تنش های الاستیک موجود ونیز استفاده از خمکاری دوار که در شکل E-۲-۱۶ ارائه شده است.



شکل ۲-۱۶. روشهای کاهش یا حذف بر گشت فنری.

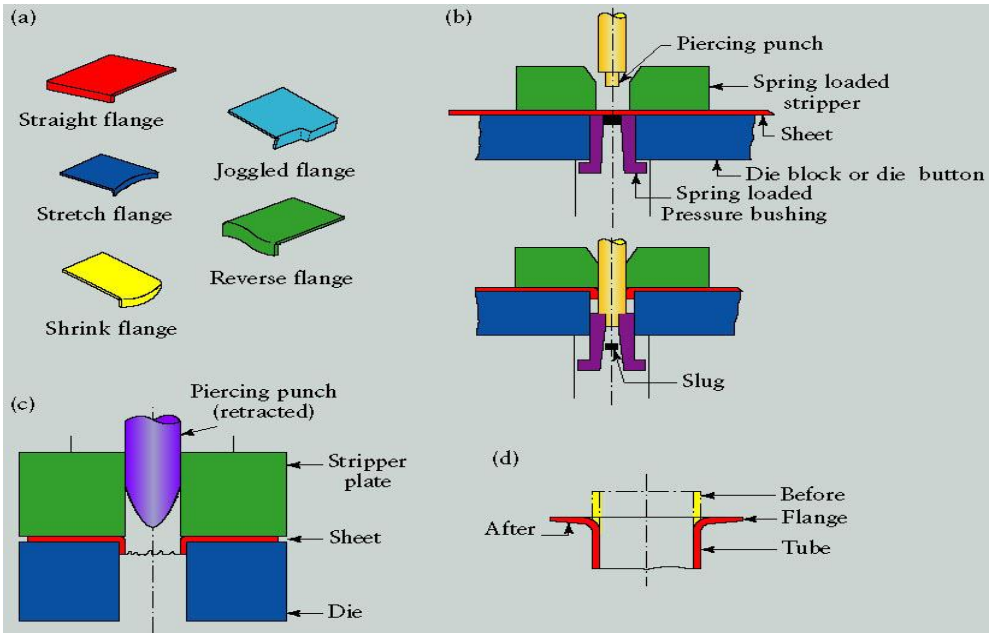
به منظور حذف لبه های تیز وهمچنین افزایش ممان اینرسی ورق از فرایند خمکاری موسوم به لبه دار کردن خمشی استفاده میشود. مطابق شکل ۲-۱۷ این عمل ممکن است در قالبهای یک تکه یا قالبهای دو تکه ودر یک پرس خمشی انجام شود.



شکل ۲-۱۷. a) لبه دار کردن خمشی در قالب یک تکه b) لبه دار کردن در پرس خمشی.

۲- شکل دهی فلانج (لبه) های کش امده یا جمع شده (Flanging Operations):

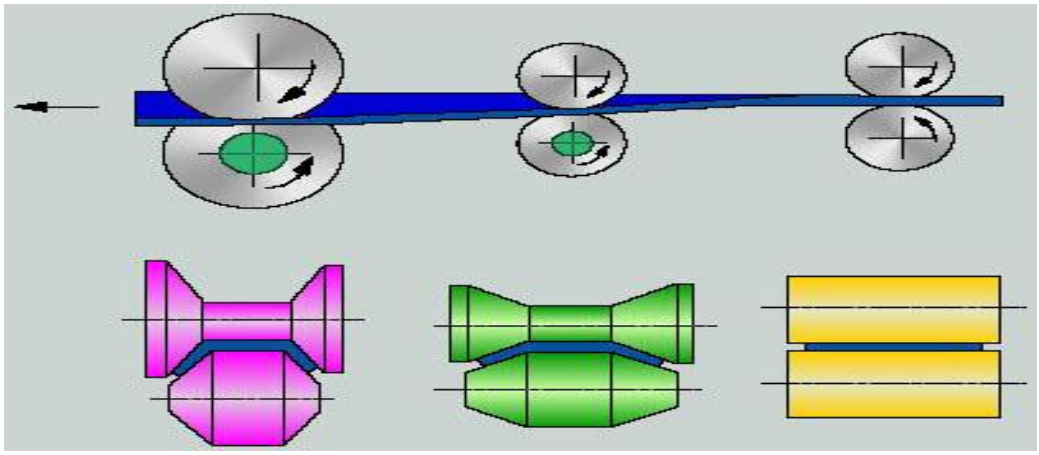
خم کردن و فرم دهی لبه ورق را لبه دار کردن یا اصطلاحا فلانج زنی گویند. فلانج ها (لبه ها) یی که در هنگام شکل دهی کشیده می شوند به فلانجهای کش امده و فلانج هایی که در فرایند فرم دهی جمع می شوند به فلانج های جمع شده معروف اند. اگر ترکیبی از هر دو نوع عمل در فلانج ایجاد شود انرا نوع معکوس گویند که در واقع قسمتی از نوع کش امده و قسمتی از نوع جمع شده خواهد بود. شکل a - ۲-۱۸ چند نمونه لبه ایجاد شده در ورق را نمایش می دهد. در فلانجهای کش امده امکان شکست و ترک خوردگی و در فلانج های جمع شده احتمال چین خوردگی وجود دارد. شکل b -۲-۱۸ شماتیک فرایند لبه دار کردن تدریجی را ارا ئه می کند. در این فرایند یک ورق فلزی از طریق عملیات سوراخ زنی لبه دار می شود. با پیشروی سنبه ، ابتدا سوراخ ایجاد شده و سپس به صورت تدریجی لبه دار می شود، بدین سان این فرایند در دو مرحله اما به صورت همزمان تکمیل می گردد. شکل c-۲-۱۸ نیز به همان فرایند می پردازد با این تفاوت که در اینجا سوراخ زنی و لبه دار کردن به صورت همزمان و در یک مرحله انجام می گیرند. شکل d-۲-۱۸ لبه دار کردن یک لوله را نمایش می دهد.



شکل ۲-۱۸. فرایند های لبه دار کردن (فلانج زنی)

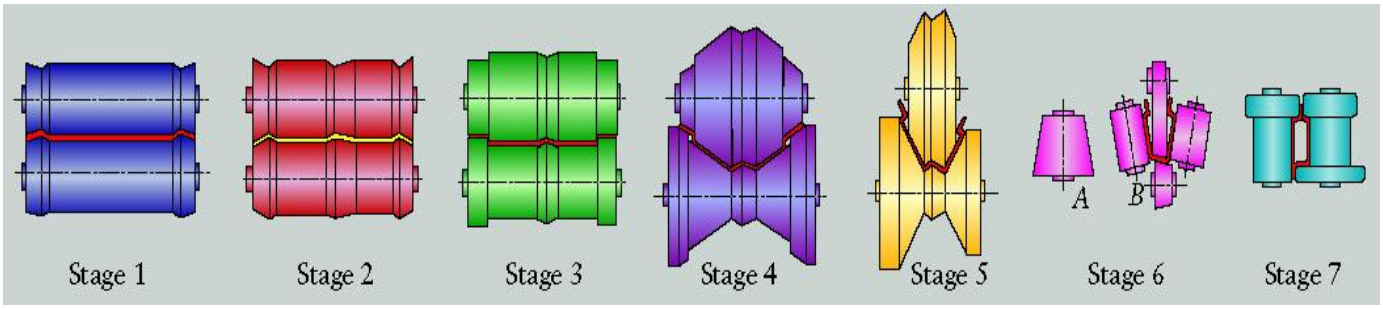
۳- فرایند های نورد خمکاری (Roll-Forming Process):

این فرایند قابلیت تولید بالایی د ارد و عملا به افزایش طول ورق می انجامد. غلطک ها از جنس چدن خاکستری با پوشش کرم یا از جنس فولاد کربنی می باشند. عملیات روغنکاری به منظور افزایش عمر غلطک ها، خنک کاری و بهبود کیفیت سطح بسیار ضروری است. (شکل ۲-۱۹)



شکل ۲-۱۹ . فرایند های خمکاری به وسیله نورد.

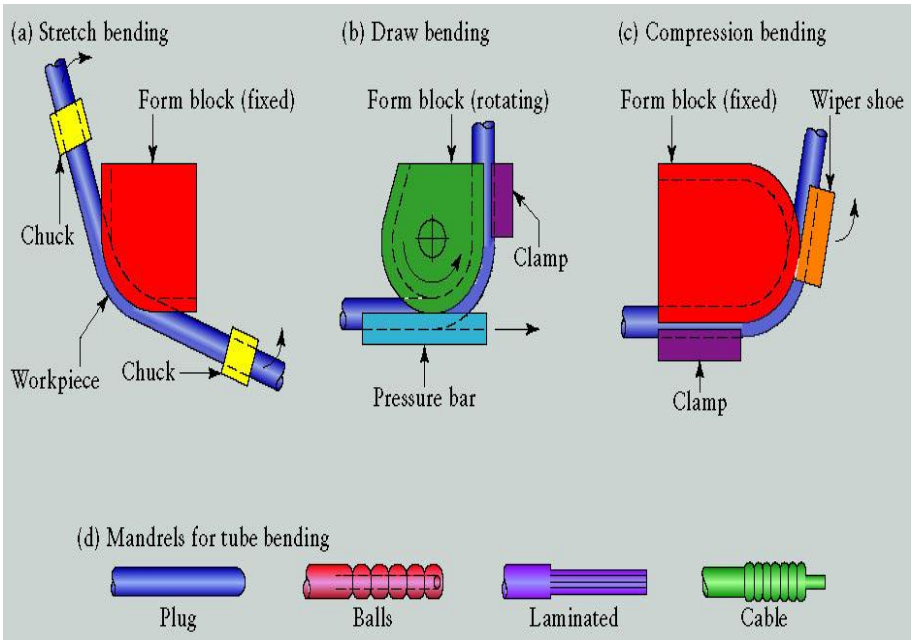
شکل ۲-۲۰ مراحل شکل دهی قاب فلزی یک درب اتاق بوسیله عملیات های نورد خمکاری را ارائه می کند. در مرحله ۶ غلطک ها ممکن است چیدمانی به صورت A یا B را داشته باشند.



شکل ۲-۲۰ . مراحل شکل دهی قاب یک درب اتاق به کمک فرایند های نورد خمکاری

۴- خمکاری لوله ها (Bending of Tubes):

شکل ۲-۲۱ طرح شماتیک فرایندهای خمکاری لوله ها را نمایش می دهد. به منظور جلوگیری از پیچش و تا خوردگی ، درون میله ها از مواد خاصی نظیر ماسه و یا سنبه های انعطاف پذیر استفاده می شود.

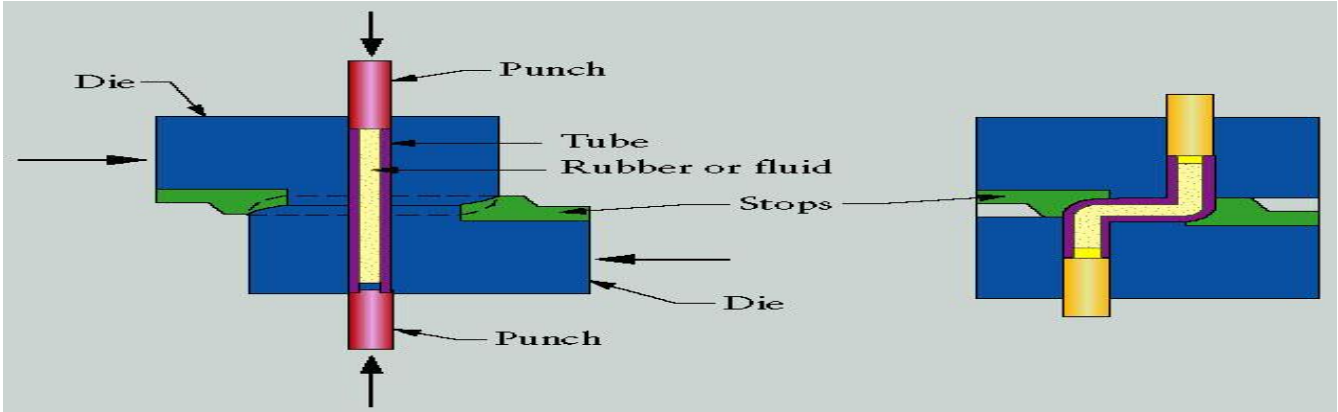


شکل ۲-۲۱. a) خمکاری کششی b) خمکاری تحت کشش c) خمکاری تحت فشار d)
چند نمونه سنبه برای خمکاری لوله ها.

۵- شکل دهی لوله ها (Tube Forming):

لوله های ضخیم تمایل کمتری به پیچش و تاخوردگی دارند از این رواساسا نیازی به تدابیری مثل پر کردن انها با ماسه نمی باشد. دراین حالت به منظور حصول گوشه های تیز بدون ایجاد ترک از نیروها و تنش های فشاری استفاده می شود. تنش

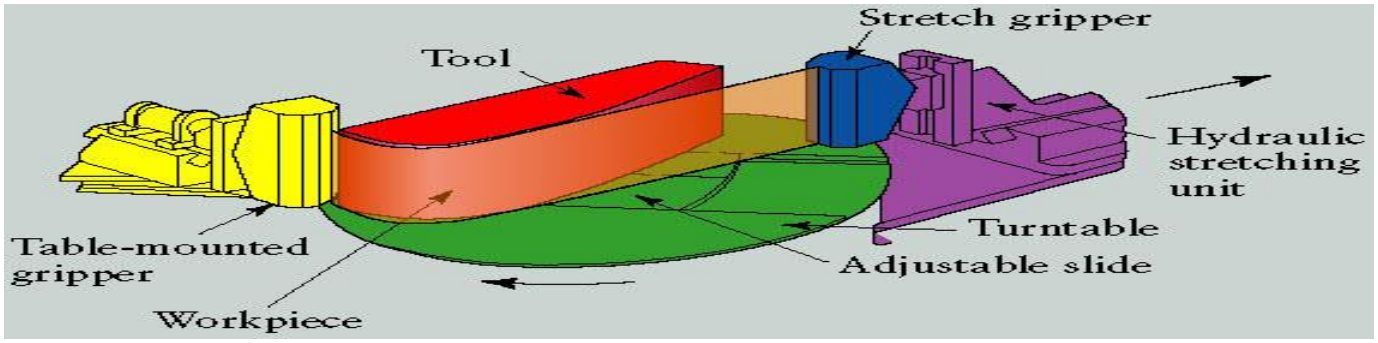
های فشاری در فرایند های شکل دهی بسیار مفید هستند زیرا شکست را به تاخیر می اندازند. ازانجا که در خمکاری لوله هالایه های بیرونی تحت کشش هستند ، اعمال فشار به تعدیل تنش های کششی منجر می شود. به منظور جلوگیری از تخریب لوله در طول فرایند شکل دهی معمولا داخل لوله را با سیال یا لاستیک پر می کنند. (شکل ۲۲-۲)



شکل ۲۲-۲ . شکل دهی لوله ها

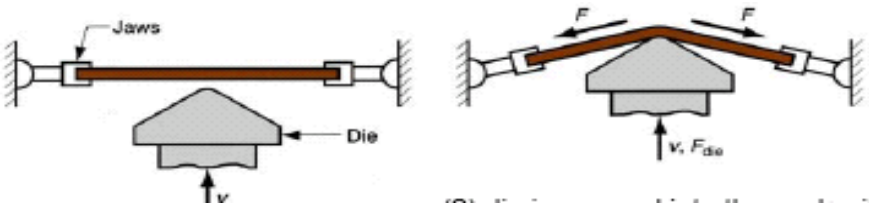
۷- فرایند های شکل دهی کششیStretch Forming) Process):

در این فرایند مطابق شکل ۲۳-۲ ورق فلزی از دوانتها گیره بندی شده و سپس در یک قالب متحرک کشیده می شود. به منظور جلوگیری از پارگی، فرایند کشش کاملا کنترل شده خواهد بود. قالب ممکن است از جنس الیاژهای مس یا فولاد یا حتی پلاستیک فشرده باشد. بدنه الومینیومی هواپیما را می توان با چنین روشی ساخت.



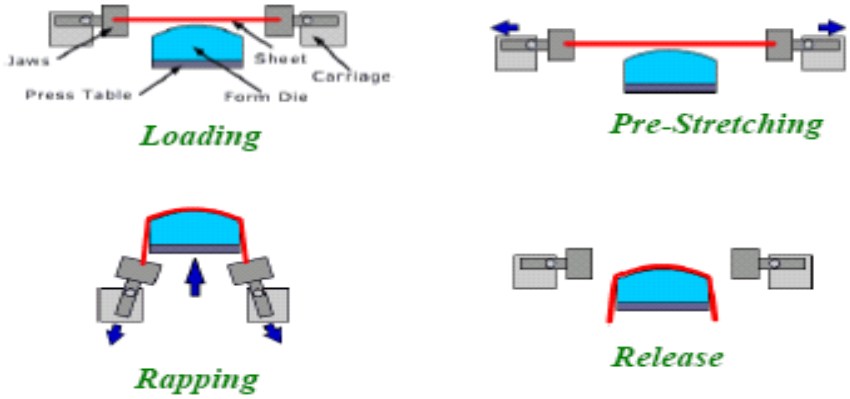
شکل ۲۳-۲. طرح شماتیک فرایندهای شکل دهی کششی.

شکل ۲۴-۲ نیروهای وارد بر ورق را در این فرایند به تصویر می کشد.



شکل ۲۴-۲. شماتیک نیروهای وارد بر ورق

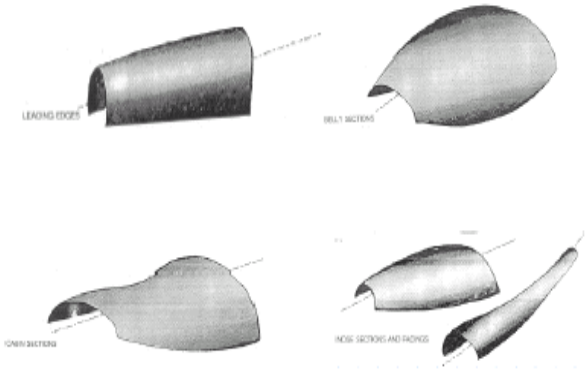
ترتیب ومراحل عمومی شکل دهی کششی در شکل ۲۵- ۲ ارائه شده است.



شکل ۲۵-۲ . مراحل شکل دهی کششی.

نمونه ایی از طرح واقعی این فرایند در شکل ۲۶-۲ و همچنین برخی قطعات قابل تولید در شکل ۲۷-۲ ارائه شده اند.

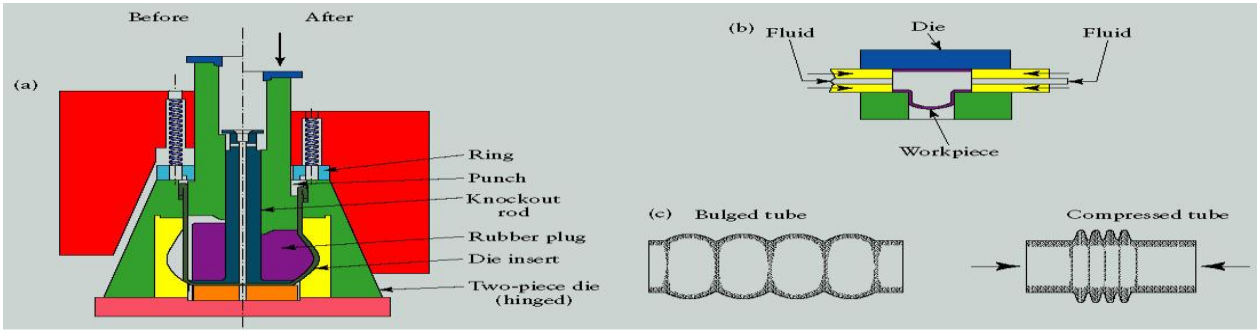
شکل ۲۶-۲. فرایند شکل دهی کششی.



شکل۲۷-۲ . محصولات فرایند شکل دهی کششی.

۸- برامده کردن مقاطع مدور (Bulging Of A Tubular Part):

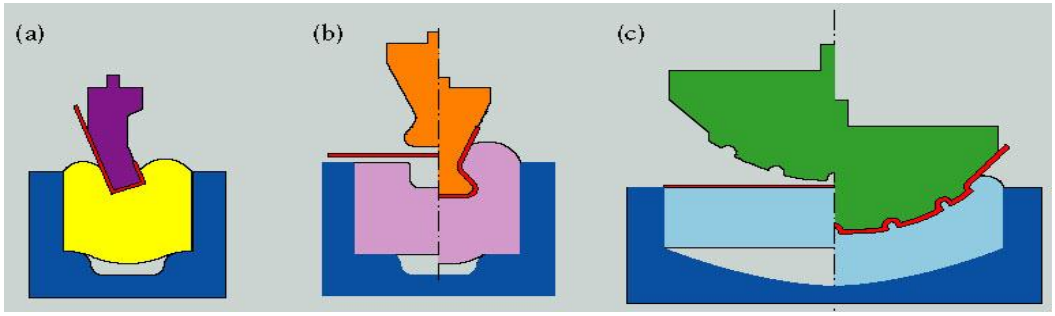
شکل a -۲۸-۲ طرح شماتیک فرایند بر امده کردن لوله ها را ارائه میکند. مطابق شکل با پیشروی سنبه و با استفاده از توپی های لاستیکی وانعطاف پذیر، فرایند شکل دهی انجام می شود. برای جلوگیری از تخریب جدار داخلی لوله می توان درون ان یک میله تو پر قرار داد. برگشت سنبه با کمک فنر انجام می شود. کوزه های اب می توانند با این روش ساخته شوند. شکل b - ۲۸-۲ روش تولید اب بندهای لوله کشی از طریق افزایش ابعاد بلنکهای مدور در نتیجه اعمال فشار داخلی به انها را نمایش می دهد. در شکل c-۲۸-۲ نمونه هایی از برامده سازی میله ها ارائه شده است.



شکل ۲۸-۲. بر امده کردن میله ها و مقاطع مدور.

۹- شکل دهی بوسیله بالشتک انعطاف پذیر (Forming with a Flexible Pad):

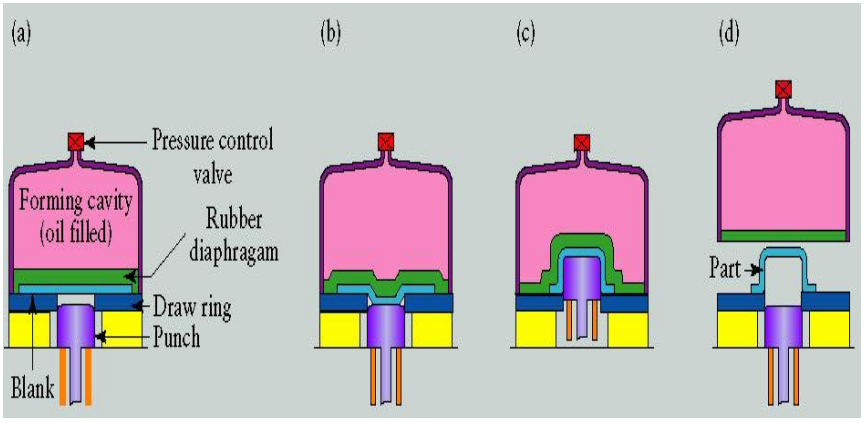
این روش که به شکل دهی با قالب انعطاف پذیر (flexible die forming) نیز معروف است یک بالشتک (دیافراگم) پلاستیکی و یک سنبه را به منظور ایجاد شکل مطلوب به کار می گیرد. در واقع در این روش ابزار از دو قسمت ، یک سنبه سخت برای اعمال فشاروتکمیل فرایند شکل دهی ویک بالشتک نرم به منظور جلوگیری از تخریب و کمک به سیلان مطلوب ماده تشکیل می شود. به دیگر بیان هدف اصلی از به کارگیری بالشتک پلاستیکی کمک به توزیع یکنواخت فشار سنبه می باشد. این روش مخصوصا در تولید قطعات با اشکال پیچیده کاربرد دارد.(شکل ۲۹-۲)



شکل ۲۹-۲. نمونه هایی از شکل دهی در قالب انعطاف پذیر.

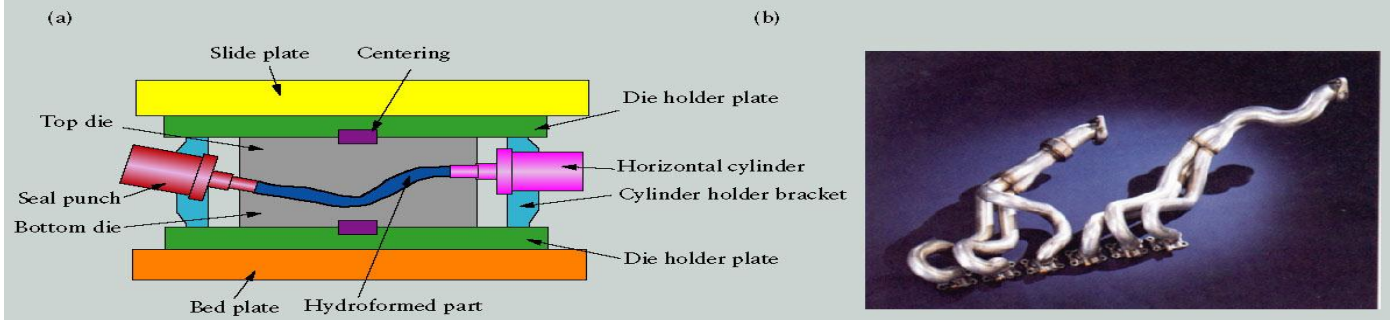
۱۰- فرایندهای هیدروفرمینگ (Hydroform Process):

این روش تحت عنوان شکل دهی به کمک سیال(forming fluid) نیز مشهور است. در این فرایند مطابق شکل ۳۰-۲ ابتدا پولک (بلانک) مورد نظردرون محفظه قالب موقعیت دهی شده، سپس محفظه شکل دهی توسط سیال هیدرولیک پر می شود. نقش دیافراگم لاستیکی در این فرایند بسیار تکنیکی است زیرا فصل مشترک سطح بالایی قطعه و سیال هیدرولیک است. با بالا رفتن و پیشروی سنبه در حین عمل شکل دهی، سیال توسط دیافراگم تحت فشار قرار گرفته و فشار ان افزایش می یابد. فشار سیال درون محفظه شکل دهی میتواند به ۱۰۳ مگا پاسکال نیز برسد. با رسیدن فشار سیال به مقداری معین و از پیش تعیین شده، فرایند شکل دهی تکمیل گشته و عمل تخلیه هیدرولیکی انجام می گیرد.



شکل ۳۰-۲. طرح شماتیک فرایند هیدروفرمینگ. a) اماده سازی b) اغاز شکل دهی،پیشروی سنبه c) پایان شکل دهی d) خارج سازی قطعه

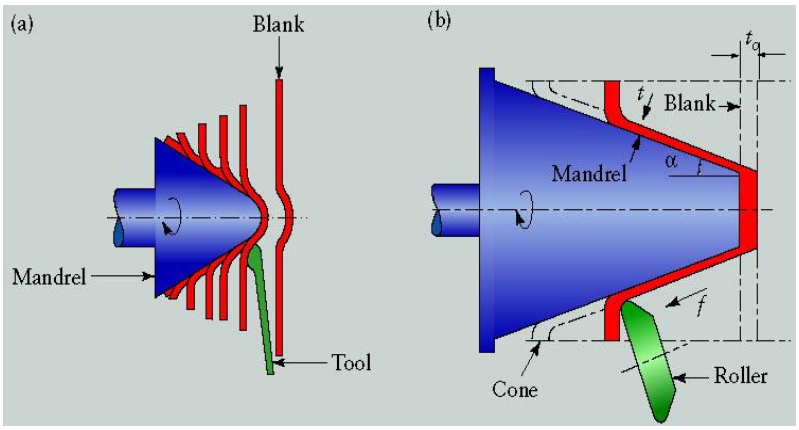
شکل a -۳۱-۲ طرح شماتیک فرایند هیدروفرمینگ لوله را ارائه می کند. در قسمت b میتوان تصویر واقعی یک لوله هیدروفرم شده را مشاهده نمود. لوله اگزوز اتومبیل ها و قابهای دوچرخه نمونه هایی از محصولات این فرایند هستند.



شکل ۳۱-۲. طرح شماتیک فرایند هیدروفرمینگ

۱۱- فرایندهای شکل دهی (منگنه کاری) چرخشی (Spinning Processes):

منگنه کاری چرخشی به دسته ایی از فرایندهای شکل دهی فلزی گفته می شود که در ان قطعات متقارن محوری توسط یک سنبه دوار- که دارای سرعت چرخشی زیادی است- ویک ابزار مدور یا غلطک شکل داده می شوند. به دیگر بیان شکل دادن چرخشي عبارت است از شکل دهي قطعاتي كه روي يك سنبه يا شاه ميله همراه با يك ابزار يا غلطك داراي تقارن چرخشي هستند. مطابق شکل ۳۲- ۲ این فرایند به دو صورت سنتی و برشی انجام می شود.

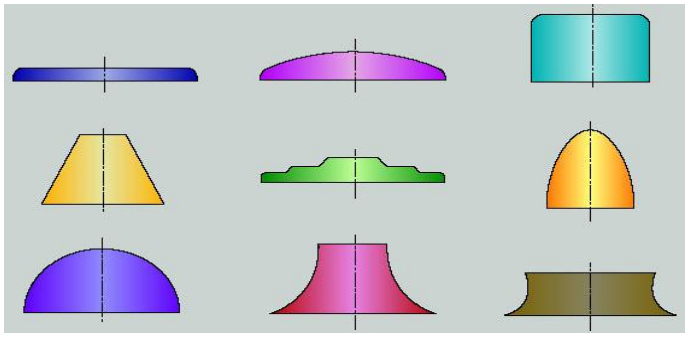


شکل ۳۲-۲. شماتیک فرایند منگنه کاری چرخشی. a) روش سنتی b) روش برشی (غلطک با سرعت f میلیمتر بر دور پیشروی می کند.)

شكل دادن چرخشي سنتي (مرسوم) موجب افزايش در ضخامت ديواره هاي قطعه نمي گردد. بسياري از قطعاتي كه با شكل دادن چرخشي سنتي توليد مي شوند ممكن است با فرايند كشش نيز قابل ساخت باشند. دراين ميان معمولا انتخاب روش مناسب تر بر مبناي پارامترهايي نظير خواص ماده،هزينه هاي ابزار، كميت توليد و كيفيت سطح مي باشد. درشكل دادن برشي، ورق شديدا فشرده ميشود به گونه ايي كه ميزان كاهش ضخامت در ان ممكن است تا ۹۰ درصد نيز برسد. اين كاهش ضخامت نوعي فرايند كار سرد را به ورق تحميل مي كند كه در نتيجه ان خواص مكانيكي ماده بهبود مي يابد. بزرگترين امتياز اين فرايند ان است

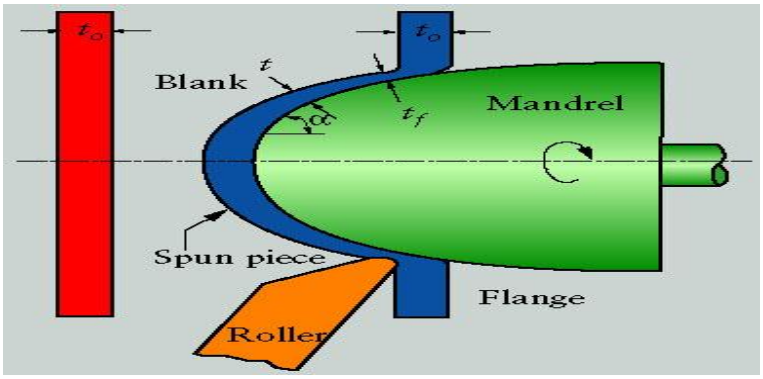
كه قطعات بزرگ و سنگين به شرط اينكه تقارن محوري داشته باشند در يك زمان كوتاه ، با اتلاف فلز ناچيز وخواص مكانيكي بهتر توليد مي شوند.

شکل ۳۳-۲ برخی هندسه های قابل تولید در این فرایند را ارائه می کند. اساسا قسمتهای دایره ایی در سطوح خارجی قطعات حکایت از منگنه کاری چرخشی دارند. برای نمونه می توان به
لوازم الومینیومی اشپزخانه اشاره نمود.



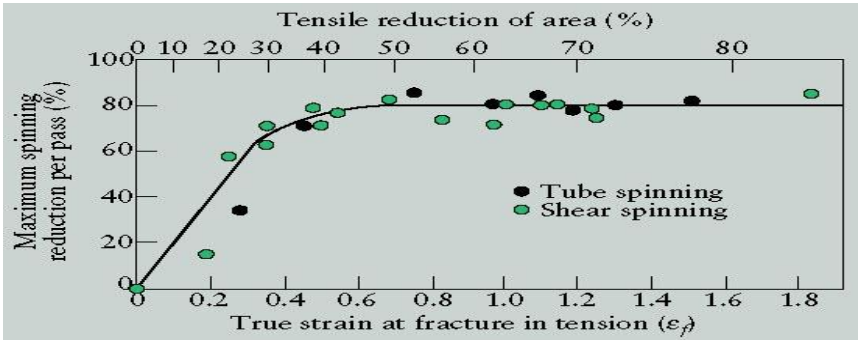
شکل ۳۳-۲. شماتیک برخی هندسه های قابل تولید با فرایند منگنه کاری چرخشی.

شکل ۳۴-۲ به قابلیت منگنه کاری برشی می پردازد. با افزایش پیشروی غلطک ، ضخامت ورق کاهش می یابد. به حداکثر کاهش ضخامت در نقطه شکست، بیشترین کاهش قابلیت منگنه کاری درهر پاس فرایند شکل دهی گویند.



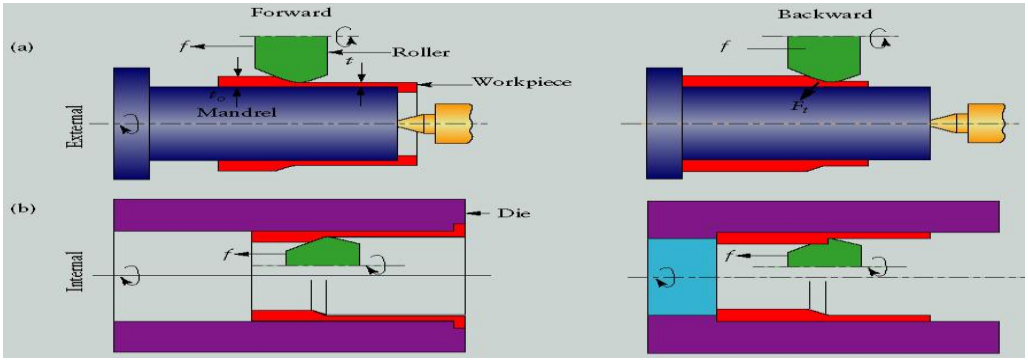
شکل ۳۴-۲. ازمایش تعیین قابلیت منگنه کاری.

ازمایشهای تجربی رابطه میان بیشترین کاهش قابلیت منگنه کاری درهر پاس و میزان کاهش سطح مقطع ماده اولیه در ازمایش کشش ساده را مشخص نموده اند. مطابق شکل ۳۶-۲ با کاهش ۵۰ درصدی سطح مقطع درازمایش کشش ساده ، افزایش چکش خواری ماده به افزایش قابلیت منگنه کاری ان منجر نمی شود.



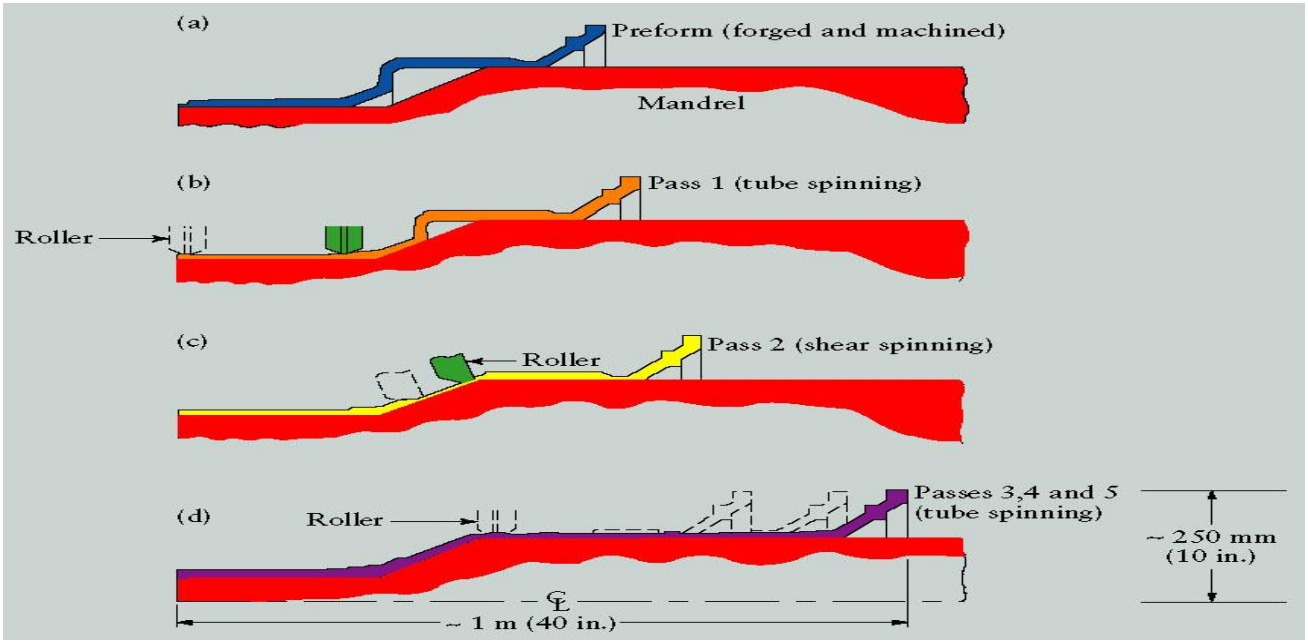
شکل ۳۵-۲ . رابطه تجربی میان بیشترین کاهش قابلیت منگنه کاری درهر پاس و میزان کاهش سطح مقطع ماده.

طرح شماتیک منگنه کاری لوله ها در شکل ۳۷-۲ ارائه شده است. مطابق شکل این فرایند به دو صورت پیشرو و پس رو انجام می گیرد.



شکل ۳۶-۲ . منگنه کاری چرخشی لوله ها. a) منگنه کاری خارجی (پیشرو و پس رو) b) منگنه کاری داخلی (پیشرو و پس رو)

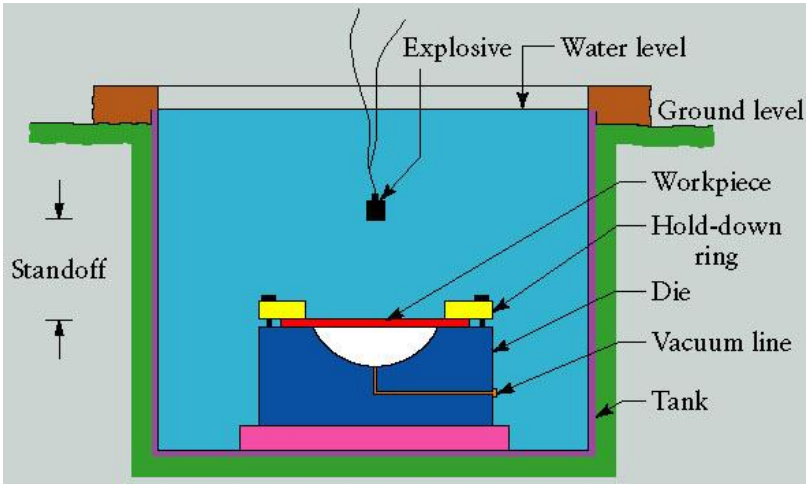
مراحل منگنه کاری لوله ایی و برشی شافت کمپرسور موتور یک هواپیمای مافوق صوت کنکورد در شکل ۳۷-۲ نشان داده شده است. انالیزهای اقتصادی تائید می کنند تولید این قطعه با روش حاضر بهینه ترین حالت ممکن می باشد.



شکل ۳۷-۲ . مراحل منگنه کاری شافت کمپرسور موتورهواپیمای کنکورد.a) قطعه اولیه (اهنگری و ماشینکاری شده) منگنه کاری لوله ایی c) منگنه کاری برشی d) منگنه کاری میله ای.

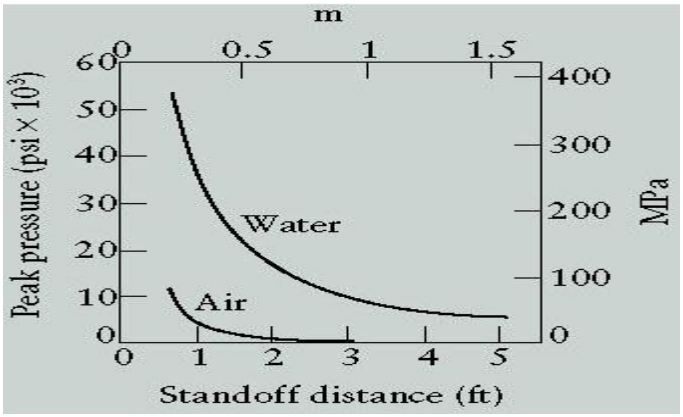
۱۲- فرایندهای شکل دهی انفجاری (Explosive Forming Process):

اگرچه مواد منفجره بیشتر کاربرد تخریبی دارند، با مهار انرژی حاصل از انفجار می توان فرایند شکل دهی قطعات بزرگ که امکان تولید انها با روشهای دیگر اگر غیر ممکن نباشد دست کم بسیار پر هزینه است را به گونه موفقی اجرا نمود. در شکل دهي انفجاري از انرژي ذخيره شده در مواد منفجره شيميايي استفاده مي شود. در واقع در اين فرايند ماده منفجره جايگزين سنبه يا ديافراگم - که در اغلب روشهای شکل دهی وجود دارد- می گردد. موجهاي ضربه ايي حاصل از انفجار در سراسر مايع منتشر مي شوند و با انرژي كافي به قطعه كار ضربه وارد نموده، انرا درون ماتريس داخلي يا مادگي مي رانند. معمولا موادی نظیر trinitramine (RDX) cyclotrimethylene و trinitrotoluene (TNT) و ... به عنوان ماده منفجره مورد استفاده قرار می گیرند. انتخاب نوع ماده انفجاربه ضخامت و استحکام تسلیم قطعه ایی که شکل داده می شود بستگی دارد. دو روش عمده در شکل دهی انفجاری مورد استفاده قرار می گیرند، روش غیر تماسی یا فاصله دار-stand off - و روش تماسی - contact method - . در روش تماسی ماده منفجره مستقیما در تماس با قطعه (ورق فلزی) قرار داده می شود. شدت انفجار قادر است فشاری معادل چند میلیون پاسکال بر سطح قطعه اعمال کند . یک اشکال عمده این تکنیک ان است که موج انفجارقطعه را می پیماید و بدین جهت ممکن است به پیچش، تغییر شکل و حتی شکست ان منجر شود. حال انکه در روش غیر تماسی مطابق شکل ۳۸-۲ ماده منفجره در فاصله مشخصی نسبت به ورق فلزی قرار داده می شود. انفجار در زیر سطح اب رخ میدهد تا از یک سو صدای ناشی از انفجار تعدیل شده و از سوی دیگر انتقال بهینه انرژی به قطعه تضمین شود. به همین علت این روش به شکل دهی انفجاری در زیر اب نیز مشهور است. با رسیدن موج انفجار، ورق فلزی نسبت به قالب تحت فشار قرار گرفته و شکل مطلوب در ان ایجاد می شود. جنس قالب در فرایندهای شکل دهی انفجاری ممکن است پلاستیک، بتون، فایبرگلاس و حتی فولاد باشد.

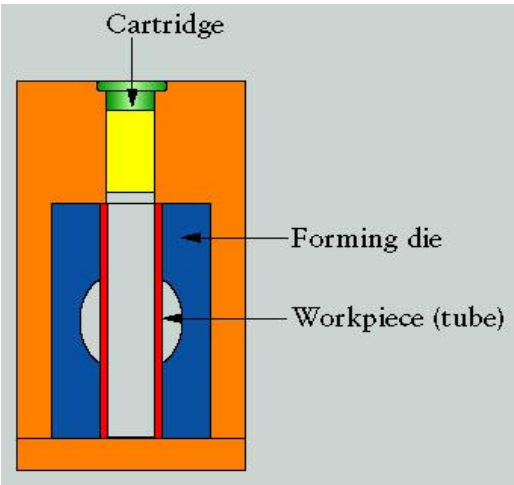


شکل ۳۸-۲ . فرایند شکل دهی انفجاری به روش غیر تماسی.

شکل ۳۹-۲ تاثیر فاصله ماده منفجره تا قطعه و نوع سیال بر حداکثر فشار ایجاد شده بوسیله ۱.۸ کیلوگرم TNT در روش غیر تماسی را بررسی می کند. همانگونه که از شکل برمی اید بهینه ترین حالت انتقال انرژی به قطعه زمانی است که سیال واسط، چگالی بالا و تراکم پذیری کم داشته باشد. در عمل اب متداولترین سیال واسطی است که مورد استفاده قرار می گیرد.



شکل ۳۹-۲. تاثیر فاصله ماده منفجره و نوع سیال بر حداکثر فشار.

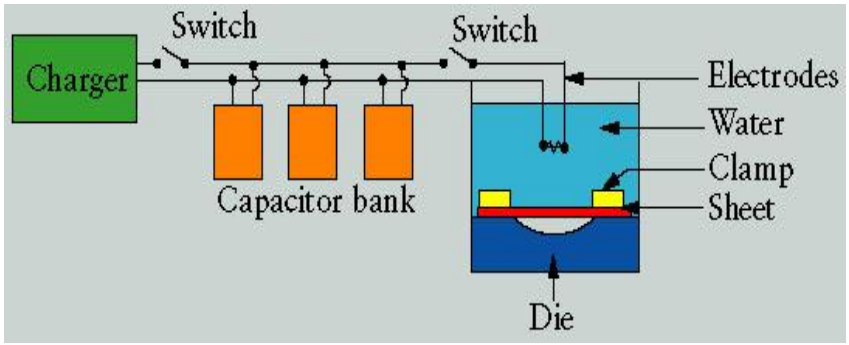


طرح شماتیک برامده کردن انفجاری لوله ها در شکل ۴۰-۲ ارائه شده است. موج انفجار شکل قالب را به بخش خاصی از جداره لوله تحمیل می کند. در این تکنیک لوله های نازک با تلرانس بسیار بسته شکل دهی شده وبرامده می شوند.

شکل ۴۰-۲. شماتیک فرایند برامده کردن انفجاری لوله ها

۱۳- فرایندهای شکل دهی الکترو هیدرولیک (Electrohydraulic Forming):

شکل دادن الکترو هیدروليكي از بسياري جهات شبيه به شكل دادن انفجاري است. عمده تفاوت دراين روش به منبع تامين انرژي باز مي گردد. در فرايند تخليه الكتروهيدروليكي انرژي از تخليه يك گروه از خازنهاي داراي ولتاژ زياد به دست مي ايد. مطابق شکل ۴۱-۲، این فرایند بر اساس شارژ و تخلیه الکتریکی تعدادی خازن موازی انجام می شود. با برقرار شدن اتصال الکترودها، انرژی ذخیره شده در مجموعه خازنها به سیال واسط - معمولا اب- تخلیه شده و در نتیجه اب یونیزه مي گردد. انبساط مايع يونيزه شده يك ضربه فشاري قوي ايجاد ميكند كه بطور شعاعي به طرف خارج حركت كرده، قطعه كار را به شكل مطلوب در مي اورد. در برخي موارد دو الكترود توسط يك سيم تحت كشش به هم متصل مي شوند. در نتيجه با انجام عمل تخليه، فلز تبخير شده و با انبساط بخار ان فشار مورد نياز شكل دهي تامين مي گردد.

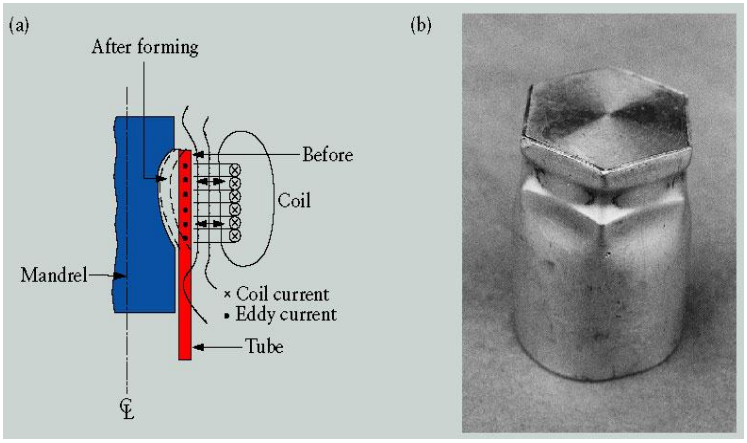


شکل ۴۱-۲. طرح شماتیک فرایندهای شکل دهی الکترو هیدرولیک.

فرایند شکل دهی الکترو هیدرولیک یا EHF یک روش شکل دهی بسیار سریع محسوب می شود که مخصوصا برای ایجاد شکل مطلوب در تعداد محدودی ورق های فلزی کاربرد دارد. از مزایای این تکنیک می توان به تکنولوژی کم هزینه ابزار، افزایش شکل پذیری ماده و حداقل برگشت فنری اشاره نمود. این روش در سالهای اخیر به عنوان یک الترناتیو در نمونه سازی سریع ورق های فلزی نیز مورد توجه قرار گرفته است.

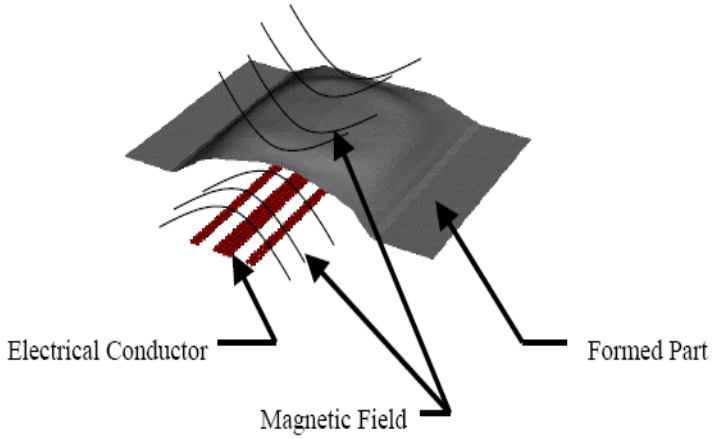
۱۴- فرایندهای شکل دهی پالس مغناطیسی (Magnetic-Pulse-Forming Process)

این تکنیک قدمتی پنجاه ساله دارد و می توان انرا مهمترین روش در فرایندهای شکل دهی با نرخ انرژی زیاد (HERF) به شمار اورد. در این فرایندها انرژی الکتریکی با استفاده از یک میدان مغناطیسی به انرژی مکانیکی تبدیل می شود. با عبور جریان الکتریسیته از یک سیم رسانا، میدان مغناطیسی در اطراف ان ایجاد می گردد. ایجاد ناگهانی این میدان به پدید امدن جریان گردابی - در هر رسانایی که به اندازه کافی به سیم حامل جریان نزدیک باشد - منجر می شود که در جهت مخالف شارش می یابد. این جریان گردابی خاصیت مغناطیسی خود را تقویت نموده و نیروی دافعه ایی به وجود می اورد که از ان برای ایجاد شکل دلخواه در ورق های فلزی استفاده می شود. طرح شماتیک این فرایند در شکل ۴۲-۲ ارائه شده است.



شکل ۲-۴۲. a) طرح شماتیک فرایندهای شکل دهی پالس مغناطیسی b) قطعه ایی که با این روش شکل داده شده است.

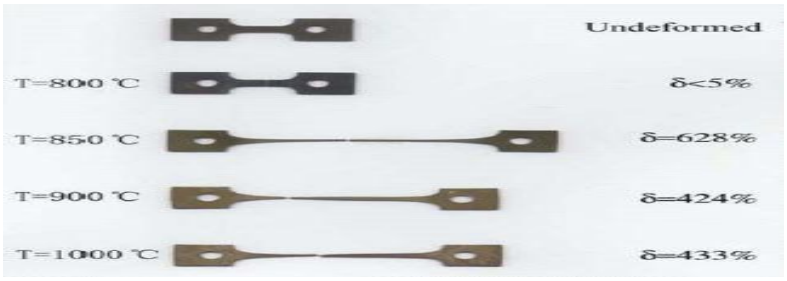
امکان کنترل میدان مغناطیسی با دقت مناسب، قابلیت تکرار بسیار بالاو ارزان بودن قالب شکل دهی بواسطه یک تکه بودن ان از یک سو و نیز انجام فرایند شکل دهی به صورت غیر تماسی از سوی دیگر، مهمترین امتیازات این تکنیک هستند. مطابق شکل ۲-۴۳ میدان مغناطیسی بین سیم حامل جریان و قطعه مورد نظر نوعی فشار مغناطیسی ایجاد می کند که به تکمیل فرایند شکل دهی می انجامد.



شکل ۲-۴۳. غیر تماسی بودن فرایندهای شکل دهی پالس مغناطیسی از مهمترین امتیازات این تکنیک است.

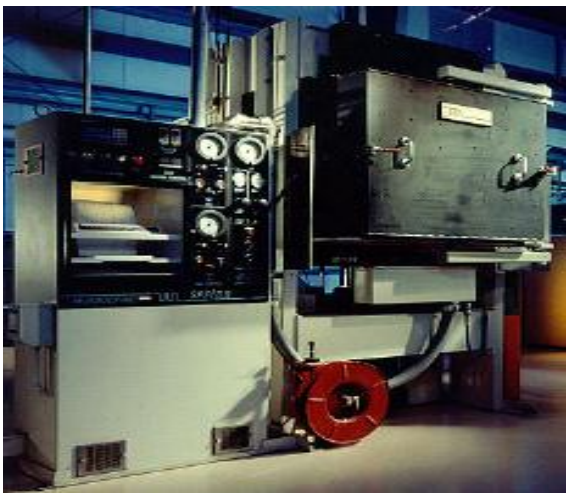
۱۵- فرایندهای شکل دهی ابر مومسان (Superplastic Forming):

در موادی با ساختار مافوق ریز دانه، تحت نرخ کرنش ناچیز (۰.۰۱ بر ثانیه یا کمتر) و در دماهایی بالاتر از ۰.۴ نقطه ذوب، تغییر طولهای فوق العاده زیاد(تا چند صد برابر) و تنشهای سیلان بسیار کم قابل دستیابی است. برای توصیف این اثار از اصطلاح ابر مومسانی استفاده می شود. در واقع مقصود از قابلیت فوق پلاستیك (ابر مومساني) ان است که در سرعت هاي کشش بالا و معيني ، بسياري از فلزات داراي درجه غير عادي و بسيار بالايي از انعطاف پذيري هستند. از اين رو اين فلزات براي شکل دادن تحت ان سرعت ويژه تغيير شکل نسبت به هر سرعت ديگر با اشکال کمتري مواجه مي شوند. با توجه به اينکه حداکثرافزايش طول دربيشتر فلزات حدود ۸ تا ۱۲ درصد ميباشد، مروری بر اعداد و ارقام ارائه شده درشکل۲-۴۴ قابلیت های منحصر به فرد این تکنیک را بیشتر نمایان می سازد.



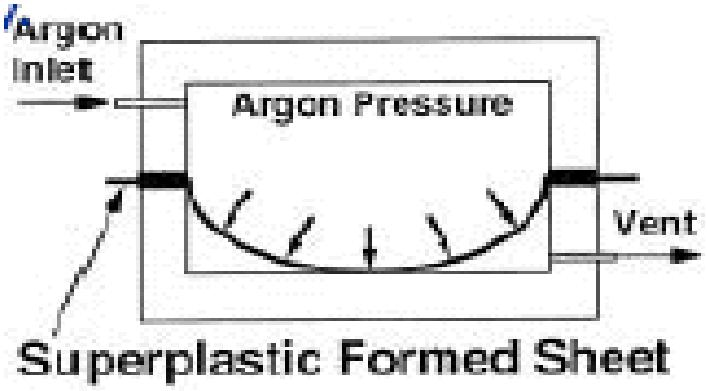
شکل ۲-۴۴ . در فرایندهای شکل دهی ابر مومسان امکان افزایش طولهای شگفت اورمیسر است.

لزوم انجام شکل دهی ابرمومسان در دماهای بالا، کاهش تنش تسلیم ماده با افزایش دما است. بدین منظورابتدا ورق فلزی در یک قالب شکل دهی ابر مومسان یا قالب SPF (super plastic forming) موقعیت دهی می شود. نمونه ایی از این قالب در شکل ۲-۴۵ ارائه شده است.



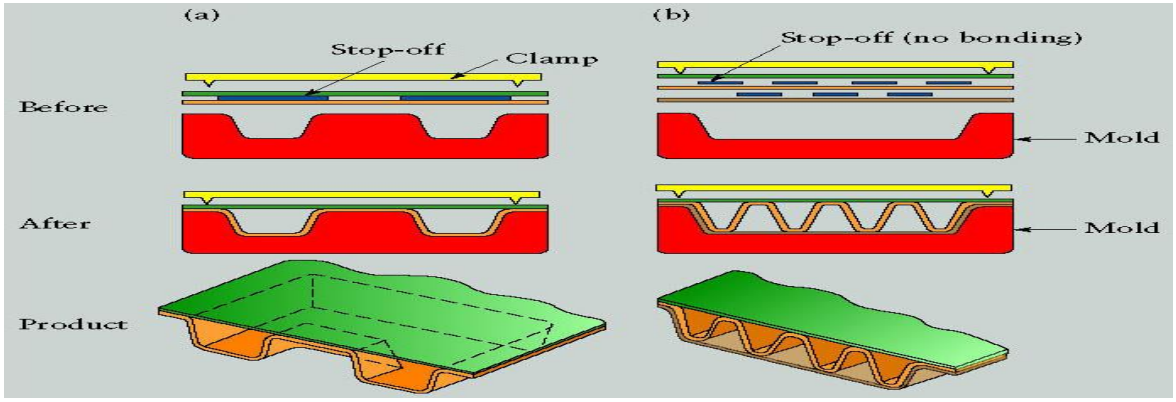
شکل ۴۵-۲ . نمونه ایی از یک قالب شکل دهی ابر مومسان

قالبهای شکل دهی بر اساس هندسه قطعه نهایی ممکن است شکل ساده یا پیچیده داشته باشند. پس از موقعیت دهی، ابزار و ورق فلزی گرم می شوند ودر نهایت از فشار یک گاز به منظور ایجاد تغییر شکل پلاستیک و پرشدن حفره های قالب استفاده می گردد. (شکل ۴۶-۲)



شکل ۴۶-۲. استفاده از فشار گاز به منظور شکل دهی ابرمومسان

طرح شماتیک این فرایند ونمونه هایی از قطعات قابل تولید بوسیله ان در شکل ۴۷-۲ نمایش داده شده است. قطعات تولید شده نسبت سفتی به وزن بالا دارند و نزدیک به شکل نهایی هستند.

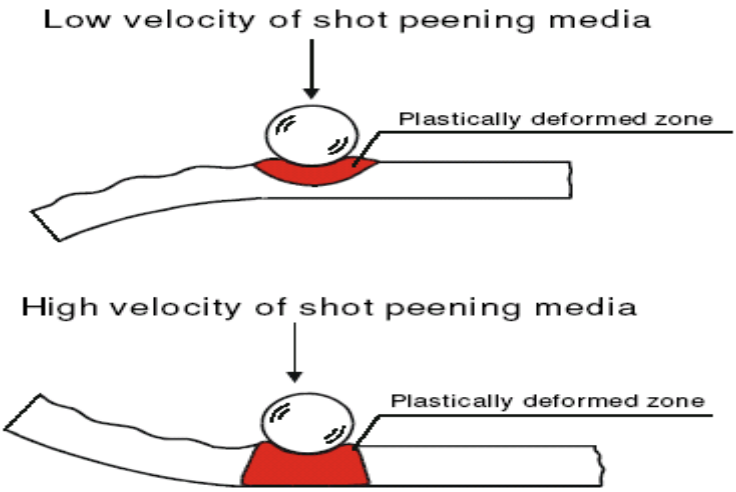


شکل ۴۷-۲ . طرح شماتیک شکل دهی ابر مومسان ورقهای فلزی.

۱۶- فرایندهای شکل دهی کوبشی (Peen Forming):

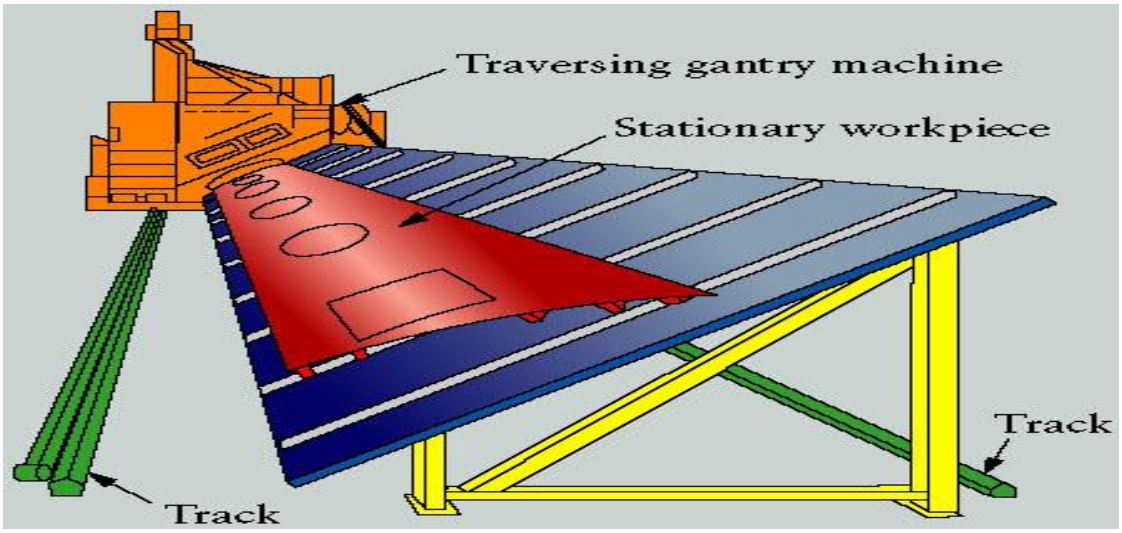
این فرایند برای ایجاد کانتورهای کم عمق در ورقهای فلزی بزرگ وهمچنین به منظور تخت نمودن قطعات کاربرد دارد. از مشخصه های بارز این تکنیک، شکل دهی ورق در محدوده الاستیک از طریق ایجاد تغییر شکلهای موضعی پلاستیک است.

مطابق شکل ۲-۴۸ گوی های سخت با انرژی های مختلف (بسته به جرم و سرعت انها) به سطح ورق برخورد نموده و فرایند شکل دهی تکمیل می گردد.



شکل ۲-۴۸. طرح شماتیک فرایندهای شکل دهی کوبشی .

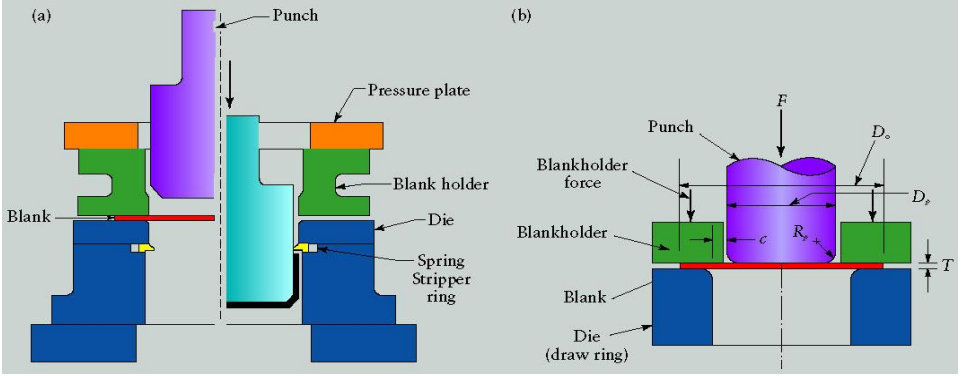
از مزایای این فرایند می توان به عدم وجود ابزار شکل دهی در ان، عدم نیاز به عملیات حرارتی وعدم ایجاد تنشهای کششی پسماند سطحی اشاره نمود. گرچه این فرایند دارای انعطاف پذیری ویژه ایی است اما هزینه تجهیزات ان می تواند بالا باشد. شکل ۲-۴۹ شکل دهی یک ورق فلزی بزرگ بوسیله ماشین شکل دهی کوبشی را نشان می دهد. همانگونه که از شکل نمایان است ورق ثابت بوده، ماشین شکل دهی در طول ان حرکت نموده و شکل مورد نظر را ایجاد می نماید. بدنه هواپیما از متداولترین قطعاتی است که با این روش تولید می گردد.



شکل ۲-۴۹. ۲ شکل دهی یک ورق فلزی بزرگ بوسیله ماشین شکل دهی کوبشی.

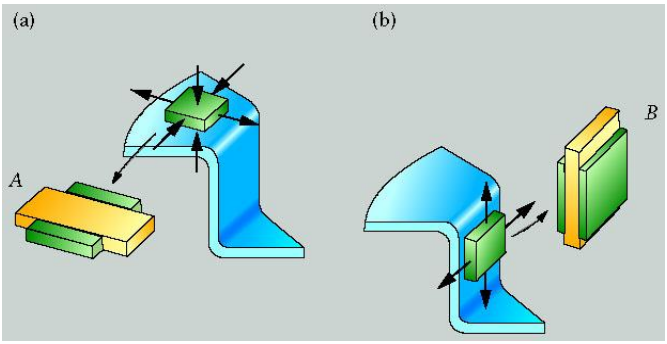
۱۷- فرایندهای کشش عمیق (Deep-drawing Process):

شکل دهی یک استوانه لوله ایی شکل ته بسته از یک پولک (بلانک) مدور و یا قطعاتی مثل منشور یا جعبه از بلانکهای مناسب را کشش عمیق می گویند. این فرایند نخستین مرحله در تولید قوطیهای الومینیومی انواع نوشیدنیها می باشد. از مزایای کشش عمیق می توان به صافی سطح بالا و سطح تنش پایین ان اشاره نمود. در شکل ۲-۵۰-a طرح شماتیک و در شکل ۲-۵۰- b متغییرهای مهم این فرایند ارائه شده اند.



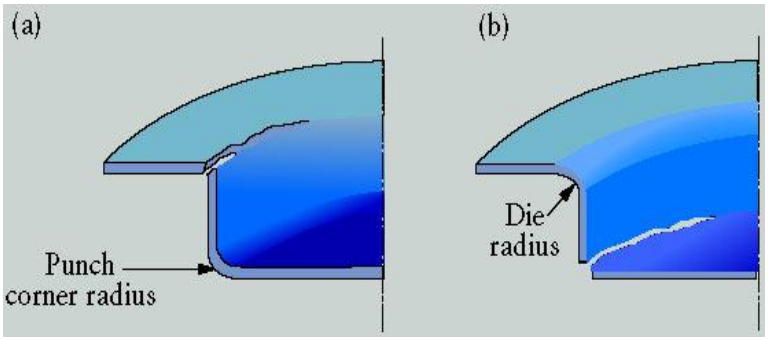
شکل ۲-۵۰ . a) طرح شماتیک فرایند کشش عمیق b) متغییرهای مهم فرایند

در شکل دهی این قطعات، بخشی از بلانک که در زیر سنبه است تغییر شکل محسوسی نخواهد داشت و قسمت عمده تغییر شکل در دیواره استوانه (ظرف صنعتی) رخ می دهد. شکل a-۲-۵۱ وضعیت تنش در ناحیه فلانجی شکل زیر ورق گیر را نشان میدهد. با حرکت سنبه ، سیلان ماده به درون حفره ماتریس ایجاد شده و از این رو در این ناحیه تنش های کششی شعاعی و تنش های فشاری محیطی وجود دارد. شکل b -۲-۵۱ به ناحیه دیواره ظرف می پردازد، نا حیه ایی که در ان ورق تحت کشش دو محوره (خالص) قرار می گیرد.



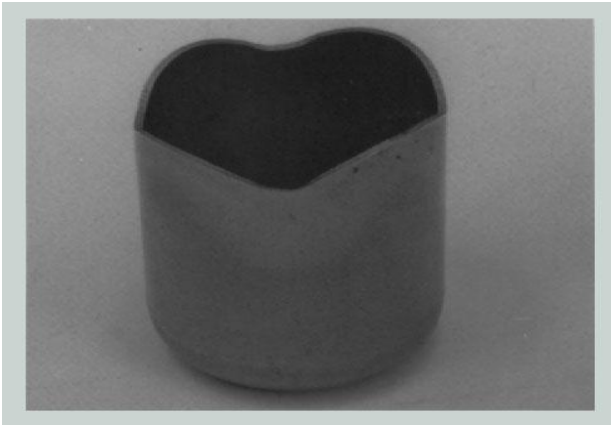
شکل ۲-۵۱. a) وضعیت تنش در ناحیه فلانجی شکل b) وضعیت تنش در دیواره ظرف .

از مباحث مهم در کشش عمیق بحث نسبت کشش یا DR (Drawing Ratio) است که به صورت نسبت قطر بلانک اولیه به قطر ظرف (محصول کشش عمیق) تعریف شده است. بیشترین مقدار نسبت کشش را حد نسبت کشش یا L.D.R (Limiting Drawing Ratio) می گویند که مقداران برای فلزات معمولی تقریبا ۲ بوده اما در شرایط کنترل شده ازمایشگاهی تا ۳ نیز گزارش شده است. عامل محدود کننده نسبت کشش در واقع پارگی ورق در ناحیه دیواره ظرف است. عواملی نظیر شعاع لبه سنبه، شعاع لبه ماتریس، نیروی ورق گیر، روانکار وضخامت ورق بر مقدار نسبت کشش تاثیر دارند اما این نسبت بیش از هر چیز به جنس ماده وابسته است. شکل ۲-۵۱ تاثیر شعاع لبه سنبه وشعاع لبه ماتریس بر ایجاد ترک ونهایتا وقوع شکست در یک محصول کشش عمیق را بررسی می کند. مقدار متوسط شعاع لبه ماتریس ۵ تا ۱۰ برابرضخامت ورق در نظر گرفته می شود. شکل a-۲-۵۱ به حالتی می پردازد که شعاع لبه ماتریس کمتر از مقدار پیشنهادی انتخاب شده است. ترک نشان داده شده در شکل b -۲-۵۲ می تواند در نتیجه کوچک بودن بیش از حد شعاع لبه سنبه ایجاد شود.



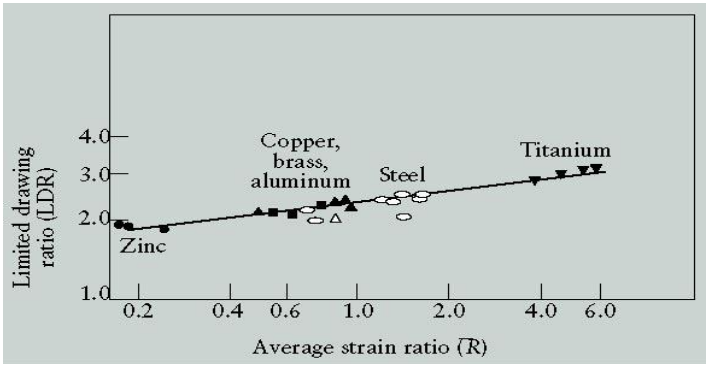
شکل ۲-۵۲. تاثیر شعاع لبه سنبه وشعاع لبه ماتریس بر ایجاد ترک در کشش عمیق.

ضریب کار سختی ماده و ناهمسانگردی دو عامل مهم و موثر بر حد نسبت کشش می باشند. ناهمسانگردی به دو صورت در ورق مشاهده می گردد، یکی ناهمسانگردی صفحه ایی است که به تغییر در خواص ورق در صفحه ان گفته می شود و البته تاثیری در حد نسبت کشش نداشته، صرفا موجب کنگره ایی (گوشواره ایی) شدن ورق در کشش عمیق می شود. شکل ۲-۵۳ کنگره ایی شدن یک محصول کشش عمیق را نشان می دهد.



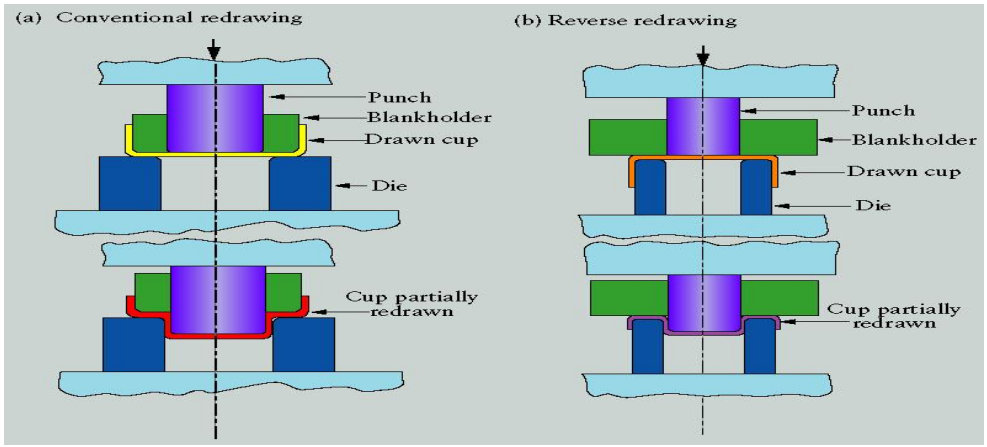
شکل ۲-۵۳ کنگره ایی شدن یک ظرف صنعتی در نتیجه نا همسانگردی صفحه ایی ورق.

نوع دیگر ناهمسانگردی، ناهمسانگردی عمودی نام دارد که عبارت است از تغییر در مقاومت ورق در راستای ضخامت ان. هر چه مقدار ناهمسانگردی عمودی بیشتر باشد حد نسبت کشش افزایش خواهد یافت. در شکل ۵۴-۲ تا ثیر ناهمسانگردی عمودی ورق برحد نسبت کشش بررسی شده است.



شکل ۲-۵۴. تا ثیر ناهمسانگردی ورق برحد نسبت کشش برای چند جنس مختلف ورق فلزی.

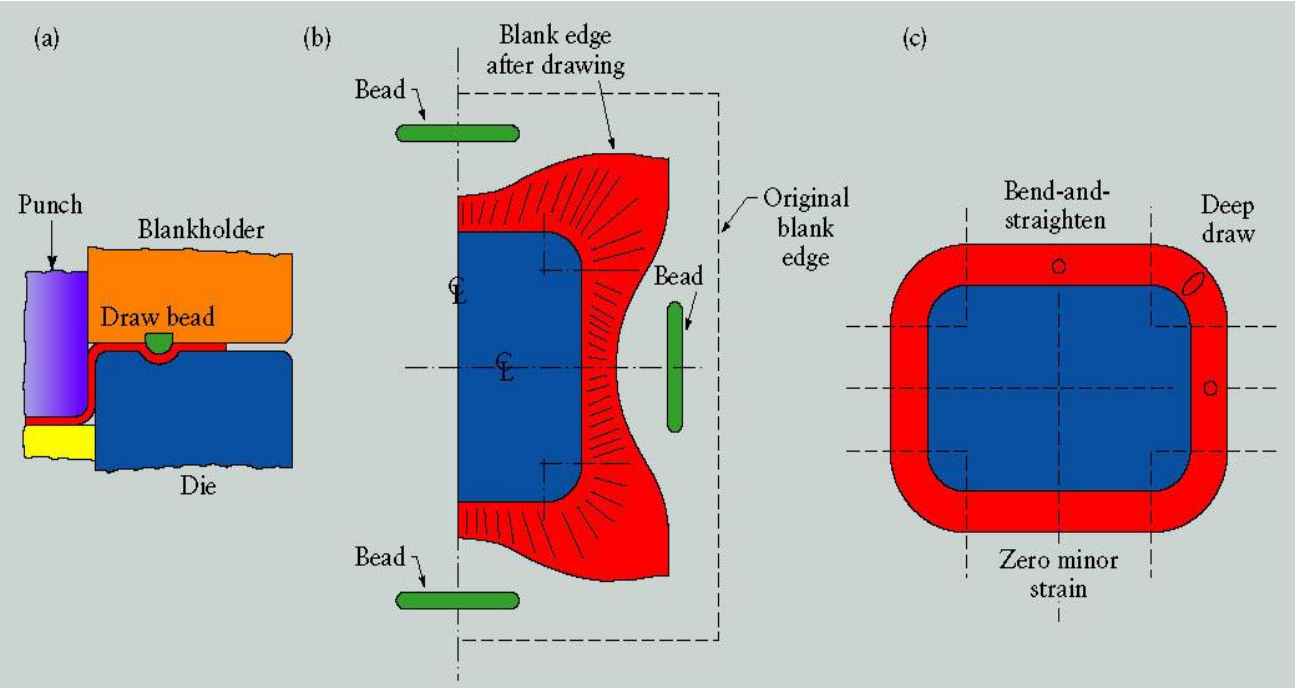
چنانچه به نسبتهای کشش بیشتری نیاز باشد از فرایندهای کشش مجدد (Redrawing Operations) استفاده می شود. کشش مجدد به دو صورت مستقیم (سنتی) و معکوس وجود دارد. در این تکنیک با توجه به اینکه ورق در یک مرحله تحت تنش قرار گرفته است ناگزیر مقداری افت در حد نسبت کشش وجود خواهد داشت که معمولا از طریق عملیات حرارتی مناسب جبران می شود. شکل a-۵۵-۲ طرح شماتیک کشش مجدد مستقیم و شکل b -۵۵-۲ کشش مجدد معکوس را ارائه می کند.



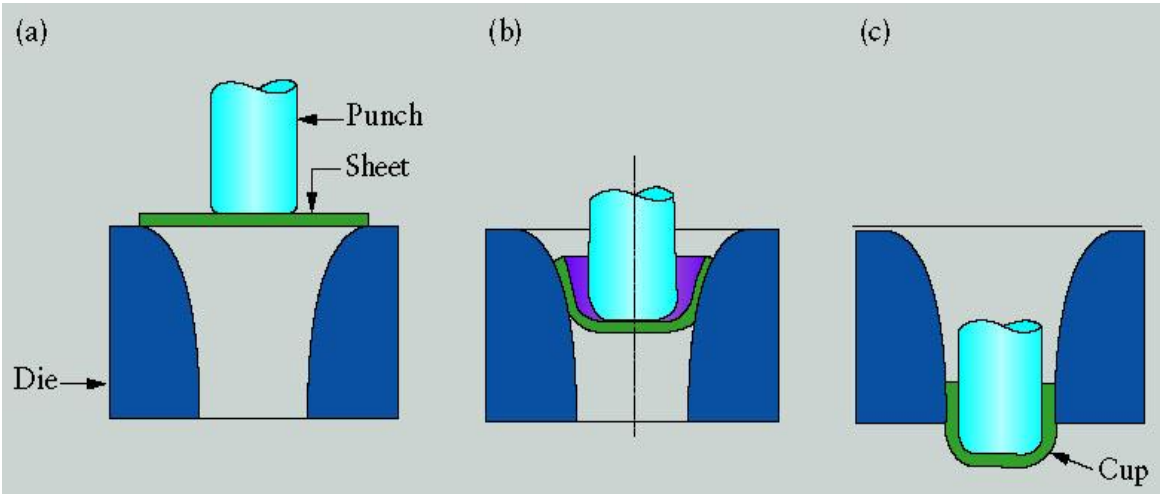
شکل ۵۵-۲. طرح شماتیک فرایندهای کشش مجدد

از دیگر پارامترهای تعیین کننده در کشش عمیق، ورق گیر و مباحث مربوط به ان است. ورق گیر از چین و چروک ایجاد شده به دلیل تنش های فشاری محیطی در ورق پیشگیری می کند. نیروی ورق گیر با ضخامت ورق نسبت معکوس دارد. اگر این نیرو بیش از مقدار بهینه باشد احتمال پارگی واگر کمتر از ان باشد احتمال چین خوردگی ورق افزایش می یابد. ممکن است به منظور کنترل بهتر جریان فلزاز زائده هایی موسوم به مهره کشش (Draw Bead) استفاده گردد. شکل ۵۶-۲ به این مطلب می پردازد.

شکل ۵۶-۲ . a) طرح شماتیک مهره کشش. b) نمایش جریان کنترل شده فلز با استفاده از مهره کشش. c) شکل گیری نواحی مدور در کشش عمیق.



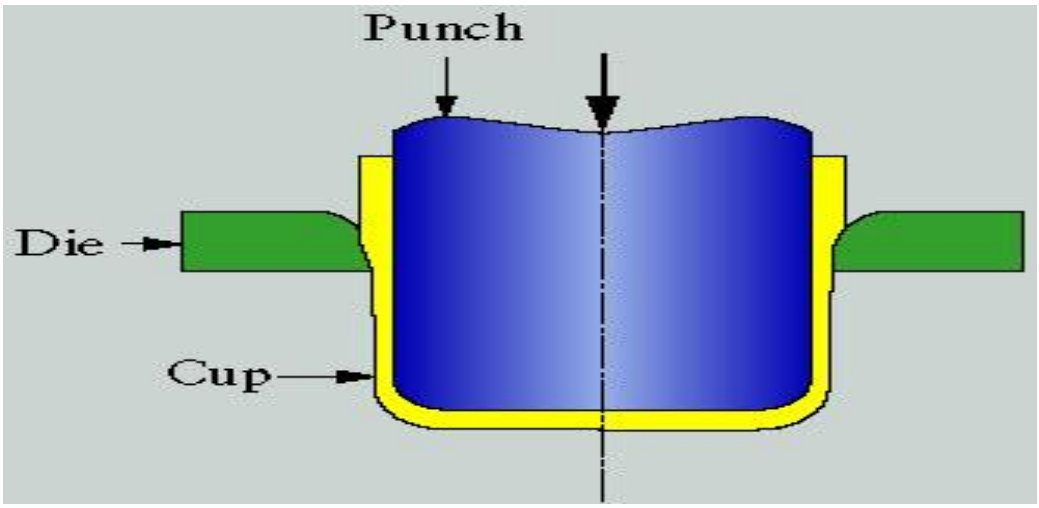
در مواردیکه نسبت کشش کم یا ضخامت ورق زیاد باشد می توان کشش بدون ورق گیر انجام داد. در این موارد از قالبهای ویژه ایی استفاده می شود. یک نمونه معروف این قالبها، قالبهای تراتریکس (Tractrix Di) می باشد. در واقع در این قالب، حفره ماتریس دارای منحنی پروفیل خاصی است که امکان جریان مناسب ورق ودر نتیجه ان کشش بدون ورق گیر را فراهم می کند. طرح شماتیک کشش بدون ورق گیر در قالبهای تراتریکس در شکل ۵۷-۲ ارائه شده است.



شکل ۵۷-۲. طرح شماتیک کشش بدون ورق گیر در قالبهای تراتریکس

۱۸- فرایندهای اطوکاری (Ironing Process):

طرح شماتیک این فرایند در شکل ۵۸-۲ ارائه شده است. محصولات کشش عمیق معمولا دارای ضخامت یکسان نیستند. در واقع تولید ظروف با ضخامت یکسان نیروی زیادی را طلب می کند که در کشش عمیق مقرون به صرفه نیست. بنابراین به منظور کاهش ضخامت و یکنواخت کردن دیواره محصولات کشش عمیق از اطوکاری استفاده می شود.



شکل ۵۸-۲. طرح شماتیک فرایند اطوکاری.

نیروی وارده به ابزار در اطوکاری کم است و به علاوه صافی سطح بسیار خوبی در قطعات ایجاد می کند. به همین دلیل است که محصولات اکستروژن را نیز بعضا اطوکاری می کند.

فصل سوم:

فرآیندهای شکل دهی حجمی

۱- مقدمه:

در فرايندهاي شكل دهي حجمي ماده ورودي عموما يك تختال، شمشال يا ميله است. مشخصه اساسي اين دسته فرايندها ان است كه نسبت مساحت به حجم در ناحيه تغيير شكل به طور قابل توجهي تحت تاثير تنشهاي فشاري بزرگ افزايش مي يابد. فرايندهاي شكل دهي حجمي خصوصيات متمايز زير را دارا هستند:

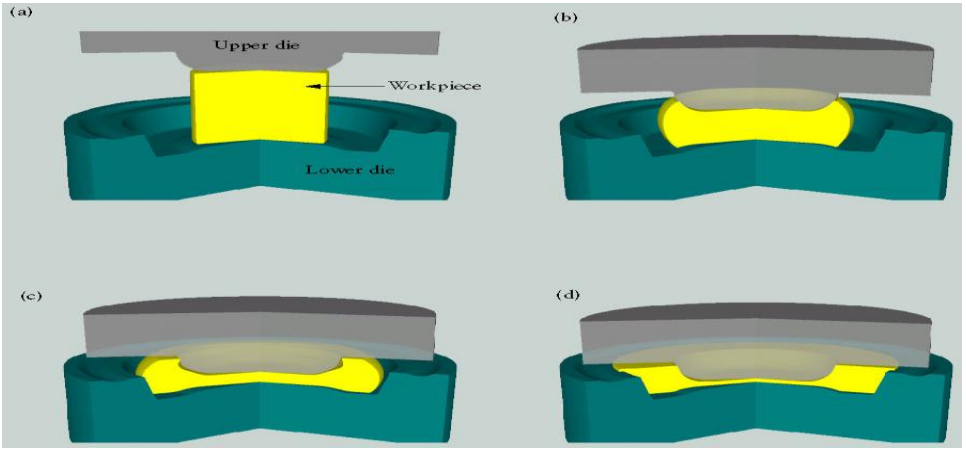
- قطعه كار (ماده اوليه) تحت تاثير تغيير شكلهاي پلاستيك شديد قرار مي گيرد كه در نتيجه ان تغييرات عمده ايي در شكل يا مقطع عرضي ان ايجاد مي شود.
- نسبت حجمي از ماده كه تحت تغيير شكل پلاستيك قرار مي گيرد به مراتب بيشتر از حجم ماده اي است كه دچار تغيير شكل الاستيك مي شود. از اين رو بازگشت الاستيك در اينگونه فرايندها غير محسوس و قابل چشم پوشي است.

از سال ۱۹۹۸ به بعد پيشرفتهاي چشمگيري در زمينه فرايندهاي شكل دهي حجمي به وقوع پيوسته كه از ان جمله ميتوان به ابداع فرايندهاي نوين نظير فرايندهاي شكل دهي تدريجي، تهيه مواد ورودي جديد، كنترل بهتر بر ريزساختار از طريق فرايند هاي ترمومكانيكي خاص و توسعه تدريجي ابزارهاي پيشرفته به منظور پيشگويي كيفيت سطح و ريز ساختارنهايي ماده اشاره نمود.

مهمترين فرايندهاي شكل دهي حجمي عبارتند از اهنگري ، اهنگري دوار، اكستروژن (روزنراني)، نورد كاري و كشش. در اين بخش اساس تمامي فرايندهاي شكل دهي حجمي ارائه و به فراخور توضيحاتي ارائه مي گردد

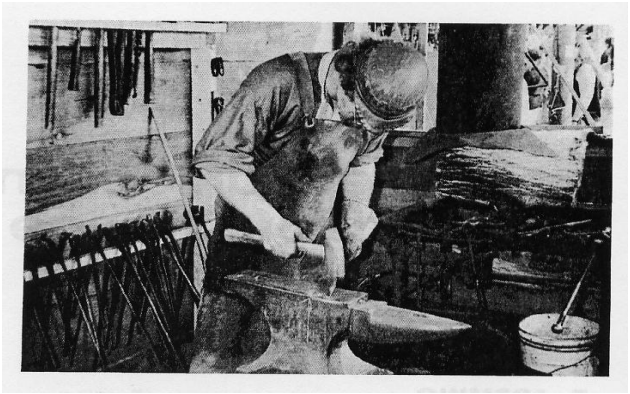
۲- فرایندهای اهنگری (Forging process):

اساسا اهنگري فرايند كارگرمي است كه در ان جريان فلز تحت تاثير تنش هاي فشاري بزرگ اتفاق مي افتد. دراين روش، قطعه كار به وسيله مجموعه ايي ازقالبها و ابزارهاي متوالي شكل داده مي شود. مطابق شكل ۱-۳ درفرايند اهنگري، غالبا فلز در دمايي بالاتر از دماي تبلور مجدد تحت تراكم قرار گرفته و بدين سان شكل و نقش و نگارهاي محفظه قالب را به خود مي گيرد.



شكل۱-۳. در فرايند اهنگري ماده اوليه حرارت ديده، تحت فشار قالب به گونه ايي جريان مي يابد كه شكل محفظه قالب را به خود مي گيرد.

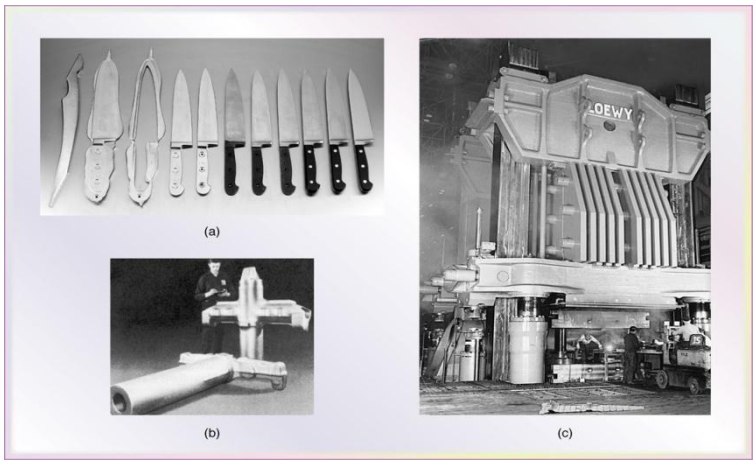
اهنگري پيشينه تاريخي زيادي دارد و يكي از قديميترين روشهاي شكل دهي فلزات به شمار مي رود. تجهيزات و ادوات اين تكنيك در ابتدا چيزي بيش از يك چكش وسندان نبوده است. مجموعه ايي از وسايل ساده كه در كنار بهره گيري از حرارت اتش، به منظور ساخت نعل اسب، شمشير و نظائر انها به كار مي رفتند. (شكل ۲-۳)



شكل ۲-۳ . توليد نعل اسب بارز ترين روش اهنگري سنتي است.

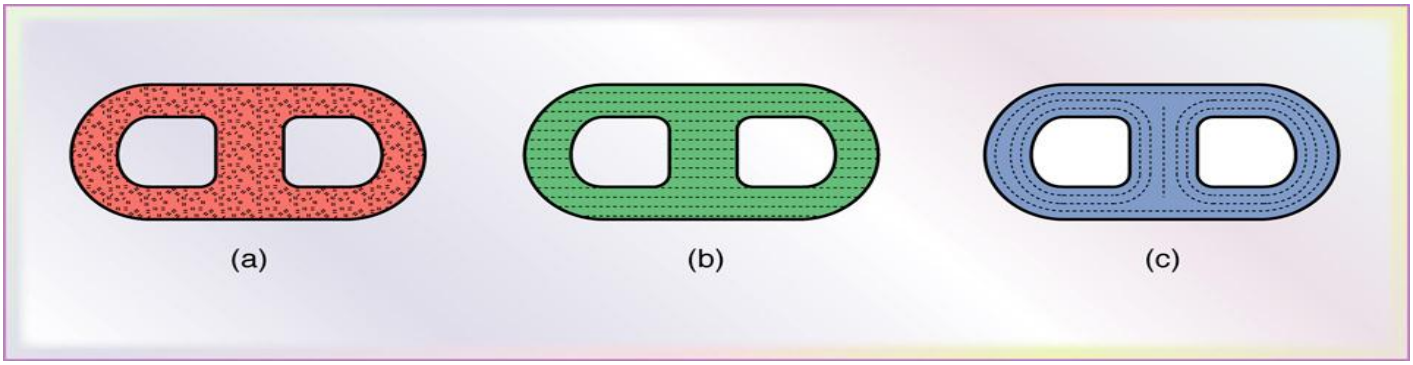
بايد توجه نمود امتياز بزرگ شكل دهي فلزات در درجه حرارتهاي بالاتر از درجه حرارت تبلور مجدد، وجود سيستمهاي لغزشي متغيير، كاهش مقاومت تسليم در درجه حرارت بالا و نيز عدم وجود پديده كرنش سختي به علت خاصيت خود بازپختي مي باشد. بنابراين مي توان گفت از انجا كه ايجاد تغيير شكل زياد در نتيجه كاهش مقاومت تسليم و افزايش چكش خواري در دماهاي بالا امكان پذير است، فرايندهاي اهنگري داغ متداولترند. بايد توجه داشت اگرچه در فرايندهاي اهنگري سرد سطح بالاتري از نيرو مورد نياز است مزيت عمده اين روشها افزايش استحكام در نتيجه پديده كرنش سختي مي باشد.

مطابق شكل ۳-۳ فرايند اهنگري در گستره بزرگي از صنعت ايفاي نقش مي كند. امكان ساخت قطعات نزديك به شكل نهايي (net shape) ونيز توانايي توليد قطعات پيچيده نظير جعبه دنده هاي صنايع زميني، دسته شاتون و محورهاي با هندسه خاص، اهنگري را در رديف كاربردي ترين روشهاي توليد قرار داده است.



شكل ۳-۳. a) طرح شماتيك مراحل مختلف اهنگري يك چاقو. b) توليد برخي اجزائ هواپيما c) نماي كلي يك پرس هيدروليك ۵۰۰۰۰ تن در فرايند اهنگري.

همانگونه كه در قبل نيز اشاره شد برتري عمده روشهاي شكل دهي فلزي (مخصوصا اهنگري) بر ساير روشهاي توليد ، حصول خواص مكانيكي بهتر در نتيجه ايجاد ريز ساختار مناسب مي باشد. در واقع از انجا كه ريز ساختار ماده تابعي از روش توليد قطعه مي باشد مي توان نقش روش توليد را درايجاد خواص مكانيكي مطلوب برجسته دانست. شكل ۴-۳ طرح شماتيك دانه بندي و ريز ساختار حاصل از سه روش مختلف توليد را ارائه مي كند. شكل a- ۴-۳ مربوط به ريخته گري بوده، شكلهاي b- ۴-۳ و c-۴-۳ به ترتيب به ريز ساختار حاصل از ماشينكاري و اهنگري مي پردازند.



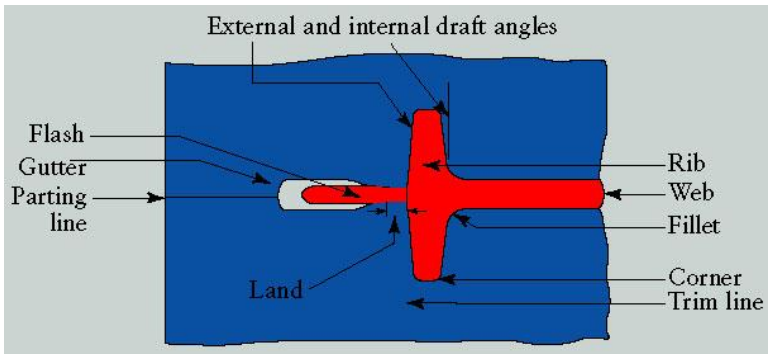
شكل ۴-۳ طرح شماتيك دانه بندي و ريز ساختار حاصل ازa) ريخته گري b) ماشينكاري c) اهنگري

اگرچه هر يك از اين فرايندها امتيازات و محدوديتهاي خاص خود را به لحاظ خواص داخلي، خارجي، دقت ابعادي، كيفيت سطح و اقتصاد توليد را دارند اما فرايند اهنگري از انجا كه به ريز ساختار منظم و غيرمتقاطع مي انجامد خواص مكانيكي بهتري را ايجاد ميكند. در واقع دستيابي به استحكام و انعطاف پذيري بالا كه در نتيجه وجود امكان كنترل جريان فلزحاصل مي شود، مهمترين امتياز توليد به شيوه اهنگري محسوب مي گردد. در كنار اين ويژگيها، فرايندهاي اهنگري با دو محدوديت عمده مواجه هستند. نخست انكه قالبهاي اهنگري و به خصوص قالبهاي اهنگري داغ بسيار گران و پرهزينه اند. دومين محدوديت اهنگري و فرايند هاي وابسته اين است كه اجراي موفق انها سطح بسيار بالايي از مهارت كارگاهي را طلب مي كند. جدول ۳-۱ محدوده دمايي براي اهنگري داغ چند ماده متداول را ارائه مي دهد.

جدول ۳-۱. محدوده دمايي در اهنگري داغ.

Material	Temperature Range (°C)
Aluminum alloys	400-550
Magnesium alloys	250-35-
Copper alloys	600-900
Carbon and low alloy steels	850-1150
Stainless steels	1100-1250
Titanium alloys	700-950
Iron based superalloys	1050-1180
Tungsten alloys	1200-1300

شكل ۵-۳ هندسه و مشخصات متداول يك قالب اهنگري را ارائه مي نمايد.

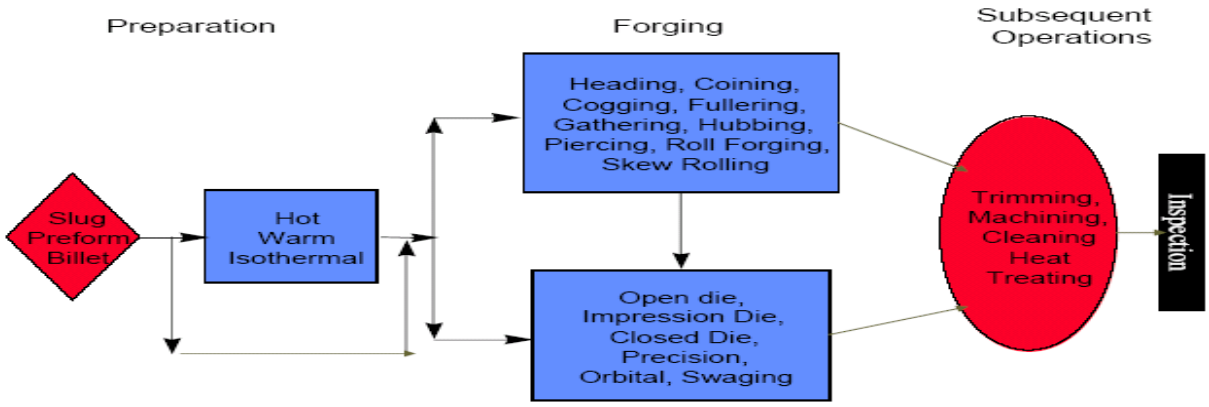


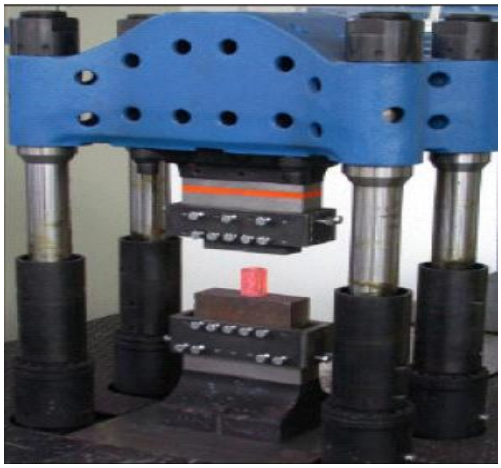
شكل ۵-۳ مشخصات استاندارد يك قالب اهنگري.

با توجه به انچه گذشت مي توان مراحل زير را براي توليد به شيوه اهنگري متصور بود:

- اماده سازي ماده اوليه و تميز كاري ان
- حرارت دادن قطعه كار(اهنگري داغ)
- پوسته زدايي در صورت لزوم
- پيشگرم كردن و روغنكاري قالبها (اهنگري داغ)
- اهنگري در قالبهاي مناسب و با توالي صحيح
- بر داشتن ماده اضافي (پليسه يا فلش)
- تميز كاري
- كنترل ابعادي
- كم كردن ابعاد در صورت لزوم
- ماشينكاري براي رسيدن به ابعاد نهايي
- عمليات حرارتي در صورت لزوم
- بازرسي و كنترل كيفيت

درتكنيك هاي اهنگري، مكانيزم هاي متنوعي جهت اعمال نيروهاي فشاري وجود دارد. اين تنوع به پيدايش روشهاي مختلفي منجر شده است كه ميتوان انها را بر اساس درجه و ميزان مقاومتي كه قالب در برابر جريان و سيلان فلز از خود نشان مي دهد به صورتهاي زير دسته بندي مييشوند



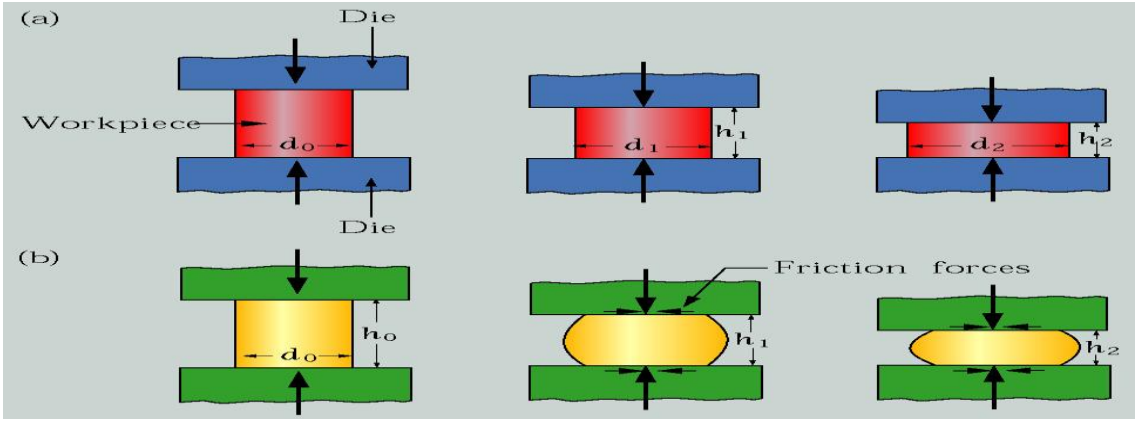


ساده ترين عمل اهنگري ، اهنگري در قالب باز(open die forging) مي باشد كه تحت عنوان اهنگري در قالب تخت (flat die forging) يا پرچكاري (upsetting) نيز شناخته شده است. در اين روش قطعه كار توسط دو قالب تخت تحت فشار قرار مي گيرد به گونه ايي كه مي تواند بدون هيچگونه محدوديت جانبي، موازي با فكهاي قالب جريان يابد. شكل ۶-۳ يك قالب اهنگري باز در شرايط دمايي داغ را نمايش مي دهد.

شكل ۶-۳ يك قالب اهنگري باز

تكنيك اهنگري باز ارزان بوده و مي توان انرا به منظور توليد تنوع وسيعي از قطعات ساده - نظير چهارگوش واستوانه - در قالبهاي يكسان به كار گرفت. البته بايد توجه داشت فرايند پرچكاري بيشتر به عنوان پيش فرم وبه منظور اماده سازي قطعه براي مراحل بعدي اهنگري مورد توجه قرار مي گيرد. مهمترين محدوديت در اين فرايند وقوع پديده بشكه ايي شدن (Barreling) مي باشد كه در نتيجه اصطكاك زياد ميان قطعه و فكهاي قالب رخ مي دهد.

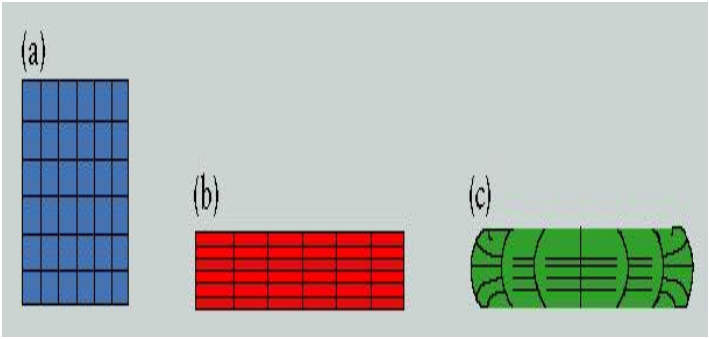
شكل a-۳-۷ تغيير شكل ايده ال يك قطعه استوانه ايي شكل توپر را ميان قالبهاي بدون اصطكاك و شكل b-۳-۷- همان قطعه را در شرايط واقعي (وجود اصطكاك) نشان مي دهد. لازم به ذكر است به منظور جلوگيري از كمانش، طول قطعه كار را معمولا وحداكثر تا سه برابر بيشتر از قطر ان در نظر مي گيرند.



شكل ۳-۷. فرايند پرچكاري a) شرايط ايده ال(بدون اصطكاك) b) شرايط واقعي (وجود اصطكاك

همانگونه كه از شكل و توضيحات ان قابل استنباط است اصطكاك بين فكهاي قالب و نمونه ، بشكه ايي شدن قطعه را به دنبال دارد. در شكل ۸-۳ خطوط جريان دانه ها ارائه شده است. انچه به طور مشخص قابل رويت است ناهمگني بسيار زياد و پديده بشكه ايي شدن مي باشد.

شكل۸-۳. نمايش خطوط جريان دانه ها در فرايند پرچكاري .



شكل ۹-۳ تغيير شكل شبكه اي در فرايند پرچكاري را نشان مي دهد. ردپاي پديده بشكه ايي شدن به خوبي قابل پيگيري است.

شكل ۹-۳. a) قبل از تغيير شكل b) بعد از تغيير شكل بدون اصطكاك c) بعد از تغيير شكل واقعي

يكي از اصطلاحات مهم در زمينه اهنگري، قابليت اهنگري (Forgeability) مي باشد كه اكنون زمينه لازم براي بيان ان وجود دارد. قابليت اهنگري يك ماده به توانايي و ميزان شكل پذيري ان بدون ايجاد هرگونه ترك و واماندگي گفته مي شود. متداولترين ازمايش براي قابليت اهنگري، فرايند پرچكاري است. نمونه مورد نظر بين فكهاي قالب تحت فشار قرار مي گيرد و سطوح بشكه ايي شده ان از نظر ترك خوردگي بازرسي مي شوند. ازمايشها نشان مي دهند قابليت اهنگري بيش از هر چيز به تنش تسليم، قابليت انعطاف و ضريب اصطكاك بستگي دارد. جدول ۳-۲ دسته بندي چند ماده بر اساس قابليت اهنگري انها نمايش را مي دهد.

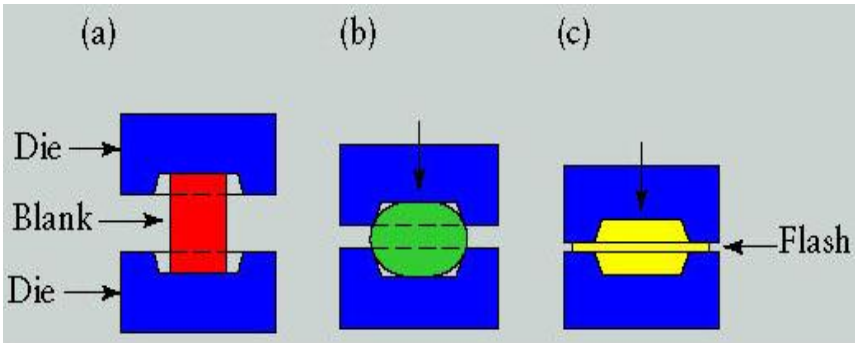
TABLE 14.3

Classification of Metals in Decreasing Order of Forgeability

Metal or alloy	Approximate range of hot-forging temperatures (°C)
Aluminum alloys	400-550
Magnesium alloys	250-350
Copper alloys	600-900
Carbon- and low-alloy steels	850-1150
Martensitic stainless steels	1100-1250
Austenitic stainless steels	1100-1250
Titanium alloys	700-950
Iron-based superalloys	1050-1180
Cobalt-based superalloys	1180-1250
Tantalum alloys	1050-1350
Molybdenum alloys	1150-1350
Nickel-based superalloys	1050-1200
Tungsten alloys	1200-1300

جدول ۳-۲ . دسته بندي چند ماده بر اساس قابليت اهنگري

در حالت كلي مي توان گفت فرايندهاي اهنگري در قالب باز ارزان و اقتصادي اند، براي توليدات كم حجم به كار گرفته شده و محدوده وسيعي از ابعاد را در بر مي گيرند. در كنار اين مزايا محدوديت هايي نيز به اين فرايندها نسبت داده مي شود كه از ان جمله مي توان به منحصر شدن توانايي انها به توليد قطعات ساده، دقت ابعادي پايين، نرخ توليد كم و نياز به مهارت ويژه كارگاهي اشاره نمود.

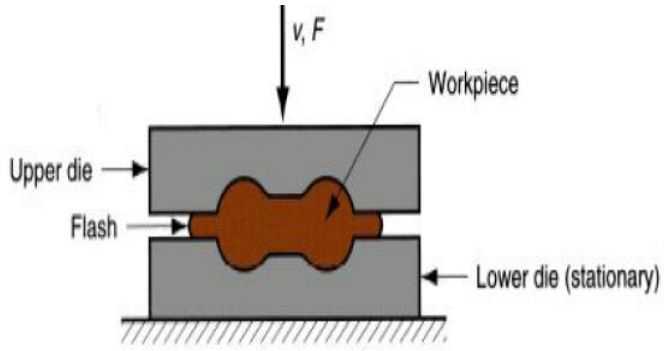


تكنيك قرينه فرايندهاي اهنگري باز، اهنگري در قالب بسته (closed die forging) مي باشد. مطابق شكل ۱۰-۳ در اين فرايندها از قالبهايي با انتهاي تقريبا بسته استفاده مي گردد. معمولا فرايندهاي اهنگري بسته به بيش از يك قالب جهت شكل دهي كامل قطعه نياز دارند.

شكل ۱۰-۳ . شكل دهي در قالبهاي متوالي به منظور دستيابي به شكل مطلوب قطعه(اهنگري بسته)

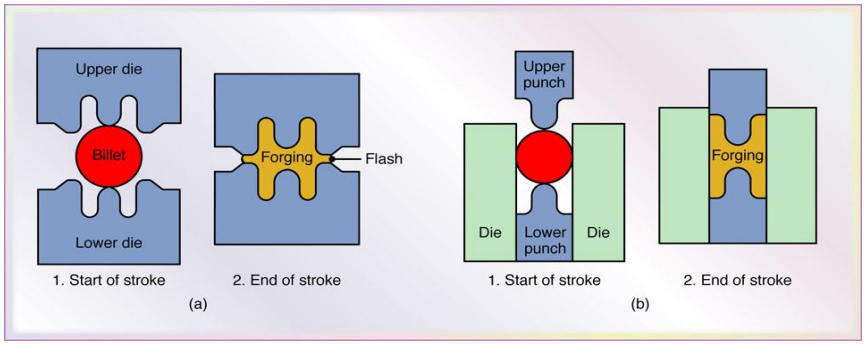
از مزاياي اهنگري در قالب بسته مي توان به بكارگيري خوب جريان ماده، خواص بهتر، صحت و تلرانسهاي مناسب، نرخ توليد بالاتر و قابليت تكرار اشاره نمود. حال انكه هزينه هاي بالاي قالب و لزوم انجام ماشينكاري تكميلي از محدوديت هاي اين روش محسوب مي شوند.

قا لبهاي اهنگري بسته، خود به دو صورت با فلش (Flash) و بدون فلش مي باشند. فلش در واقع پليسه يا اضافه برشي است كه در مراحل پاياني دوره بري مي گردد. نحوه شكل گيري فلش در شكل ۱۱-۳ ارائه شده است .



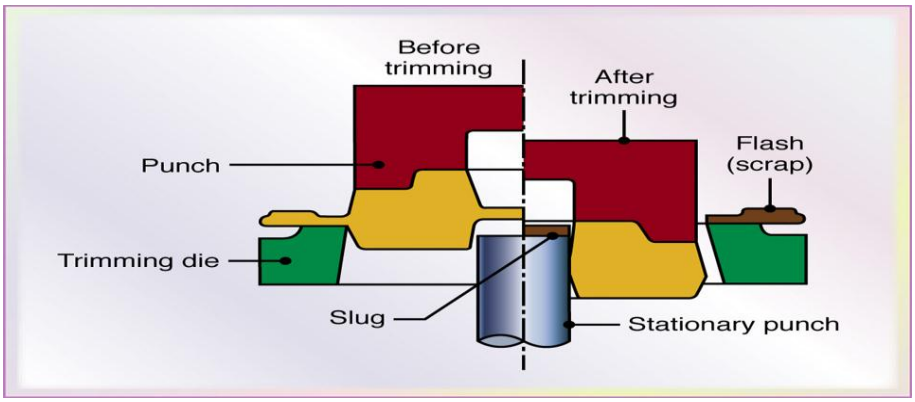
شكل ۱۱-۳. نحوه شكل گيري فلش

بايد توجه داشت اين اضافه برش يا فلش كه در واقع ماده اضافي مي باشد به منظور اطمينان از پر شدن كامل فضاهاي قالب و حصول نقش و نگارهاي ظريف قطعه در نظر گرفته مي شود. (شكل ۱۲-۳)



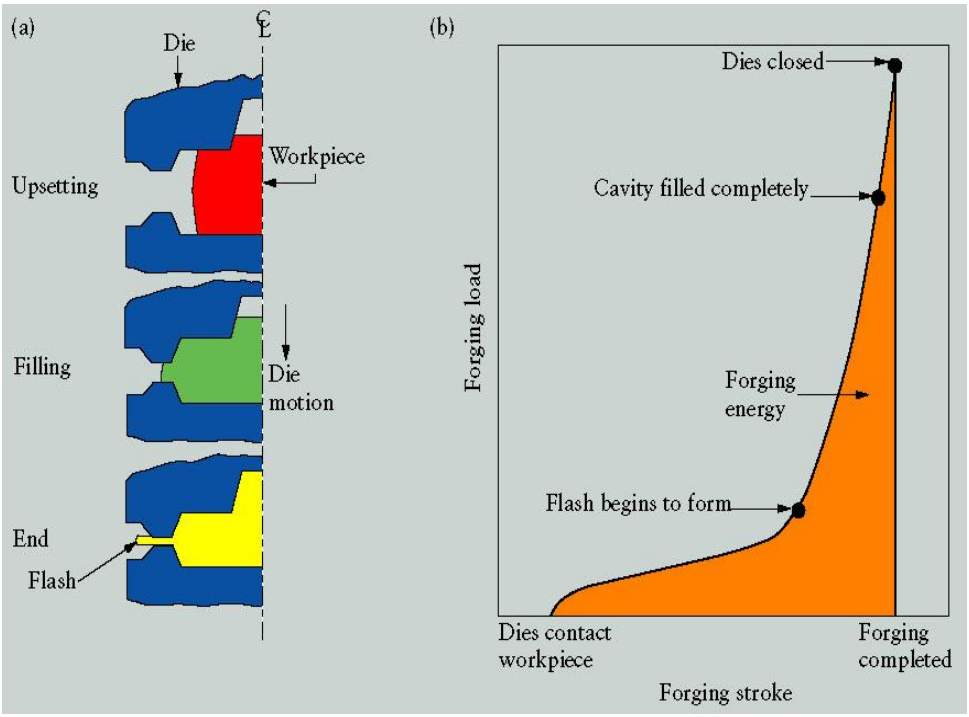
شكل ۱۲-۳. a) اهنگري در قا لب بسته با فلش b) اهنگري در قا لب بسته بدون فلش.

طرح شماتيك عمليات دوره بري به منظورتكميل قطعه و حذف پليسه ها درشكل ۱۳-۳ ارائه شده است.



شكل ۱۳-۳ عمليات دوره بري پس از اهنگري

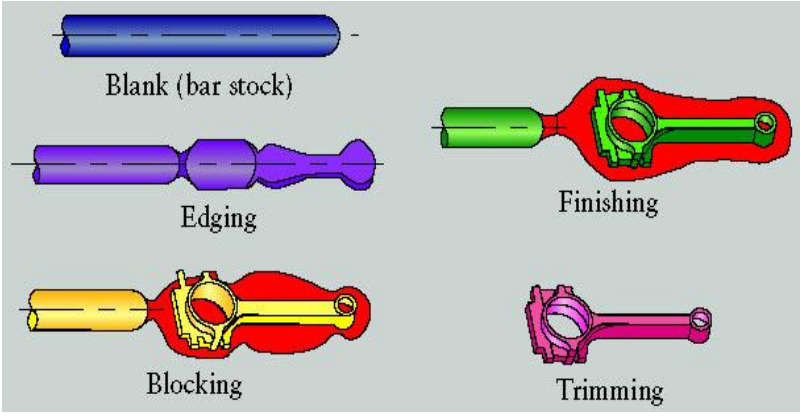
شكل ۱۴-۳ نمودار نيرو بر حسب كورس دراهنگري بسته را ارائه مي كند. با پيشروي نيمه بالايي قالب و فشرده شدن قطعه، به تدريج نيرو افزايش مي يابد. اين نيرو به تنش تسليم و هندسه قطعه، همچنين به سطح تماس ان با قالب بستگي دارد. با افزايش پيشروي وهمزمان با پر شدن حفره ها و نقش و نگارهاي قالب، اهنگ افزايش نيرو بيشتر مي شود. با بسته شدن قالب و شكل گيري فلش، بيشترين ميزان افزايش در نيرو مشاهده مي گردد.



شكل ۱۴-۳ نمودارافزايش نيرو بر حسب كورس دراهنگري بسته.

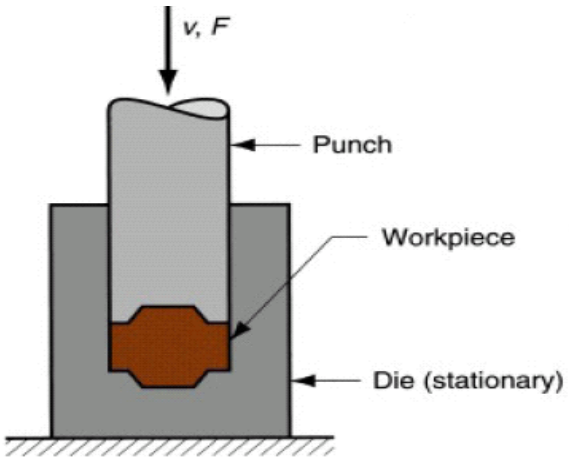
يكي از عواملي كه تاثير زيادي در كاهش نيروهاي اهنگري دارد، روانكاري مي باشد. روانكاري مناسب از يك سو جريان ماده را به درون قالب بهبود بخشيده و از سوي ديگر خروج انرا از قالب تسهيل مي كند. روغن هاي معدني، صابون و سيليكاتها متداولترين روانكارها در اهنگري سرد هستند . در فرايندهاي اهنگري داغ از دي سولفيد مولیبدن به عنوان روانكار استفاده مي شود.

شكل ۱۵-۳ مراحل مختلف و پيشفرم هاي توليد دسته شاتون را نمايش مي دهد. در مرحله لبه زني(Edging) جريان ماده به سمت دور شدن از كناره هاي قطعه ودر مرحله انسداد (blocking) جريان ماده در جهت دور شدن از مركز قطعه خواهد بود.



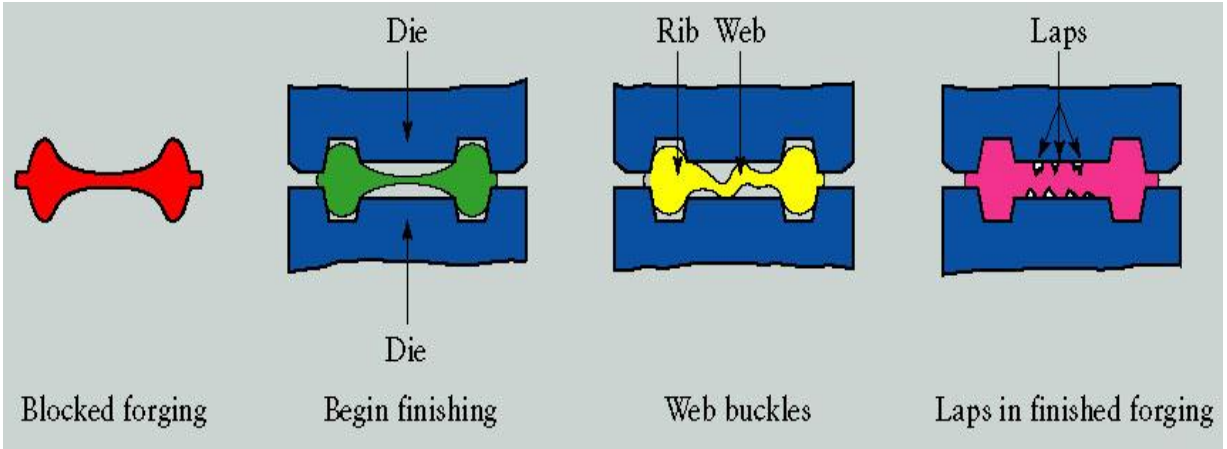
شكل ۱۵-۳.مراحل و پيشفرم هاي توليد دسته شاتون موتور احتراق داخلي.

توسعه بيشتر فرايندهاي اهنگري در قالب بسته به اهنگري دقيق (Precision forging) يا اهنگري بدون فلش منجر شد. در اين روش بر اساس محاسبه دقيق جريان ماده به منظور پر كردن فضاهاي قالب با كمترين ميزان توليد پليسه و فلش عمل مي شود. در اين تكنيك قالبها با جزئيات بيشتري ساخته مي شوند تا عملياتهاي شكل دهي متعاقب حداقل گردند. بدين ترتيب معمولا عمليات هاي ماشينكاري تكميلي مورد نياز نمي باشد. از مزاياي اين روش مي توان به خواص مكانيكي عالي ، حداقل مراحل شكل دهي وتلرانسهاي بسته و از معايب ان ميتوان به دشوار بودن كنترل جريان ماده ، هزينه هاي بالا و نيروهاي فزاينده اهنگري اشاره كرد. شكل ۳-۱۶ نمونه ايي شماتيك از اهنگري در قالب بسته بدون فلش را ارائه ميكند.



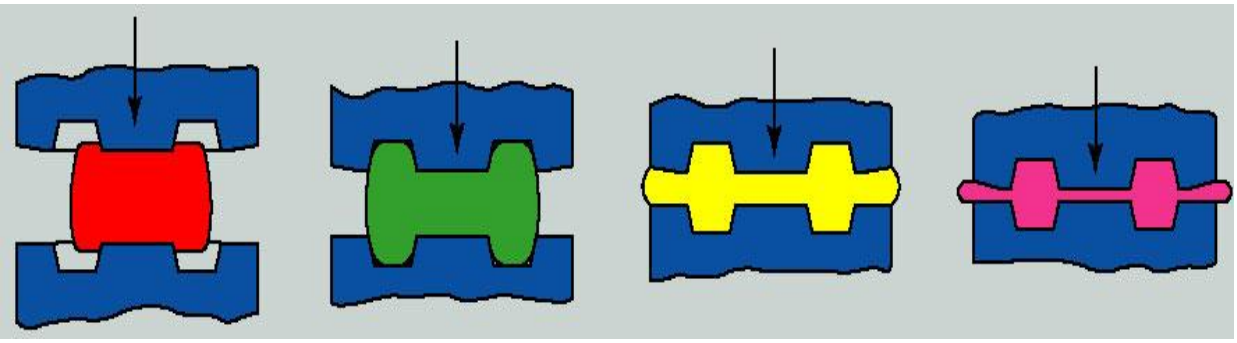
شكل ۳-۱۶. طرح شماتيك اهنگري در قالب بسته بدون فلش.

نمونه هايي از عيوب اهنگري كه در اثر كمانش در ميانه قطعه ايجاد مي شوند در شكل ۳-۱۷ ارائه شده اند.



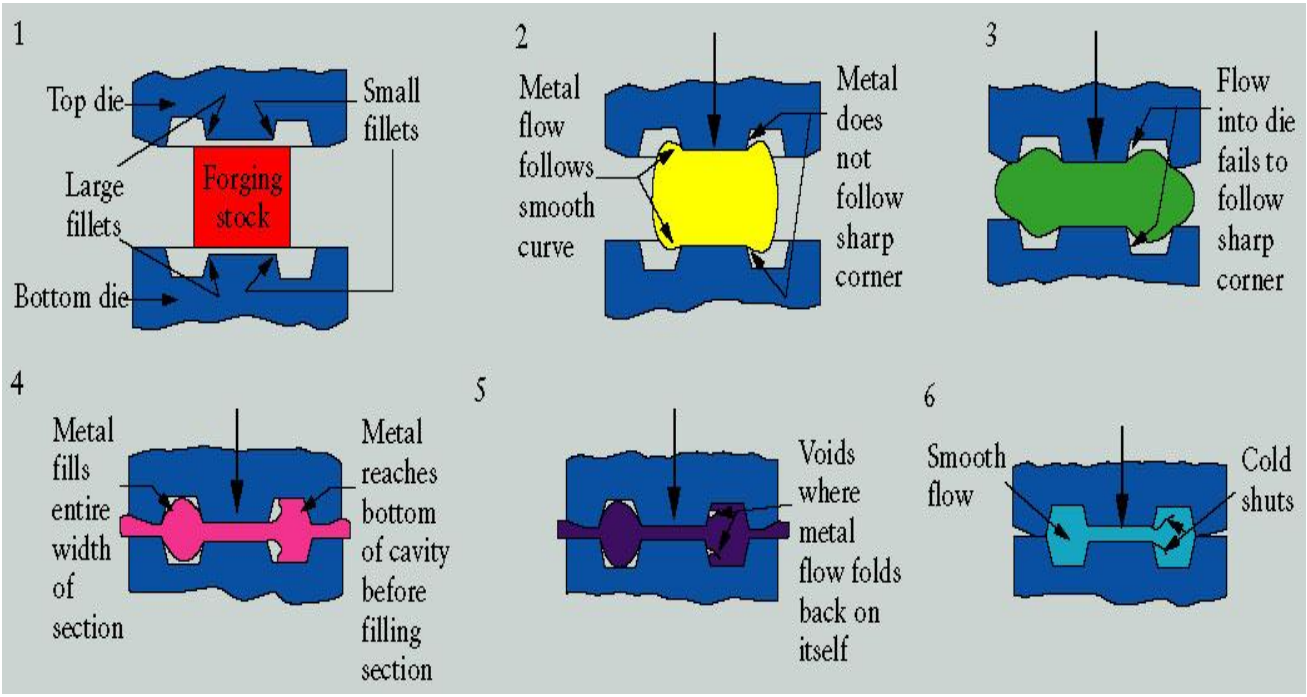
شكل ۳-۱۷. نمايش نمونه ايي از عيوب اهنگري.

حالت ديگري از عيوب داخلي اهنگري در نتيجه بزرگتر از اندازه بودن تختال اوليه رخ مي دهند. با پر شدن ناگهاني حفره هاي قالب و ادامه فرايند شكل دهي ، ماده ايي كه در مركز قالب متمركز شده ناگزير به سمت حفره هاي پر شده جريان يافته ومطابق شكل ۳-۱۸ به پيدايش عيب مي انجامد.



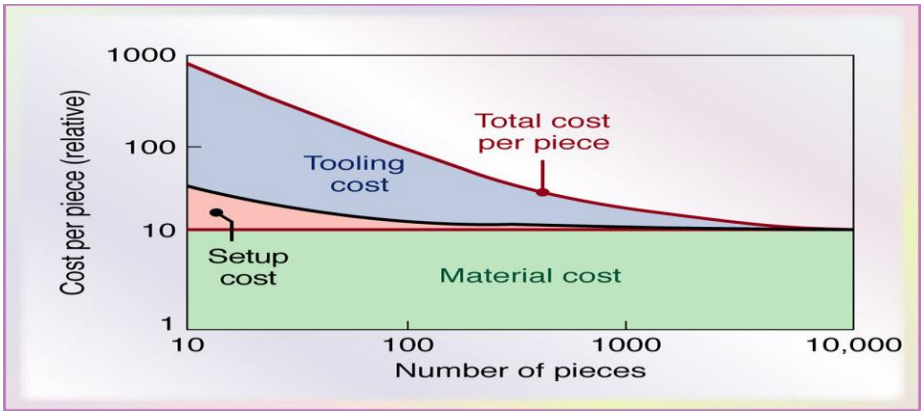
شكل ۱۸- ۳ حالت ديگري از عيوب داخلي اهنگري .

در شكل ۱۹-۳ تاثير شعاع گوشه قالب در شكل گيري عيوب اهنگري ارائه شده است.



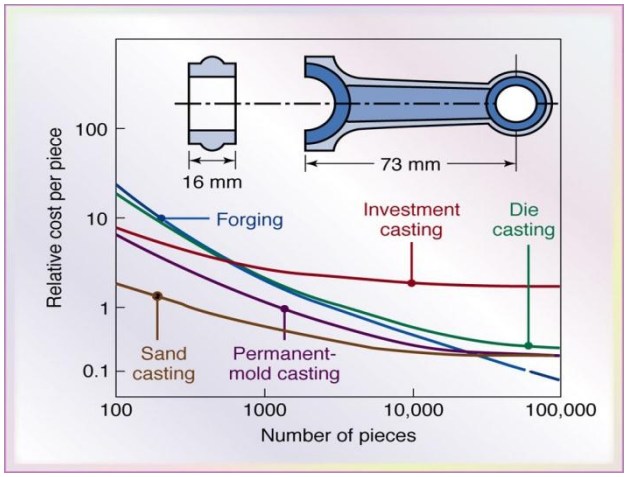
شكل ۱۹-۳ تاثير شعاع گوشه قالب در شكل گيري عيوب اهنگري

از انجا كه اهنگري يكي از كاربردي ترين روشهاي شكل دهي فلزي است مباحث متعددي پيرامون اقتصاد ان وجود دارد. شكل ۲۰-۳ منحني عمومي هزينه به ازائ هر قطعه در اهنگري را ارائه مي كند. همانگونه كه از نمودار قابل استنباط است چنانچه همه قطعات با قالبهاي يكسان توليد شوند با افزايش تعداد قطعات، هزينه هاي نصب و نيز هزينه هاي ابزار كاهش مي يابند.



شكل ۲۰-۳ منحني عمومي هزينه به ازائ هر قطعه در اهنگري .

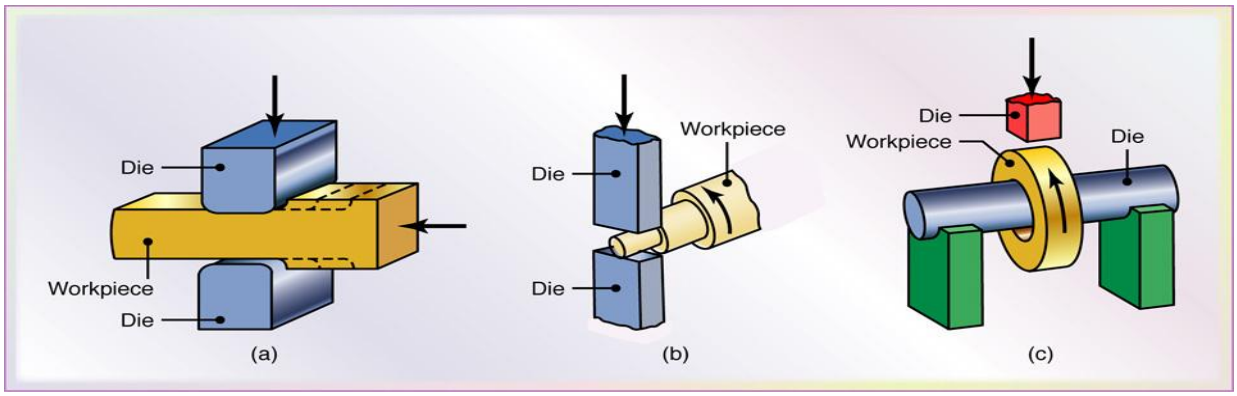
در شكل ۲۱-۳ نمودار مربوط به هزينه هاي توليد يك دسته شاتون به روشهاي مختلف ريخته گري و اهنگري مقايسه شده است. به خوبي مي توان دريافت صرفنظر از خواص مكانيكي قابل حصول، به ازائ حجمهاي بالاي توليد اهنگري اقتصادي تر است.



شكل ۳-۲۱ نمودار مربوط به هزينه هاي توليد يك دسته شاتون به روشهاي مختلف.

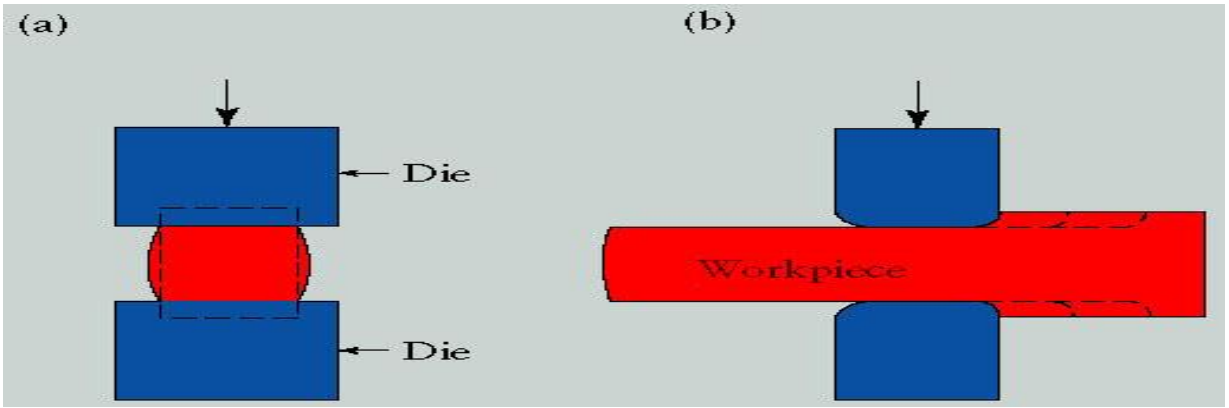
۲- فرايند هاي اهنگري پيش نورد (Cogging Operation)

شكل ۳-۲۲ فرايند اهنگري پيش نورد را ارائه مي كند. اين فرايند از نوع فرايندهاي اهنگري در قالب هاي باز مي باشد. اين تكنيك به منظور كاهش ضخامت ميله ها، شمش ها و رينگ ها به كار گرفته مي شود. معمولا براي دستيابي به كاهش ضخامت مطلوب، لازم است فرايند چكش كاري قطعه بر روي يك سندان ودرچند مرحله تكرار شود.



شكل ۳-۲۲. فرايند اهنگري پيش نورد. a) بر روي يك شمش. b) بر روي يك ميله. c) بر روي يك ديسك.

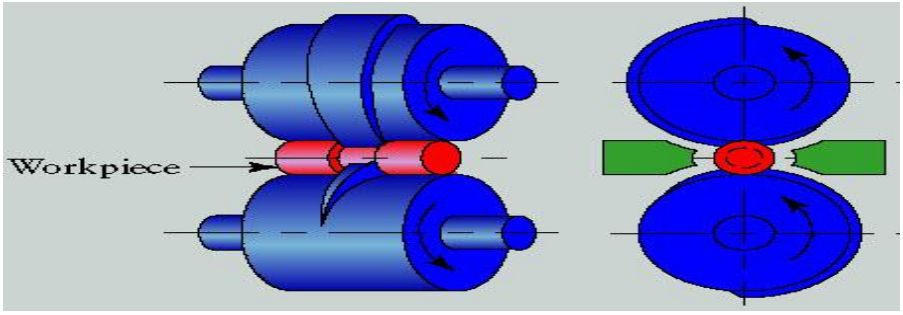
بايد در نظر داشت با توجه به ماهيت فشاري اين فرايند، پديده بشكه ايي شدن نيز قابل مشاهده است. شكل ۳-۲۳ به اين مطلب مي پردازد.



شكل ۳-۲۳. پديده بشكه ايي شدن در فرايند اهنگري پيش نورد بر روي يك شمش

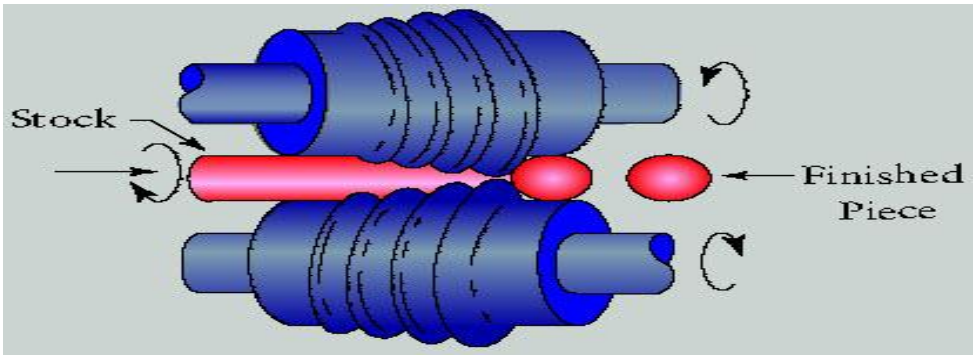
۳- فرايندهاي اهنگري غلطكي (Roll Forging)

فرايند اهنگري غلطكي در شكل ۳-۲۴ نشان داده شده است. جهت گردش هر دو غلطك يكسان است. فرايند شكل دهي به وسيله گوه هايي كه در محيط خارجي غلطكها تعبيه شده اند، كامل مي شود. برخي فنرها و نيز چاقوها مي توانند با اين روش توليد شوند.



شكل ۳-۲۴. فرايند اهنگري غلطكي

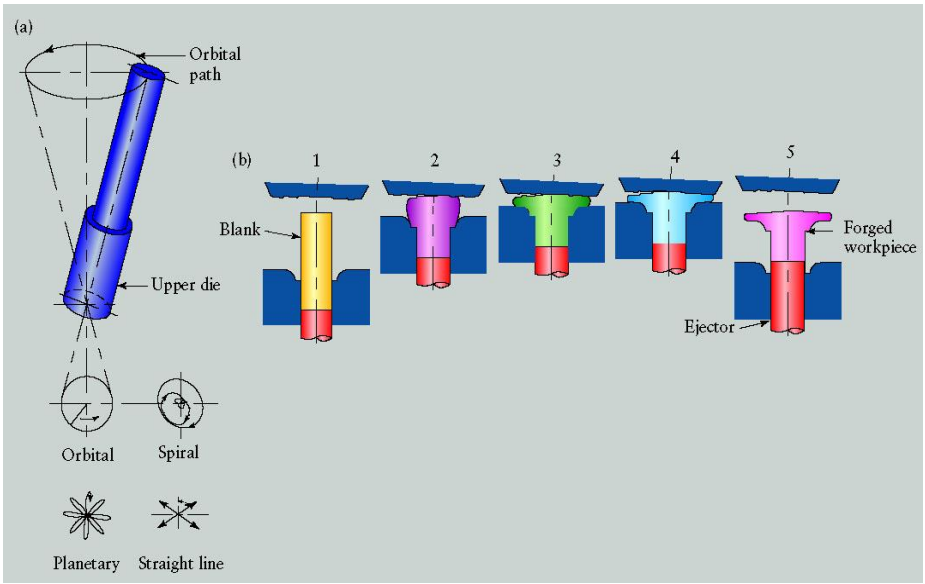
در شكل ۳-۲۵ طرح شماتيك فرايند اهنگري غلطكي مورب (skew-rolling) به منظور توليد ساچمه هاي فولادي بيرينگها ارائه شده است.



شكل ۳ -۲۵ . طرح شماتيك فرايند اهنگري غلطكي مورب

۴- فرايندهاي اهنگري چرخشي (Orbital Forging Process)

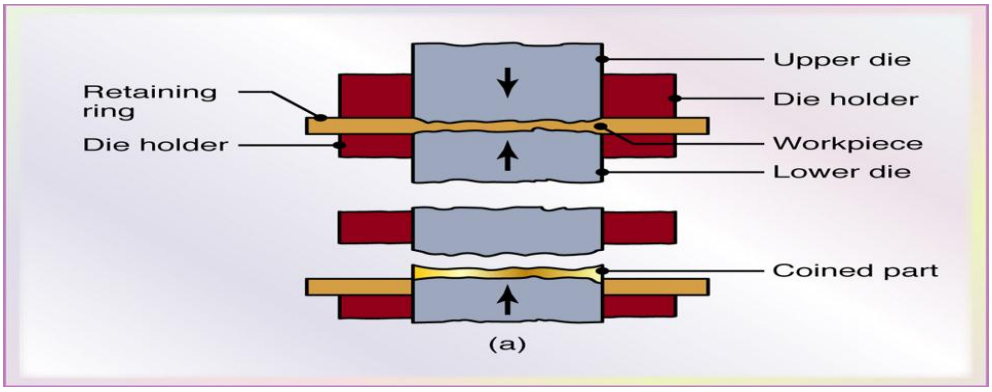
اين فرايند از نوع فرايندهاي شكل دهي تدريجي مي باشد. در واقع در اين فرايندها پولك اوليه در چند مرحله كوتاه شكل دهي مي گردد. از انجا كه قالب در هر لحظه در تماس با سطح ناچيزي از قطعه كار است، نيروي شكل دهي نسبت به ساير فرايندهاي اهنگري كم است. اين فرايند بيشتر براي قطعات استوانه ايي كاربرد داشته، حلقه بيرينگها و برخي چرخ ها با اين روش توليد مي شوند. (شكل ۳-۲۶)



شكل ۳-۲۶. طرح شماتيك فرايندهاي اهنگري چرخشي .

۵- فرايندهاي سكه زني (The Coining Process)

اين فرايند بسيار شبيه فرايندهاي اهنگري بدون فلش مي باشد اما قدمت بيشتري دارد. شكل ۲۷-۳ طرح شماتيك اين فرايند را نشان مي دهد. لازم است حفره قالب كاملا بسته شود تا امكان تكميل فرايند وجود داشته باشد. نكته قابل توجه اين است كه معمولا فشارو نيروهاي اهنگري در اين تكنيك بالا هستند.

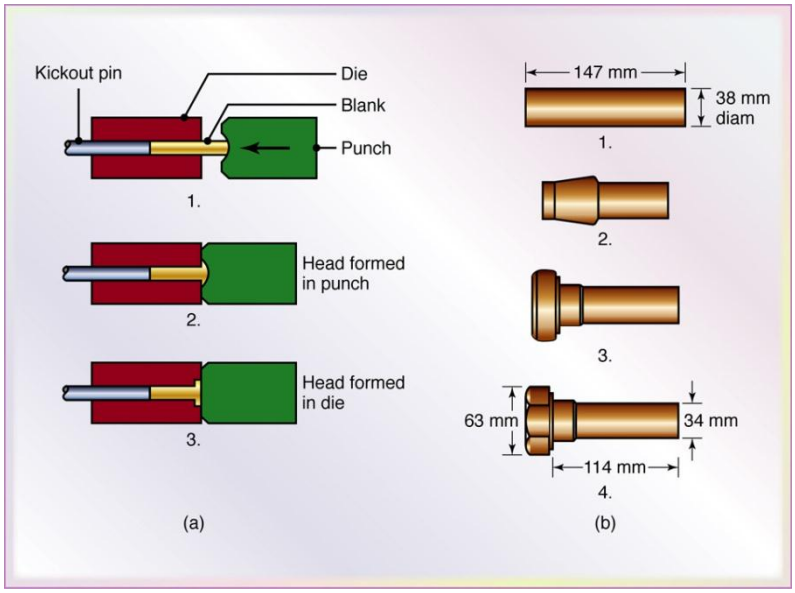


شكل ۲۷-۳ طرح شماتيك فرايندهاي سكه زني.

سكه هاي قديمي را با روشهاي اهنگري در قالب باز مي ساختند و بنابراين دقت و نقش و نگارهاي كمتري را شامل مي شدند. شكل ۲۸-۳ ابزار و سكه هاي توليد شده بوسيله ان در فرايندهاي مدرن سكه زني را نمايش مي دهد.

شكل ۲۸-۳ ابزار و سكه هاي توليد شده بوسيله ان (فرايندهاي مدرن سكه زني)

۶- فرايندهاي اهنگري كله زني (Heading)

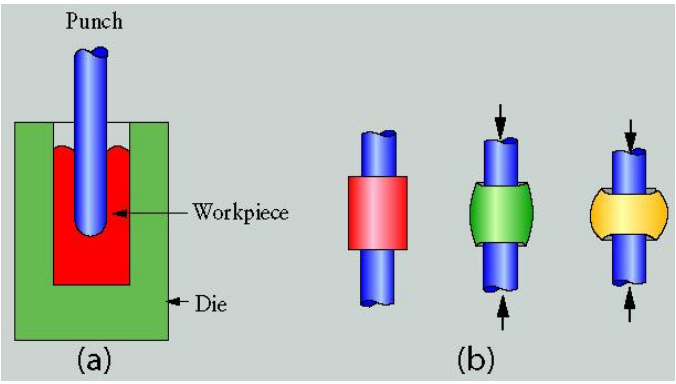


همانگونه كه در شكل ۲۹-۳ نمايش داده شده است اين فرايند بيشتر براي توليد ابزار و ادوات اتصالات موقت نظير كلگي پيچ كاربرد دارد. ترتيب مراحل و عمليات هاي مورد نياز نيز ارائه شده است.

شكل ۲۹-۳. a) طرح شماتيك فرايند كله زني b) ترتيب مراحل شكل دهي قطعه .

۷- فرايندهاي اهنگري سوراخ زني (Piercing Operations)

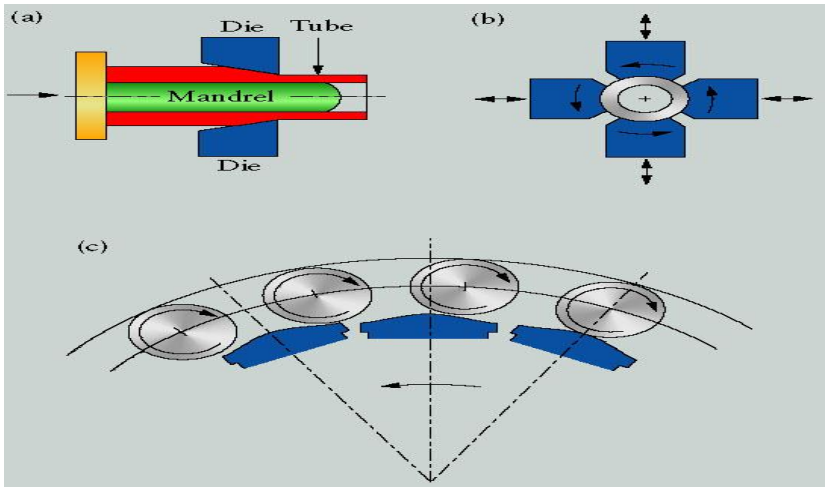
نام اين فرايند دقيقا متناسب با نوع عمليات ان است يعني اساسا براي سوراخ زني و ايجاد سوراخ كاربرد دارد. اين تكنيك در حيطه فرايندهاي اهنگري با قالب بسته مورد توجه قرار مي گيرد.(شكل ۳۰-۳)



شكل ۳۰-۳. فرايندهاي سوراخ زني.

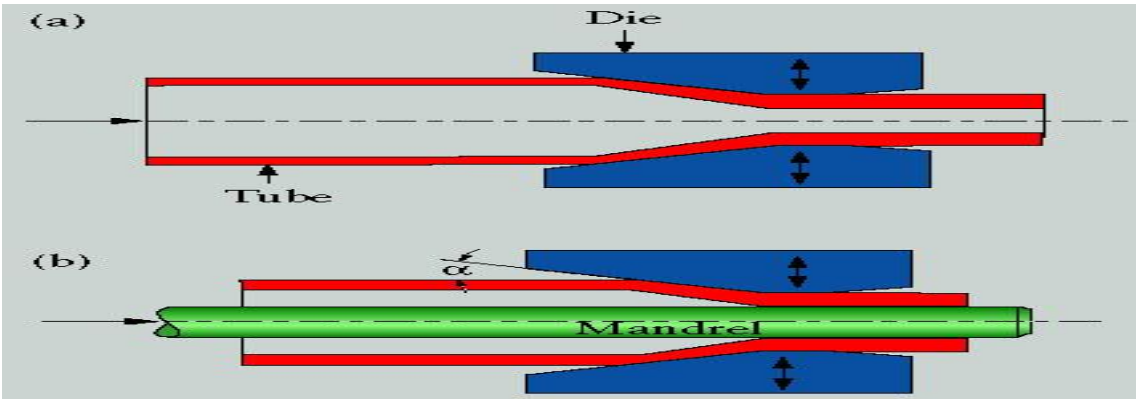
۸- فرايندهاي اهنگري دوار (Swaging)

اهنگري دوار نوعي فرايند شكل دهي سرد محسوب مي شود. در اين تكنيك ممكن است از قالبهاي دو يا چند تكه استفاده شود. لقمه هاي قالب در محيط خارجي قطعه موقيت دهي مي شوند و با اعمال نيروهاي شعاعي (ضربات شعاعي) موجب كاهش سطح مقطع ميله ها و لوله ها مي گردند. فركانس اين ضربات به نوع ماشين اهنگري دوار وبه كاربرد ان،همچنين به تعداد لقمه هاي قالب بستگي دارد. مكانيزم اين فرايند در شكل ۳۱-۳ ارائه شده است.



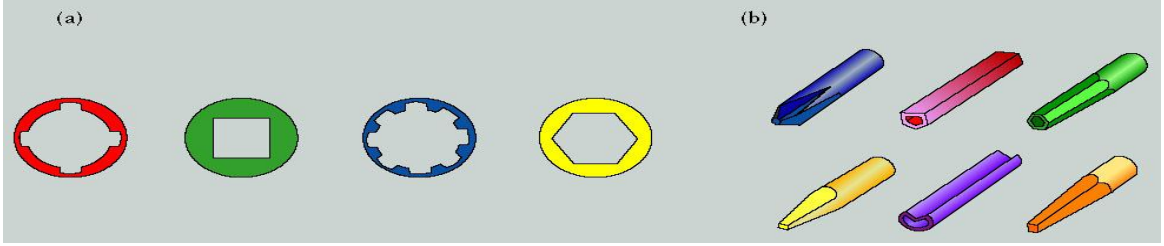
شكل ۳۱-۳. طرح شماتيك فرايندهاي اهنگري دوار. a) نماي جانبي b) نماي روبرو c) نمايش لقمه هاي قالب (چكش هاي شعاعي) و مكانيزم اعمال ضربه.

در شكل ۳۲-۳ طرح شماتيك كاهش قطر يك ميله در فرايند اهنگري دوار نشان داده شده است.



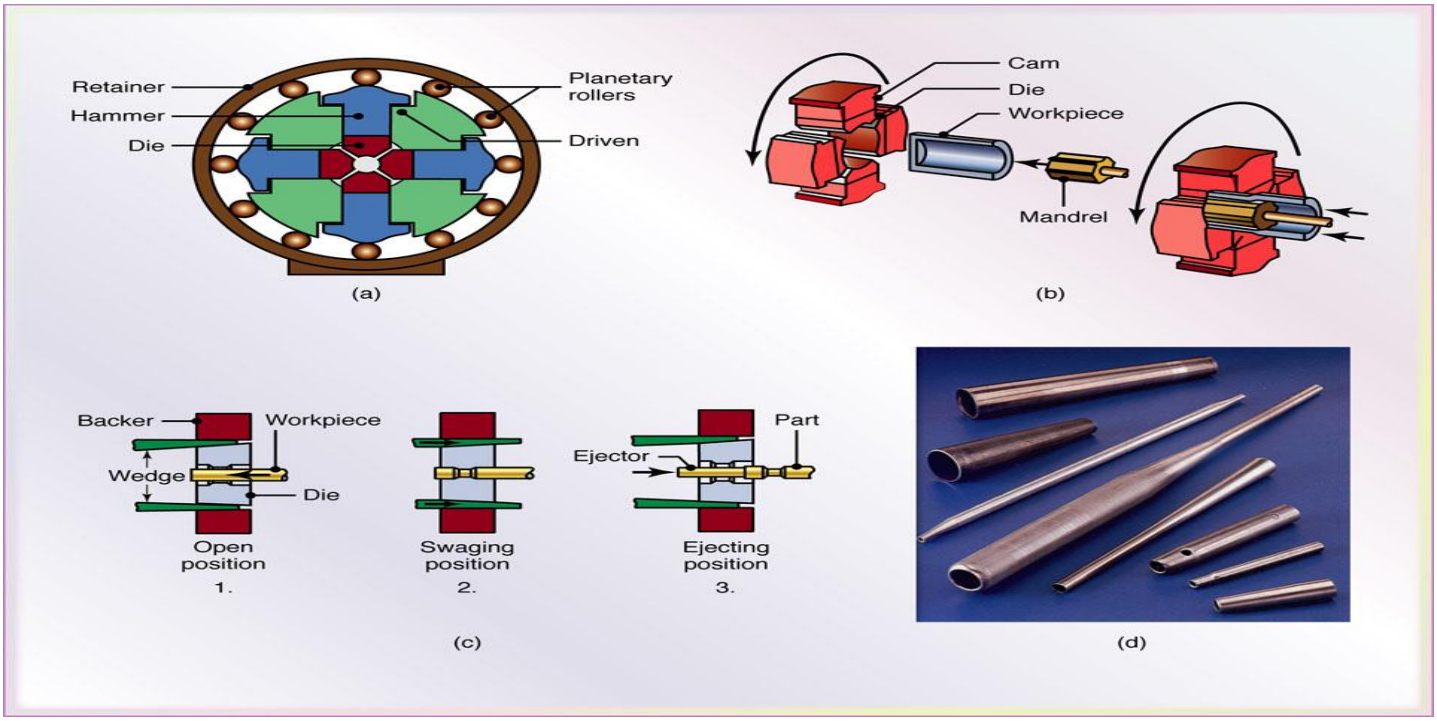
شكل ۳۲-۳ طرح شماتيك كاهش قطر ميله a) بدون استفاده از سنبه b) با استفاده از سنبه

با استفاده از سنبه هاي مختلف مي توان سطح مقطع هاي متفاوتي ايجاد نمود. شكل ۳۳-۳ به اين مطلب مي پردازد.



شكل ۳۳-۳. a) سطح مقطع هاي قابل توليددر فرايند اهنگري دوار b) سنبه هاي فرايند.

تقريبا همه فلزات را مي توان با اين تكنيك شكل دهي نمود. فلزات قيمتي، فولادهاي كم كربن، كربن متوسط، الياژي و زنگ نزن، الياژهاي الومينيوم همچنين برنج، برنز، نيكل و تنگستن را مي توان تا ميزان ازدياد طول ۱۰ درصد شكل داد. در واقع با توجه به ثابت بودن حجم، هرمقدار كاهش قطر ناگزيربه مقداري افزايش طول مي انجامد كه جزئ امتيازات اين روش محسوب مي شود. زيرا به عنوان مثال ازدياد طول ۱۰ درصد به معناي ۱۰ درصد صرفه جويي در ماده مصرفي نيز هست. اخيرا و در شرايط كنترل شده ازمايشگاهي به ازدياد طول ۴۰ درصد نيز دست يافته اند. از ديگر امتيازات اين فرايند مي توان به حداقل توليد پليسه ، امكان شكل دهي قطعه در كمترين زمان ممكن (حتي در ۱۵ ثانيه) ، قابليت حصول درجه بالايي از كار سرد، افزايش استحكام، توليد قطعات با تلرانسهاي بسته و كيفيت سطح خوب اشاره كرد. مجموعه اين امتيازات موجب شده تا فرايند اهنگري دوار توجه صنعت خودروسازي را به خود جلب كند. امروزه بسياري قطعات حساس خودرو نظير جعبه فرمان و شافت فرمان را با اين روش توليد نموده و به امتيازات بزرگي چه در زمينه افزايش ايمني و چه در بحث كاهش وزن خودرو دست يافته اند. شكل ۳۴-۳ طرح شماتيك ديگري از اين فرايند را نشان ميدهد. در قسمت a مكانيزم عملكرد، در قسمت b چگونگي توليد پروفيل هاي داخلي با استفاده از سنبه ، در قسمت c چگونگي توليد يك شافت فرمان در قسمت d چند شافت فرمان واقعي ارائه شده اند.

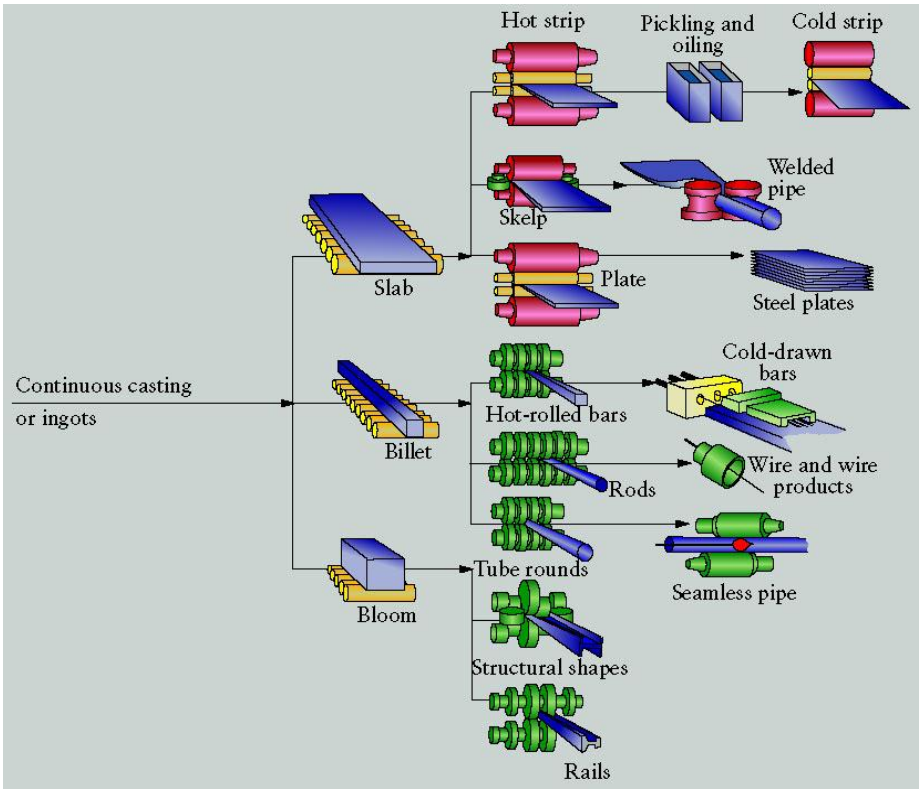


شكل ۳۴-۳. a) مكانيزم عملكرد b) چگونگي توليد پروفيل هاي داخلي c) مراحل توليد يك شافت فرمان d) چند شافت فرمان.

۹- فرايندهاي نورد كاري (Rolling Processes)

تغيير شكل پلاستيك يك فلز در نتيجه عبور ان از بين غلطكهاي استوانه اي دوار را نورد مي گويند. در نتيجه اين فرايند ضخامت قطعه كار در اثر اعمال نيروي فشاري غلطك هايي كه در خلاف جهت يكديگر دوران مي كنند، كاهش مي يابد. نورد يكي از كاربردي ترين روشهاي شكل دهي در صنعت است كه ماده اوليه ان به يكي از سه صورت زير مي باشد:

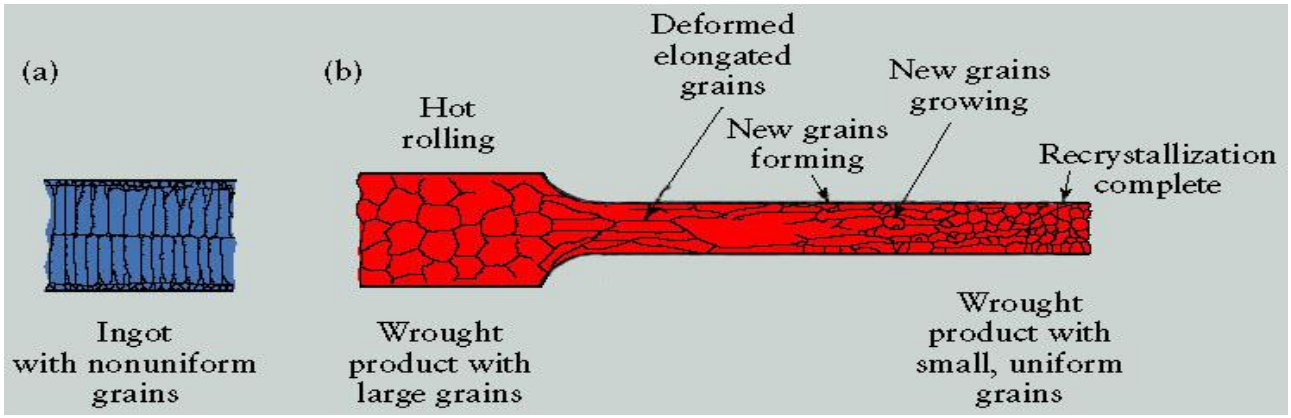
- شمشه (bloom) عبارت است از قطعه ايي با سطح مقطع مربع شكل به ابعاد شش اينچ در شش اينچ يا بيشتر.
- شمشال (billet) عبارت است از قطعه ايي با سطح مقطع مربع شكل به ابعاد يك و نيم اينچ در يك ونيم اينچ.
- تختال (slab) عبارت است از قطعه ايي با سطح مقطع مستطيل شكل به ابعاد ده اينچ در ضخامت يك ونيم اينچ.



شكل ۳۵-۳ طرح شماتيك انواع فرايندهاي نورد كاري تخت و حجمي را ارائه مي كند. همچنين انواع مواد ورودي به فرايند نورد نيز به تصوير كشيده شده اند.

شكل ۳۵-۳. طرح شماتيك انواع فرايندهاي نورد كاري

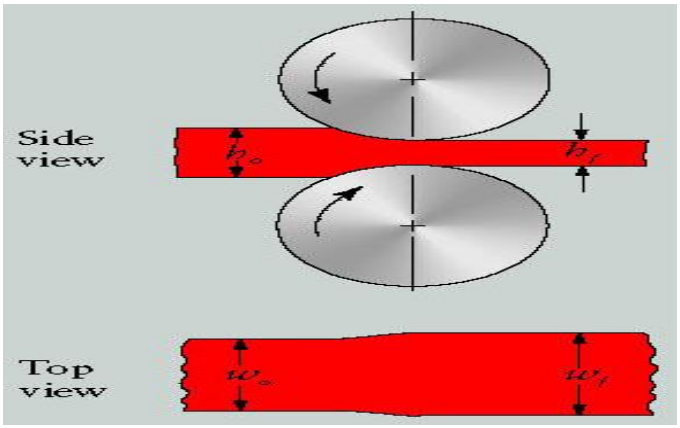
به منظورانجام نوردكاري گرم، قطعه مورد نظر را تا درجه حرارت مشخصي در كوره گرما مي دهند. اين درجه حرارت براي فولادها نزديك به ۱۲۰۰ درجه سانتيگراد مي باشد. امتياز بزرگ نوردكاري گرم ريز شدن ساختار كريستالي فلز ريخته شده اوليه وامكان كنترل ساختارو دانه بندي فلز مي باشد كه در نتيجه تسريع در فرايند شكل دهي را به دنبال خواهد داشت. شكل ۳۶-۳ طرح شماتيك تغيير در ساختار دانه بندي يك فلز ريختگي شكننده را ارائه مي كند.همانگونه كه قابل استنباط است نورد گرم راه مناسبي براي كاهش اندازه دانه ها به منظور بهبود استحكام و چكش خواري مي باشد.



شكل ۳۶-۳ طرح شماتيك تغيير ساختار دانه بندي در نوردكاري گرم.

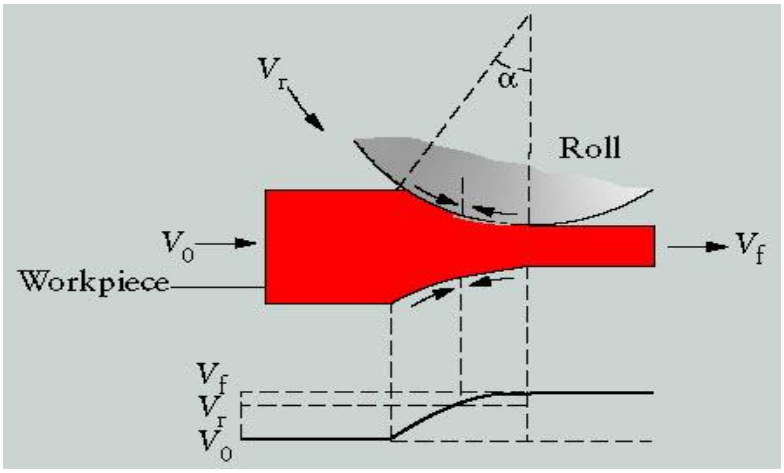
شكل ۳۷-۳ طرح شماتيك تغيير شكلي كه در حين فرايند نوردكاري اتفاق مي افتد را نشان مي دهد. با عبور فلز از درون غلطك ها ضخامت ان بطور محسوسي كاهش يافته و به قطعه نازكتري تبديل مي شود. كاهش ضخامت در هر پاس شكل دهي به ضريب اصطكاك بين فلز و غلطك، قطر غلطك و امكان اعمال نيروي كششي از جلو براي خارج كردن قطعه كار بستگي دارد. در نورد گرم حداكثر كاهش در در هر پاس تا حدود ۱۳ درصد مشاهده شده است حال انكه در نورد سرد حداكثر كاهش ضخامت به دليل ضريب اصطكاك پايين تر و نيروي جدا كننده بزرگتر الزاما كمتر است.

بايد توجه داشت در نتيجه اين كاهش ضخامت، طول قطعه افزايش خواهد يافت اما گستردگي ان از پهلو (نماي سر) بسيار اندك است.



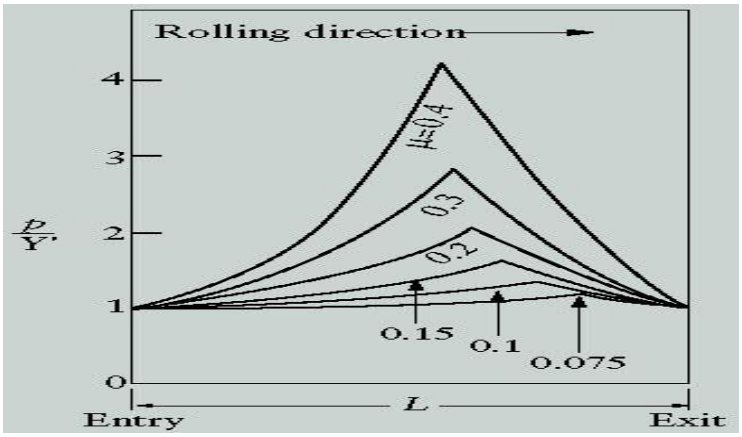
شكل ۳-۳۷ طرح شماتيك تغيير شكل در فرايند نوردكاري.

فلز بوسيله نيروي اصطكاك از درون غلطكهاي نورد كشيده مي شود. در واقع نيروي اصطكاك موجب حركت لايه هاي سطحي قطعه كار نسبت به لايه هاي داخلي ان مي شود. بايد توجه داشت مثلا هنگام ۵۰ درصد كاهش در ضخامت، قطعه كار غلطك ها را تقريبا با دو برابر سرعت ورودي، ترك مي كند. از اين رو مي توان دريافت تنها يك نقطه وجود خواهد داشت كه در ان سرعت قطعه كار با سرعت غلطك ها يكسان است . اين نقطه را نقطه بدون لغزش يا نقطه خنثي (neutralpoint) مي گويند. همانطور كه در شكل ۳-۳۸ بوسيله پيكانها نشان داده شده است در هر دو طرف اين نقطه نوعي سرعت نسبي وجود دارد. سرعتهاي نورد تقريبا به ۱۵۰۰ متر در دقيقه ميرسد.



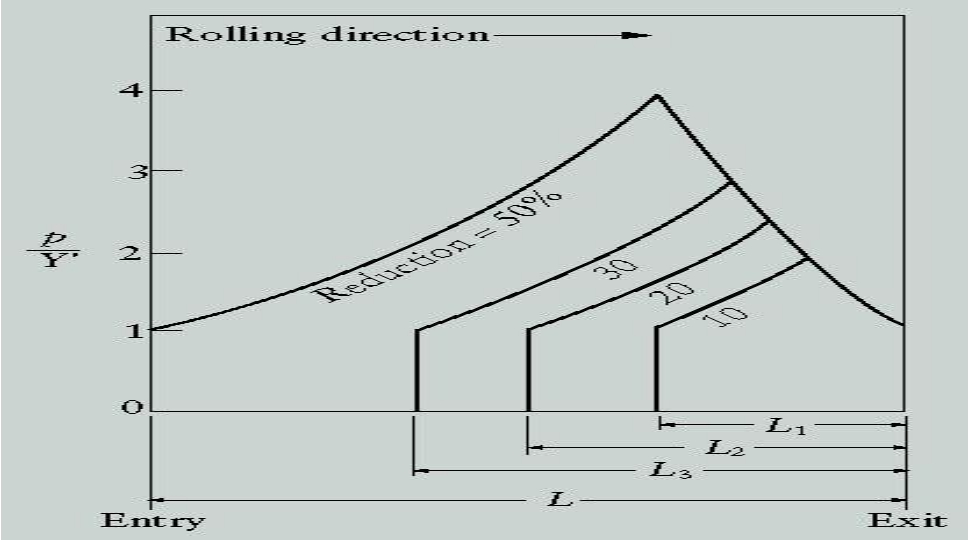
شكل ۳-۳۸ . نمايش سرعت هاي نسبي در فرايند نورد كاري.

. در شكل ۳-۳۹ توزيع فشار نورد كاري در طول فاصله نورد به عنوان تابعي از ضريب اصطكاك ارائه شده است. نكته قابل توجه اينجاست كه با افزايش اصطكاك نقطه خنثي به ورودي نزديكتر مي شود.



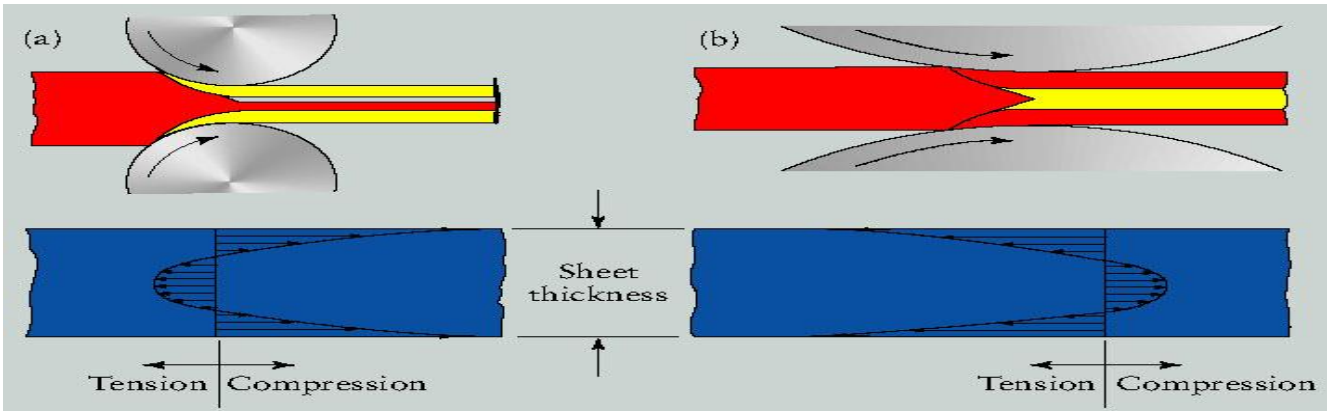
شكل ۳-۳۹ توزيع فشار نورد كاري در طول فاصله نورد به عنوان تابعي از ضريب اصطكاك

بايد توجه داشت در نوردسرد حداقل ضخامتي كه مي تواند نورد شود حدود ۱/۵۰ قطر غلطك و در نورد گرم حدود ۱/۲۰۰ قطر غلطك است. در شكل ۴۰-۳ توزيع فشار نورد كاري در طول فاصله نورد به عنوان تابعي از كاهش ضخامت نشان داده شده است.



شكل ۴۰-۳ توزيع فشار نورد كاري در طول فاصله نورد به عنوان تابعي از كاهش ضخامت.

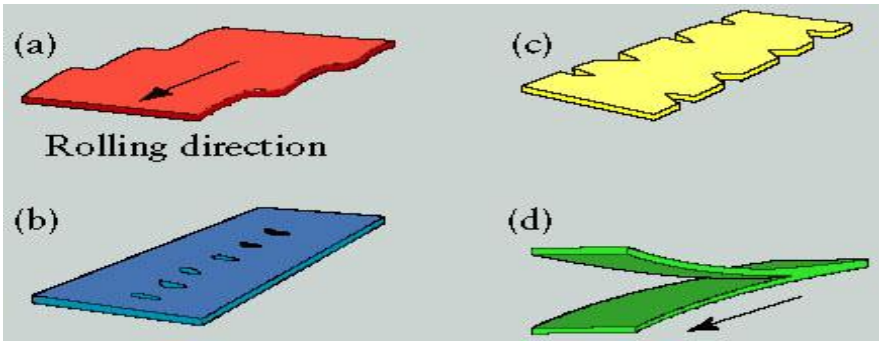
ماهيت تنشهاي باقيمانده پس از نوردكاري به شكل منطقه تغيير شكل بستگي دارد. اگر ميزان كاهش سطح مقطع زياد بوده يا نسبت قطر غلطك به ضخامت ان بزرگ باشد، تغيير شكل نسبتا يكنواخت صورت مي گيرد و تنشهاي پسماند ناچيزند. با فاصله گرفتن از اين شرايط، يعني با افزايش ميزان كاهش در ضخامت يا كوچك شدن قطر غلطك ، در سطح قطعه تنشهاي كششي باقيمانده با امتداد محوري و در عمق ان فشار ايجاد مي شود. حال با برعكس شدن موضوع ، الگوي معمول تنشهاي باقيمانده نيز كاملا بر عكس مي شود. در اين حالت در سطح قطعه تنشهاي فشاري و در عمق ان تنش هاي كششي پسماند وجود خواهد داشت. تاثير شعاع غلطك در نوع تنش هاي كششي يا فشاري پسماند در شكل ۴۱-۳ بررسي شده است. بايد توجه داشت به طور كلي وجود هر نوع تنش باقيمانده در فراورده نامطلوب است.، زيرا اين تنشها حد كشساني فراورده را كاهش مي دهند و سبب مي شوند در حين عمليات ماشينكاري بعدي، تمايل به تابيدگي پيدا كند. الگوهاي تنش باقيمانده معمول با كشش سطحي بسيار نا مطلوب اند. زيرا احتمال بروز خستگي و خوردگي را افزايش مي دهند.



شكل ۴۱-۳ . تاثير شعاع غلطك در تنش هاي پسماند. a) غلطك هاي كوچك يا كاهش كم در ضخامت. b) غلطك هاي بزرگ يا كاهش هاي زياد در ضخامت.

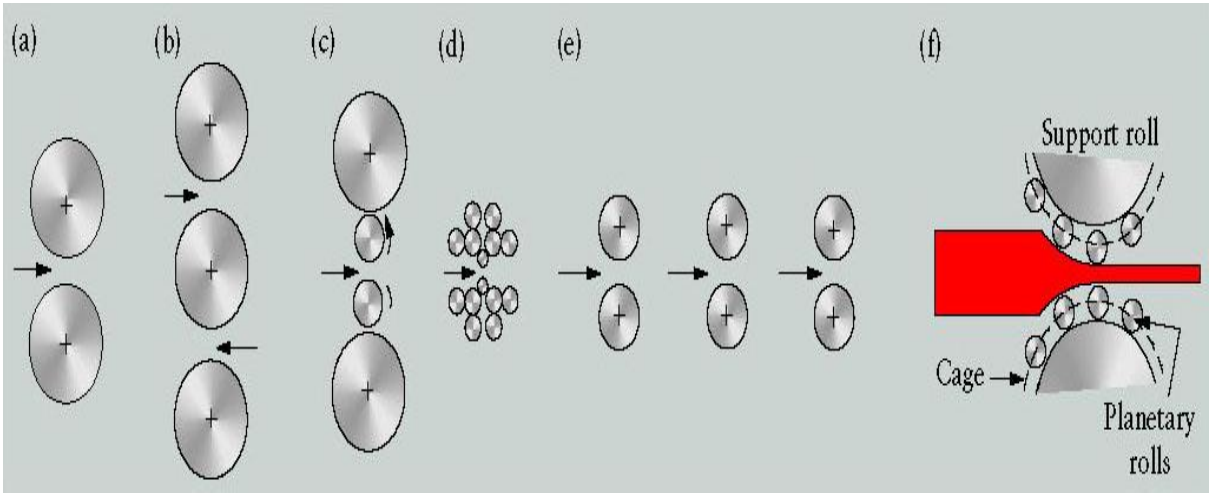
بايد توجه داشت نوردكاري فلزات در برخي شرايط مي تواند به ايجاد اسيبهاي مختلف منجر شود. نمونه ايي از عيوب متداول در نورد كاري تخت در شكل ۴۲-۳ ارائه شده اند. قسمت a عيب موسوم به موج دار شدن كناره را نمايش مي دهد. در هنگام نوردكاري تخت چگالي ماده به ويژه در حوالي خط مركزي كاهش مي يابد. اين افت چگالي از ايجاد تخلخل در مقياس ميكروسكوپي به ويژه در نزديكي اخالها ، يا از ذرات سخت فاز دوم ناشي مي شود و بر حسب نوع ماده تغيير مي كند. در وضعيت هاي بحراني ممكن است حفره ها در نتيجه اسيب پيش رونده به هم ملحق شوند و در طول خط مركزي تركهاي سهمي

شكل تشكيل دهند. اين عيب در قسمت b نمايش داده شده است و براي توصيف ان از اصطلاحاتي نظير تركهاي نوك پيكاني ، تركيدگي خط مركزي و شكافتگي هسته استفاده مي كنند. در قسمت c عيب معروف به تركيدگي كناره نشان داده شده است. تنش هاي باقيمانده زياد همراه با اسيب خط مر كزي مي توانند سبب شكافتگي خود به خود يا دهان سوسماري شدن ماده در هنگام خروج از منطقه تغيير شكل شوند. اين عيب در قسمت d ارائه شده است.



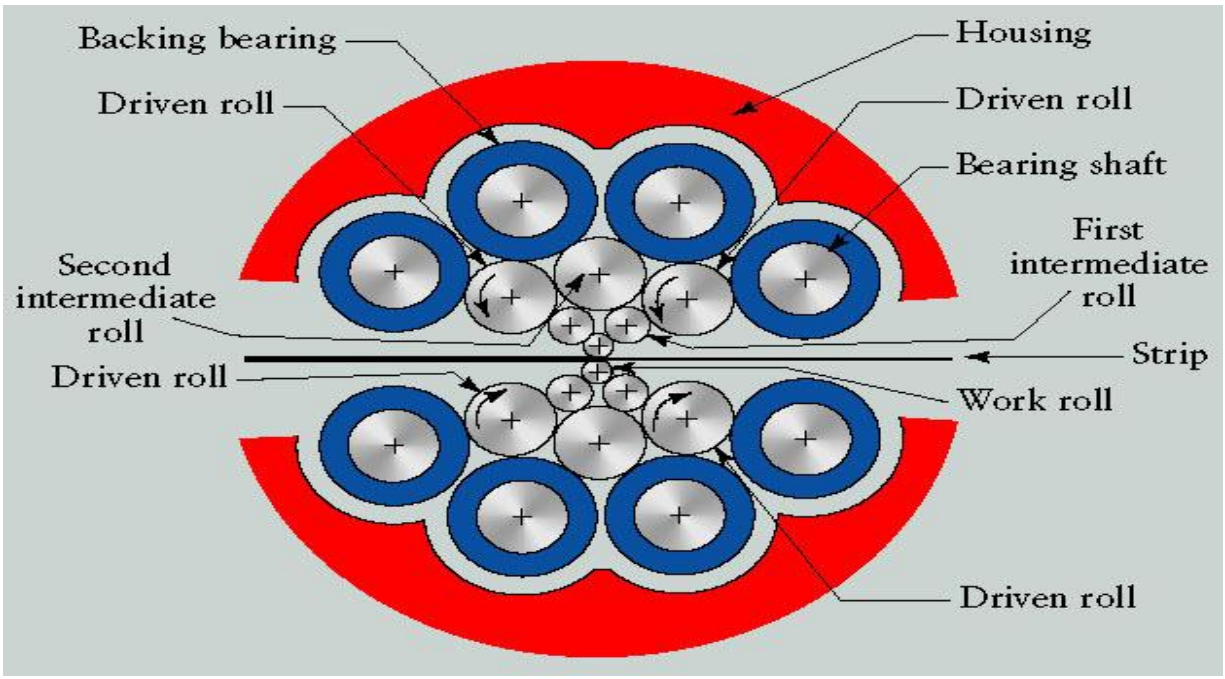
شكل ۴۲-۳. عيوب متداول در نورد كاري تخت. a)
موج دار شدن كناره b) تركيدگي خط مركزي c) تركيدگي كناره d) عيب دهان سوسماري

ارايش هاي نمونه غلطكها در فرايندهاي نوردكاري در شكل ۴۳-۳ ارائه شده اند. در قسمت a نوردكاري با دو غلطك عمودي نمايش داده شده است. اين ارايش غلطكها اجازه مي دهد جهت نوردكاري معكوس شود. قسمت b نوردكاري با سه غلطك عمودي برگشت پذيررا ارائه مي كند. چنين چيدماني به غلطك كاري افقي در يك جهت ثابت مي انجامد. قسمت c به نوردكاري با چهار غلطك عمودي مي پردازد. در اين شيوه دو غلطك كوچك توسط دو غلطك بزرگ چرخانده مي شوند. چيدمان موسوم به نوردكاري خوشه ايي در قسمت d بررسي شده است. در اينجا غلطك هاي كوچك توسط مجموعه غلطكهاي محرك پشتي به چرخش در مي ايند. نوردكاري با چيدمان پشت سر هم در قسمت e ارائه شده است. در اين چيدمان مجموعه ايي از غلطكها پشت سر هم قرار مي گيرند. قسمت f به نورد ستاره ايي مي پردازد.



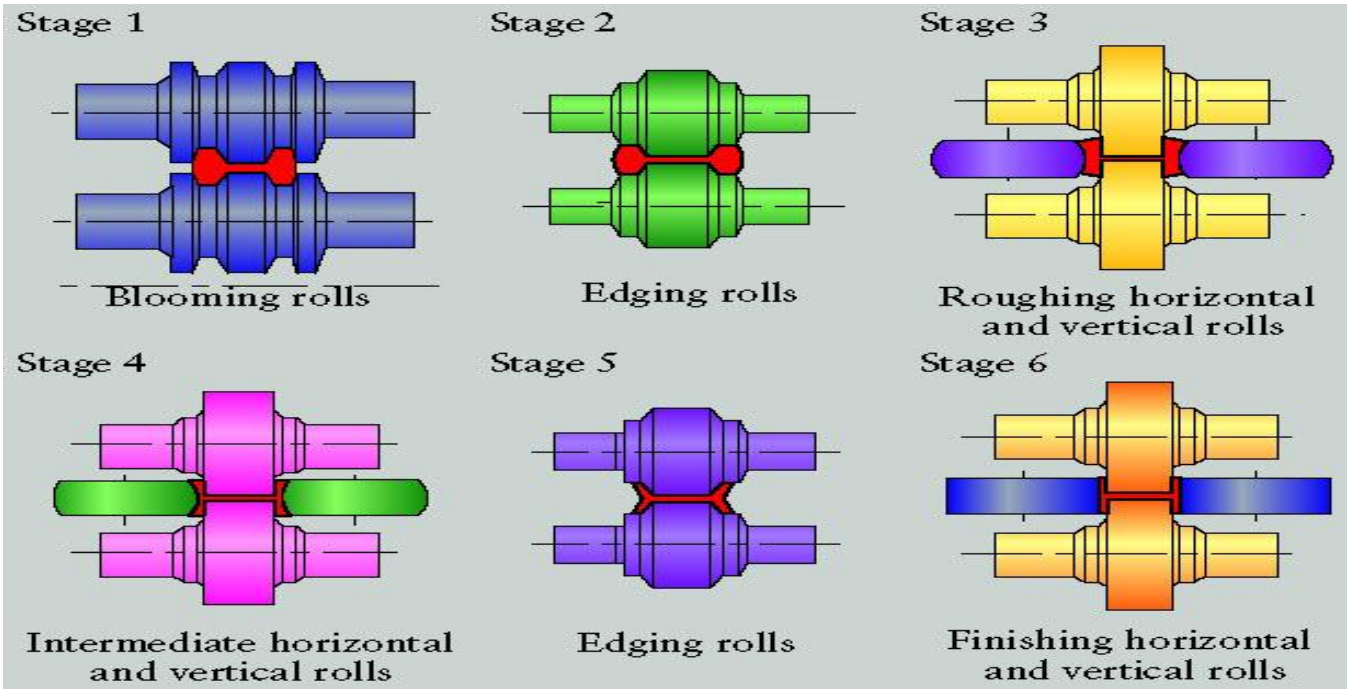
شكل ۴۳-۳. a) نوردكاري با دو غلطك عمودي b) نوردكاري با سه غلطك عمودي برگشت پذير c) نوردكاري با چهار غلطك عمودي d) نوردكاري خوشه ايي e) نوردكاري با چيدمان پشت سر f) نورد ستاره ايي.

طرح شماتيك و توضيحات بيشتر در مورد نورد خوشه ايي در شكل ۴۴-۳ ارائه شده است. اين چيدمان صلبيت بسيار زيادي داشته و بيشتر براي نورد كاري ورقهاي ضخيم مواد استحكام بالا كاربرد دارد.



شكل ۴۴-۳. طرح شماتيك نورد خوشه ايي.

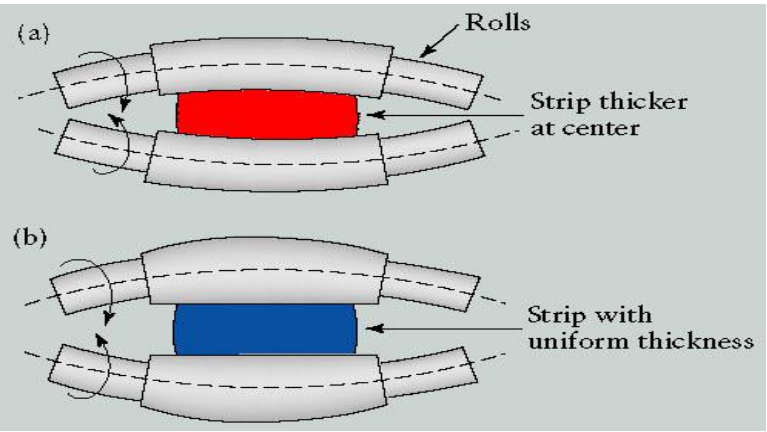
شكل ۴۵-۳ طرح شماتيك و مراحل مختلف توليد يك مقطع H شكل را در فرايند هاي نورد حجمي نشان مي دهد. سازه هاي ديگر نظير كانالها و مقاطع تيرها نيز با اين روش قابل توليد اند.



شكل ۴۵-۳. طرح شماتيك و مراحل مختلف توليد يك مقطع H شكل درفرايند هاي نوردحجمي.

۱۰- فرايند نورد خمكاري (Roll Bending)

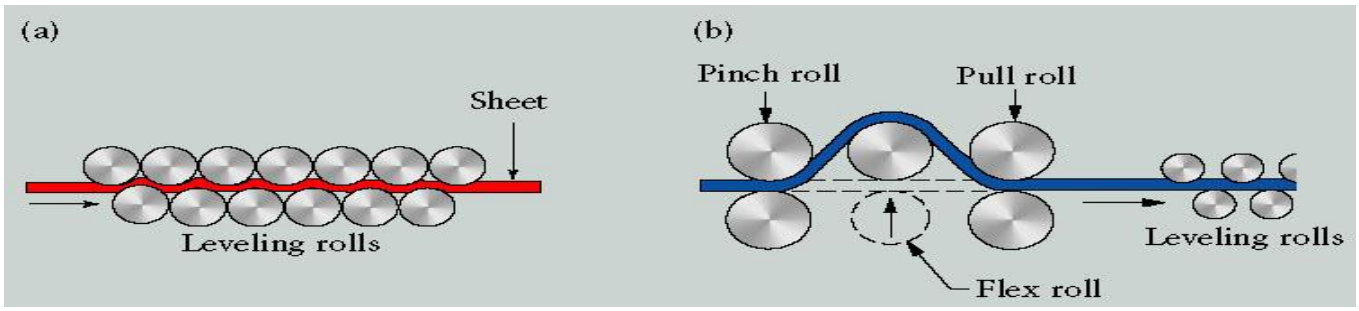
طرح شماتيك و اغراق اميز فرايند نورد خمكاري در شكل ۴۶-۳ ارائه شده است.



شكل ۳-۴۶. طرح شماتيك فرايند نورد خمكاري. a) قطعه با ضخامت بيشتر در ميانه b) قطعه با ضخامت يكنواخت.

برخي فرايندها براي تخت كردن و ميزان نمودن محصولات نورد به كار مي روند.

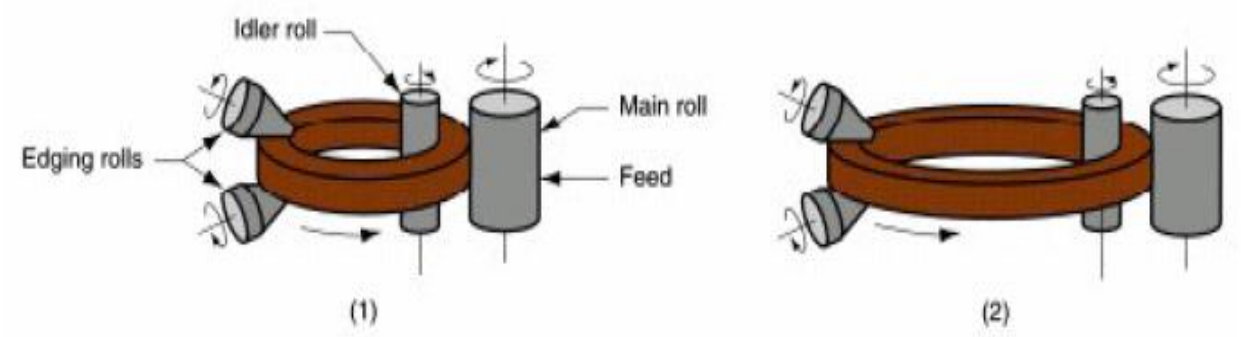
شكل ۳-۴۷ طرح شماتيك فرايندهاي نورد ترازكاري را نشان مي دهد.



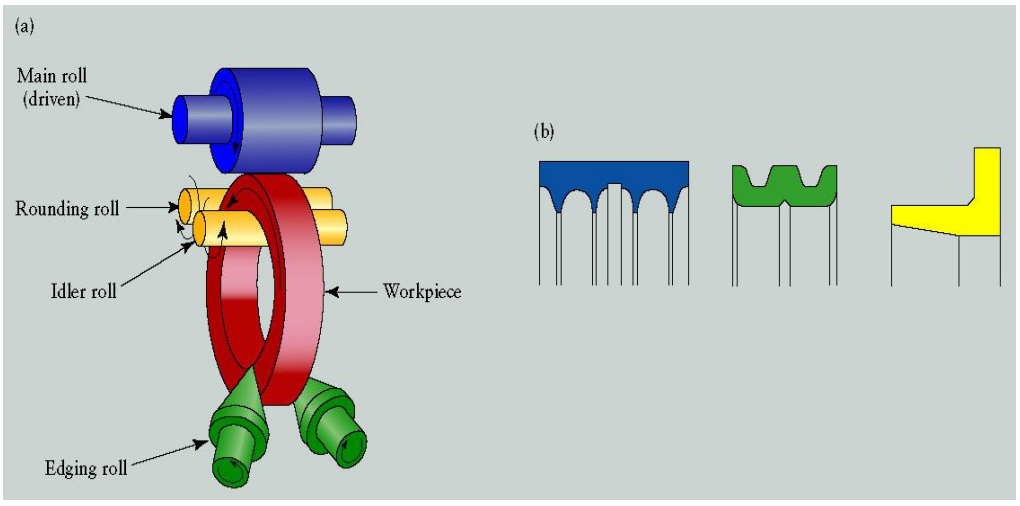
شكل ۳-۴۷ .طرح شماتيك فرايند نورد ترازكاري.

۱۱- فرايندهاي نورد حلقوي (Ring-Rolling)

يكي از مهمترين فرايندهاي نوردكاري، نورد حلقوي (Ring-Rolling) مي باشد. نورد حلقوي فرايند تغيير شكلي است كه در ان يك حلقه با ضخامت ديواره زياد، تحت عمليات نورد قرار مي گيرد. در نتيجه اين فرايند، ضخامت حلقه كاهش مي يابد. بديهي است كه با كاهش ضخامت حلقه، قطر ان افزايش خواهد يافت. طرح شماتيك اين فرايند در شكل ۳-۴۸ ارائه شده است.



شكل ۳-۴۸. طرح شماتيك فرايند نورد حلقوي. a) قبل از نورد b) بعد از نورد.

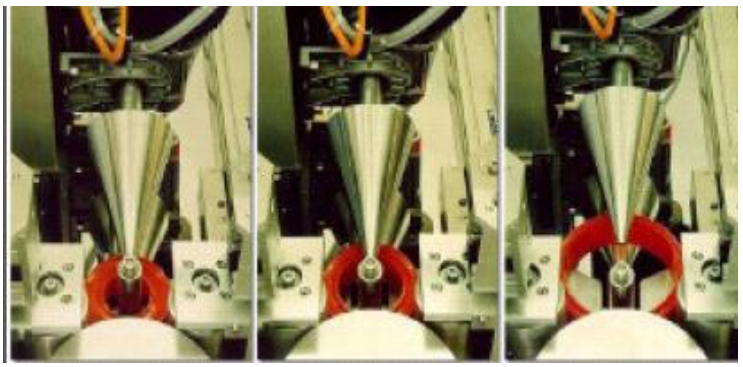


طرح ديگري از فرايند نورد حلقوي به همراه برخي هندسه هاي قابل توليد بوسيله ان در شكل ۳-۴۹ نشان داده شده است.

شكل ۳-۴۹. a) فرايند نورد حلقوي b) هندسه هاي قابل توليد.

نورد حلقوي به دو صورت داغ و سرد انجام مي شود. فرايندهاي نورد حلقوي داغ بيشتر براي قطعات حجيم مورد استفاده قرار مي گيرند. حال انكه مطابق انتظار، فرايندهاي نورد حلقوي سرد بيشتر به منظور شكل دهي رينگهاي كوچك كاربرد دارند. شكلهاي ۵۰-۳ و۵۱-۳ به ترتيب نمونه هايي واقعي از فرايندهاي نورد حلقوي داغ و سرد را نمايش مي دهند. تفاوت اندازه قطعات به صورت محسوسي نمايان است.

شكل ۵۰-۳. فرايند نورد حلقوي داغ



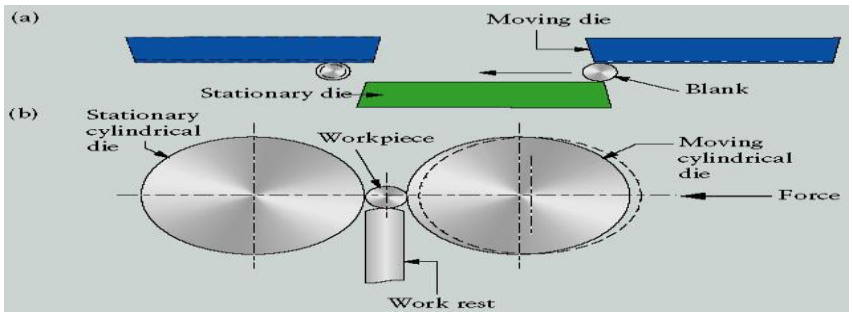
شكل ۵۱-۳. فرايند نورد حلقوي سرد.

اين فرايند براي توليد طوقه بلبرينگها و رولربيرنگها (مطابق شكل ۵۲-۳) ، همچنين چرخهاي فولادي قطار، مخازن تحت فشار و ادوات دوار ماشين الات به كار ميرود.

شكل ۵۲-۳. توليد طوقه بلبرينگها و رولربيرنگها.

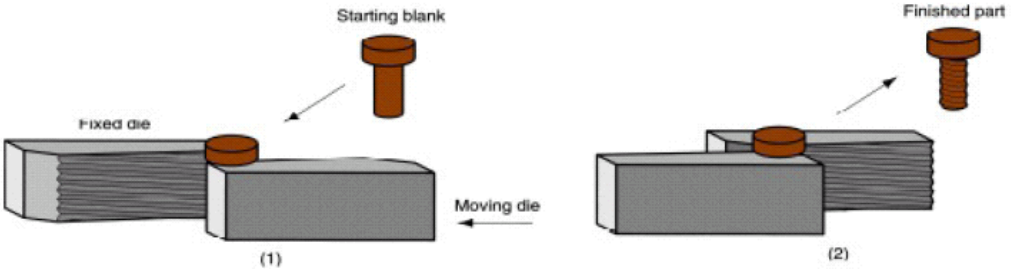
۱۲- فرايندهاي نورد رزوه زني (Thread-Rollin Processes)

نورد رزوه زني نوعي فرايند شكل دهي حجمي است كه به منظور ايجاد رزوه روي قطعات استوانه ايي شكل و از طريق نورد انها بين دو قالب مورد استفاده قرار مي گيرد. همانگونه كه در شكل ۵۳-۳ نشان داده شده است قالبها ممكن است تخت ياغلطكي باشند. نورد رزوه زني يك تكنيك تجاري متداول براي توليد انبوه پيچ ها مي باشد.



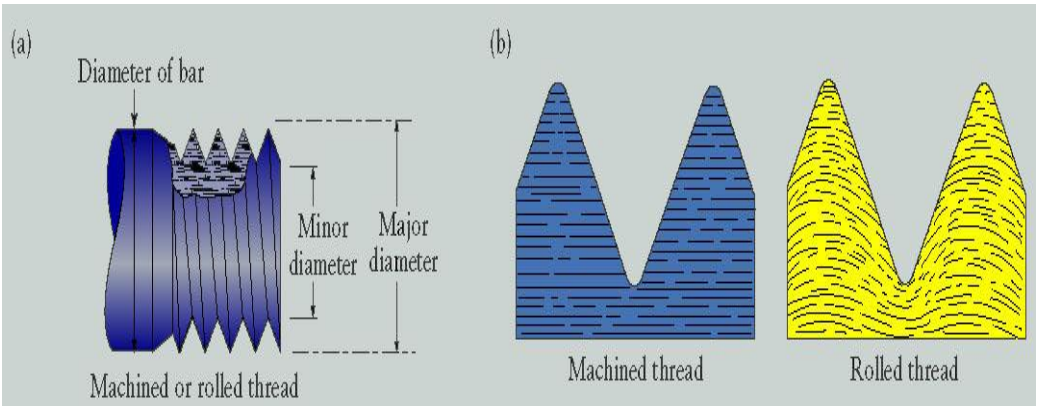
شكل ۵۳-۳. فرايندهاي نورد رزوه زني a) قالب تخت b) قالب غلطكي

شكل ۵۴-۳ نحوه توليد يك پيچ در قالبهاي نورد رزوه زني تخت را نشان مي دهد.



شكل ۵۴-۳. a) قبل از رزوه زني b) پس از رزوه زني

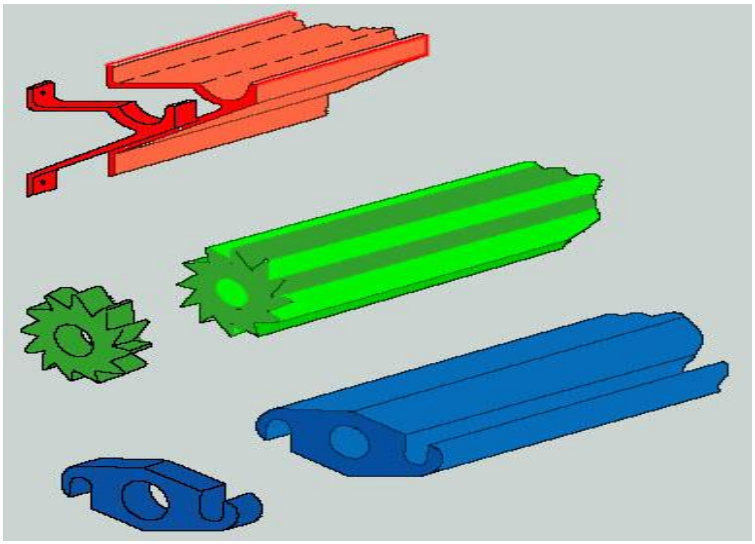
رزوه زني در اين فرايند در مقايسه با رزوه زني از طريق ماشينكاري امتيازاتي اساسي دارد كه از ان جمله مي توان به نرخ توليد بالاتر، به كاربردن بهتر ماده اوليه (صرفه جويي) و ايجاد دنده هاي مقاوم تر در نتيجه كارسختي اشاره نمود. شكل ۵۵-۳ قسمت b مقايسه ايي ميان خطوط جريان دانه ها در رزوه زني از طريق ماشينكاري و رزوه زني بوسيله نورد را ارائه مي دهد. بر خلاف رزوه هاي ماشينكاري شده، رزوه هاي نورد شده دانه بندي منظم و ساختار يكنواخت و غير متقاطع دارند كه در نتيجه فرايند كار سرد اعمال شده بوده وبه بهبود خواص مكانيكي مي انجامد.



شكل ۵۵-۳. a) طرح شماتيك يك پيچ b) مقايسه خطوط جريان دانه ها.

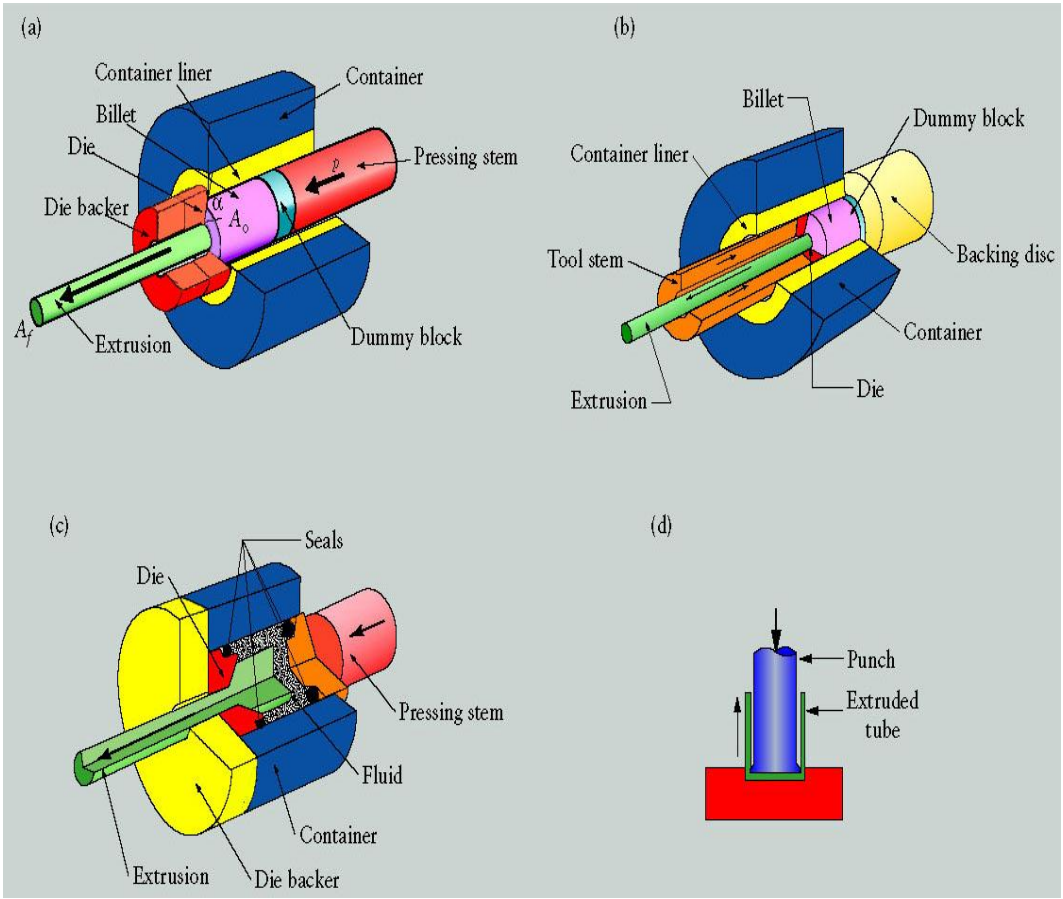
۱۳- اكستروژن يا روزنرانی (Extrusion)

اكستروژن يك فرايند شكل دهي فشاري است كه در ان قطعه كار چنان تحت فشار قرار مي گيرد تا در فضاي خالي قالب جريان يابد و شكل مورد نظر در مقطع عرضي ان ايجاد گردد. در واقع اكستروژن تكنيكي است كه در ان مي توان قطعات و شكلهايي را توليد كرد كه احتمالا با هر روش ساخت ديگر غيرممكن مي باشد. تعدادي از ميله ها، لوله ها و هندسه هاي پيچيده اكسترود شده در شكل ۵۶-۳ ارائه شده اند.



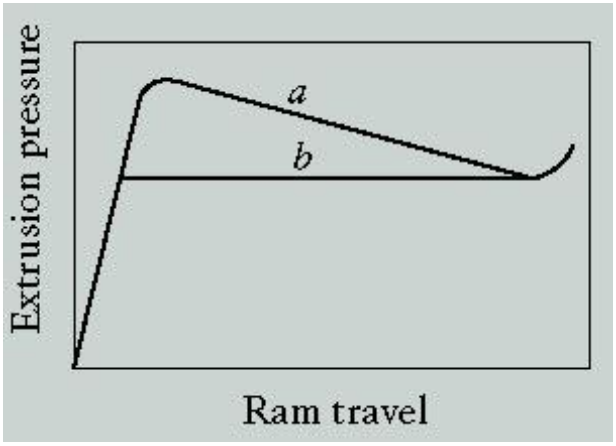
شكل ۵۶-۳. مثالهايي از محصولات اكسترود شده

در اكستروژن، يك شمشال با مقطع مدور را وارد استوانه اي جدار ضخيم نموده و تحت فشار قرار مي دهند. سپس اين فلز تحت تاثير نيروي زياد وارد محفظه شكل دهي شده و نهايتا شكل مطلوب را به خود مي گيرد. الومينيوم، روي، سرب و قلع به صورت متداول اكسترود مي شوند. بعضي فولادها نيز قابليت اكسترود شدن را دارا هستند اما محدوديت عمده در اكستروژن فولاد، دماهاي بالاي مورد نياز براي شكل دهي است كه مواد پوششي ويژه ايي را براي قالب و حديده مي طلبد. فولاد گرم را اكثرا قبل از اكستروژن در شيشه پودر شده نورد ميكنند و اجازه مي دهند تا شيشه ذوب شده و به صورت يك ماده روانكار از سائيده شدن حديده جلوگيري كند. در شكل ۵۷-۳ طرح شماتيك انواع فرايندهاي اكستروژن نشان داده شده است.



شكل ۵۷-۳. طرح شماتيك انواع فرايندهاي اكستروژن.
a) اكستروژن مستقيم
b) اكستروژن غير مستقيم
c) اكستروژن هيدرواستاتيك
d) اكستروژن ضربه ايي .

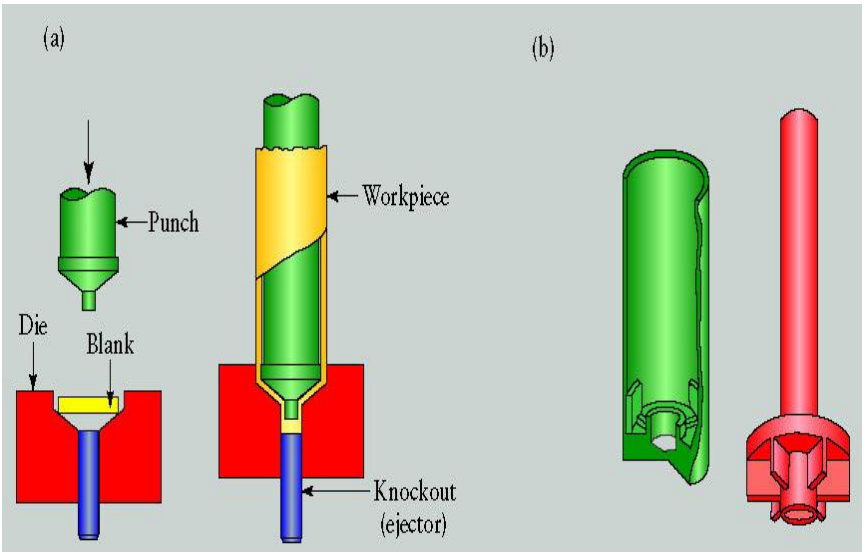
در اكستروژن مستقيم جهت حركت ماده هم جهت با كوبه پرس مي باشد. در اين تكنيك شمشال نسبت به ديواره سيلندر مي لغزد. در نتيجه اين عمل نيروي اصطكاكي بزرگي ايجاد مي شود كه فشار مورد نياز سنبه را بطور قابل توجهي افزايش مي دهد. قطعه كف بند فولادي (dummy block) براي محافظت از سنبه در مقابل اسيبهاي ناشي از فشار و گرما به كار مي رود. اكستروژن غير مستقيم در مقايسه با اكستروژن مستقيم نيروي به مراتب كمتري را نياز دارد. در اين روش جهت جريان ماده در خلاف جهت كوبه پرس مي باشد. در واقع در اكستروژن غير مستقيم، از انجا كه شمشال نمي لغزد بنابراين بخش عمده



ايي از اصطكاك ديواره جانبي كم مي شود. نمودار فشار بر حسب پيشروي كوبه پرس در شكل ۵۸-۳ ارائه شده است. همانگونه كه قابل استنباط است فشار در اكستروژن مستقيم بالاتر است.

شكل ۵۸-۳. نمودار فشار بر حسب پيشروي كوبه پرس در اكستروژن a) اكستروژن مستقيم b) اكستروژن غير مستقيم.

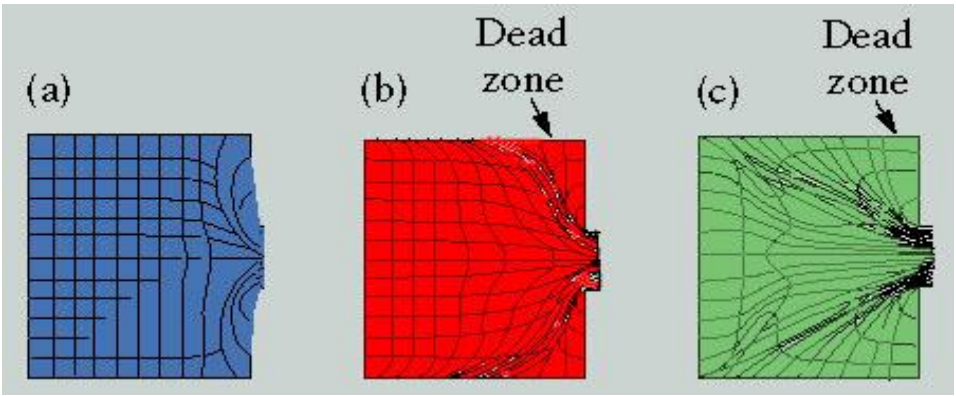
در اكستروژن هيدرواستاتيك اصطكاك ديواره جانبي با جدايش شمشال از هر دو ديواره سيلندر و سنبه و اعمال نيرو از طريق سيال هيدروليك حذف مي شود. مطابق شكل a-۵۹- ۳ به منظور كاهش هزينه هاي توليد ظروف جدار نازك مثل لوله هاي خميردندان اكستروژن ضربه ايي را مورد استفاده قرار مي دهند. در اكستروژن ضربه ايي كه معمولا به صورت سرد انجام مي شود، قطعه فلزي را در يك حديده قرار داده و سپس با حركت سريع سنبه انرا متراكم ميكنند. فلز فضاي حديده را پر مي كند و انگاه بين ديواره حديده و سنبه جريان يافته ، يك لوله جدار نازك را بوجود مي اورد. نمونه هايي از هندسه هاي قابل توليد در اكستروژن ضربه ايي در شكل b-۵۹-۳ نشان داده شده اند.



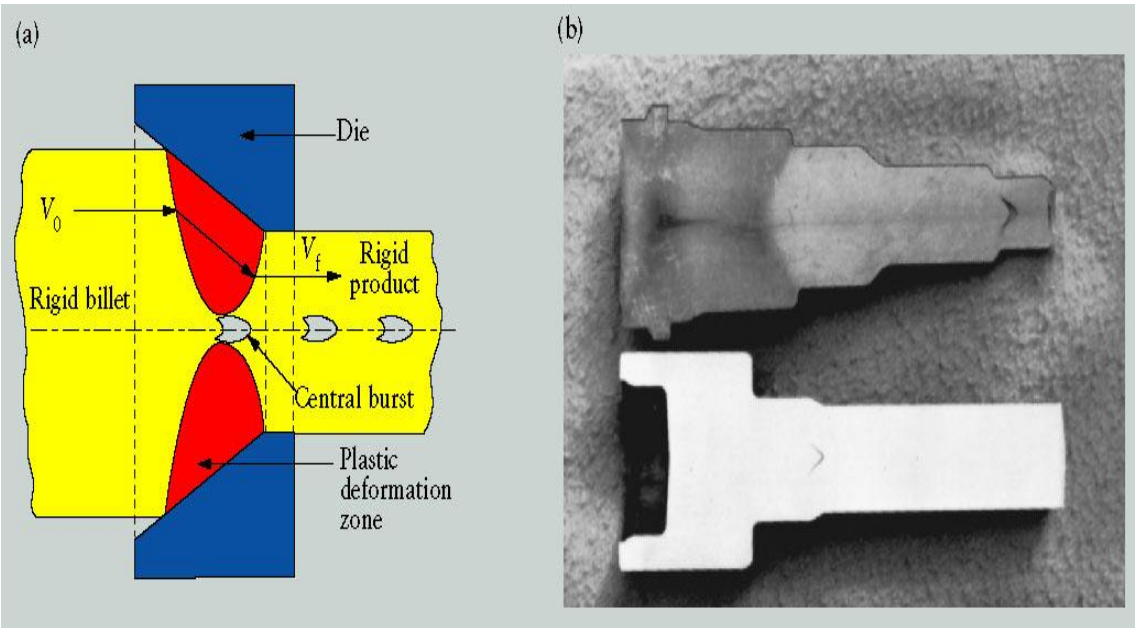
شكل ۵۹-۳. a) اكستروژن ضربه اي b) نمونه هايي از هندسه هاي قابل توليد .

در اكستروژن سرد ميتوان به كيفيت سطح عالي و خواص مكانيكي مناسب دست يافت. در واقع اكستروژن سرد موجب ايجاد ساختار ريز دانه متركم كه داراي درجه بالايي از دانه هاي موازي با محور اكستروژن است مي گردد. در نتيجه خواص كششي بسيار عالي در جهت محور اكستروژن قابل حصول است. جنس ماده اكستروژن و روغنكاري نقش بسيار مهمي در چگونگي جريان فلز يازي مي كنند. با افزايش اصطكاك تغيير شكل فلز غير يكنواخت مي شود. حالتهاي مختلفي از جريان ماده در اكستروژن مستقيم در شكل شماتيك ۶۰-۳ نشان داده شده اند.

شكل۶۰-۳. حالتهاي مختلف جريان ماده در اكستروژن مستقيم.

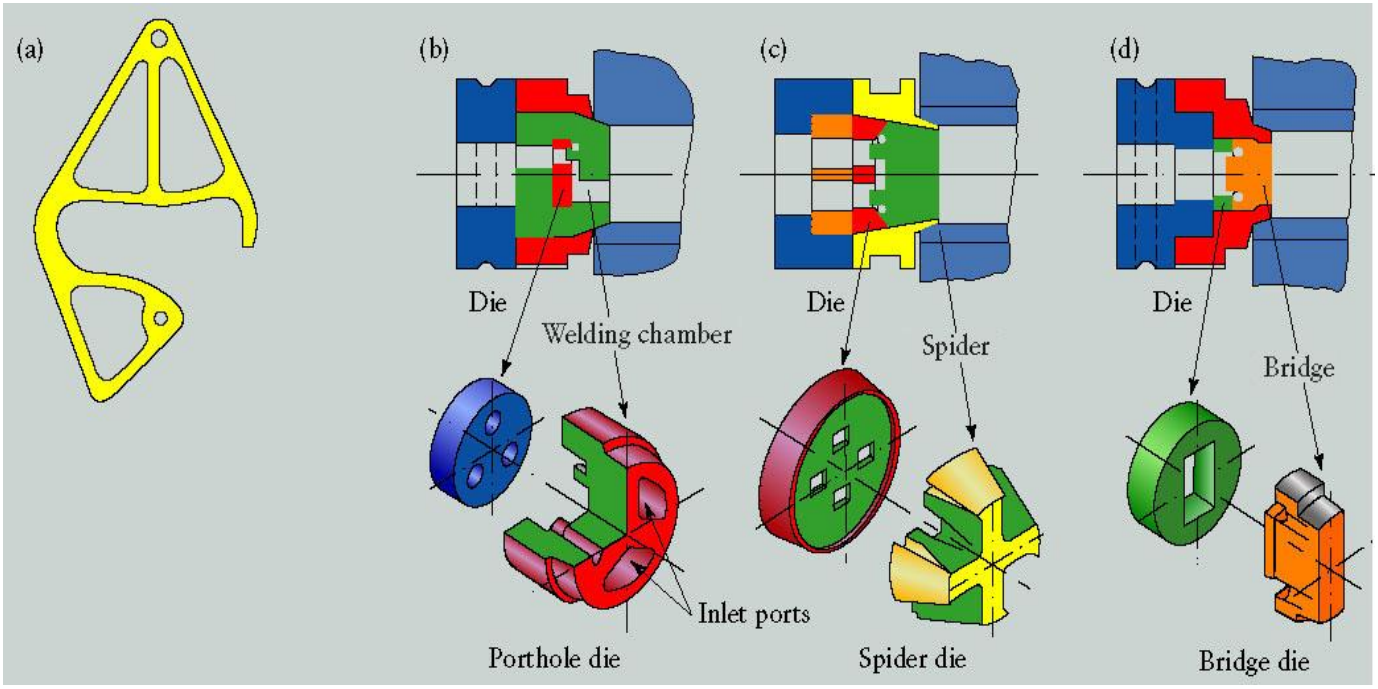


در اکستروژن مستقیم حرکت مرکز شمشال به طرف سوراخ حدیده سریعتر از حرکت ماده به طرف جداره ها است. در نتیجه نزدیك انتهاي اکستروژن سطح خروجي، شمشال از درون حدیده شروع به جریان مي کند و نقصي ایجاد مي کند کخ در شکل ۳-۶۱ نشان داده شده است.



شکل ۳-۶۱. نمایش نقص موسوم به عیب اکستروژن

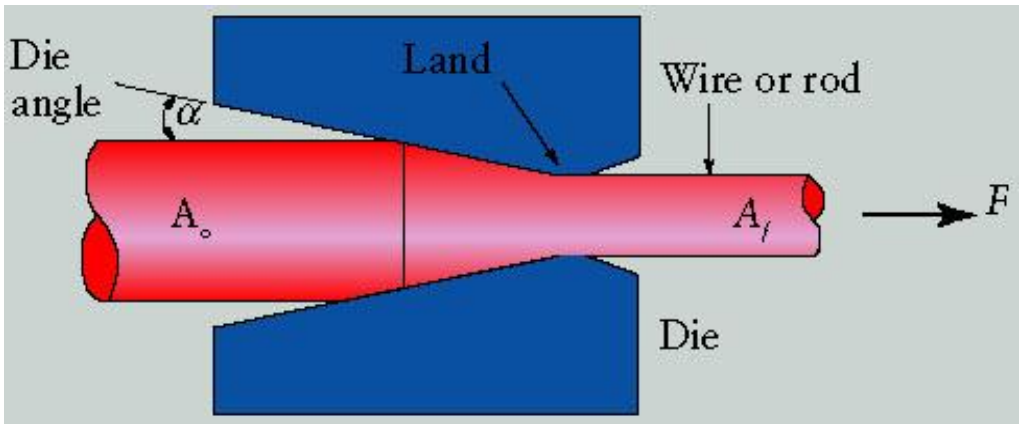
طرح شماتیك تولید چند نمونه شکل پیچیده در فرایند اکستروژن در شکل ۳-۶۲ ارائه شده است.



شکل ۳-۶۲. طرح شماتیك تولید چند نمونه شکل پیچیده در فرایند اکستروژن

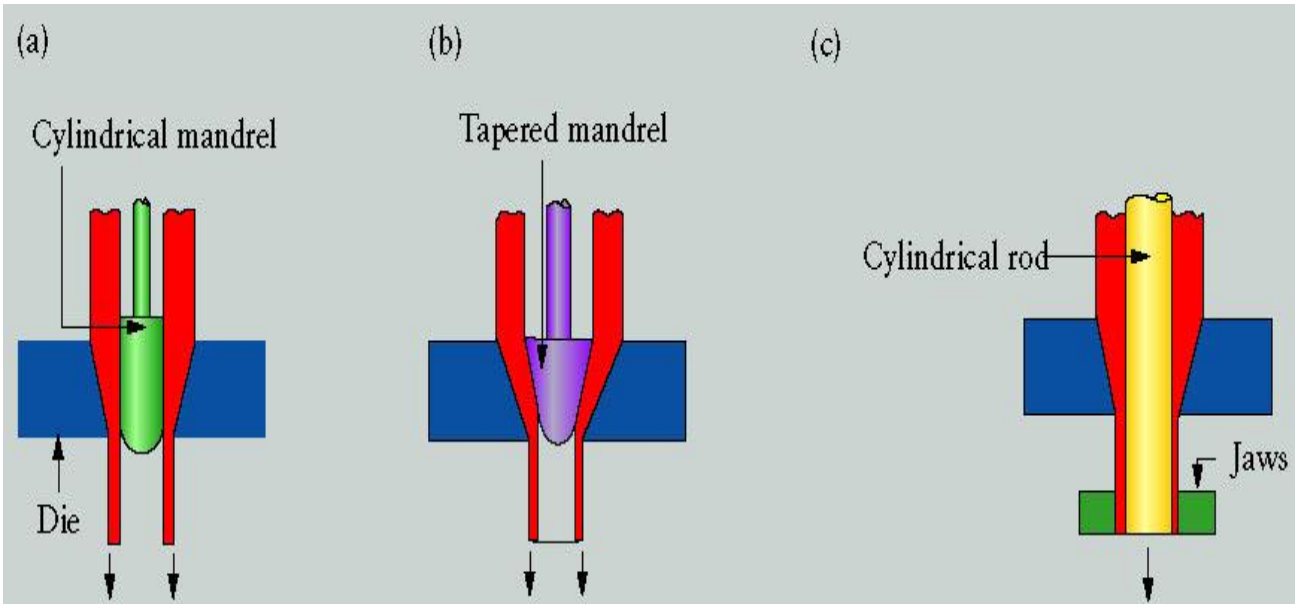
۱۴- کشیدن (Drawing)

کشیدن فرایندي است که براي تولید مفتولهاي فلز ورقي و قطعات ورقي انحنا دار مرکب به کار مي رود. لوله هاي بدون درز، ماهي تابه ها، ظروف حلبي، قطعات سقف اتومبیل و پوکه هاي فشنگ نمونه هایي از قطعات تولیدي در این فرایندند. طرح شماتیك و مهمترین متغیرهاي فرایند کشیدن در شکل ۳-۶۳ ارائه شده اند.



شکل ۶۳-۳. طرح شماتيك و مهمترين متغيرهاي فرايند كشيدن

طرح شماتيك فرايند كشيدن لوله ها در شكل ۶۴-۳ ارائه شده است.



شکل ۶۴-۳. طرح شماتيك فرايند كشيدن لوله ها.

ای کاش یاد بگیریم که زیر بارهای خمشی و پیچشی

زندگی نقطه تسلیم را بالا ببریم و مقاومت

شکست را حداکثر کنیم تا چرخ دنده های زندگیمان

از لهیدگی و تداخل در امان باشد.

WWW.USS.VCP.IR