مقدمه ایی بر فرآیند های فرمدهی

و فورج

(Introduction to Forming

and Forging Process)

۱ – مقدمه ای بر فرآیندهای فرم دهی و فورج [1]:

(Introduction to Forming & Forging Process)

فلزکاری (*Metal Working*) مشتمل بر فرآیند های تغییر شکل *Billet* یا ورق بوده که توسط ابزار یا قالبها انجام می شود. طراحی و کنترل چنین فرآیندهایی، به فهم و درک مشخصه های قطعه کارفلزی و شرایط کاری از قبیل فصل مشترک قطعه فلزی و ابزار، مکانیزم تغییر شکل پلاستیک (*Metal Flow*) و استفاده از تجهیزات و نیازمندی های نهایی (جهت رسیدن) به قطعه کار تمام شده [ماشینکاری] دارد.

عوامل موثر در انتخاب هندسه ابزار(*tool geometry*) و ماده از یک سو و شرایط فرآیند [همانند: دمای قطعه کار و قالب ، روانکار و ...] از سوی دیگر بایستی در نظر گرفته شوند.

۱-۱ . تاریخچه فرآیندهای فلزکاری (Historical Perspective)

فلزکاری (*Metal Working*) یکی از سه فرآیند بسیار مهم روشهای ساخت محصولات فلزی است. (روش های دیگر ریخته گری و متالوژی پودر است). به هر حال شاید فلزکاری قدیمی ترین و کامل ترین فرآیند نسبت به دو فرآیند دیگر باشد. اولین گزارشات از فرآیندهای فلزکاری ، چکش کاری (*Hammering*) طلا و مس در نواحی شرقی (*Middle East*) (محدوده خاورمیانه) در حدود 8000B.C سال قبل از میلاد مسیح بدست آمده است.

شکل دهی این فلزات در ابتدا به صورت خام انجام می شده زیرا صنعت تصفیه به کمک فرآیندهای ذوب و ریخته گری ناشناخته بوده و قابلیت کار بر روی فلز به دلیل وجود نا خالصی های موجود در سنگ معدن بسیار محدود بوده ، لذا بایستی فلز از ناخالصی های موجود در سنگ معدن جدا می شد. در 4000B.C سال قبل از میلاد مسیح با استفاده از روش های خالص سازی فلزات بوسیله واکنش های شیمیایی ، در حالت مذاب ، فلز مس بدست آمده. در طول انقلاب صنعتی ، در انتهای قرن هجدهم فرآیندهایی برای فولاد سازی و تولید آهن ابداع شد و تقاضاهای بسیار زیادی برای این فلز ارائه شد. بنابراین نیاز به تجهیزات فورج به ظرفیت های بسیار زیاد افزایش یافت لذا این نیاز باعث شد پتک های با سرعت بالا و پرس های هیدرولیکی ، مکانیکی و ... ساخته شد.

۱-۲. طبقه بندی فرآیندهای فلزکاری

(Classification of metal working processes)

در فرآیند فلزکاری به زبان ساده یک ورق *Blank* شده یا یک *Billet* تحت عملیات تغییر شکل پلاستیک قرار می گیرد و ماده بین ابزارها (قالب ها) به شکل نهایی مورد نظر می رسد.

بطور کلی فرآیندهای شکل دهی فلزی به دو دسته تقسیم بندی می شوند:

۱- عملیات شکل دهی بلوک یا توده (Bulk Or Massive Forming Operation)

۲- عملیات شکل دهی ورق فلزی (Sheet Forming Operation)

در هر دو نوع فرآیند ، سطوح تغییر شکل فلز و ابزار با یکدیگر در تماس اند و در میان آنها اصطکاک تأثیر بسزایی روی سیلان ماده خواهد داشت.

در فرم دهی به صورت بلوک (*Bulk*) ماده ورودی به قالب به صورت (*Billet*) ، مفتول (*rod*) یا (*Slab*) بوده و نسبت سطح به حجم در قطعه فرم یافته به طور قابل توجهی تحت عملکرد بار فشاری به طور گسترده ای افزایش می یابد.

در فرآیند فرم دهی ورق یا به عبارت دیگر یک قطعه(*Blank*) از ورق توسط بارهای کششی به صورت شکل سه بعدی ، تحت تغییر شکل پلاستیک قرار می گیرد و غالباً به طور عمده ای تغییر در ضخامت یا مشخصه سطح ایجاد نمی شود.

فرآیندهای (*Bulk Forming*) یا شکل دهی بلوک مطابق دسته بندی ذیل بنا به خصوصیات آنها از یکدیگر تغییر داده می شوند:

I- قطعه کار، تحت تغییر شکل پلاستیک دائمی و گسترده ایی قرار می گیرد و در نهایت سطح مقطع آن به طور قابل توجهی تغییر می یابد.

II- بخشی از قطعه کار که تحت تغییر شکل پلاستیک قرار می گیرد و عموماً از بخشی که تحت تغییر شکل الاستیک (*elastic deformation*) قرار می گیرد بیشتر است بنابراین بازیابی الاستیک (*elastic recovery*) بعد از تغییر شکل ناچیز است. [همانند فورج باز دستی]

مثالهایی از فرآیندهای شکل دهی بلوک ها (*Bulk Forming*) همانند فرآیندهای اکستروژن ، فورج ، نبرد و کشش در جدول (۱) آورده شده است.

Table 1 Classification of bulk (massive) forming processes

Forging	Rolling	Extrusion	Drawing
Closed-die forging with flash	Sheet rolling	Nonlubricated hot extrusion	Drawing
Closed-die forging without flash	Shape rolling	Lubricated direct hot extrusion	Drawing with rolls
Coining	Tube rolling	Hydrostatic extrusion	Ironing
Electro-upsetting	Ring rolling		Tube sinking
Forward extrusion forging	Rotary tube piercing		
Backward extrusion forging	Gear rolling		
Hobbing	Roll forging		
Isothermal forging	Cross rolling		
Nosing	Surface rolling		
Open-die forging	Shear forming		
Rotary (orbital) forging	Tube reducing		
Precision forging			
Metal powder forging			
Radial forging			
Upsetting			

Source. Ref 1

مشخصات شکل دهی ورق (Sheet Metal Forming) مطابق ذیل تعریف شده است:

I- قطعه کار به صورت یک ورق یا بخشی از یک ورق ساخته می شود.

II- تغییر شکل (*deformation*) معمولاً باعث تغییرات عمده ای در شکل می شود (*Shape*) می شود اما مساحت سطح مقطع (*Cross area sectional*) ورق بدون تغییر باقی می ماند.

III - در برخی حالات ، میزان تغییر شکل پلاستیک نسبت به تغییر شکل الاستیک (قابل بازیابی) (*Recoverable*) قابل مقایسه است ، بنابراین بازیابی الاستیکی (*elastic recovery*) یا بازگشت فنری (*spring back*) قابل اهمیت است.

مثالهایی از این فرآیندهای ذیل در بخش (*Sheet Metal Forming*) همانند کشش عمیق (*Deep Drawing*) و کشش استاعی (*Stretching*) خمکاری (*Bending*) شکل دهی به کمک بالشتک های الاستیکی (*Rubber pad forming*) در جدول (۲) آورده شده است.

Table 2 Classification of sheet metal forming processes

Bending and straight flanging	**Deep recessing and flanging**
Brake bending	Spinning (and roller flanging)
Roll bending	Deep drawing
Surface contouring of sheet	Rubber-pad forming
Contour stretch forming (stretch forming)	Marform process
Androforming	Rubber-diaphragm hydroforming (fluid cell forming or fluid forming)
Age forming	**Shallow recessing**
Creep forming	Dimpling
Die-quench forming	Drop hammer forming
Bulging	Electromagnetic forming
Vacuum forming	Explosive forming
Linear contouring	Joggling
Linear stretch forming (stretch forming)	
Linear roll forming (roll forming)	

Source: Ref 1

۳-۱.انواع تجهیزات در فرآیندهای فلزکاری (Type of metal working Equipment)

فرآیندهای مختلف فرم دهی که در جداول بالا اشاره شده با ماشینها و تجهیزات متنوعی انجام می شود لذا ماشینها به صورت ذیل دسته بندی می شود:

- ماشینهای نورد برای صفحات (*Plate*) ، نوارها (*Strip*) و اشکال (*Shape*)
- ماشینهایی برای نورد پروفیل از تسمه (نوار) (*Strip*)
- ماشینهای نورد حلقه ها (رینگ ها) (*Ring - rolling*)
- ماشینهای نورد رزوه و نورد سطح (*Thread-rolling and surface-rolling machines*)
- ماشینهای فرم دهی انفجاری و مغناطیسی (*Magnetic and explosive forming machines*)
- میزهای کشش برای لوله و مفتول (میل گرد) ، سیم و ماشینهای کشش مفتول (*Draw benches for tube and rod; wire- and rod-drawing machine*)
- ماشینهایی برای انواع عملیات پرس کاری (*Machines for pressing-type operations (presses)*)

از جمله موارد لیست شده در بالا ، انواع ماشینهای پرس هستند که کاربرد وسیعی هم در مبحث *Bulk forming* و هم در مبحث *Sheet forming* دارد . لذا این ماشینها می توانند به سه دسته تقسیم بندی شوند.

۱- ماشینهایی با بار محدود (*Load – restricted*) (پرس هیدرولیک)

۲- ماشینهایی با بار ضربه ای (کورس) محدود (*Stroke – restricted*) (همانند پرس های لنگی (*Crank*) ، خارج از مرکز (*Eccentric*) ، پرس های مکانیکی (*Mechanical*)

۳- ماشینهایی با انرژی محدود[ثقلی] (*Energy – restricted*) (همانند پرس های پیچی و پتک ها)

مشخصه های عمده انواع ماشینهای پرس بر اساس کلیه داده های عملکردی و طراحی جهت استفاده اقتصادی از تجهیـزات، بر مبنای سه محور ذیل پایه گذاری شده است:

۱- مشخصه هایی بر مبنای انرژی و بار (*Characteristics for load & energy*)

این مشخصه ها عبارتند از :

- بار قابل دسترس (*available load*)
- انرژی قابل دسترس (*available energy*)
- فاکتور راندمان (*efficiency factor*)

(که معادل است با نسبت انرژی قابل حصول جهت تغییر شکل قطعه کار به انرژی اعمالی به ماشین)

۲- مشخصه های مرتبط با زمان (*Time – related Characteristics*)

شامل تعداد ضربه در دقیقه ، زمان تماس تحت فشار و سرعت تحت فشار

۳- مشخصه هایی برای دست یابی به دقت (*Characteristics for accuracy*)

برای مثال ، مشکل تابیدگی کوبـه (*Ram*) و چهـارچوب (*deflection of the ram and frame*) بـه ویـژه زمـان بارگذاری خارج از محور است و موضوع سفتی پرس (*press stiffness*) مطرح است.

تعریف انعطاف ناپذیری : مقاومت جسم در مقابل تغییر شکل با (*Stiffness*) ضریب ارتجاعی متناسب است.

فصل دوم

چکش ها و پرس ها برای فورج

(*Hammers & presses for forging*)

چکش ها و پرس ها برای فورج (*Hammers & presses for forming*)

۲-۱. ماشینهای فورج (*Forging Machines*)

ماشینهای فورج بر اساس عملکردشان طبقه بندی می شوند. چکش ها و ماشینهای فورج با نرخ انرژی بالا قطعه کار به وسیله انرژی جنبشی کوبه (*Ram*) پتک تغییر فرم می دهد. بنابراین طبقه بندی بر اساس میزان انرژی ماشین صورت می پذیرد.

قابلیت (*ability*) پرس های مکانیکی (*mechanical presses*) به منظور تغییر شکل ماده به وسیله ، طول ضربه پرس (کورس) (*the length of the press stroke*) و نیروی قابل دسترس در موقعیت های مختلف ضربه های اعمالی ، تعیین می گردد. لذا پرس های مکانیکی به عنوان ماشینهای با ضربه های محدود (*stroke-restricted*) طبقه بندی می شوند.

پرس های هیدرولیکی به ماشینهای نیروی محدود (*force- restricted*) معروف اند، زیرا قابلیت آنها جهت تغییر شکل ماده ، بستگی به حداکثر نیروی اعمالی دارد. بنابراین با وجود مشابهت در ساختار(*Struction*) پرس های مکانیکی ، هیدرولیکی و پیچی طبقه بندی آنها بر مبنای ماشینهایی با انرژی محدود صورت می پذیرد.

۲-۲. چکش ها (پتک ها) (*Hammers*)

از نظر تاریخی ، چکش ها به طور گسترده ایی به عنوان تجهیزات آهنگری (فورج) بکار برده می شدند. این نوع پرس ها به عنوان کم هزینه ترین (حداقل هزینه) و انعطاف پذیرترین نوع تجهیزات فورج با تنوع های متعدد در عملیات فورج مطرح اند. چکش ها قابلیت گسترش و افزایش نیرو را داشته و همچنین حداقل زمان تماس با قالب را دارا می باشند.

اجزاء اساسی (اصلی) در چکش ها (پتک ها) عبارتند از:

۱- کوبه (*Ram*)
۲- چهارچوب مونتاژی پرس (*Frame assembly*)
۳- سندان (*Anvil*)
۴- کلاهک سندان (*Anvil Cap*)

سندان به طور مستقیم به چهارچوب مونتاژی پرس متصل شده و بخش بالایی قالب (*Upper die*) با کوبه پرس در تماس بوده و بخش پایینی قالب (*Lower die*) نیز با کلاهک سندان (*anvil Cap*) در تماس است.

در هنگام عملکرد قطعه کار روی بخش پایینی قالب قرار گرفته و با حرکت رو به پایین کوبه (*Ram*) نیرو روی سندان اعمال شده و باعث تغییر شکل آن (قطعه کار) می گردد.

چکش های فورج بر اساس روشهای حرکت رو به پایین کوبه می توانند طبقه بندی شوند. درجدول (۱) انواع چکش های مختلف آورده شده و می توان ظرفیت های آنها را با یکدیگر مقایسه نمود.

Table 1 Capacities of various types of forging hammers

Type of hammer	Ram weight kg	Ram weight lb	Maximum blow energy kJ	Maximum blow energy ft·lb	Impact speed m/s	Impact speed ft/s	Number uf blows per minute
Board drop	45-3400	100-7500	47.5	35 000	3-4.5	10-15	45-60
Air or steam lift	225-7250	500-16 000	122	90 000	3.7-4.9	12-16	60
Electrohydraulic drop	450-9980	1000-22 000	108.5	80 000	3-4.5	10-15	50-75
Power drop	680-31 750	1500-70 000	1153	850 000	4.5-9	15-30	60-100
Vertical counterblow	450-27 215	1000-60 000	1220	900 000	4.5-9	15-30	50-65

انواع پتک ها

۱- پتک های ثقلی سقوطی (Gravity - drop hammers)

۲- پتک های تخته ضربه ای(Board drop hammers)

۳- پتک های سقوطی با بالابر ثقلی(The air – lift gravity drop hammers)

۴- پتک های سقوطی ثقلی الکتروهیدرولیکی(Electro hydraulic gravity drop hammers)

۵- پتک های سقوطی قوی(Power drop hammers)

۶- پتک های Die forger hammer

۷- پتک های متقابل(Counter blow hammers)

۸- پتک های فورج قالب باز(Open die forging hammers)

۹- ماشینهای فورج با نرخ انرژی بالا (High Energy Rate Forging (HERF))

۱۰- ماشینهایی با چهارچوب داخلی و کوبه(Ram & inner frame machine)

۱۱-ماشینهای دو کوبه ای(Tow – Ram machine)

۱۲-ماشینهای فورج با دمش کنترل شده(Controlled Energy flow forging machine)

۲-۲-۱. پتک های ثقلی ـ سقوطی (Gravity - drop hammers)

پتک های ثقلی ـ سقوطی از اجزاء ذیل تشکیل شده اند:

۱- یک سندان یا پایه (Base)

۲- ستون های حمایت کننده ،که شامل راهنماهای کوبه نیز می باشند (Ram guides)

۳- تجهیزات بازگرداننده Ram به موقعیت شروع (اولیه)

انرژی لازم جهت تغییر شکل قطعه کار ، در اثر حرکت رو به پایین کوبه (سقوط کوبه (Ram)) تأمین می شود. ارتفاع سقوط و وزن کوبه (Ram) تعیین کننده نیروی اعمالی است.

۲-۲-۲. پتک های تخته ضربه ای (Board- drop hammers)

بطورگسترده ای ازاین پرس ها استفاده می شود، به ویژه جهت عملیات فورجینگ قطعاتی که وزن آنها بیش از[چند کیلوگرم] نباشد ، بکار می رود. در پرس های پتک تخته ضربه ای کوبه (Ram) به وسیله یک یا بیشتر تخته راهنما

(*boards keyed*) بالا رفته و در طی مسیر خود از میان دو غلتک اصطکاکی (*friction rolls*)که در بالای پتک قرار گرفتند ، عبور می نمایند. تخته ها (*boards*) غلتک هایی هستند که کوبه را به طرف بالا هدایت کرده سپس بطور مکانیکی آزاده شده و اجازه می دهند کوبه (*Ram*) تا از ارتفاع مطلوب سقوط نماید.

- توان لازم (انرژی لازم) جهت بالا بردن کوبه ، بوسیله یک یا چند موتور تأمین می شود.

تناژ چکش (پتک ها) بر مبنای وزن کوبه در حال سقوط ، از 180^{kg} تا 4500^{kg} ($400\text{-}10000^{lb}$) و محدوده استاندارد از 450^{kg} تا 2250^{kg} ($1000\text{-}5000^{lb}$) در واحدها (جزءهای) 225^{kg} و 450^{kg} طبقه بندی شده است. ارتفاع سقوط کوبه (*Ram*) بسته به سایز چکش ها مختلف است. این ارتفاع از 900^{mm} (35^{in}) برای یک پرس 180^{kg} (400^{lb}) تا 2^{m} (75^{in}) برای پرس 3400^{kg} (7500^{lb}) مد نظر گرفته شده است.

ارتفاع سقوط و بنابراین نیروی مؤثر (اصابت) (*striking force*) پتک ، تقریباً بر حسب تنظیمات انجام شده ثابت بوده و نمی توان بدون توقف ماشین و تنظیمات طول کورس (*length stroke*) تعداد آن را تغییر داد. سندان های (*Anvils*) پرس های پتک تخته ضربه ای ، 25-26 برابر سنگین ترند.

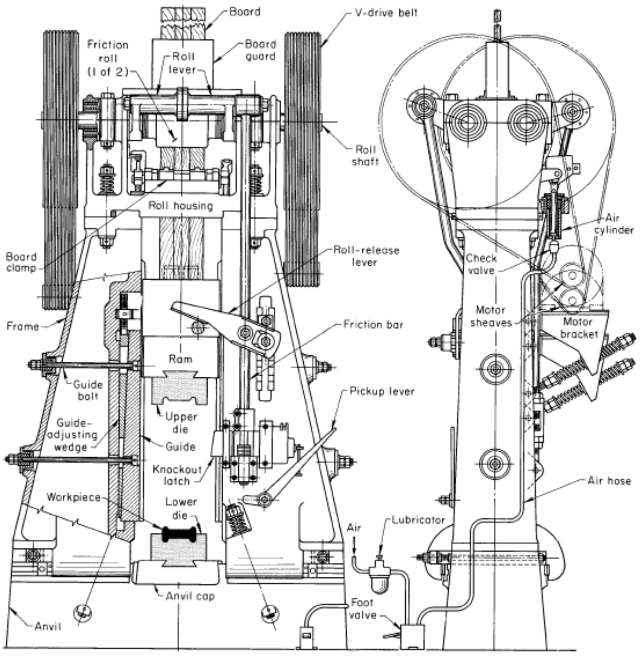


Fig. 1 Principal components of a board-drop hammer

۳-۲-۲. پتک سقوطی با بالابر ثقلی (*The air – lift gravity drop hammers*)

این پتک ها ، مشابه پتک تخته ضربه ای (*board- drop hammers*) است و نیروی فورج از رانش حاصل از وزن کوبه (*Ram*) مونتاژ شده و نیمه بالایی قالب تأمین می شود. تفاوت این نوع پتک های با پتک های تخته ضربه ای در نوع حرکت کوبه آنهاست.

در این نوع پتک ها نیروی بالابر ثقلی (*air – lift hammers*) به وسیله هوا یا انرژی بخار تأمین می شود. بازده های کنترل کننده کورس (*Store control doges*) روی اهرم های نوسان کننده ، از پیش تنظیم شده اند و به وسیله کوبه (*Ram*) و انرژی کنترل شده مطابق سیستم سیلندر کوبه تحریک می شوند (بکار گرفته می شوند).

با عملکرد پتک ، بازوها (*dogs*) می توانند مجدداً نسبت به طول اهرم نوسان کننده ، تنظیم شوند. تجهیزات قابل دسترس (در این نوع پرس ها) ، این اجازه را بما می دهند که هم در کورس های بلند و هم در کورس های کوتاه تغییرات داشته باشیم.

کوبه (*Ram*) در یک موقعیت خاص ، بوسیله یک سیستم میله پیستونی (*piston-rod*) نگاه داشته می شود ، و سیستم مذکور نیز بوسیله یک سیلندر که با هوای فشرده به صورت مجزا کار می کند ، عمل می نماید.

هنگامی که سیستم پیستونی مذکور به صورت اریب قرار می گیرد ، سیستم نگه داری کوبه عمل می نماید.

هنگامی که اپراتور پدال پایی (*treadle*) را می فشارد ، هوا وارد سیلندر شده و نیروی بسته شدن (*clamp*) بطور افقی افزایش می یابد و کوبه ، عمل می نماید. این سیکل تا زمانیکه اپراتور پایش را از روی پدال برندارد ، ادامه می یابد. با برداشتن پدال سیستم *Ram* عمل می نماید. عمل آزاد شده پدال نباید زمانی که *Ram* به سوی پایین حرکت نماید ، صورت گیرد. این عمل باعث اعمال کرنش اضافی به میله و *clamp* و دیگر قطعات آن می شود. اساساً محدوده اندازه (ظرفیت) پتک های ثقلی مذکور ، از 225 ^{kg} تا 4500 ^{kg} (500-10000 ^{lb}) است. وزن قطعه فورج شده توسط این نوع پرس ها با پرس های تخته ضربه ای مشابه است.

۲-۲-۴.پتک های سقوطی الکتروهیدرولیکی

(***Electro hydraulic gravity drop hammers***)

در سالهای اخیر، دو ابداع مهم و عمده در طراحی پتک ها معرفی شده است. اولین ابداع پتک سقوطی ثقلی الکتروهیدرولیکی است. در این نوع پتک ها کوبه (*Ram*) توسط فشار روغن که در مقابل بالشتک هوای فشرده (*air cushion*) قرار گرفته بالا می رود.

هوای فشرده به آرامی در پشت کوبه (*Ram*) توزیع شده و باعث شتاب یافتن آن ، در حین حرکت به سمت پایین می گردد. بنابراین پتک های سقوطی الکتروهیدرولیکی ، یک حداقل انرژی و توان را در هنگام عملکرد دارند. دومین ابداع در طراحی پتک ها ، استفاده از دمش به طور الکترونیکی و کنترل انرژی است.

چنین کنترل هایی به کاربر (اپراتور) این اجازه را می دهد که بر اساس یک برنامه ،کوبه (*Ram*) از یک ارتفاع مشخص به ازاء هر دمش (*blow*) خاص ، عمل نماید (سقوط کند).

به عنوان یک نتیجه ، اپراتور می تواند به طور اتوماتیک ، تعداد ضرب مورد نظر را در فورج ، در هر محفظه قالبی با تمرکز نیروی مورد نظر (به صورت دمش خاص) تنظیم نماید.

کنترل دمش (*blow*) به طور الکترونیکی باعث افزایش راندمان پتک شده و همچنین ارتعاش (*vibration*) و اختلال (*noise*) را در حین عملکرد پتک کاهش می دهد ، بنابراین نیازی به پتک هایی با دمش بسیار بالا نمی باشد. [در واقع نیرو را می تواند متمرکز نماید] .

۲-۲-۵. پتک های سقوطی قوی (Power- drop hammers)

در یک پتک سقوطی قوی ،کوبه در حین پایین آمدن توسط بخارآب (*steam*) یا فشار هیدرولیکی شتاب مـی گیـرد. اجـزاء کلی سیستم بخار یا هوا در این گونه پرس ها و عملکرد آنها در شکل (۲) آورده شده است.

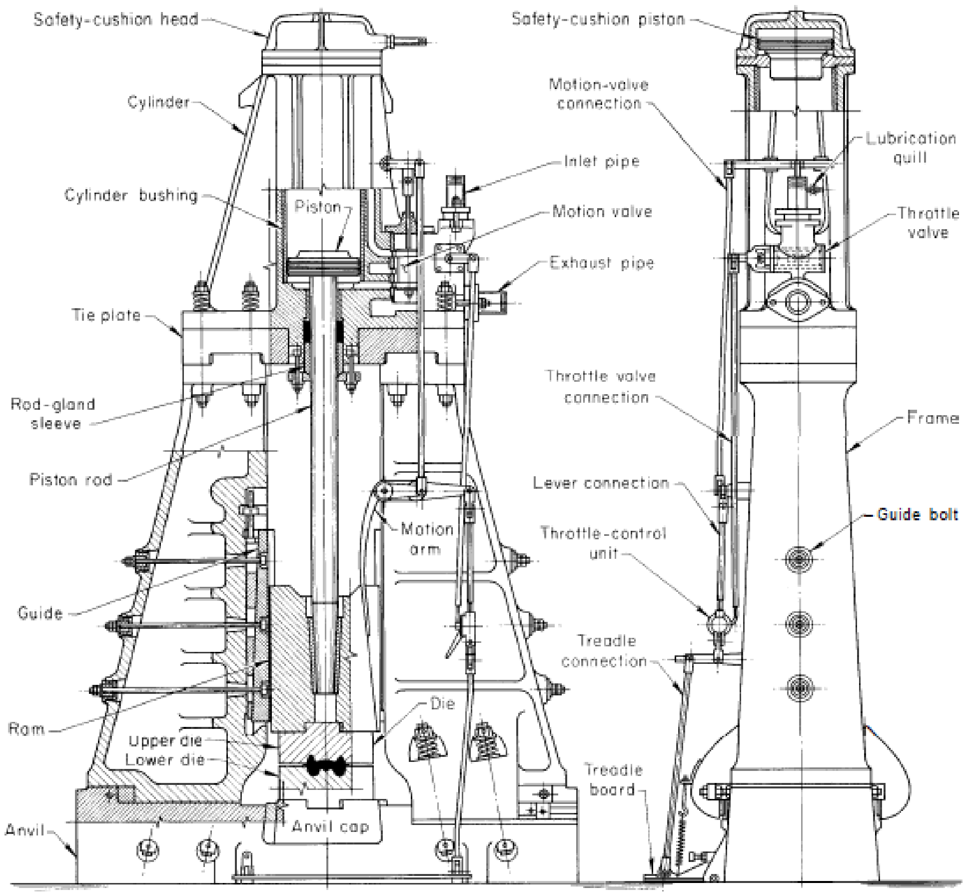


Fig. 2 Principal components of a power-drop hammer with foot control to regulate the force of the blow

این تجهیزات برای فورج های تقریباً گران و انحصاری ، در قالب های بسته (قالـب هـای نفـوذی *Impression die*) بکـار برده می شوند. توان بخار آب (*steam*) یا هوای در پتک سقوطی آنها را به ماشین های قدرتمندی تبـدیل سـاخته کـه ، در حالت کلی برای فورج محصولاتی بکار برده می شوند ،که نیازی به فشارهای ضربه ای (*Impact pressure*) داشته باشند.

در یک پتک سقوطی قوی ، یک سندان سنگین و دو چهارچوب حمایت کننده که به طور عمودی قرار گرفته اند به حرکـت کوبه (*Ram*) دقت می دهند. چهارچوب مذکور، یک سیلندر که در میان آن یک پیستون و میله پیستون نیز قـرار گرفتـه ، مجموعه را حمایت (*support*) می کند.

به سطح پایینی کوبه یک نیمه قالب (*Upper die*) متصل شده که در واقع بخشی از شکل هندسی قطعه فورج مورد نظر را تشکیل می دهد ، نیمه پایینی قالب نیز به کلاهک سندان (*anvil cap*) متصل شده است. کلاهک سندان با استفاده از گوه هایی به سندان محکم می گردد.

حرکت پیستون به وسیله یک شیر ،کنترل می شود. این شیر بخار آب ، هوا یا روغن هیدرولیک را به یک سوی نیمه بـالایی یا پایینی پیستون وارد می نماید. شیر معمولاً بطور الکترونیکی کنترل می شود.

اغلب پتک های سقوطی قوی ، جدید و پیشرفته به سیستم الکترونیکی قابل برنامه ریزی تجهیز شده اند ، لذا کنترل دمش (*blow control*) و شدت آن به ازاء هر دمش خاص ، قابل تنظیم است.

پتک های سقوطی قوی(*Power drop hammers*)وزن جرم برخوردکننده (*weight of the striking mass*) بدون در نظر گرفتن نیمه بالایی قالب مورد ارزیابی قرار می گیرند. این پتک ها از محدوده 450^{kg} تا 31750^{kg} (-1000 70000^{lb}) طبقه بندی (تقسیم بندی) شده اند.

جرم زیاد (توده بزرگ) (*large mass*) یک پتک سقوطی قوی ، مشخص نیست زیرا از نظر ظاهری بخش اعظمی از آن در زیر بستر (زیرزمین) قرار گرفته است.

یک پتک در ظرفیت 22700^{kg} (50000^{lb}) بایستی دارای سندانی فولادی به وزن 453600^{kg} (1000000^{lb}) یا بیشتر باشد. کوبه (*Ram*) ، پیستون ، میله پیستون (*rod piston*) مجموعاً وزنی در حدود 20400^{kg} (45000^{lb}) دارند. سرعت ضربه (*The striking velocity*) بدست آمده ، توسط فشار رو به پایین در پیستون گاهی اوقات به بیش از $7.6\ ^{m}/_{s}$ (25 $^{ft}/_{s}$) می رسد.

دسته بندی پتک ها بر مبنای وزن توده ای که ضربه می زند (*striking mass*) صحیح نیست ، اگرچه این موضوع در عمل امری متداول و معمول است. اما روش واقع بینانه تر جهت دسته بندی پتک ها ، بر مبنای ماکزیمم انرژی در واحدهای ژول (*Joules*) یا (*Foot-Pounds*) است که یک کوبه می تواند در یک مرحله ضرب (*single blow*) در شرایط کارگرم به فلز بیشترین انرژی لازم جهت تغییر شکل را اعمال نماید.

(تنظیمات پتک و کنترل های آن قبلاً انجام شده است).

انرژی مفید تأمین شده جهت فورج یک قطعه فلزی ، به طراحی پتک (وزن کوبه و فشار روی پیستون) ، نسبت وزن سندان به وزن کوبه (*Ram*) و طراحی فونداسیون پی (*Foundation*) پتک بستگی دارد.

بخشی ازسایز پتک های سقوطی قوی ونیروهای قابل حصول توسط آنها ،به تولید محصولات فورج شده با استفاده ازاین پرس ها بستگی دارد ، (معمولاً قطعاتی که توسط این نوع پتک ها فورج می شوند از محدوده 93^{kg} (50^{lb}) تا چند مگاگرم $1000^{kg} = 10^{6}\ ^{gr}$ باشند). دیگر مزیت مهم این گونه پتک ها تمرکز شدت ضربه (*striking intensity*) به طور کامل تحت شرایط کنترل شده توسط اپراتور است یا سیستم ضربه دمش (*blow*) به صورت الکترونیکی قابل کنترل است.

پیامد تأثیر این امکان در استفاده از پرس های مذکور (قابلیت های ذکر شده) باعث می گردد پریفرم بیلت اولیه در محفظه قالب بخوبی و به بهترین نحو ممکن نفوذ (سیلان) کرده و نهایتاً قطعه ایی با دانه بندی (*grain flow*) مناسب و بدون عیبی بطور اقتصادی و با کمترین میزان سایشی قالب تولید شود.

استفاده از پرس های مذکور با وجود مزایای بسیاری که دارد (از جنبه نیروهای ضربه ای که اعمال می نماید) از معایبی نیز برخوردار است ، 15 تا 25% از انرژی جنبشی کوبه در هنگام برخورد (در فرآیند فرم دهی اولیه) ودر مواردی تا 80% انرژی جنبشی (در مراحل نهایی و سخت) در بلوک سندان و فنداسیون پتک تلف می شود.

بنابراین این میزان انرژی در هنگام تغییر شکل فلز (روی ماده) توزیع نمی شود.

این از دست دادن انرژی در زمانی که ضربات نهایی در مراحل انتهایی ، تغییر شکل به قطعه کار وارد می شود و مقدار نسبتاً ناچیزی انرژی ، جهت رسیدن به شکل نهایی لازم است اهمیت پیدا می کند.

بنابراین ، انتقال انرژی ناشی از اعمال تنش های بالا، ممکن است در مواردی حتی باعث شکسته شدن سندان نیزگردد. انتقال انرژی و گسترش شدید آن ، ممکن است در مواردی آسیب هایی را نیز به اطراف محیط پرس (طبقه های زیرین فنداسیون پرس) اعمال نماید.

۲-۲-۶.پتک های *Die forger hammer*

عملکرد پتک های *Die forger* مشابه پتک های سقوطی قوی (*Power-drop hammers*) است. اما دارای کورس کوتاهتری بوده و نرخ اصابت ضربه اعمالی (*striking rates*) با سرعت بیشتری انجام می شود.

کوبه در بخش بالایی پرس قرار گرفته و ضربه به وسیله یک منبع هوای فشرده شده که دارای مقدار ثابتی است ، اعمال می گردد. هوای فشرده از سیلندر خارج شده مکانیزم و دمش را تحریک می نماید.

میزان انرژی در هر دمش در پتک های *Die Forger* بسته به قابلیت و شرایط ساخت آنها از 5.5 ^{kj} تا 89.5 ^{kj} (-4000 66000 $^{ft.lb}$) دسته بندی می شود. انرژی دمش و برنامه فورج (تعداد ایستگاه های قالب و تعداد و شدت دمش (*intensity of blow*) در هر وضعیت) توسط اپراتور قابل برنامه ریزی است.

انرژی ذخیره شده جهت عملیات فورج یک فلز توسط کوبه پتک ، به طراحی آن بستگی دارد. (وزن کوبه و فشار اعمال شده به بخش بالایی پیستون) نسبت وزن سندان به وزن کوبه ، طراحی فنداسیون پرس از دیگر عوامل موثر در اعمال انرژی مفید ذخیره شده جهت عملیات فورج یک فلز محسوب می شود.بخشی از سایز (اندازه) پتک های سقوطی قوی و نیروهایی که جهت عملیات فورج بکار برده می شود جهت تولید (فورج) قطعات بزرگ مورد استفاده قرار می گیرد.

به طور متداول وزن قطعاتی که توسط پرس های مذکور فورج می شود از محدوده 23 ^{kg} (50 ^{lb}) تا چندین مگاگرم است. مزیت دیگر ومهم اینگونه پتک ها ،کنترل شدت برخورد(*striking intensity*)کوبه،به صورت سیستم های الکترونیکی است. نتیجه این مزیت،دستیابی به نفوذ مناسب ماده(پریفرم ـ بیلت)درمحفظه قالب است. لذامی توان قطعاتی بادانه بندی(*grain flow*) مناسب و بدون عیب با حداقل سایش قالب ، بطور اقتصادی تولید نمود.

اگر چه استفاده از پتک های سقوطی قوی (*Power-drop hammers*) مزایای زیادی دارد اما از دیدگاه نیروهای برخورد (*striking force*) در مقادیر بالا، از معایبی نیز دارای معایبی است ، به عنوان مثال 15 تا 25% انرژی جنبشی ضربه اعمال شده از سوی کوبه در بلوک سندان از بین می رود. در مواردی در دمش های نهایی و سخت (*hard finishing blows*) این مقدار به 80% نیز می رسد.

۲-۲-۷.پتک های متقابل (*Counter blow hammers*)

پتک های متقابل نوع تغییر یافته دیگر پتک های سقوطی قوی هستند که بطور وسیعی در اروپا گسترش یافته اند. در این پتک ها نیروی ضربه (اصابت) (*striking force*) توسط حرکت دو کوبه (*Ram*) افزایش می یابد. بطور همزمان دو کوبه (*Rams*) در دو جهت مختلف (متقابل) بسوی یکدیگر حرکت کرده و یک نقطه میانی (*midway*) به یکدیگر می رسند. برخی از پتک ها به صورت پنوماتیکی یا هیدرولیکی عمل می نمایند و برخی دیگر به صورت سیستم هیدرولیکی ـ مکانیکی یا مکانیکی ـ پنوماتیکی عمل می نمایند.یک پتک متقابل (*counter blow*) عمودی که به همراه یک سیستم بخار هیدرولیک عمل می نماید در شکل توضیح داده شده است.

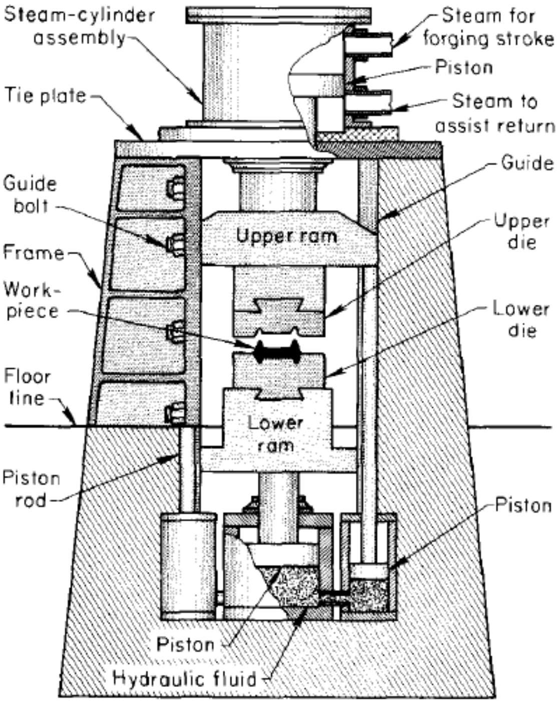


Fig. 3 Principal components of a vertical counter-blow hammer with a steam-hydraulic actuating system

در این پتک ، بخار آب (*steam*) اجازه می یابد به سیلندر بالایی (*Upper cylinder*) راه یافته و باعث رانش کوبه بالایی به سمت پایین گردد. در همان زمان پیستون های مرتبط با کوبه بالایی عملکرده و در این میان با ارتباط هیدرولیکی برقرار شده (توسط میله مفتول های پیستون های مذکور) نیرویی به کوبه پایینی (*Lower ram*) اعمال شده و باعث حرکت رو به بالای آن می شود. سرعت جمع شدن (*Retraction speed*) توسط اعمال فشار هوا یا بخار افزایش یافته و پیستون به سوی بالا حرکت می نماید.

به دلیل طراحی نسبتاً مناسب در وزن های بخش های مختلف پرس (شامل اجزاء و قطعات مختلف و سیستم هیدرولیک) بین انرژی ایجاد شده در بخش های بالایی و پایینی در ضرب اعمالی توازن برقرار است. کوبه های پتک های متقابل قابلیت تکرار متوالی ضربهای مشابه (یکسان) را دارند. سرعت های این کوبه ها ترکیبی از سرعت های بین $5\text{-}6\ ^{m}/_{s}$ $(6\text{-}20\ ^{ft}/_{sec})$ است.

در مقایسه با پتک های تک عمله (*single action*) میزان ارتعاش ناشی از ضربه کاهش یافته و تقریباً تمام انرژی که در هر ضرت ایجاد می شود به قطعه کار اعمال می گردد ، بدون آنکه در ناحیه سندان (بخشی از آن) تلف شود.

به عنوان نتیجه سایش قطعات متحرک پرس به حداقل خود رسیده و طول عمر آنها افزایش می یابد. در زمان اعمال ضربه ، اگر نیروهای (متقابل) کنسل شوند، هیچگونه انرژی به سیستم فونداسیون ها (*foundations*) اعمال نمی شود. در واقع در پتک های متقابل ، هیچگونه نیازی به بلوک های ساکن و فونداسیون های متداول در پتک های سقوطی قوی نمی باشد.

پتک های متقابل افقی (*Horizontal Counter blow*) دارای دو کوبه به همراه حمل کننده قالب در جهت متقابل یکدیگرند که توسط هوای فشرده بصورت گرمای ذخیره شده (*Heated stock*) بطور اتوماتیک در هر بار عملکرد قالب

توسط الگوهایی از قبل تنظیم شده است. همچنین دقت حرکت سیستم دقیق بوده و چرخش 90 درجه در ضرب ها برنامه ریزی شده است.

۲-۲-۸. پتک های فورج قالب باز (*Open die forging hammers*)

پتک های فورج قالب باز به صورت تک چهارچوبه (*single frame*) (غالباً به صورت پتک های C شکل یا تک قوسی) یا دو چهارچوبه (*double frame*) (غالباً پتک های دو قوسی نامیده می شوند) هستند.

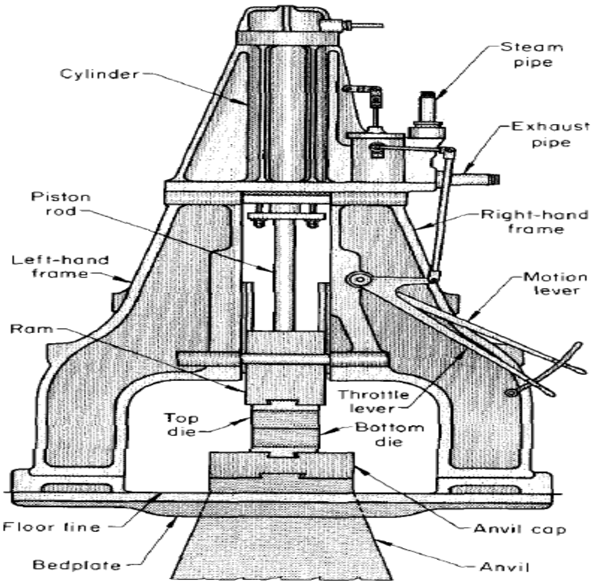


Fig. 4 Double-frame power hammer used for open-die forging

پتک های قالب های فورج باز درصد بسیار وسیعی جهت عملیات فورج توسط قالبهای فـورج بـاز، مـورد اسـتفاده قـرار مـی گیرند. (کاربرد عمده پتک های فورج باز ، در عملیات فورج باز قطعات است).

پتک های دو چهارچوبه جهت عملیات فورج باز از 2720 kg تا 10900 kg (6000-24000 lb) بوده. اگر چه ممکن است در مواردی پرس های تناژ بالاتری نیز ساخته شده باشد.

نوعی پتک فورج قالب باز نیز وجود دارد که به وسیله بخار آب (*steam*) یا هوای فشرده کار می کند. معمولاً در فشـار 690 kpa تا 825 kpa (100-120 psi) برای بخار آب و فشار 620 kpa تا 690 kpa (90-100 psi) برای هوا. این فشار مشابه فشاری است که در پتک های سقوطی قوی مورد استفاده قرار می گرفت.

دو اختلاف اساسی میان پتک های سقوطی قوی (*power-drop hammers*) که برای فورج قالب هـای بسـته (*closed-die forging*) استفاده می شوند و این پتک ها که برای فورج قالبهای باز مورد استفاده قرار می گیرند وجود دارد:

۱- اولین اختلاف این است که در پتک های سقوطی قوی مدرن و پیشرفته ، انرژی دمش (*blow-energy*) توسط اپراتـور کنترل می شود ، لذا شدت ضربه در هر ضربه اعمالی (دمش اعمالی) قابل کنترل است.

در پتک هایی که برای قالب فورج بسته مورد استفاده قرار می گیرد، کورس پتک ، بوسیله سطوح تماسی ناحیه بالایی قالـب و پایینی آن محدودمی شود.درفورج قالبهای باز نیمه بالایی وپایینی قالبها با یکدیگر درتماس نبوده وموقعیت کوبه، ضـربه و کورس (*stroke position*) بوسیله شیرهای بخار یا هوایی که روی پیستون های مرتبط با پتک عمل می نمایند ، کنتـرل می شود.

۲- دومین تفاوت میان پتک های قالب فورج بسته با باز در این است که ، سندان (*anvil*) یک پتک فورج باز جداگانه است و چهارچوب پتک تحت تأثیر ضربات کوبه و نیمه بالایی قالب قرار نمی گیرند (چهارچوب پتک مستقل از ضربات کوبه است).
جدا بودن سندان از چهارچوب پتک ، این امکان را به چهارچوب (*frame*) می دهد که :
تحت هر ضربات سنگین به صورت تکراری قرار گیرد، بدون اینکه تابیدگی در چهارچوب پرس رخ دهد. سندان ممکن است روی تیرهای بلوط (*oak timbers*) قرار گرفته باشد و شوک های اعمالی به پتک ها را جذب نماید.

۲-۳. ماشینهای فورج با نرخ انرژی بالا

(*High Energy Rate Forging (HERF) machines*)

ماشینهای فورج با نرخ انرژی بالا اساساً پتک های سرعت بالا هستند. آنها به سه گروه اساسی بر مبنای طراحی های انجام شده طبقه بندی می شوند.

I- کوبه و چهارچوب داخلی (*ram & inner frame*)

II- دو کوبه (*two-ram*)

III- دمش انرژی کنترل شده (*controlled energy flow*)

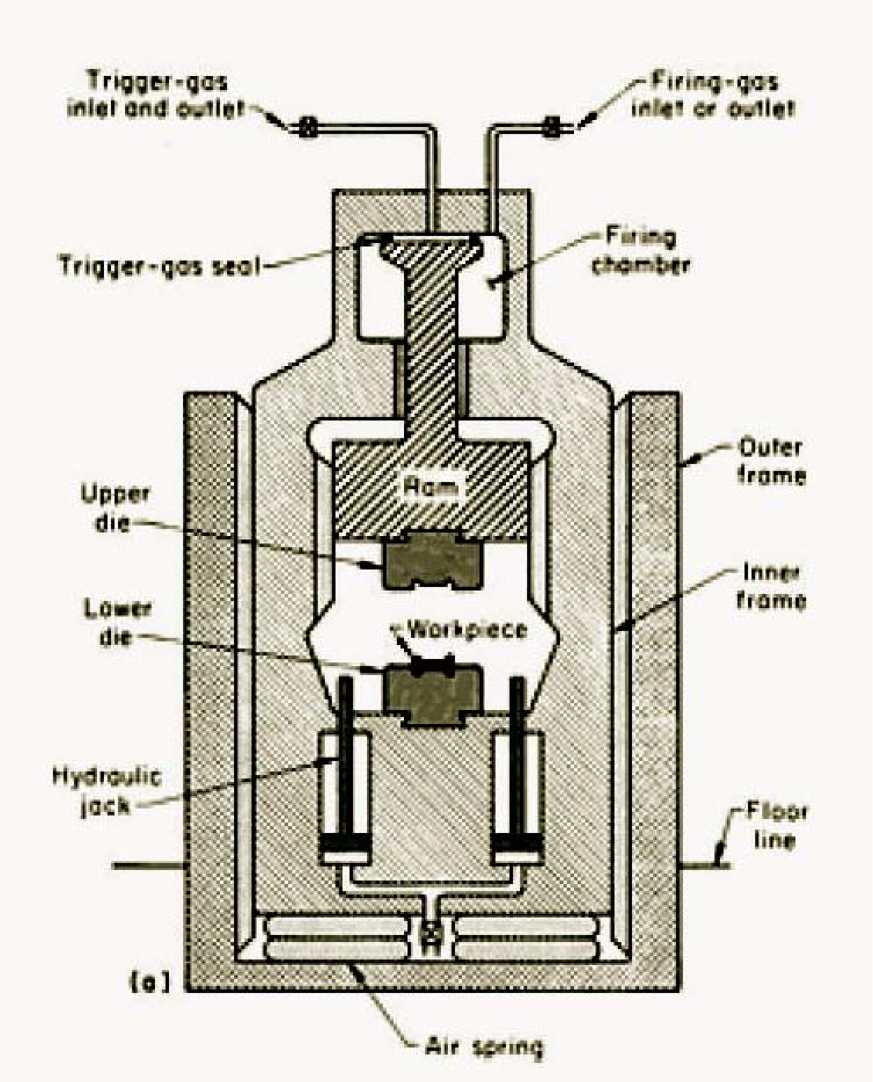
هر تفاوت دیگری در خصوصیات اپراتوری و مهندسی آنهاست. اما اساساً در اینجا سرعت بسیار بالا در یک ضرب پتک مطرح است و کمتر به حرکت ناشی از وزن پتک جهت دستیابی به انرژی ضربه ای مشابه با پتک های متداول در هر ضرب پرداخته می شود. [در اینجا پارامتر سرعت بسیار بالا در یک ضرب اهمیت بیشتری نسبت به وزن پتک پیدا می کند]. در کلیه طراحی های اعمال شده در این نوع ماشین ها ، اصل بر این بوده که ، نیاز به فنداسیون به حداقل برسد. یک گاز خنثی تحت شرایط کنترل شده ای ، توسط مکانیزم خاصی ، باعث شتاب دهی به کوبه ماشین گردد.

در هیچیک از طراحی های ماشینها ، چهارچوب مورد نیاز جهت مقاومت به نیروهای فورج در نظر گرفته نشده است.

In none of the designs is the machine frame required to resist the forging forces.

۲-۴. ماشینهایی با چهارچوب داخلی و کوبه (*Ram & inner frame machine*)

ماشینهایی با چهارچوب داخلی و کوبه در ابعاد متفاوتی هستند. محدوده ظرفیت انرژی ضربه ای از 17 تا 745 ^{kj} (12500- 550000 $^{ft.lb}$) است.



ماشین توضیح داده شده در شکل از دو چهارچوب تشکیل شده :

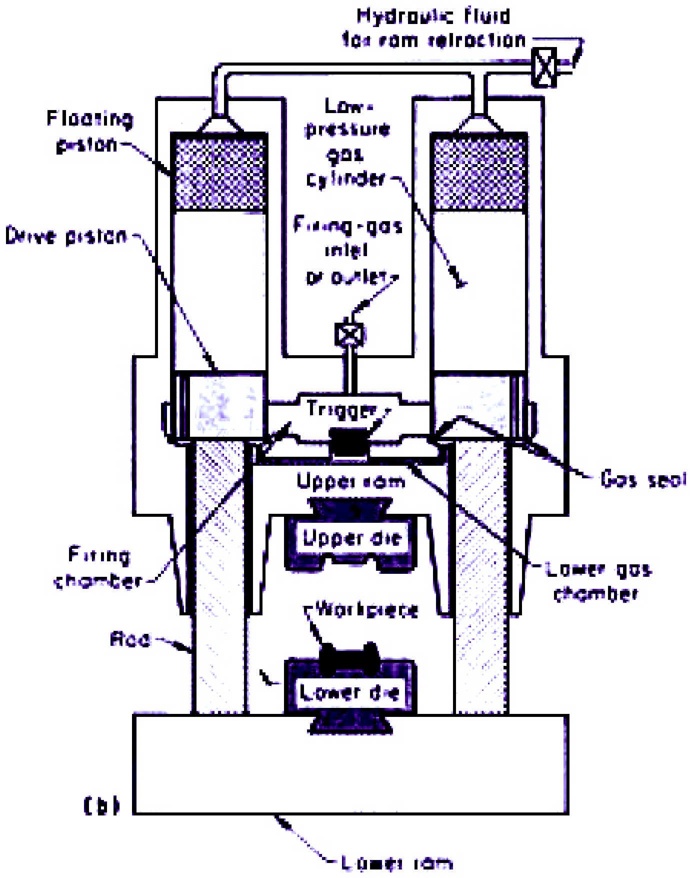
اولین چهارچوب ، چهارچوب داخلی یا چهارچوب کاری است. این چهارچوب با محفظه احتراق (*firing chamber*) در تماس است. چهارچوب دیگر به آن چهارچوب خارجی یا چهارچوب راهنما نیز گفته می شود. چهارچوب داخلی در چهارچوب مذکور به طور عمودی قرار گرفته و می تواند بطور آزادانه در آن حرکت نماید.

زمانی که گاز با فشار بالا وارد محفظه احتراق (*firing chamber*) شده ، تحریک می شود و احتراق صورت می گیرد بنابراین نیروی ایجاد شده به سطح بالایی پیستون اعمال شده و مجموعه کوبه و نیمه بالایی قالب به طرف پایین حرکت می نماید. عکس العمل (*Reaction*) (واکنش) حرکت رو به پایین کوبه و ایجاد شتاب کوبه باعث فعال کردن سیستم چهارچوب داخلی و نیمه پایینی قالب می شود. پس از عملکرد، به وسیله جک های هیدرولیکی کوبه تا سطح بالایی محفظه احتراق (*trigger-gas seal*) بالا می آید و پرس آماده اعمال ضرب بعدی می شود.

خروج گاز آبندی شده (*seal gas*) همانند فشار گازی عمل می نماید که به لبه پایینی پیستون اعمال شده و کوبه را در موقعیت بالایی نگاه می دارد.

۲-۵. ماشینهای دو کوبه ای (Tow – Ram machine)

این نوع ماشینها دارای ظرفیت های متفاوتی هستند، بالاترین نرخ انرژی ضربه ایی آنها 407^{kj} ($300000^{ft.lb}$) گزارش شده است. (مطابق شکل)



دو کوبه که نیمه بالایی قالب به یکی و نیمه پایینی قالب به دیگری متصـل شـده در مقابـل یکـدیگر قـرار گرفتـه انـد. یـک چهارچوب خارجی (که در شکل نشان داده نشده) تأمین کننده راهنمای حرکتی دو کوبه در حالت عمودی هستند.

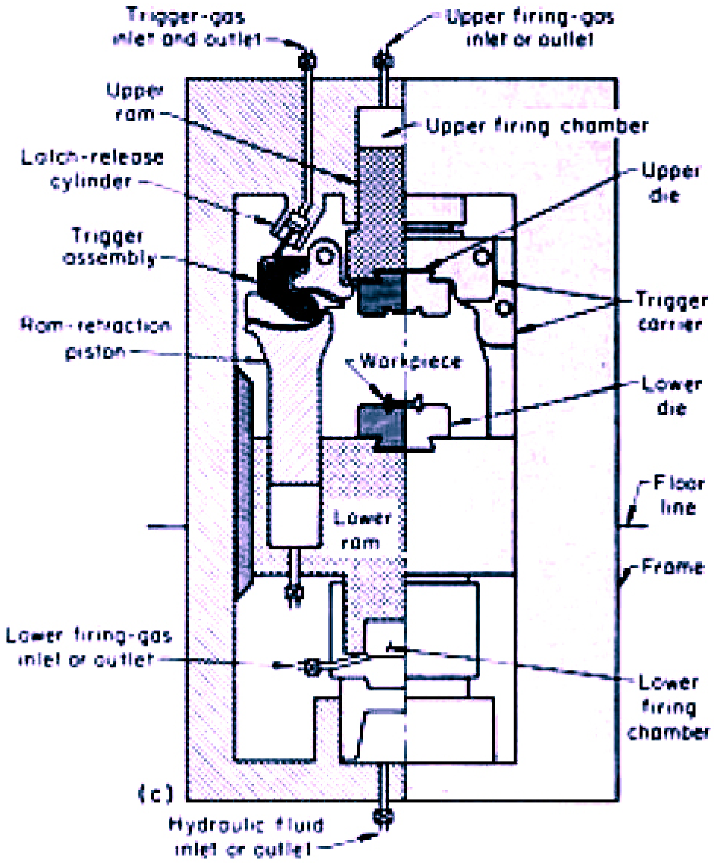
حرکت عمودی از تحریک (*trigger*) گاز تحت فشار بالا و ورود آن به محفظه پایینی و فضای پایین پیستون آغاز می شـود. این نیروها باعث حرکت پیستون متحرک (*drive piston*)، میله (*rod*) ، کوبه پایینی (*lower ram*) و نیمه پایینی قالب (*lower die*) به طرف بالا می شوند. (کوبه پایینی و نیمه پایینی قالب به سمت بالا حرکت می نمایند).

عکس العمل (*reaction*) این نیرو ، رانش پیستون شناور (*floating piston*) سـیلندر ، کوبـه بـالایی (*Upper ram*) و قالب بالایی (*Upper die*) به طرف پایین است. میله ها (*rods*) به طور نسبی راهنمای حرکت اجزاء مونتاژی بالا و پـایین هستند.بعد از دمش و عملکرد پرس، سیال هیدرولیکی وارد سیلندر شده و کوبه های بالایی و پایینی را به موقعیت اولیه آنها باز می گرداند. گاز بوسیله پیستونهای شناور مجدداً فشرده (*recompressed*) شده ، گاز آبندی شده (*gas seals*) در لبه های پایینی پیستون متحرک دوباره قرار می گیرد.

۲-۶. ماشینهای فورج با دمش کنترل شده

(Controlled Energy flow forging machine)

این نوع ماشین ها دارای دو ظرفیت مختلف هستند. یکی در ظرفیت ماکزیمم انرژی ضربه (*impact energy*) 99^{kj} ($73000^{ft.lb}$) و دیگر با ظرفیت ماکزیمم انرژی ضربه 542^{kj} ($400000^{ft.lb}$). این نوع ماشین ها در شکل نشان داده شده اند.



سیستم این نوع ماشین ها بر اساس جریان مخالفی از حرکت دو کوبه بالایی و پایینی که در یک نقطه به یکدیگر می رسند، پایه گذاری شده است. این سیستم دارای دو سیلندرگاز جداگانه بوده و قابل تنظیم است.کوبه پایینی به طورهیدرولیکی عمل کرده و حرکت عمودی آن قابل تنظیم است.بنابراین طول کورس این کوبه متفاوت است. لذا ازقبل می توان طول کورس را تنظیم نمود. زبانه (*trigger*) به طور پنوماتیکی عمل کرده و ضامن مکانیکی (*massive mechanical latch*) برگشته ، لذا بطور مکانیکی کوبه بالایی (*Upper ram*) را نگاه می دارد و با کوبه پایینی (*Lower ram*) ارتباط هیدرولیکی برقرار می شود. بنابراین به این ترتیب امکان برخورد همزمان با رهاسازی سیستم مذکور ایجاد می شود.

کاربرد

ماشینهایی با نرخ انرژی بالا، اساساً برای عملیات فورج متقارن (*symmetrical*) یا هم محور (*concentric*) جهت تولید قطعاتی همانند چرخ ها (*wheels*) ، چرخ دنده (*gears*) یا سکه زنی (*coining*) بکار برده می شود. این ماشین ها در جائیکه حرکت فلز در قالب بسیار کم صورت پذیرد و نیروهای بسیار بالا در قالب نیاز باشد، بکار برده می شود.

جهت اطلاعات بیشتر در مورد فرآیند (*HERF*) و مثالهایی از قطعات تولید توسط این روش می توان به فصل "*High-Energy-Rate Forging*" مراجعه نموده.

۲-۷.پرس های مکانیکی (*Mechanical press*)

در کلیه پرس های مکانیکی چرخ لنگر (*flywheel energy*) به وسیله شبکه ایی از چرخ دنده ها (*gears*) ، لنگ ها (*cranks*) خارج از مرکزها (*eccentrics*) یا اهرم ها (*levers*) به قطعه کار منتقل می شود.

نیرو (*driven*) توسط یک موتور الکتریکی ایجاد شده و کنترل آن توسط یک کلاچ هوا انجام می شود.

پرس های مکانیکی دارای یک سیستم خارج از مرکز کلی (*full eccentric*) با محور چرخنده (*drive shaft*) اند ، لذا در یک طول کورس ثابت نیرو را به طور عمودی به کوبه اعمال می نمایند.

مکانیزم های متفاوتی جهت انتقال حرکت چرخشی (*rotary motion*) محور خارج از مرکز به حرکت خطی کوبه مورد استفاده قرار می گیرد. (به مکانیزم رانش "*Drive Mechanisms*" در این فصل مراجعه شود).

مجموعه کوبه می تواند به سمت بالا یا پایین حرکت نماید و قالب را با خود به حرکت در آورد. طول کورس کوبه در این نوع ماشین ها در مقایسه با پتک هایی فورج یا پرس های هیدرولیکی کوتاه تر است. سرعت کوبه در مرکز کورس (*center of stroke*) بیشترین موارد خود را داراست، اما بیشترین مقدار نیرو در بخش پایین کورس (ضربه) است.

ظرفیت های این نوع پرس های فورج بسته به ماکزیمم نیروی اعمالی می تواند از محدوده 2.7 MN تا 142 MN (300- 16000 Ton f) باشد.

پرس های فورج مکانیکی اجزاء کلی مشابهی دارند ، این اجزاء عبارتند از:

- شافت خارج از مرکز (*eccentric-shaft*)
- اضلاع مستقیم (*straight-side*)

پرس های تک عمله (*single-action*) برای فرم دهی ورق فلزی مورد استفاده قرار می گیرند. (به بخش *Presses and Auxiliary Equipment for Forming of Sheet Metal*) در همین جلد مراجعه شود.

به هر حال پرس های مکانیکی فورج بطور قابل توجهی با پرس های مکانیکی که برای فرم دهی ورق ها (*forming sheet*) بکار برده می شوند ، متفاوت اند. اساس این اختلاف عبارتند از:

- چهارچوب اصلی (*side frame*) در پرس های فورج در مقایسه با پرس هایی که جهت شکل دهی ورق ها بکار برده می شوند مستحکم تر و قوی تر است.
- پرس های فورج ، حداکثر نیرو را در محدوده 3.2 mm (118 in) انتهای کورس (*stroke*) ، اعمال می نماید زیرا در این محدوده حداکثر فشار مورد نیاز جهت تشکیل *flash* ایجاد می شود.

- سرعت لغزش (*slide velocity*) در پرس فورج سریعتر از پرس در فرآیند کشش عمیق ورق فلزی است، زیرا شرایط مطلوب در فورج ، عبارت است از اعمال ضربه (*strike*) به فلز و همچنین بازگشت سریع کوبه در حداقل زمان ممکن در تماس با قالب و فلزگرم .

بر خلاف ضربه (دمش) اعمال شده در یک پتک فورج ، در اینجا فشردگی بیشتر (*squeeze*) توسط یک طول کورس یکنواخت ، مدنظر قرار می گیرد.

مشخصه ضربه (دمش) (*flow*) در یک پرس فورج ، مشابه یک ماشین سرکوبی (*Upsetting machine*) است ، بنابراین در اینجا ترکیبی از برخی خصوصیات (*features*) پتک ها و *up setter* ها مورد استفاده قرار می گیرد.

مکانیزم نیرو در پرس های فورج مکانیکی (*drive mechanisms*) همانند ماشین های *up setter* هاست. اگر چه عمدتاً *up setter* ها ماشینهای افقی هستند.

مزایا و محدودیت ها (*Advantages & Limitations*)

مزایا :

۱- قطعاتی که توسط پرس های مکانیکی فورج می شوند، در مقایسه با قطعات مشابه ای که با استفاده از پتک ها فورج می شوند، از دقت ابعادی بالاتر و تلرانس های بسته تری برخوردارند.

۲- پرس های مکانیکی این امکان را دارند که به طور اتوماتیک تغذیه شوند. می توان با استفاده از مکانیزمی قطعات را برداشت یا از قالبی به قالب بعدی حرکت داد. لذا نرخ تولید در این نوع پرس ها بالاتر از پتک های فورج بوده و به طور متغیر از 30 تا 100 ضربه در هر دقیقه است.

۳- قالبهایی که در پرس های مکانیکی مورد استفاده قرار می گیرند بجای نیروهای ضربه ای در معرض نیروهای فشاری (*squeezing*) قرار می گیرند ، لذا از جنس سخت تر ساخته می شوند ، بنابراین طول عمر آنها بیشتر است.

۴- قالبهایی که در این نوع پرس ها مورد استفاده قرار می گیرد از جرم (وزن) کمتری برخوردارند. (در مقایسه با پتک ها)

محدودیت ها :

۱- یکی از محدودیت های پرس مکانیکی هزینه بالای ، اولیه آن است. بطور تقریبی هزینه اولیه برای انجام کاری که می توان آنرا با پتک های فورج نیز انجام داد ، سه برابر بیشتر است.

۲- از آنجایی که در پرس های مکانیکی فورج ، نیروی اعمالی را در کورس های متفاوت نمی توان ایجاد نمود، لذا امکان انجام عملیات اولیه پریفرم سازی همانند پتک ها وجود ندارد.

۳- عموماً در پرس های مکانیکی فورج ، شکل پریفرم و شکل نهایی قطعه در یک ، دو یا سه مرحله ایجاد می شود. اما پتک ها این قابلیت را دارند که تا حدود 10 بار ضربه یا حتی بیشتر با شدت های متفاوت نیرو را اعمال نمایند.

نکته!

۱- کورس کوبه در این نوع پرس ها در مقایسه با پتک های فورج یا پرس های هیدرولیکی کمتر است.
۲- سرعت کوبه در وسط کورس و نیروی آن در انتهای کورس به بیشترین مقدار خود می رسد.
۳- به خاطر کوتاه بوده کورس کوبه ، ارتفاع این نوع پرس ها کوتاه است و به دلیل محدودیت در فضای کارگاه به مقدار زیاد از این پرس ها استفاده می شود.

ظرفیت (*Capacity*)

پرس های مکانیکی به عنوان ماشین های بار محدود (*stroke restricted machines*) معروف اند. زیرا قابلیت فورج آنها بوسیله طول کورس و نیروی موجود در موقعیت های مختلف کورس ، قابل تعیین است. از آنجا که حداکثر نیرو در ناحیه کف (انتهایی) کورس کاری (*work stroke*) اعمال می شود، این نیرو را در فاصله mm 6.4 یا 3.2 و قبل از نقطه مرگ (ضربه) اندازه گیری می نمایند.

Table 2 Capacities of forging presses

Type of press	Force MN	Force tonf	Pressing speed m/s	Pressing speed ft/s
Mechanical	2.2-142.3	250-16 000	0.06-1.5	0.2-5
Hydraulic......	2.2-623	250-70 000	0.03-0.8	0.1-2.5
Screw.........	1.3-280	150-31 500	0.5-1.2	1.5-4

این جدول ظرفیتهای پرس های مکانیکی ، هیدرولیکی و پیچ را نشان می دهد.

جهت اطلاعات بیشتر به منظور تعیین ظرفیت های پرس های مکانیکی و دیگر انواع تجهیزات فورج به بخش " *Selection of Forging Equipment*" در این جلد مراجعه نمایید.

۲-۸.پرس های هیدرولیکی (*Hydraulic Presses*)

پرس های هیدرولیکی هم برای قالب های فورج باز هم برای قالبهای فورج بسته (*closed-die forging*) استفاده می شود.

کوبه پرس هیدرولیکی ، توسط سیلندر هیدرولیک و پیستونها به حرکت در می آید. بنابراین حرکت پیستون نیز با سیستم فشار هیدرولیکی بسیار بالا یا هیدروپنوماتیکی انجام می شود. لذا بعد از به حرکت در آوردن سیستم ، کوبه (به همراه نیمه بالایی قالب که به آن متصل است) با سرعت پایینی به حرکت در آمده و نیروی فشاری (*squeezing force*) به قطعه کار اعمال می شود. سرعت های پرس می تواند به دقت کنترل شود، بنابراین می توان سرعت سیلان ماده را کنترل نمود. لذا این موضوع، به عنوان یک مزیت برای قطعات فورج با تلرانس های بسته ، بسیار با اهمیت است.

کلیات و اجزاء اساسی، پرش هیدرولیکی در شکل نشان داده شده است.

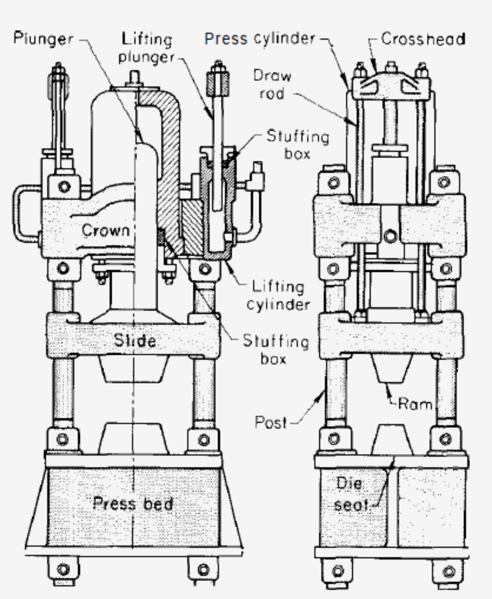


Fig. 10 Principal components of a four-post hydraulic press for closed-die forging

برخی از پرس های هیدرولیکی ، جهت عملیات فورج دقیق (*precision forging*) به مدارهای هیدرولیکی کنترل شده ای ، تجهیز شده اند (به بخش فورج دقیق "*precision forging*" مراجعه شود).

با وجود این نوع مدارها، این امکان ایجاد می شود که بتوان سرعت کورس را به طور پیشرفته ای کنترل نمود و سرعت های اولیه و ثانویه را از قبل انتخاب نموده و برنامه ریزی کرد. چنانچه به حداکثر نیروی پرس نیاز باشد، می توان در انتهای کورس پرس، بدون محدودینی، زمان را ثابت نمود یا به تدریج کاهش داد.

چنین مدار مشابهی را نیز می توان برای خارج شدن از برنامه سرعت مذکور و همچنین جک های پایین (بیرون اندازه) و جدا کننده نیز با دقت اجرا نمود.

مزایا و محدودیتها (*Advantages & Limitations*)

مزایا:

بطور کلی مزایای پرس های هیدرولیکی به شرح ذیل است:

۱- با تنظیم شیر کنترل فشار، می توان فشار پرس را در هر نقطه از کورس به طور مطلوب کنترل نمود.

۲- چنانچه نیاز باشد می توان نرخ تغییر شکل (*Deformation Rate*) را در طول کورس ، کنترل نمود.

۳- در این نوع پرس ها می توان از قالبهای چند تکه (که در آنها برآمدگی (*projection*) ، شیب معکوس (*back draft*) ، لبه های *offset* شده نیز وجود دارد) استفاده نمود. چنین قالبهایی را نمی توان زیر پتک های فورج قرار داد و فورج قطعات با استفاده از قالبهای چند تکه با مشخصات یاد شده توسط پتک های فورج تقریباً غیر ممکن است.

۴- زمانی که گرمای اضافی (*excessive heat*) از قطعه کارگرم شده به قالبها منتقل می شود. مسئله ایی برای قالب ایجاد ننماید، یا می توان حذف شود (یا از آن بیرون رود) عملیات فشردن توسط پرس هیدرولیکی به آهستگی

انجام می گردد. بنابراین این موضوع باعث کاهش هزینه های تعمیر و نگاهداری قالبها شده و طول عمر آنها نیز افزایش می یابد، زیرا در مقایسه با دیگر تجهیزات فورج شوک کمتری به قالب اعمال می شود.

۵- حداکثر نیروی پرس می تواند به منطقه حفاظت از ابزار، محدود گردد.

برخی محدودیت ها (معایب) پرس های هیدرولیکی عبارتند از:

۱- هزینه اولیه پرس هیدرولیکی بیش از پرس مکانیکی معادل آن است.

۲- عملکرد پرس هیدرولیکی آهسته تر از پرس مکانیکی است.

۳- عملکرد آهسته تر پرس هیدرولیکی زمان تماس قالب ها با قطعه کار را افزایش می دهد.

زمانیکه دمای فورج فلز بالا باشد (همانند فورج آلیاژهای پایه نیکل و آلیاژهای تیتانیوم) این موضوع باعث می شود که طول عمر قالبها کاهش یابد زیرا دمای فلزگرم به قالب ها انتقال می یابد.

بخش "*Accumulator-drive presses*" ترم بعد ارائه شود.

ظرفیت و سرعت (*Capacity & Speed*)

پرس های هیدرولیکی ماکزیمم میزان نیروی فورج موجود را اعمال می نمایند.

پرس های فورج قالب باز (*open-die*) بر اساس ظرفیت هایی از محدوده $1.8\text{-}125\ ^{MN}$ ($200\text{-}14000\ ^{Ton\ f}$) و پرس های قالب بسته (*closed-die*) از محدوده $4.5\text{-}640\ ^{MN}$ ($500\text{-}72000\ ^{Ton\ f}$) ساخته شده است.

سرعت های کوبه (*Ram*) در شرایط فورج نرمال از $635\text{-}7620\ ^{mm}/_{min}$ ($25\text{-}300\ ^{in}/_{mm}$) متغییر است.

برای موادی که به شدت به نرخ تغییر شکل حساس اند، سرعت های پرس برحسب $^{in}/_{min}$ طراحی و ساخته شده است.

۲-۹. پرس های پیچ (*Screw Press*)

پرس های پیچ ، ماشین های با انرژی محدود هستند (*energy restricted*). در این نوع پرس ها انرژی ذخیره شده در یک چرخ لنگر (*flywheel*) جهت تأمین نیروی فورج بکار برده می شود.

انرژی چرخشی (*rotating energy*) یا اینرسی (*inertia*) چرخ لنگر توسط دنده پیچ (*threaded*) به حرکت (*linear motion*) تبدیل شده و با چرخش یک دور چرخ لنگر کوبه یک پله حرکت می نماید.

By a threaded screw attached to the flywheel on one end and to the ram on the other end.

پرس های پیچی بطور گسترده ایی در اروپا در کارگاه های فورج جهت عملیات فورج قطعات برنجی ، آلومینیومی ، فورج دقیق بلیدها (پره های) توربین ها و کمپرسورها (*precision forging of turbine and compressor blades*) قطعات چرخنده (*gear like parts*) و ابزار دستی (*hand tools*) بکار برده می شود. اخیراً پرس های پیچی در آمریکای شمالی به طور گسترده ای بکار برده می شوند و بطور قابل توجهی برای فورج پره های موتور جت ، توربین های بخار و میل لنگ های موتور دیزل (*diesel engine crankshafts*) مورد استفاده قرار می گیرد.

در پرس های پیچی ، نیروی هیدرولیکی یا الکتریکی ، چرخنده و اصطکاک ، باعث شتاب دهی چرخ لنگر شده و باعث می شوند پیچ در حالت مونتاژی (بسته شده) [باز شده] و انرژی جنبشی زاویه ای (*angular kinetic energy*) به انرژی خطی تبدیل گردد و لذا باعث حرکت کوبه یا کشویی (*slide*) شود.

شکل ذیل دو نوع طراحی پرس های پیچ را نشان می دهد.

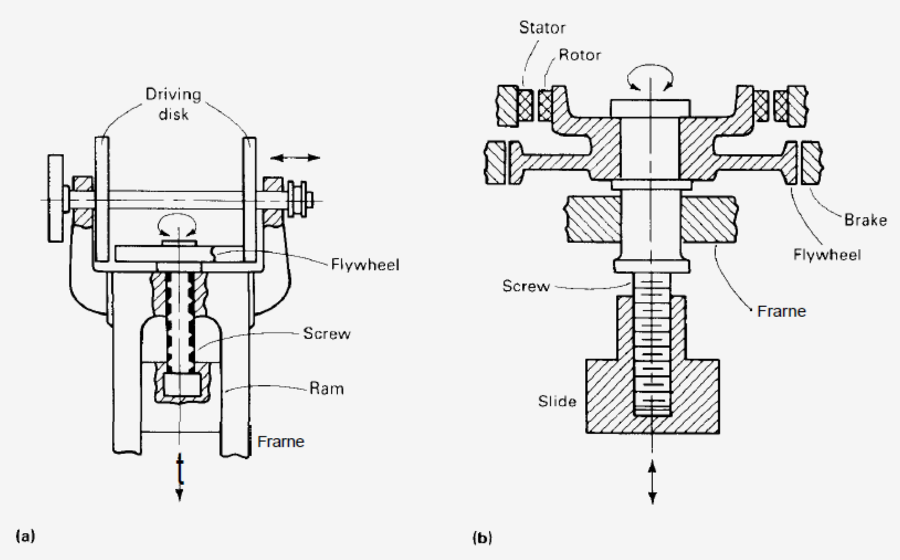


Fig. 12 Two common types of screw press drives. (a) Friction drive. (b) Direct electric drive

مزایا و محدودیتها (*Advantages & Limitations*):

پرس های پیچی هم برای فورج قالب های باز و هم فورج قالب بسته مورد استفاده قرار می گیرند. آنها معمولاً (پرس های پیچ) نسبت به پرس های مکانیکی در یک تناژ مشابه انرژی بیشتری را در یک کورس اعمال می نمایند. بنابراین این اجازه را می یابند در طی یک کورس ، کار (انرژی) بیشتری را انجام دهند. هنگامی انرژی تلف می شود که کوبه نیمی از مسیر را آمده باشد ، حتی اگر قالبها کاملاً بسته نشوند. با توقف *Ram* (تماس دو نیمه قالب) ماده درون محفظه قالب سیلان می نماید. در پرس های پیچ تنظیمات ارتفاع قالب ، خیلی مسئله بحرانی نیست و از این جهت کار با پرس آسان است. در این پرس ها، تنش های اعمالی به قالب به حداقل مقدار خود رسیده و اثرات منفی دما و ارتفاع قطعه کار نیز به کمترین مقدار خود می رسد. لذا نتیجه این پیامد طول عمر مناسب قالب ها است. سرعت ضربه در این نوع پرس ها بیش از پرس های مکانیکی است. در اغلب پرس های پیچی ، بیشترین عملکرد نیرو تنها در نزدیکی مرکز بستر (*bed*) و تکیه گاههای کوبه (*Ram bolsters*) است.

سیستم محرکه پرس پیچ (*Drive Systems*):

شکل (12) دو سیستم محرکه متداول پرس پیچ را نشان می دهد. در یک پرس پیچ با محرکه اصطکاکی (*friction drive*). شکل (12a) دو دیسک چرخنده (محرک) قوی که به یک شافت افقی متصل شده اند را نشان می دهند. چرخش دیسکها بوسیله یک موتور الکتریکی ، به طور مداوم است. جهت اعمال ضربه ی رو به پایین (*Down stroke*) یکی از دیسک های چرخنده نیرویی را به *flywheel* به وسیله یک *servomotor* اعمال می نماید. *flywheel* نیز به پیچ (پرس) متصل است. بنابراین بوسیله یک کلاچ لغزشی اصطکاکی (*friction-slip clutch*) شتاب می گیرد. و این شتاب توسط اصطکاک به دیسک چرخنده منتقل می شود. انرژی چرخ لنگر (*flywheel*) و سرعت کوبه بطور پیوسته تا اعمال ضربه به قطعه کار افزایش می یابد. بنابراین بار (*load*) مورد نیاز جهت عملیات فرم دهی تأمین شده و نیرو به بستر چهارچوب پرس و پیچ نیز منتقل می شود. چرخ لنگر (*flywheel*) ، پیچ (*screw*) و کشویی ثابت (*slid stop*) در هنگامی که تمامی انرژی در چرخ لنگر جهت عملیات تغییر شکل مورد استفاده قرار می گیرد، نیز تحت تابیدگی الاستیکی (*Elastic*

(*Deflecting* قرار می گیرند. در این لحظه *servo motor* فعال شده و شافت افقی و دیسک چرخنده روی *flywheel* عمل نموده ، لذا چرخ لنگر و در نتیجه پیچ در جهت معکوس چرخیده و مجموعه کوبه (*Ram*) به جایگاه اولیه خود باز می گردد. در یک سیستم محرکه الکتریکی مستقیم (*Direct Electric drive*) شکل (12b) ، یک موتور الکتریکی برگشت پذیر (*reversible*) بطور مستقیم روی چهارچوب پرس و پیچ و همچنین چرخ لنگر قرار گرفته است. پیچ در داخل کوبه یا کشوی (*slide*) متصل شده و به طور عمودی حرکت نمی نماید. لذا با تغییر جهت چرخ لنگر توسط موتور الکتریکی مجموعه کوبه می تواند به پایین حرکت نموده و یا به سمت بالا برگردانده شود [در واقع پیچ ثابت است و کشویی یا کوبه به سمت بالا یا پایین حرکت می نماید].

سیستم های دیگر نیروی محرکه پرس پیچ (*Other Drive Systems*)

علاوه بر دو سیستم محرکه اصطکاکی مستقیم و الکتریکی (*Direct friction & electric drives*) سیستم محرکه هیدرولیکی (*hydraulic drives*) نیز به طور متداول در پرس های پیچ مورد استفاده قرار می گیرد.

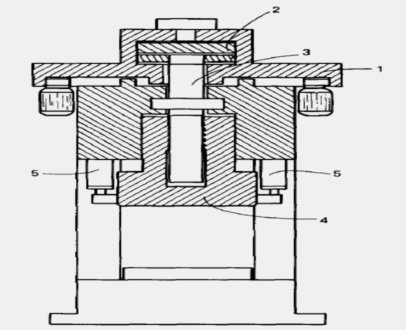


Fig. 13 Screw press drive combining the characteristics of mechanical and screw presses. 1, flywheel; 2, air-operated clutch; 3, screw; 4, ram; 5, lift-up cylinders

شکل فوق یک سیستم پرس پیچ جدید را نشان می دهد. یک چرخ لنگر (*flywheel*) (1) روی چهارچوب پرس قرار گرفته که به وسیله یک یا چند موتور الکتریکی با سرعت ثابت می چرخد. هنگامی که ضربه اولیه توسط یک کلاچ هیدرولیکی به *flywheel* در حال چرخش اعمال می شود (2) *flywheel* به جایگاه پیچ (*stationary screw*) (3) نیرو اعمال می نماید. این مشخصه همانند مکانیزم عملکرد یک پرس فورج مکانیکی خارج ازمرکز (*Eccentric mechanical forging press*) است. بسته به عملکرد کلاچ ، پیچ به سرعت شتاب گرفته و به سرعت چرخ لنگر(*flywheel*) می رسد. در نتیجه، کوبه (4) به شکل یک مهره بزرگ (*large nut*) عمل نموده و به طرف پایین حرکت می نماید. به وسیله یک سیستم هیدروپنوماتیکی (*hydro pneumatic*) حرکت رو به پایین (*down stroke*) کوبه تسریع می یابد [شتاب می گیرد] پس از اعمال ضربه (حرکت رو به پایین کوبه) وایجاد حداکثر باز اعمالی قطعه کار توسط یک سیستم کنترلی، حرکت کوبه متوقف شده و کوبه مزبور با استفاده از سیلندرهای مجهز به بالابرهای خاص (5) به حالت اولیه خود باز می گردد. انرژی الاستیکی ذخیره شده در چهارچوب پرس پیچ و سیلندرهای بالابر آزاد می شود و در انتهای عمل کوبه توسط ؟؟؟ هیدرولیکی (*hydraulic brake*) در موقعیت اولیه خود نگاه داشته می شود.

چند ویژگی حائز اهمیت این پرس ها عبارتند از:

۱- سرعت کوبه در سراسر ضربه اعمالی به قطعه کار تقریباً بالا و ثابت است.

۲- می توان بار اعمال شده توسط پرس را در هر موقعیتی اعمال نمود.

۳- انرژی تغییر شکل بالاست.

۴- در مقابل بار اضافی (*over load*) پرس مقاوم است.

۵- زمان تماس بین ابزار و قطعه کار کوتاه است.

محدودیتهای این نوع پرس پیچ عبارتند از:

۱- تنها دو سطح انرژی قابل دسترس است، سطح بالا و پایین

۲- تعداد تعمیر و هزینه نگهداری سیلندرهای هیدرولیکی و کلاچ معمولاً زیاد است.

۳- نیرو در سراسر لغزش کلاچ کنترل می شود ، لذا این موضوع می تواند منجر به بارهای اعمالی غیر قابل پیش بینی گردد.

۴- مقدار زیادی انرژی موجود می تواند مشکلاتی را در هنگام سیلان ماده ایجاد نماید.

۲-۱۰. پرس های چند کوبه ای (Multiple-Ram Press)

قطعات تو خالی ، قطعات فورج بدون *flash* مورد استفاده در سوخت بدنه شیرها، سیلندرهای هیدرولیکی، لوله های بدون درز (*seam less tubes*) و انواع مجراهای تحت فشار (*pressure vessels*) را با استفاده از پرس هیدرولیک چند کوبه ای می توان تولید نمود.

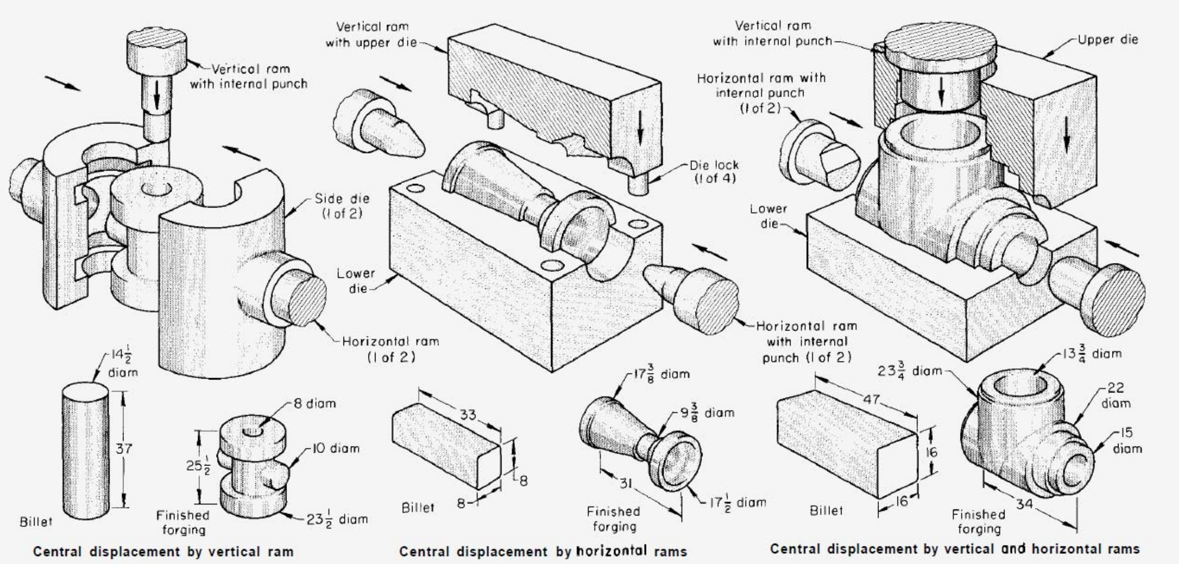


Fig. 14 Examples of multiple-ram forgings. Displacement of metal can take place from vertical, horizontal, and combined vertical and horizontal planes. Dimensions given in inches

شکل فوق اصول کلی پرس های چند کوبه ایی را نشان می دهد. حرکت مرکزی فلز حاصل از حرکت افقی و عمودی صفحات پرس است. ایجاد سوراخ در فرآیند فورج در زاویه ایی عمود نسبت به جهت اعمال نیرو ، از دیگر مشخصه های موجود توسط پرس های چند کوبه ای مزبور است. کیفیت سوراخ های ایجاد شده در قطعات توسط این پرس ها با سوراخ های ایجاد شده در روشهای ماشینکاری قابل مقایسه است. علاوه بر این به دلیل تطبیق پذیری مناسب این نوع پرس ها در فرآیند فورج می توان از آنها درفرآیند اکستروژن مستقیم و معکوس نیز استفاده نمود.

فصل سوم

فرایندفورج

(Forging Process)

فورج (Forging)

فرآیند تغییر شکلی را که طی آن شمش یا لقمه ی فلزی اولیه ، تحت تأثیر فشار وارد بر آن به شکل مطلوب در می آید ، فرایند آهنگری یا فورجنیگ نامیده می شود . در عملیات فورج ، نیروی فشار با سرعت های کم و متوسط با استفاده از دستگاههای اعمال فشار (پرس ها) و یا با سرعت های بالا با استفاده از پتک ها (چکش ها) با ضربه های سریع و متوالی به شمش یا لقمه اولیه تا دستیابی به شکل اولیه اعمال می شود .

قطعاتی که از این روش تولید می شوند دارای استحکام چقرمگی، مقاومت بر ضربه و مقاومت به خستگی بالایی هستند .

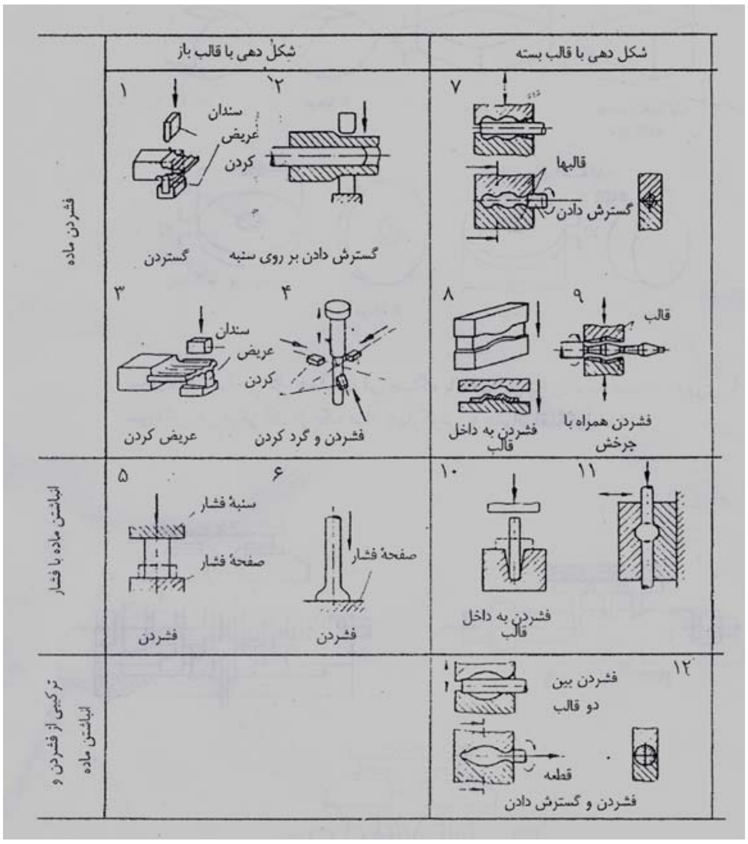
عملیات فورج از لحاظ ابزار مورد استفاده عمدتاً به دو روش اصلی تقسیم بندی می شوند .

۱- آهنگری (فورج) با قالب باز

۲- آهنگری(فورج) با قالب بسته

۳-۱. فرآیند فورج با قالب باز (Open Die Forging)

در آهنگری (فورج) با قالب باز معمولاً شکل ابزار وابسته به شکل قطعه ی نهایی نیست و با دادن حرکات معین و هدف داری به قطعه ، شکل مطلوب حاصل می شود، شکل(۹-۱) چند نوع از آهنگری (فورج) با قالب باز را نشان می دهد .



در این روش تغییر شکل می تواند بر روی قسمت به قسمت قطعه در چند مرحله و یا بطور کامل بر روی تمامی آن در یک مرحله انجام گیرد.کاربرد آهنگری با قالب باز ، عمدتاً برای تولید قطعات بزرگ به صورت تکی و یا سری به تعداد کم است . وزن قطعاتی که از این طریق تولید می شوند می تواند بین حدود ۰/۵ kg تا ۵۰۰ton باشد . از این روش همچنین بر ای انجا م مراحل مقدما تی تغییر شکل به منظور آماده سا زی مواد اولیه (لقمه یا شمش) برای عملیات تغییر شکل بعدی در آهنگری قالب بسته نیز استفاده می شود .

- چرخ‌دنده ها، چرخ قطارها ، تیغه فرزها و بلانک های ورقه ای توپی استفاده می گردد.
- بلانک‌های فورج و سوراخ شده به منظور تغییرات بعدی با فرآیندهایی همچون نوردکاری و یا saddle-forged برای ساخت حلقه‌ها مورد استفاده قرار می‌گیرند. هنگامی که saddle-forging جهت تولید قطعات فورج متقارن به کار می رود، فرایند فورج، شامل گسترش در جهت مماسی از طریق کار کردن بر روی قسمت شل سنبه[1] خواهد شد.
- فورج محوری که جهت تولید قطعات متقارن، بلند و همچنین قطعات تو خالی مورد استفاده قرار می گیرد، سبب افزایش طولی (در امتداد محور) می‌گردد.
- انواع اشکال اولیه که بین قالب‌های باز به کمک ابزارهای شل بهبود می یابند. شکل قالب های فورج باز وابسته به طرح ابزار بوده که معادل شکل قالب در فورج بسته می باشد.
- قطعات فورج کانتور از قبیل چرخ توربین، برخی از اجزا تحت فشار کششی و نازل دستگاه اکستروژن.
- **از دیگر** نام‌های فرآیند فورج قالب باز فورج دستی، چکشی و قالب تخت بوده و می توان آنرا از فرایند های دیگر تغییر شکل که جریان مواد به طور ناپیوسته باشد، تشخیص داد.

از جمله کاربردهای این فرایند شامل:

- قطعه مورد نظر بیش از حد بزرگ باشد و نتوان ان را با فرایند فورج در قالب بسته تولید نمود.
- در جایی که نیاز باشد خواص مکانیکی قطعه افزایش یابد، در حالی که نتوان با دیگر فرآیندها به ان دست یافت. چنانچه ساخت قالب فورج بسته به علت تولید پایین مقرون به صرفه نباشد از قالب های باز استفاده می شود

- چنانچه به دلیل محدودیت زمانی امکان ساخت قالب فورج بسته نباشد، از این نوع قالب ها استفاده می شود.

۱-۳-۱. اندازه و وزن قطعات فورج

اندازه قطعه فورج قالب باز تنها به نوع تجهیزات گرم کننده، انبرهای انتقال دهنده و تجهیزات فورج محدود است. قطعاتی از قبیل شفت پره های زیردریایی یا کشتی که دارای طول23m و قطر چندین متری می باشد با فرایند فورج قالب باز ساخته می شوند. به طور مشابه می توان قطعات تا حدود چند اینچ را با این فرایند تولید نمود. وزن قطعات حاصل از این نوع فرایند، کوچکتر از یک کیلوگرم تا بزرگی ۶۰۰ تن می باشد.

۲-۳-۱. شکل قطعات

به کمک ابزارهای گوناگون، چکش های دارای ویژگی خاص و عملگرهای پرس می‌توان اشکال نسبتا پیچیده‌ای را تولید نمود. به طور کلی فورج کاری اشکال پیچیده، زمان بر بوده و نیاز به هزینه بالایی دارد.

به طور کلی فرایند فورج در قالب های باز به ۴ گروه تقسیم می شود:

- اشکال مدور استوانه ای مثل انواع محورها
- قطعات فورج باریک یا upset
- فورج قطعات تو خالی ونوع پوسته ای
- انواع قطعات از نوع کانتور (contour)

۱-۲-۳-۱. نمونه هایی از اشکال تولید شده

- اشکال مدور، مربعی، مستطیلی، شش ضلعی و هشت ضلعی از شمش[2] که خواص مکانیکی آن‌ها بیشتر از میله‌های نورد شده می‌باشد. در مواردی که ترکیبات قطعه به گونه‌ای باشد که شکل‌دهی آن به کمک نورد به سادگی امکان‌پذیر نباشد از این نوع فرایند فورج استفاده می‌گردد،

معمولا اشکال ذکر شده در طول‌های ۳ تا ۵ متر فورج می‌شوند و سپس به طول‌های مورد نظر بریده می‌شوند.

[2] ingot

- قطعات فورج توپی شکل[۳] که دارای قطر بزرگ متصل به قطر کوچک می باشند. این توپی‌ها از طریق ماشین کاری به چرخ دنده، چرخ تسمه و قطعات مشابه مورد نیاز در ماشین‌آلات تبدیل می‌گردند.
- تولید محور چرخ‌دنده‌ها و پنیون با فرآیند فورج. جهت فورج شفت ها که در قسمت‌های مختلف محور چه در مرکز و چه در انتها دارای قطر اصلی یا وابسته هستند، استفاده می‌شود.

قطعات صفحه‌ای شکل ساده که از طریق upsetting شمش اولیه تولید می شوند .

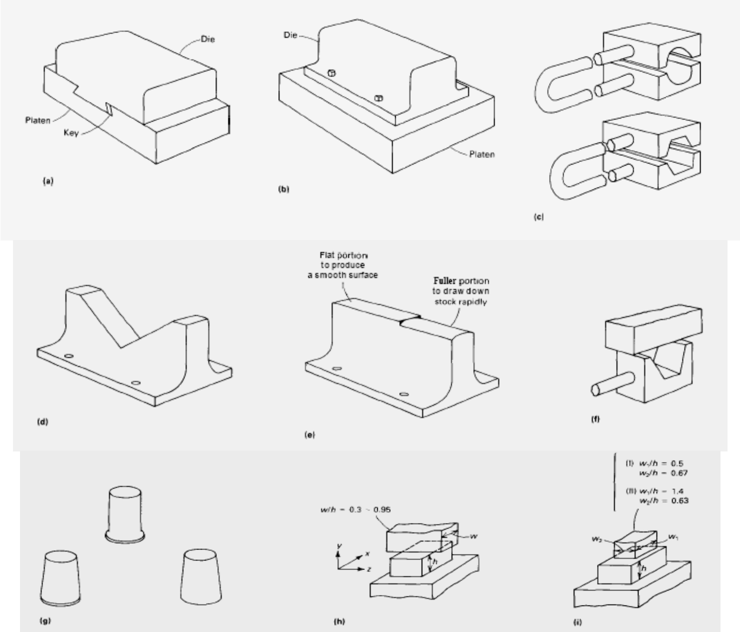
۳-۳-۱. چکش‌ها و پرس‌ها در قالب فورج باز

- از آنجایی که مقدار کورس رم و میزان نیروی وارد شده در هر مرحله از فورج بایستی قابل کنترل باشد، لذا چکش‌های ثقلی و پرس‌های مکانیکی برای فورج قالب باز مناسب نیستند.
- معمولا برای قطعات فورج قالب باز تا وزن ۵ تن از چکش‌های فورج رانشی با فشار هوا یا بخار استفاده می‌گردد.
- معمولا فورج قطعات سنگین‌تر توسط پرس‌های هیدورولیکی انجام می‌شود.

۴-۳-۱. قالب ها

- بیشتر قطعات فورج قالب باز دریک جفت قالب تخت تولید می‌شوند، که یکی از ان ها به چکش یا رم پرس و دیگری به سندان[۴] بسته می‌شود. همچنین از قالب‌های Swage، v شکل، ترکیب قالب v شکل و قالب تخت، قالب‌های FM (اثر مانسمان آزاد) و قالب‌های FML (اثر مانسمان آزاد با فشار کم) استفاده می‌گردد. اثر مانسمان به حالتی از تنش کششی اشاره دارد که از تنش‌های فشاری اعمال شده در جهت عمودی ایجاد می شود. این قالب ها در شکل ۱ نشان داده شده است. در برخی موارد از ترکیب قالب swage و تخت استفاده می شود . قالب ها به رم و صفحات، همانند روش های نشان داده شده در شکل 1-a ,1-b متصل می شوند.

[3] hub
[4] anvil



شکل ۱ انواع قالب‌ها و سنبه های مورد استفاده در قالب‌های فورج باز

a. نصب قالب بوسیله دم چلچله   b. نصب قالب با لبه‌دار کردن

c. برای قطعه مدور و شش‌گوش   d. قالب v شکل

e. قالب ترکیبی (تخت و منحنی) f. قالب یک طرفه با قطعه تخت

g. سنبه‌های سوراخ کن h. فرآیندFM i. فرآیندFML

۵-۳- ۱.ابزارهای کمکی

- سنبه ها (Mandrels)
- تکیه‌گاه زینی (Saddle support)
- بلوک اندازه (sizing blocks)
- ابزارهای حلقه‌ای (ring tools)
- بالشتک ها (bolsters)
- پرکننده ها(Fullers)
- پانچ ها (punches)

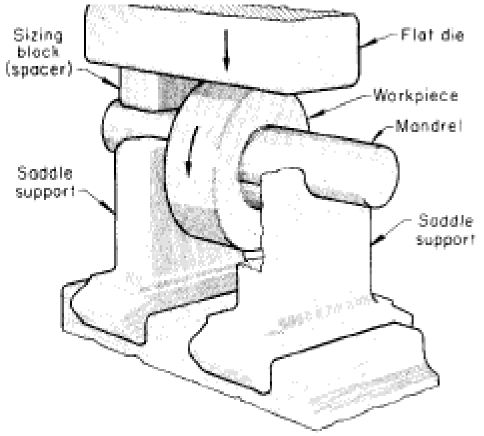
- گوه ها (drifts)
- و انواع گسترده‌ای از ابزارهای مخصوص

جنس این ابزارها به دلیل این که در معرض درجه حرارت های بالا کار می کنند، ازهمان فولادی است که در ساخت قالب‌ها استفاده می شود.

۱-۵-۳ -۱.تکیه‌گاه های زینی[5]. در قالب‌های فورج باز، قالب فوقانی می‌تواند به صورت تخت ساخته شود در حالی که قالب تحتانی می‌تواند به صورت نوعی ابزار به کار رود. معمولا جهت به وجود آوردن شکل نهایی چندین مرحله چکش کاری یا پرس کاری مورد نیاز است(یا عملیات هایی در دفعات مختلف با تغییرات ابزارها).

به عنوان مثال تولید حلقه های بزرگ با آپست کردن شمش اولیه بین دو قالب تخت، سپس سوراخ کردن وسط و در نهایت بر روی ان فورج زینی[6] صورت می گیرد.

شکل ۲ یک محور با چیدمان زینی (به عنوان قالب تحتانی) را نشان می‌دهد که امکان فورج قطعه حلقه ای شکل را بر روی محور فراهم آورده است.



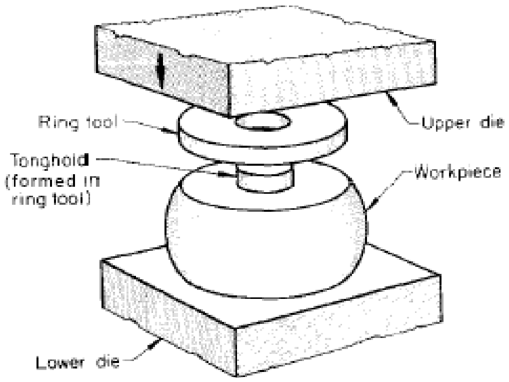
شکل ۲

۲-۵-۳-۱. بلوک های اندازه. بلوک های اندازه بین سنبه و رم قرار گرفته و به عنوان یک کنترل کننده، از کاهش ضخامت بیش از حد قطعه در حین فورج جلوگیری می نماید. البته بیشتر پرس های مدرن دارای کنترل کننده اندازه یا ضخامت اتوماتیک می باشند.

---
[5] Saddle supports
[6] saddle forge

۳-۵-۳- ۱. **BOLSTER ها**[7]. بالشتک ها در قالب فورج باز به عنوان قطعاتی همچون توپی‌ها مورد استفاده قرار می‌گیرند. در شکل ۱۳ عملیات۲ یک بالشتک در قالب زیری قرار دارد که قطر کوچکتر قطعه کار در بالشتک جاگذاری می‌شود و قطر بزرگتر تنظیم می‌شود. بسته به اندازه و شکل قطعه ممکن است نیاز باشد که قالب تحتانی را برداشته و از سندان به منظور تکیه گاهی برای بالشتک استفاده گردد.

۴-۵-۳- ۱.ابزارهای حلقه ای[8]. می توان بعد از فرایندupsetting به منظور حمل کردن اسان محصول از یک زبانه[9] بر روی قطعه کار استفاده نمود.



شکل ۳

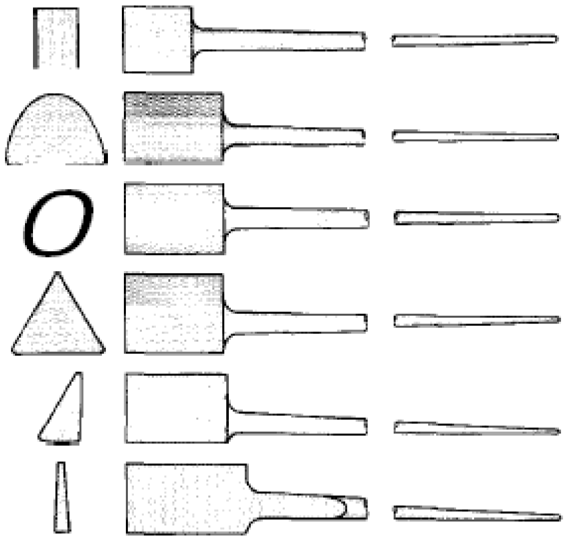
شکل۳ استفاده از یک ابزار حلقه‌ای شکل برای ایجاد دنباله به منظور نگاه داشتن قطعه و جابجا کردن راحت آن بعد از آپست کردن را نشان می‌دهد. ابزار حلقه‌ای نسبت به قطعه کار موقعیت دهی می‌شود؛ در حین فرایند آپست کردن، از اپ ست شدن دهانه ابزار حلقه ای جلوگیری شده و دنباله ان با ارتفاعی برابر با ضخامت ابزار حلقه‌ای اکسترود می‌شود. همچنین در انتهای دیگر نیز دنباله ایجاد می‌گردد که در این حالت یک بالشتک یا یک سوراخ در قالب تحتانی، دنباله قبلی را در حین عملیات آپست کردن نگاه می‌دارد.

۲-۵-۵- FULLER ها[10]. Fuller ها جهت کاهش قطر قطعه کار در مقاطعی خاص و یا ایجاد فرم مورد استفاده قرار می گیرد. آنها اغلب به صورت جفت به کار برده می‌شوند.

شکل۴ برخی از Fuller ها که به طور معمول مورد استفاده قرار می‌گیرد را نشان می‌دهد.

---

[7] bolsters
[8] Ring tools
[9] tonghold
[10] fuller



شکل ۴ میله های fullerها و برش دهنده

۶-۵-۳-۱. سنبه ها[11]. سنبه ها ابزارهایی هستند که برای فرآیندهای آهنگری با طول بلند، قطعات متقارن و ایجاد سوراخ استفاده می شود. قطعات در جهت طولی (محوری) در حالی که بر روی سنبه موقعیت دهی شده اند و بین قالب بالایی که تخت بوده و قالب پایین که V شکل می باشد، کشیده می شوند (امتداد داده می شوند). به منظور سهولت در خارج کردن قطعات توخالی، سنبه ها را به صورت مخروطی شکل می سازند. علاوه بر ان یک سوراخ کمکی به قطر ۲۵ الی ۵۰ میلیمتر (حدود ۱ تا ۲ اینچ) به منظور خنک کاری و جلوگیری از جوش خوردن قطعه به سنبه درون سنبه ایجاد می نمایند. طول و قطر خارجی میله سنبه ها توسط قطر داخلی و طول قطعات توخالی تبعیت می شود.

۷-۵-۳-۱. پانچ ها. از پانچ ها جهت ایجاد سوراخ استفاده می نمایند. پانچ بر روی قطعه فورج که هنوز گرم بوده موقعیت دهی شده و سپس توسط رم به طور کامل یا به طوری که یک ضخامت نازکی از آن باقی بماند، از میان قطعه رانده می‌شود.

نکته: سوارخ می‌تواند توسط پانچ از هر دو طرف ایجاد گردد. معمولا سوراخ های نسبتا عمیق با پانچ کردن از دو طرف تا آنجا که فقط یک ضخامت نازک در مرکز باقی می مانده انجام می شود.

۸-۵-۳-۱. Hot trepanning. از فرایندhot trepanning جهت ایجاد سوراخ در مرکز سطوح مقاطع بزرگ استفاده می شود. سپس یک کاتر گرد با قطر خارجی هم اندازه سوراخ مورد نظر و دارای ضخامت 25mm و

[11] mandrel

ارتفاع 203mm بر روی قطعه قرار گرفته و با استفاده از قالب بالایی در حالی که قطعه بر روی قالب پایینی نشسته است، پانچ می شود. عملیات hot trepanning با پانچ به همراه پیروی کننده ها ادامه می یابد.

پیروی کننده ها دارای قطر داخلی همانند کاتر اما قطر خارجی کمی کوچکتر از کاتر می باشند. قبل از اینکه پیروی کننده ها درون قطعه داغ پانچ شوند در مکان خود قفل می گردند. طول پیروی کننده ها متفاوت بوده و بر اساس طول مورد نظر hot trepanning می باشند. طول hot trepanning با استفاده از یک یا چند پیروی کننده اصلاح می گردد.

۶-۳- ۱.تجهیزات حمل و نقل

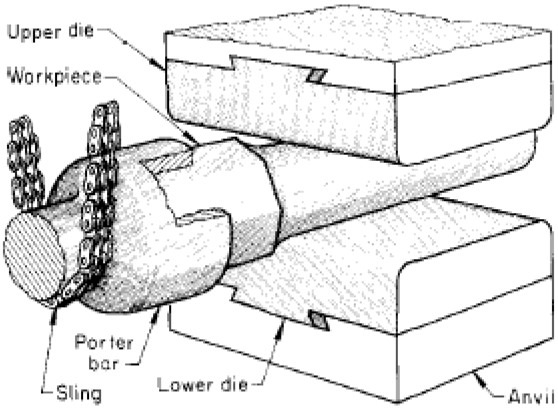
اغلب حمل و نقل قطعات در قالب‌های فورج باز به دلیل سنگین‌تر بودن و نیاز به موقعیت دهی های دوباره در سیکل کاری، نسبت به فورج در قالب های بسته، دشوارتر می‌باشد.

عملا در فورج قطعات سبک تا حدود ۴۵ کیلوگرم (۱۰۰ پوند) جابجایی قطعه با یک انبر توسط کارگر و یا استفاده از بازوهای مکانیکی زمینی انجام می گردد. جابجایی قطعات سنگین‌تر تا وزن ۹۱۰ کیلوگرم (۲۰۰۰ پوند) توسط بازوهای مکانیکی انجام می‌شود و از دنباله های مخصوص یا میل های حمل کننده کمتر مورد استفاده قرار می گیرند. جابجایی قطعات سنگین تر از ۹۱۰ کیلوگرم (۲۰۰۰ پوند)، توسط بازو های مکانیکی سیار انجام می‌شود، این بازوها یا بر روی ریل حرکت کرده و یا توسط میله های متصل به جرثقیل های سقفی حمل می شوند.

۱-۶-۳-۱. جرثقیل حمل الکتریکی سقفی. با در نظر گرفتن تمهیدات خاصی از جرثقیل های سقفی، در حمل کردن بیلت ها و قطعات نیمه کاره فورج از کوره های حرارتی به ماشین های فورج مورد استفاده قرار می گیرند. در ماشین های فورج، چندین نوع مختلف از تجهیزات برای حمل و نقل استفاده می گردد.

۲-۶-۳-۱. میله های حمل کننده[۱۲]. یکی دیگر از ابزارهای حمل و نقل، میله های حمل کننده بوده که در یک انتها شکلی مطابق با انتهای قطعه فورج یا سایر قسمت‌های آن را دارند. بار قطعه کار و میله حمل کننده به یک زنجیر به گونه ای وارد می شود که زنجیر در مرکز ثقل میله باشد تا توازنی در دو طرف به منظور حمل و نقل راحت آن ایجاد نماید.

[12] Porter bars



شکل ۵

۳-۶-۳ -۱. بازوهای مکانیکی[13]. نقل و انتقال قطعات داغ توسط بازوهای مکانیکی با سرعت و دقت بیشتری انجام می گیرد. این ماشین ها مجهز به انبر قدرتمندی در بازوی افقی خود بوده که می‌توانند قطعه را در اطراف خود جابجا نمایند، بالا یا پایین برده، کج کنند و یا حول محور خود دوران دهند. بازوهای مکانیکی بزرگ بر روی ریل‌هایی که بین کوره و چکش‌ها یا پرس‌های آهنگری تعبیه شده‌اند هدایت می‌شوند و می‌توانند قطعات سنگین تا وزن ۷۵ تن را جابجا نمایند. بازو های مکانیکی کوچکتر بر روی چرخ های لاستیکی حرکت می‌کنند. معمولا عملکرد بازوهای مکانیکی مدرن اتومات بوده و قابلیت برنامه ریزی جهت جابجایی بین نقاط مختلف را دارا هستند.

۷-۳-۱. نحوه تولید

با محاسبه حجم و وزن مورد نیاز، شمش اولیه جهت تولید قطعات کوچک در قالب‌های فورج باز در حالت سرد با اره به طول مورد نظر بریده می‌شود. اضافه مجاز ساخت در ابعاد گوناگون و مقاطع مختلف نیز ایجاد می گردد. گاهی اوقات ماده اولیه بلند بریده می‌شود اما حد نهایی برای برش میله هایی با مقاطع چهار گوش و یا دایره ای در حدود ۶ اینچ 152mm می‌باشد. جهت فورج قطعات بزرگ از شمش‌ها[14] استفاده می‌شود. شمش‌های بزرگ معمولا در تولید دو یا چندین قطعه فورج مورد استفاده قرار می‌گیرند. در استفاده از شمش‌ها علاوه بر وزن قطعه اصلی، اضافه وزنی به دلیل انقباض قطعه نهایی پس از سرد شدن و همچنین نیاز به ماشین کاری و رفع عیوب سطحی در نظر گرفته می‌شود.

[13] manipulators
[14] ingots

۱-۷-۳-۱. بلاکینگ و اپست کردن. معمولا اولین مرحله در فرآیند فورج شامل تغییر اندازه در جهت طول محور شمش می‌باشد. این فرآیند اشاره به بلوکه کردن، فورج حجمی، elongation، یا چاق کردن دارد.

این فرآیند سبب کاهش طول در جهت محور شمش و افزایش مقطع عرضی و همچنین موجب رفع عیوب داخلی حاصل از فرآیند های قبلی مثل تخلخل های به وجود آمده از ریخته گری می گردد.

Upsetting یک فرایند کار گرم است که به صورت محوری و عمود زیر پرس انجام می گیرد. این عمل طول را کاهش و سطح مقطع را افزایش می دهد. همانطور که دراین مقاله بحث شد upsetting وblocking گاهی برای تولید اشکال فورج استفاده می شود.

۲-۷-۳-۱. نحوه گرم کاری. میزان گرما برای آهنگری مواد اولیه قالب‌های باز و بسته یکسان می‌باشد. شمش‌های بزرگ و بیلت هایی از فولادهای آلیاژی همچون AISI 4340 بایستی به خوبی حرارت داده شوند تا دی کربنازیسیون آن‌ها کاهش یابد و مانع به وجود آمدن ترک در اثر حرارت دادن سریع گردد.

نکاتی در رابطه با گرم کردن در زیر بیان شده است:

- پیش گرم کردن سبب کاهش ترک می شود.
- دمای قالب در فورج باز در مقایسه با فورج بسته، کمتر بحرانی می باشد.
- قالب‌های تخت پیش گرم نمی‌شوند(به استثنا فورج ترکیبات آلومینیوم و آلیاژهای غیر آهنی).
- چنانچه قالبهای منحنی شکل[۱۵] و V شکل کاملا سرد باشند گرم می‌نمایند، خصوصا جهت فرایند چکش کاری.
- معمولا پیش گرم کردن قالب با نزدیک کردن تختال فولادی داغ به ان انجام می‌گیرد.
- از کمپرسور هوا یا اسپری‌های پر فشار آب جهت پوسته زدایی حاصل از فرایند فورج و نیز به منظور خنک کاری استفاده می گردد.

۳-۷-۳-۱.روان‌کاری. معمولا در قالب فورج باز به استثنای قسمت‌هایی از قالب که جریان مواد با مشکل روبروست نیازی به روان‌سازی نیست. گاهی در فرایند آپست کردن به منظور حذف منطقه مرده[۱۶] از روغنکاری

[15] swage
[16] Dead zone

مستقیم در زیر قالب بهره می‌گیرند. در موادی که تغییر فاز همچون فاز آستنیت در فولاد های ضد زنگ (stainless steels)، آلیاژهای آلومینیوم و آلیاژهای پایه نیکل انجام نمی‌گیرد، روغنکاری اهمیت خاصی پیدا می کند. در فرایند فورج محورها و قطعات کانتور، جهت بهبود جریان مواد از روغنکاری استفاده می شود (مانند نازل اکستروژن و مخازن تحت فشار که به صورت کانتوری فرم داده می‌شود).

۴-۷-۳-۱. اکسید زدایی[17]. عمل اکسید زدایی در قطعاتی که دارای ترک و عیوب سطحی باشند انجام می‌گیرد. بهترین روش، استفاده از کمپرسور هوا برای فرو ریختن پوسته‌ها می‌باشد. گاهی در مکان‌هایی از قبیل قطر داخلی محورهای فورج شده که دسترسی به آن مشکل است از آب با فشار بالا استفاده می‌شود.

به دلیل اینکه در قالب فورج باز، زمان بیشتری فلز داغ در معرض هوا قرار دارد و ضربات بیشتری به این قالب‌ها وارد می گردد و همچنین به گرم کاری مجدد نیاز است، معمولا کاهش ابعادی بیشتری نسبت به انواع دیگر قالب های فورج داریم و این مقدار ۳ تا ۵ درصد بیشتر از انواع دیگر است. جهت اطمینان از انجام صحیح فورج، زمان پوسته‌زدایی دارای اهمیت بوده و بر حسب قابلیت آهنگری تعیین می‌شود، چرا که قابلیت چکش کاری، طی عملیات پوسته‌زدایی، به دلیل کاهش درجه حرارت کم می گردد.

۵-۷-۳-۱. نحوه چکش‌کاری یا پرس‌کاری. بر خلاف فورج قالب بسته که در آن بر روی تمام سطوح فلز کار مکانیکی انجام می‌شود، در فورج قالب باز تنها بر روی قسمتی از فلز کار مکانیکی انجام می گردد. لذا در فورج در قالب باز نسبت به فورج در قالب بسته نیروی کمتری برای شکل دهی لازم است. در مقایسه با فورج قالب بسته یک چکش توسط قالب باز می‌تواند محصولی با وزن و اندازه بزرگتری را تولید نماید.

در فرآیند فورج با قالب باز تنوع زیادی در نوع پرس ها و چکش ها وجود دارد که انتخاب آنها بر حسب موارد زیر است:

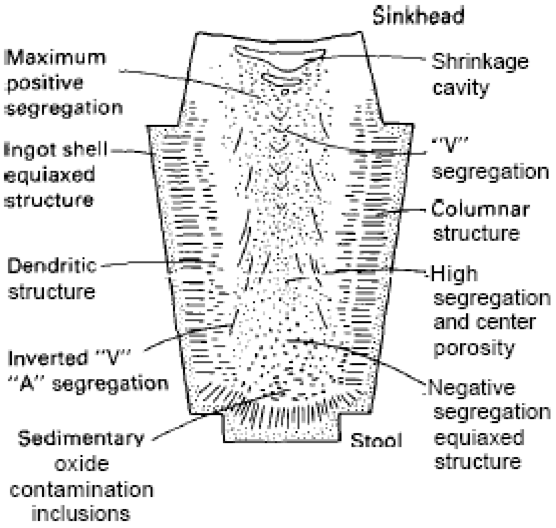
- تعداد ضرب در یک ساعت
- تجهیزات کارآمد بر حسب محیط کار
- ظرفیت کوره ها و دیگر تجهیزات

[17] descaling

- تعداد کارگرها
- مراحل متفاوت تولید و شکل دهی

۸-۳-۱. ساختار شمش

شمش‌ها به عنوان ماده اولیه در قالب فورج باز قطعات بزرگ همانند روتور توربین، به صورت گسترده‌ای مورد استفاده قرار می‌گیرند. استفاده از آن‌ها اطمینان قابل قبولی از فرایند فورج به دست می‌دهد که در نهایت پس از پایان فرایند، عیوب ساختاری حاصل از ریخته‌گری شمش‌ها از بین می‌رود. شکل ۶ شماتیکی از یک شمش قطعه فورج بزرگ را نشان می دهد. چنانچه شمش های اولیه سنگین و دارای قطر زیاد (بالای ۴.۱ متر یا ۱۶۰ اینچ) باشند، فرایند انجماد بسیار اهسته بوده و اغلب به مدت ۲ تا ۳ روز به طول می‌انجامد؛ نرخ خنک کاری پایین، جدایش دانه‌ای قابل توجهی را از مرکز شمش به سمت بیرون به وجود می‌آورد. به طور متوالی مرکز شمش باید در حین عملیات فورج، کار مکانیکی شود تا به توزیع المان‌های جدا شده و پر کردن تخلخل‌ها انجامد.



شکل ۶

معمولا منطقه جدایش دانه‌ها وابسته به ساختار خشن دندریتی هستند، بنابراین با تغییر شکل گرم این مناطق، ناپیوستگی‌ها را به سمت ساختارهای ریزتر سوق داد. تراکم شاخه های دندریتی سبب کاهش فاصله نفوذ منطقه‌ای می گردد که می توان همگن شدن در طی عملیات حرارتی را افزایش داد.

تغییر شکل گرمایی مجدد سبب تبلور مجدد آستنیت‌ها از میان دانه‌های استاتیک و دینامیک می‌شود. اندازه‌های دانه‌های آستنیت در حین تبدیل به فریت، پرلیت، بینیت یا مارتنزیت یا هر دو سبب بهبود ریز ساختار می‌گردد. ریز ساختار مناسب سبب افزایش خواص مکانیکی یکنواخت می شود، و به طور کلی بهبود خواص کششی و افزایش چقرمگی را به دنبال دارد. لذا تغییر فرم گرم غیر یکنواخت می‌تواند سبب خواص ریز ساختار نامطلوب به صورت مضاعف گردد، که اشاره به ترکیب خوب و درشتی اندازه دانه‌ها در حین تغییر شکل تولید می‌شود. مناطق جدا شده شامل تمرکز بالای آلیاژها بوده و معمولا رشد دانه ای و تبلور مجدد غیر یکنواخت را در پی دارد. روش‌های مختلفی جهت کاهش اثرات نامطلوب جدا شدگی(تجزیه) در دسترس است. در برخی از فرآیندهای آهنگری بسته به نوع ماشین و سنبه، خط مرکزی از قطعه نهایی به صورت یک هسته[18] جدا می گردد. این موضوع مربوط به ماشین‌آلات متقارن محوری بوده، اگر چه بسیاری از قطعات فورج متقارن نمی‌باشند و نمی‌توان منطقه مرکزی را برداشت. در این حالت بهبود رفتار مکانیکی و حرارتی با توزیع المان های حل شده صورت می‌پذیرد. با نزدیک شدن حرارت به دمای ۱۲۹۰ درجه سانتیگراد، رفتار همگن شدن را در پی داریم و تکرار این رفتار سبب نفوذ برخی عناصر آلیاژی می‌شود. هر چند توزیع مجدد(همگن شدن) عناصر محلول جامد جانشین شده همچون منگنز، سیلیسیوم، نیکل، کرم، مولیبدن و وانادیوم، ممکن است به چندین هفته حرارت نیاز داشته باشد که از نظر اقتصادی مقرون به صرفه نمی باشد. همچنین روش‌های کار گرم بسیاری را می‌توان در منطقه جدا شدگی ها(تجزیه شده) جایگزین نمود. زمانی که گرادیان دما از سطح به مرکز شمش می‌باشد، تغییر شکل حرارتی بسیار بالایی را در مرکز شمش به دنبال داریم. مسلما در فرایند فورج، شمش‌ها مرتبا توسط هوا خنک می‌شوند. خنک کاری، تنش بالایی را به سطوح وارد می نماید و نیروها را به مرکز شمش انتقال می دهد. اعمال این نیروها به مرکز شمش سبب افزایش استحکام خط مرکزی می گردد. تغییر شکل ساختار اولیه ریختگی به ساختار به شکل درآمده، نیاز به کار گرم بالایی در جهت کاهش و افزایش سطح مقطع به صورت پی در پی توسط عملیات آپ ست کردن دارد. در ظاهر با این عمل کمک غیرمستقیمی به شکست ساختار ریختگی می کند و همچنین تورم[19] و رشد بیش از حد بلورها را از تمام سطح می‌زداید. بهبود و تغییر شکل قابل توجه در مرکز شمشال[20] و بیلت به منظور تجزیه ساختار ریخته‌گری شده و

---

[18] core
[19] ingotism
[20] ingot

کاهش تخلخل به توانایی و ظرفیت پرس و همچنین نسبت بین عرض قالب و ارتفاع شمش اولیه(w/h) دارد. چنانچه توانایی پرس کم و قالب دارای عرض باریک باشد، نفوذ یا عمق تغییر شکل نیز کم خواهد بود. عرضی که برای قالب در نظر گرفته می شود باید دست کم ۶۰ درصد ارتفاع قطعه اولیه باشد تا در خط مرکزی تغییر فرم مناسبی را به وجود بیاورد [6]. عرض قالب و عمق نفوذ (درصد کاهش سطح مقطع یا اندازه دهانه) اثر قابل توجهی را بر روی پرس به کار گیری شده در فورج قالب باز می گذارد. اگر چه بیلت های بریده شده از میله ها عاری از تورم می باشند، انها می توانند علاوه بر کار گرم، ساختاری خالص و یک الگوی جریان مطلوب را در شمشال اصلی یا محصول نهایی ایجاد نمایند.

۱-۹-۳-۱. آلیاژ های مورد استفاده در فورج باز

آلیاژها و فلزات مختلف دارای قابلیت فورج پذیری متفاوت می‌باشند،

جدول زیر برخی از آلیاژها و فلزاتی که قابلیت آهنگری در قالب فورج باز را دارند، نشان می دهد

آلیاژهای آلومینیوم	آلیاژهای تیتانیوم
آلیاژهای منیزیم	سوپر آلیاژهای پایه آهنی
آلیاژهای مس	سوپر آلیاژهای پایه کبالت
فولادهای کم کربن و کم آلیاژ	آلیاژهای نیوبیوم
فولادهای ضد زنگ مارتنزیتی	آلیاژهای تیتانیوم
فولاد مارتنزیتی	آلیاژهای مولیبدن
فولادهای ضد زنگ آستنیتی	سوپر آلیاژهای پایه نیکل
آلیاژهای نیکل	آلیاژهای تنگستن
فولادهای ضد زنگ نیمه آستنیتی	آلیاژهای برلیم

۱۰-۳- ۱.مدل سازی چگونگی تغییر شکل[21]

مدل سازی، اطلاعات زیر را جهت تسهیل و کارامدی بیشتر فرآیند طراحی قالب‌های فورج باز به ما می‌دهد.

- پیش بینی جریان مواد
- انرژی های مورد نیاز

[21] Deformation modeling

- نیروهای شکل دهی

حداکثر نیرویی که چکش یا پرس می‌تواند اعمال نماید به محدوده الاستیک مجاز تجهیزات مورد استفاده در فرایند فورج بستگی دارد. نرژی مورد نیاز جهت تغییر شکل بر حسب چکش یا پرسی که در دسترس است تعیین می‌شود.

پارامترها مورد نیاز در طراحی قالب های باز:

- ابعاد قالب و شکل آن
- مقدار انقباض
- شکل قطعه اولیه(شمش)
- گرادیان دما
- سرعت رم
- و موارد دیگر

در طراحی حرفه ای بایستی به صورت تمام عیار، محصول را از لحاظ قیمت و زمان تولید مورد بررسی قرار داد. لذا مدل سازی فیزیکی و مدل سازی ریاضی، یک دید طراحی کاربردی و افزایش درک از عملیات قالب های فورج باز را به ما می‌دهد.

۱-۱۰-۳- ۱.مدل سازی ریاضی. می‌توان توسط تئوری‌های ریاضی، مدل را به آنچه که در واقعیت صورت می‌گیرد نزدیک نمود. توسط تئوری بنیادین پلاستیسیته می توان اطلاعاتی در خصوص نحوه جریان مواد بر حسب نیروهایی که در حین عملیات آپ ست و بلوکه کردن وارد می‌شود، فراهم نمود. این کار نیازمند برآورد صحیحی از ضریب اصطکاک و نیروهای اعمالی می‌باشد. تئوری Slip-line برای به دست آوردن اطلاعاتی در خصوص منطقه تمرکز تنش مورد استفاده قرار می‌گیرد. یکی ازعیوب این تئوری این است که ماده به حالت صلب- پلاستیک در فرایند فورج داغ فرض می شود لذا این روش در توصیف اثری مانند اثر جابجایی روی حالت تنش نا توان می باشد. از طرف دیگر این روش می خواهد کمبود اطلاعات مربوط به جریان مواد را با یک فرض میدان سرعت و بهینه سازی اجرا بدون توجه به تنش، جبران نماید. از دیگر عیوب این روش، چنانچه همه پارامتر های جنبشی مثمر ثمر باشد، حوزه سرعت پیچیده فرض می شود. از آنجا که لازم است جهت شکل گرفتن واقعی قطعه در حین فرایند فورج

اطلاعات دقیقی از تنش ها و نحوه تغییر شکل قطعه کار داشته باشیم، روش المان محدود بهترین روش جهت شبیه سازی و محاسبه پروسه فورج می باشد. استفاده از روش المان محدود به عنوان ابزاری جهت آنالیز عددی در این حوزه و دیگر روش‌های متداول جهت شبیه سازی تغییر شکل می‌باشد. ما می توانیم در دو بعد، گستره ای از مسائل از قبیل افزایش نفوذ خط مرکزی یا مقایسه دو مورد از فرایند های فورج، طراحی upsetting ، مقایسه تست های فشاری حلقه ای و نیز اثر پارامترهای فورج بر روی کیفیت محصول نهایی را شبیه سازی نماییم.

به طور کلی بهره گیری از روش تئوری جهت تعیین نیروها و متغیرهای اصلی در شرایط ایده آل قرار دارد و از بسیاری جهات با فورج واقعی متفاوت است. اطمینان و تاثیر مسائل تئوری به طور دقیق وابسته به یکنواخت بودن فرایند فورج دارد، بنابراین با کمی پیچیدگی در قطعه نسبت به حالت ایده آل، این روش جواب نمی‌دهد؛ از اینرو مقادیر محاسبه شده به طور قابل ملاحظه ای بالا یا پایین‌تر از مقادیر واقعی می‌باشند.

از جمله دلایل اختلاف مقادیر این است که:

- شیب های حرارتی در طی فرایند فورج افزایش می یابد.
- نرخ کرنش در قسمت های مختلف کورس، متفاوت بوده و انتخاب یک شکل درست از نرخ کرنش و تنش تسلیم در دمای متوسط تخمین زده شده، مشکل می باشد.
- تنش های متفاوتی در حین عملیات به وجود می‌آید که محاسبه آنها با مشکلاتی روبرو است و اغلب انتخاب مقادیر تنش همچون تنش تسلیم در دمای میانگین برآورد می گردد.

با توجه به دلایل ذکر شده محاسبه نیرو و انرژی مورد نیاز بر اساس این تئوری ها هنوز کافی نیست.

۲-۱۰-۳-۱ . مدل سازی فیزیکی. همانطور که گفته شد روش تئوری مدل ریاضی، روش مفیدی جهت مدل سازی نمی‌باشد و اغلب از مدل سازی فیزیکی استفاده می گردد. مدل سازی فیزیکی اطلاعات مورد نیاز جهت تغییر شکل قطعه را از شیوه‌ای دیگر به دست می‌آورد که توسط روش‌های دیگر غیر ممکن بوده و یا گران تر تمام می‌شود. به منظور بررسی روش مدل سازی فیزیکی نیاز به ابزارهای توانایی داریم؛ به طوریکه از نام آن بر می‌آید، مدل سازی فیزیکی، اعمال تغییرات فیزیکی همچون ابعاد قطعه کار در مراحل مختلف تغییر شکل را مورد مطالعه قرار می‌دهد. هر چند برخی خواص، همچون ماده اصلی یا نوع فرآیند در نظر گرفته نمی شود، با این حال خواص

موثر بسیاری را مورد توجه قرار می‌دهد. بنابراین با استفاده از این روش به دلیل پیروی از قوانین مشابه در فرآیند فورج می‌توان اثر عواملی چون اصطکاک و شکل ابزار را در مدل فیزیکی مشاهده نمود. از جمله مواد مورد استفاده در این مدل سازی می‌توان انواع فلزات(فولاد، آلومینیوم و سرب) و غیر فلزات (Wax و plasticine) را نام برد. Plasticine، نوع خاصی از خاک رس بوده، که شاید بیشترین استفاده آن در تحقیقات مربوط به فرآیند پرس قالب های باز باشد.

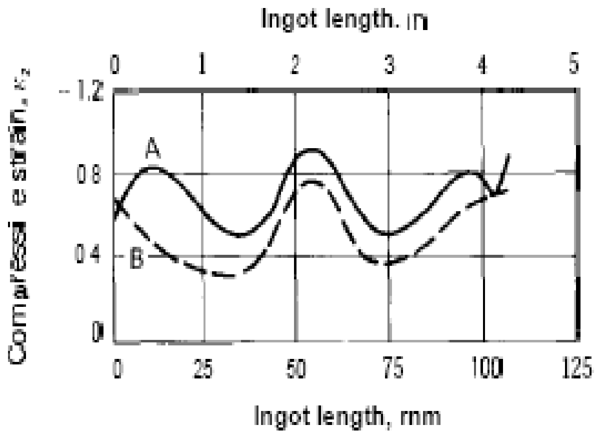
استفاده از plasticine به عنوان ماده مدل سازی، دارای مزایای متعددی از قرار زیر می‌باشد:

۱. دسترسی آسان
۲. صرفه اقتصادی
۳. بدون آلودگی
۴. شکل پذیری در دمای پایین(توانایی استفاده از تجهیزات ارزان)
۵. استفاده از مدل چند رنگ به منظور بررسی جریان مواد
۶. نحوه جریان مواد در دمای بالا مشابه فولاد می باشد.

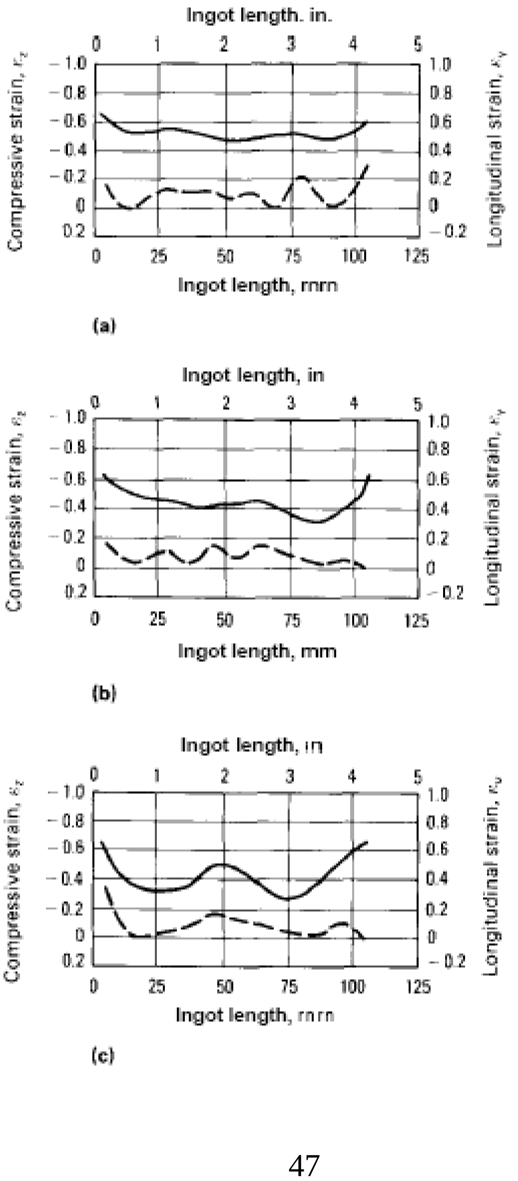
مدل سازی فیزیکی با استفاده ازplasticine و سرب به طور وسیعی در بهبود فرآیندها، تولید محصولات جدید و نیز گسترش روش های ساخت موجود جهت بهبود فرآیند اقتصادی، در انواع گوناگون قالب های فورج باز مورد استفاده قرار می‌گیرد. در بلاکینگ پارامترهایی همچون عرض قالب، شکل قالب، همپوشانی[۲۲] قالب، شکل شمش متوالی قالب[۲۳]، گرادیان و طراحی زاویه را می‌توان با بهبود حداکثری تغییر شکل های داخلی برای به دست آوردن ساختار همگن بهتر و انتخاب درست ماده قالبی که برای شمش استفاده می‌شود.

اشکال صفحات بعد به ترتیب اثرات گرادیان دما و (draft design) را نشان می‌دهد. در خط مرکز توزیع تغییر شکل شمش‌هایی با سطح مقطع مربعی شکل جهت بلوکه کردن از ضربات متعدد استفاده می‌شود.

[22] overlapping
[23] staggering ingot shape



شکل ۷ :تاثیر گرادیان دمایی در شمشی با مقیاس ۳.۸۶×۲.۷۹×۲.۷۹ متر ؛ ۱.۵۲×۱.۸۳ متر قالب تخت، و ۲۴ درصد کاهش (انقباض). A: با گردایان دمایی ؛ B : بدون گردایان دمایی



شکل ۸ :تاثیر draft design، تحت کرنش گسترده فشاری. خط پر نشان دهنده کرنش فشاری است ؛ خط چین نشان دهنده کرنش طولی است.

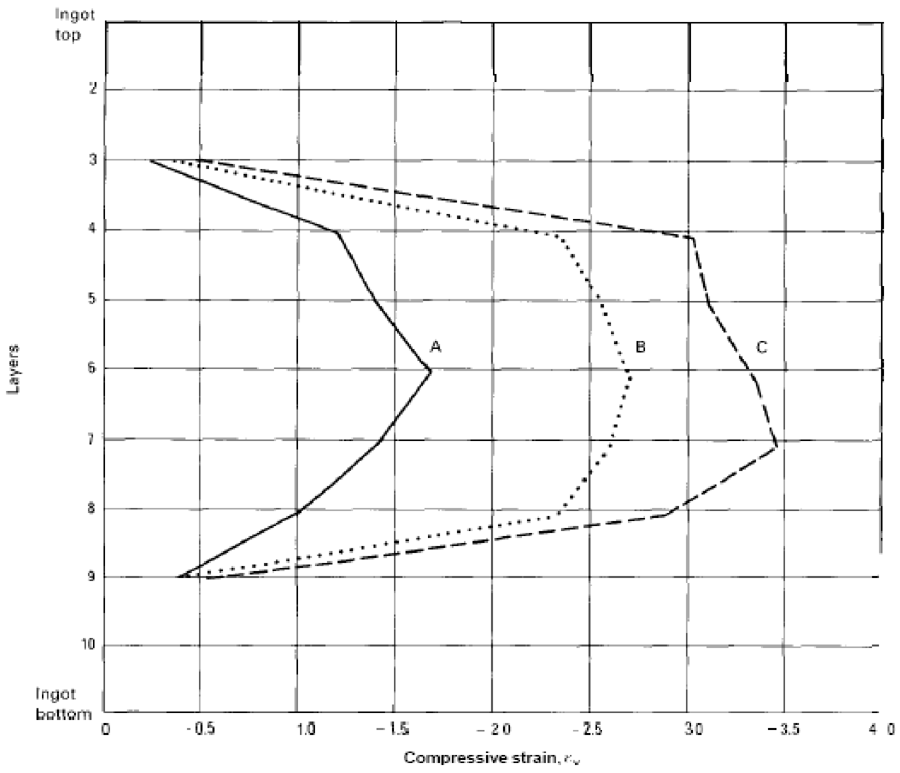
a) مقدار کاهش ۵ درصد b) مقدار کاهش ۸ درصد

c) مقدار کاهش ۱۰ درصد

عوامل تاثیر گذار بر عملیات آپ ست عبارتند از:

نسبت وجوه[۲۴] ((ارتفاع به قطر)، سرعت محور متصل به میل لنگ[۲۵]، نگهدارنده شمش، پهن کردن[۲۶]، تو رفتگی و قالب‌های مقعر(گود) از پارامترهای تاثیر گذار بر نحوه تغییر شکل در قالب های آپ ست می‌باشد.

شکل۹ تاثیر نسبت های گوناگون ارتفاع به قطر بر توزیع کرنش فشاری را در شمش آپ ست شده را نشان می‌دهد.

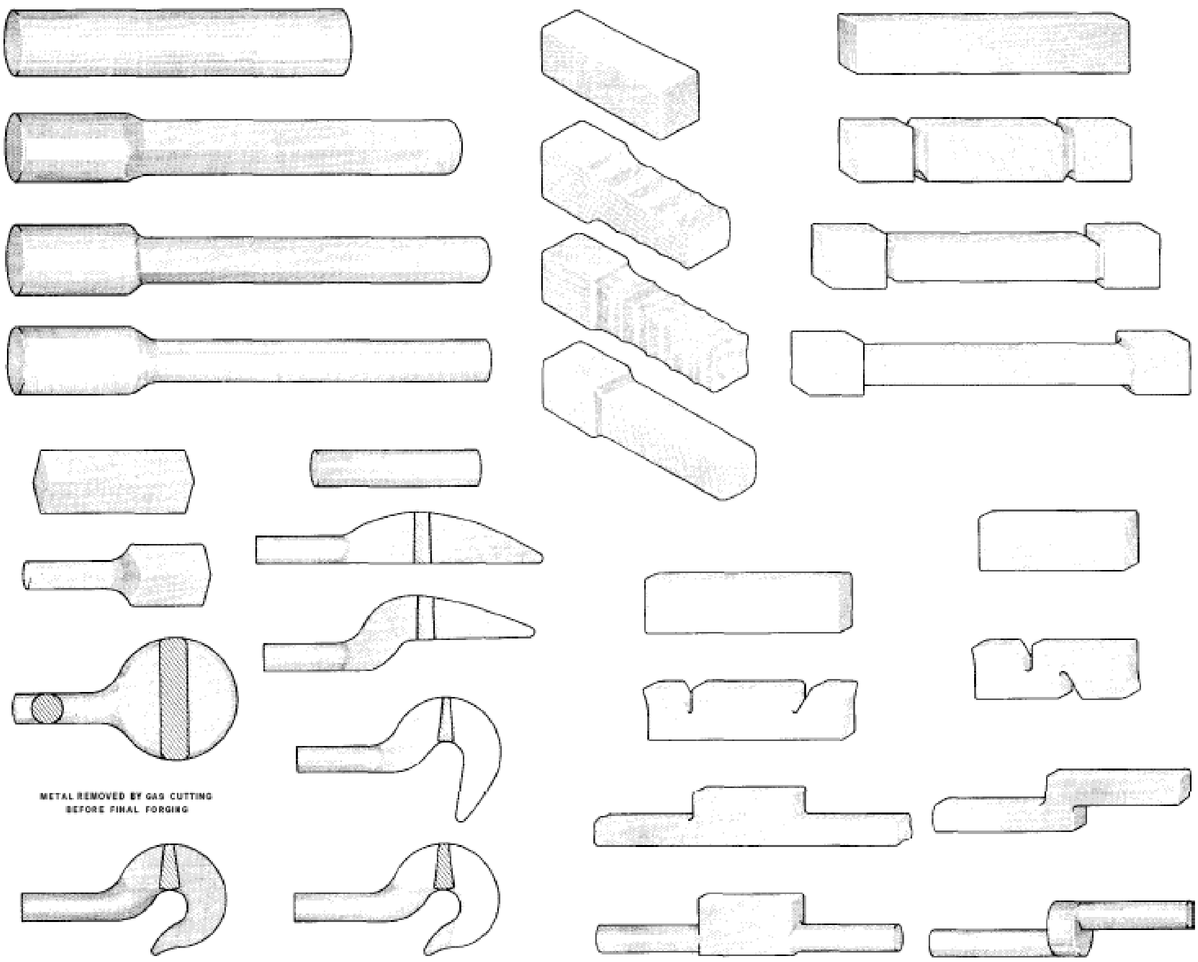


شکل۹ : اثر نسبت وجوه (H/D) در کرنش فشار توزیعی در شمش A،plasticine : نسبت ۱.۰؛ B: نسبت ۱.۵ C: نسبت ۲.۰

[24] Aspect ratio
[25] Crosshead speed
[26] spreading

۱۱-۳-۱. مثال هایی از نحوه تولید (مراحل عملیات فورج)

به دلیل تفاوت در تجهیزات و مهارت کارگر، روشهای فورج قالب باز به طور قابل ملاحظه‌ای از کارخانه‌ای به کارخانه دیگر فرق می نماید. شکل۱۰مراحل ساخت محصولات از طریق فرایند فورج، کشش شمش اولیه و همچنین بیلت را با سطح مقاطعی همچون مربعی شکل، مستطیلی شکل، و مقاطع گرد، نشان می‌دهد.



شکل ۱۰: مراحل نمونه در کشش شمش و تولید اشکال در قالب های باز

مثال های زیر مراحل تولید برخی از محصولات در قالب های فورج باز را بیان می نمایند.

مثال۱: فورج یک استوانه توپر 170kg در قالب تخت.

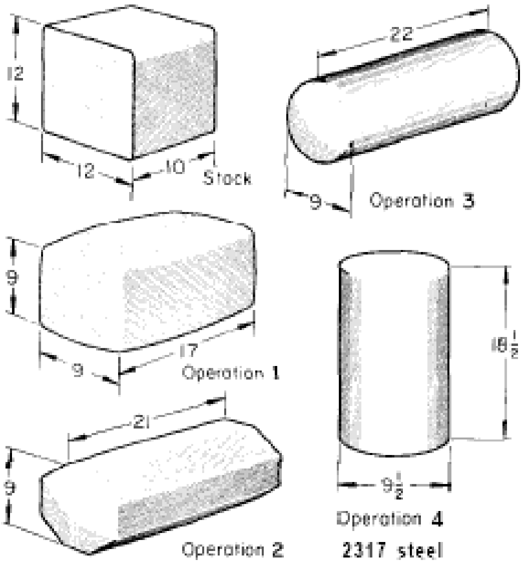
یک استوانه به قطر 241mm و طول 470mm در قالب تخت از شمش 305×305×254 در ۴ عملیات بدون دوباره گرم کاری بیلت، فورج می گردد.

۱. مقطع مربع ۳۰۵ با چکش کاری به مقطع ۲۲۹ و طول ۴۳۲ تبدیل شد.

۲. گوشه های مربع به منظور تولید یک شکل ۸ ضلعی مقطع تخت تقریبی ۲۲۹mm و به طول 533mm

۳. هشت ضلعی با ضربات چکش به طور متوالی گرد می شود. طول استوانه ۵۵۹ می شود.

۴. قطعه تا تخت شدن بالچ در دو انتها به طور ملایم چکش کاری می شود .(جزئیات بیشتر در شکل ۱۱نشان داده شده است.



Stock preparation............	Cold sawing
Stock size	305 × 305 × 254 mm (12 × 12 × 10 in.)
Stock weight..................	179 kg (395 lb)
Finished weight..............	170 kg (375 lb)
Heating furnace..............	Gas-fired, automatic temperature control
Heating temperature..........	1230 °C (2250 °F)(a)
Forging machine..............	18 kN (4000 lb) steam hammer

(a) Forging was completed in one heat.

شکل ۱۱: توالی عملیات فورج کاری ی قطعه استوانه ای از میله مربعی

مثال ۲: فورج یک بلانک چرخدنده و توپی قالب های تخت با استفاده از BOLSTER

بلانک و توپی از شمش (203×203×175(mm در طی ۵ عمل طبق زیر فورج شده است.

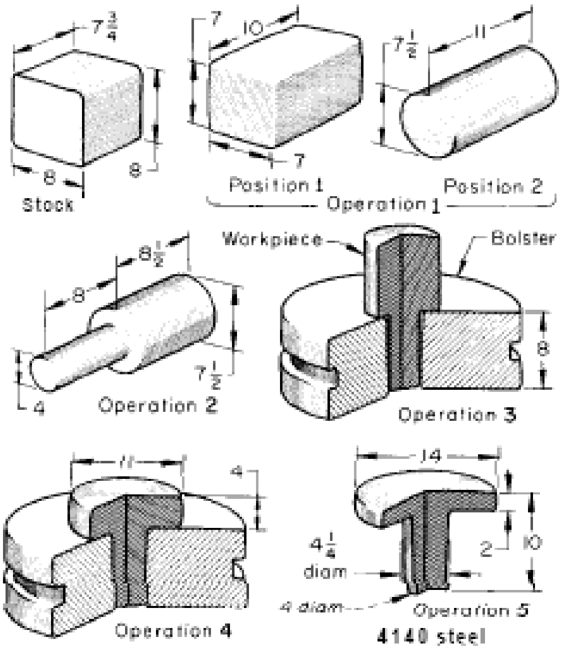
۱. ابتدا شمش اولیه به ابعاد (178×178×254(mm فورج گردیده سپس بیلت انتها استوانه ای به قطر ۱۹۱ و طول 279mm در حین چرخش کوبیده می شود.

۲. یک دماغه به قطر تقریبی 102mm و طول 203mm به اندازه 279mm افزایش طول می دهد.

۳. قطعه کار طبق شکل داخل بالشتک قرار داده می شود.

۴. قطعه تا ضخامت تقریبی102mm تخت شده. سپس قطعه از روی بالشتک برداشته می شود و در قالب تخت بالا می رود.

۵. قطعه مجددا داخل بالشتک قرار داده شده و مطابق عملیات۵ فورج می شود. قطعه فورج به طور کامل انیل و خشن کاری می گردد. جزئیات بیشتر در شکل۱۲



Stock preparation............	Cold sawing
Stock size	203 × 203 × 197 mm (8 × 8 × 7¾ in.)
Stock weight..................	64 kg (140 lb)
Forging weight (after rough machining)...........	54 kg (120 lb)
Heating furnace...............	Gas-fired, automatic temperature control
Heating temperature...........	1230 °C (2250 °F)(a)
Forging machine...............	18 kN (4000 lb) steam hammer
Crew size.....................	Four men

(a) Forging was completedin one heat.

شکل ۱۲

مثال۳: فورج اسپیندل چهار گوش در قالب تخت.

ابعاد بیلت 680×406×406 بوده و پس از دوباره گرم کاری، مراحل زیر طی می شود.

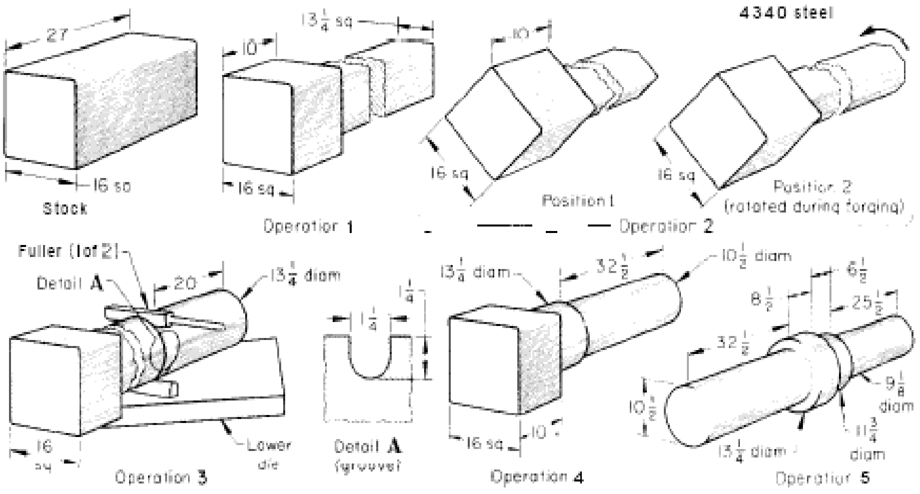
۱. ۲۵۴ میلیمتر از شمش داغ با مقطع مربعی شکل337mm با استفاده از یک بلوک اندازه شده در حالی که بر روی قالب پایینی قرار دارد، فورج می گردد.

۲. قطعه به اندازه ۴۵ درجه می چرخد و مقطع مربع mm ۳۳۷ طبق شکل موقعیت ۱ از عملیات ۲ تخت می گردد. قطعه چرخیده تا بخش کاهش یافته به شکل ۸ ضلعی فورج شود. پس از ان طبق موقعیت ۲ عملیات ۲، هشت وجهی به مقطع گردی به قطر ۳۳۷ چکش کاری می گردد.

۳. قطعه به صورت قطری در مقابل قالب پایینی به اندازه 508mm از انتها قرار می گیرد. هنگامی که پر کننده ها درون فولاد داغ فشار داده می شوند، قطعه می چرخد و یک شیار عمیق اطراف ان شکل می گیرد.

۴. بلوکmm ۳۳۷ با ۲۶۷mm جا به جا می گردد. ابتدا سطح مقطع طولی 508mm به صورت مربعی شکل سپس به هشت وجهی و در نهایت به صورت گرد چکش کاری می شود، اندازه طول به ۸۲۶ میلیمتر افزایش یافته و مجددا قطعه گرم می شود.

۵. قطعه توسط انبر از قطر ۲۶۷ قلاب می شود. مقطع مربع 406mm به یک مقطع دایروی 337mm تبدیل گردیده. بعد از اینکه شیار شکل گرفت، بلوک اندازه ۳۳۷mm با یک بلوک ۲۹۸ جابه جا می شود و قطر 298mm با مقطع 165mm همانند مراحل ۱ و ۲ فورج می شوند. بعد از فرایند فورج، قطعه فورا درون کوره جهت انیل کامل قرار داده می شود. جزئیات بیشتر در شکل۱۳



Stock preparation	Cold sawing	Heating furnace	Gas-fired, automatic temperature control
Stock size	686 × 406 × 406 mm (27 × 16 × 16 in.)	Heating temperature	1230 °C (2250 °F)(a)
Stock weight	878 kg (1935 lb)	Forging machine	22 kN (5000 lb) steam hammer
Forging weight (after rough machining)	796 kg (1755 lb)	Crew size	Five men

(a) Forging was reheated for operation 5.

شکل ۱۳: مراحل فورج اسپیندل در قالب باز

مثال ۴: پنج مرحله فورج یک روتور هفت - قطر.

یک روتور توربین از شمشی به قطر 1.78m ، طول 2.79m و وزن 64900kg فورج شده است (فولاد کم آلیاژ نیکل ، کرم ، مولیبدن، وانادیم). فولاد در کوره های الکتریکی ذوب گردیده سپس گاز مذاب از جریان فولاد وکیوم می شود تا از هیدروژن محبوس شده جلوگیری نماید.

فرایند فورج طبق روال زیر می باشد:

۱. شمش بین قالب های تخت به حالت لبه ای شکل در امده تا یک شکل قوطی مانند به طول 6.25m و سطح مقطع ۸ وجهی 1.35m در مقابل سطوح تخت به یک سطح مقطع دایروی به قطر 1.15m کاهش دهد.

۲. قطعه به شکل قوطی در امده از طریق فورج قطر1.15m و اتصال شانه در قالب v شکل افزایش می یابد. لذا شانه حذف گردیده و قطر 1.15mبه ۹65mm کاهش می یابد. پس از ان مقطع بالشتک دوره بری شده تا قسمت دهانه تغذیه برداشته شود و طول به 914mm کاهش می یابد، به علاوه مقطع ۸ وجهی به عرض 1.52m و طول3.3m تغییر می یابد.

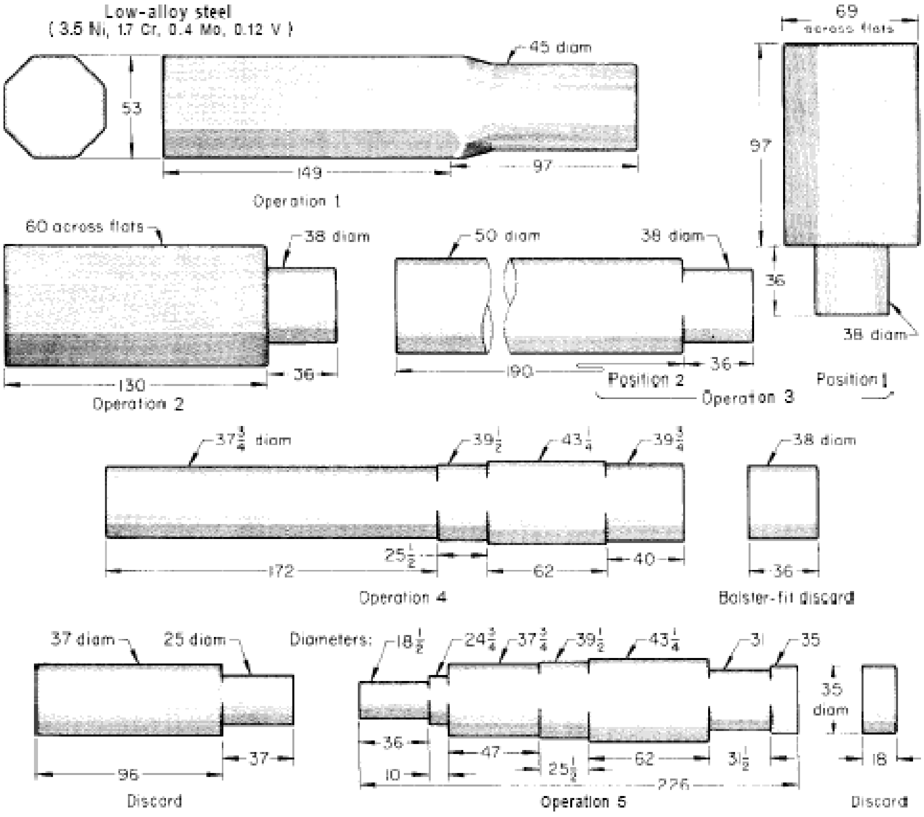
۳. در موقعیت یک از عملیات شکل ۱۴ مقطع قطعه تغییر یافته، مقطع 1.52m به 1.75m افزایش یافته، به همراه یک بالشتک در موقعیت انتهایی ساقه که بر روی قالب پایینی مستقر شده است. Upset طول مقطع ۸ وجهی را از ۳.۳ به ۲.۴۶ کاهش می دهد. در موقعیت ۲ از عملیات، قطعه (bloom) به موقعیت افقی برگشته و مقطع هشت وجهی بین یک سطح تخت بالایی و قالب v شکل پایینی گرد می شود. قطر به ۱.۲۷ کاهش و طول به ۴.۸۳ افزایش می یابد.

۴. بدنه اصلی قطعه بین قالب تخت بالا و قالب v پایین بهبود می یابد. قسمت دو انتهای قطعه فورج به اقطار 959mm و1.01m به ترتیب کاهش یافته و همچنین دو قطر باقی مانده بین این مقاطع بیان شده فورج می شود. مقطع بالشتک در طی این عملیات بریده می شود.

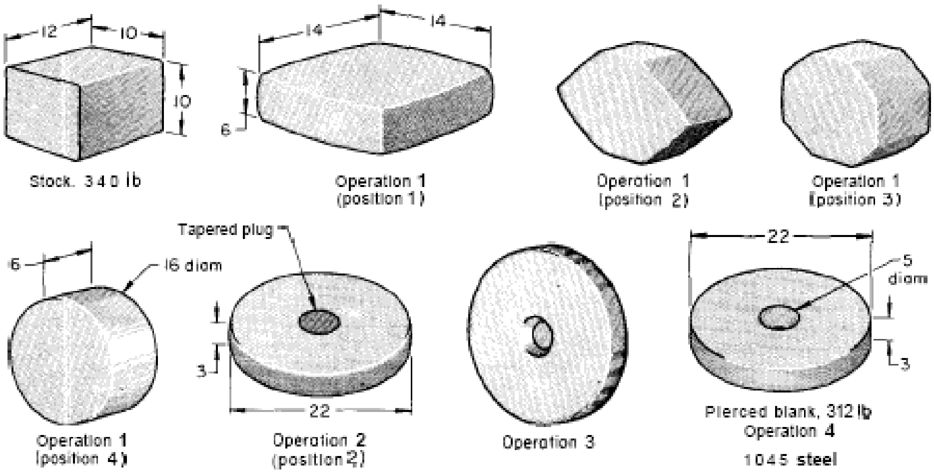
۵. فورج نهایی، مقطع اضافی در رنج قطری ۴۷۰ تا ۸۸۹ میلیمتر را افزایش می دهد. در ادامه این عملیات، مقاطع وازده از دو انتهای قطعه فورج بریده می شود. قطعه نهایی عملیات حرارتی شده تا خواص مکانیکی مناسب را به

دست اورد. تست هاس مکانیکی متعددی بر روی قطعه از مقاطع وازده انجام می گردد.

۲-۱۳- نمونه‌هایی از مراحل شکل دهی قطعات در قالبهای باز



شکل۱۴: مراحل فورج روتور توربین در قالب باز



Stock preparation	Cold sawing	Heating temperature	1230 °C (2250 °F)(a)
Stock size	305 × 254 × 254 mm (12 × 10 × 10 in.)	Forging equipment	18 kN (4000 lb) steam hammer
Stock weight	154 kg (340 lb)	Size of ring saddle forged from pierced blank	1020 mm (40 in.) OD × 762 mm (30 in.) ID × 50 mm (2 in.)
Shipping weight	142 kg (312 lb)		
Heating furnace	Gas-fired, automatic temperature control		

(a) Blank was completed in one heat

شکل ۱۵: مراحل فورج و سوراخ کاری یک بلانک دایروی

۲-۱۴-فورج کانتور

در قالب فورج باز به روش کانتوری نیاز به استفاده از قالب های خاصی از جنس آلیاژهای کربنی، فولاد ضد زنگ همچون جنس سوپر الیاژها، می باشد.

فورج کانتوری دارای مزایایی بوده که در زیر بیان گردیده است:

- افزایش جریان دانه ای، هنگامی که محصول در موقعیت های خاص از کاربرد قرار می گیرد.
- کاهش مقدار ماده اولیه. مخصوصا زمانی که از مواد گران قیمت همچون فولاد ضد زنگ و سوپر آلیاژها استفاده می‌کنیم،
- کاهش هزینه ماشین کاری، اهمیت این مورد زمانی است که توانایی ماشین کاری یا برداشت ماده زیاد، از فاکتور های مهم باشد.

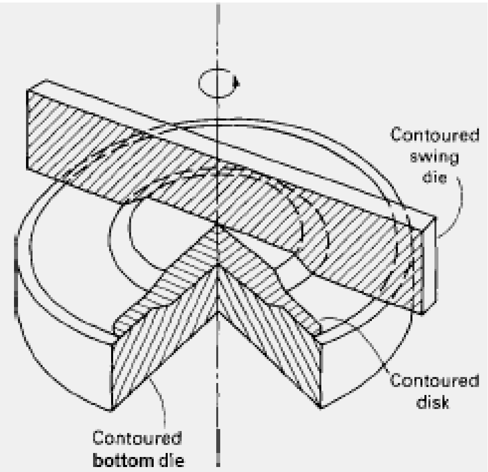
۲-۱۴-۱- جنس قالب ها. جنس مواد قالب در آهنگری به مقدار زیادی به ساعات تولید محصول بستگی دارد.

جنس قالب تاثیر بسزایی در قیمت محصولات تولیدی دارد. در صورتی که میزان تولید کم باشد (کمتر از ۳۰ ساعت) انتخاب فولاد H-13 برای قالب مناسب است.

با این حال در قالب های فورج سنگین بهتر است از سوپر آلیاژ ها استفاده شود.

۲-۱۴-۲- فرایند فورج درچرخ توربین. در تولید چرخ‌های توربین که دارای قطر ۲.۵۴ متر(۱۰۰ اینچ) می‌باشند، ابتدا عملیات آپ ست کردن بلوک فولادی و سپس فورج کانتوری جهت رسیدن به توپی ضخیم و باریکه[27] نازک انجام می گیرد. چرخ توربین توسط قالب پایینی به صورت کامل پشتیبانی می‌شود. و قالب بالایی با ضربات پیاپی و دوران حول محور مرکزی سبب به وجود آمدن شکل نهایی قطعه کار می گردد. (شکل۱۷)

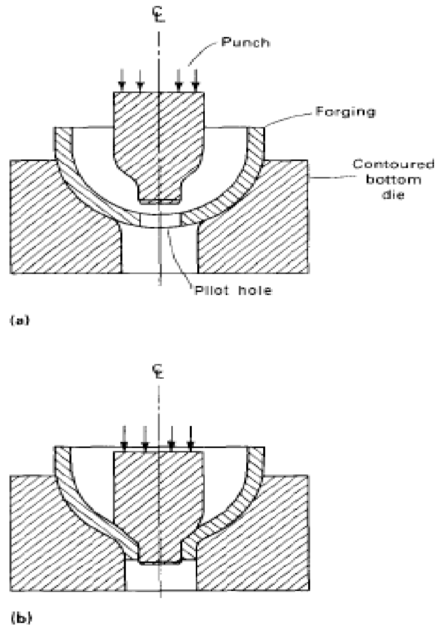
این قالب ها به دلیل داشتن سطح مقطع کمتر نیروی کمتری جهت شکل دهی قطعه کار نیاز دارند.



شکل ۱۷

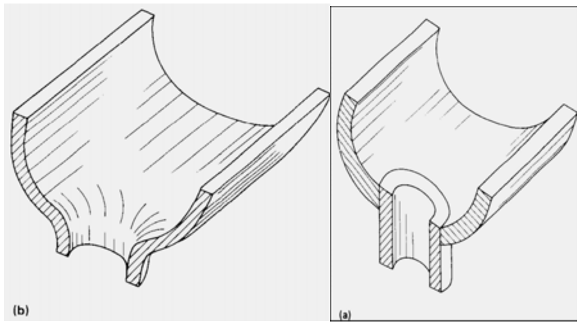
۲-۱۴-۳- فورج نازل اکستروژن. نازل اکستروژن از پیچیده ترین قطعاتی است که از روش کانتوری به وجود می‌آید (شکل۱۸). قطعات پوسته ای همچون نازل اکستروژن که دارای ضخامت متفاوتی در برخی قسمتها همچون جداره مجرای خروجی هستند در حالی که تولید ان ها از طریق روش‌های دیگر نه تنها مقرون به صرفه نیست بلکه ریسک بسیار بالایی را جهت اینکه فشار بالایی در پشت نازل وجود دارد، نیازمند می‌باشند. ابزار ها، شامل قالب پایینی و پانچ هستند. به منظور شکل دهی خروجی نازل توسط پانچ از سوراخ تعبیه شده در قطعه کار با هدایت ماشین شکل نهایی حاصل می‌شود. دو روش ممکن جهت تولید مقاطع پوسته ای همچون نازل در شکل نشان۱۹ داده شده است.

[27] rim



شکل ۱۸: تولید نازل اکستروژن، از فورج کانتوری
(a موقعیت پانچ قبل از اکستروژن
(b موقعیت پانچ بعد از اکستروژن

مهندسین طراح ترجیح می دهند نازل اکستروژن را از روش دوم (اکسترود سر نازل) تولید کنند چرا که جریان خوب مواد باعث بهبود خاصیتی همچون چقرمگی(سختی) می شود، همچنین از نظر اقتصادی با صرفه تر می باشد.

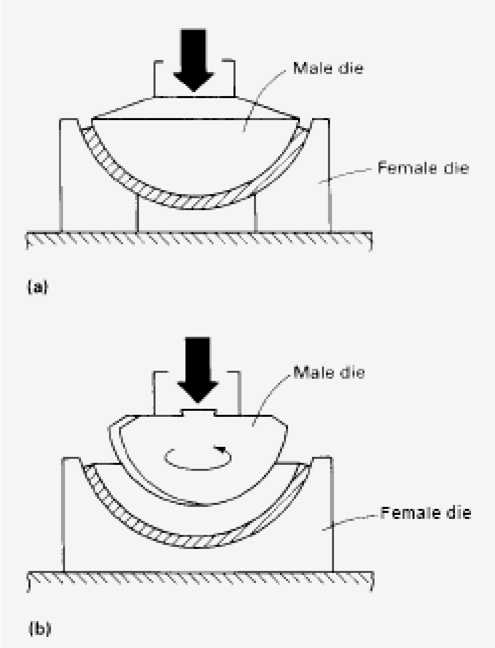


شکل ۱۹: طرح دو روش متفاوت شکل دهی نازل های فلزی پوسته‌ای
(a نازل جوشکاری شده
(b نازل اکسترود شده

۲-۱۴-۴- فورج کلگی مخازن تحت فشار.

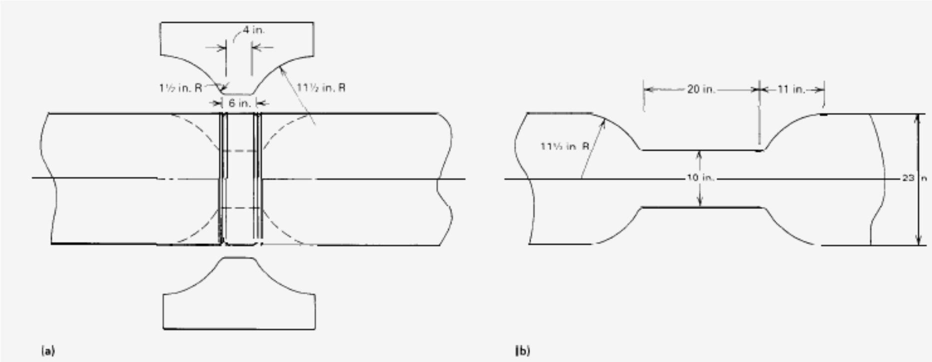
برای تولید قطعاتی مشابه شکل زیر می‌توان به دو روش عمل کرد. در حالت اول (شکل ۲۰a) سنبه و ماتریس شکل کامل قطعه کار را دارا می‌باشند ولی در حالت دوم (شکل ۲۰b) سنبه به صورت جزیی ساخته می‌شود. در

حالت دوم گرچه نیاز به ضربات متوالی همراه با دوران سنبه جهت شکل گیری کامل قطعه نیاز است ولی می‌توان با پرس‌های کوچکتری به شکل مورد نظر دست یافت.



شکل ۲۰

۲-۱۴-۵- فورج قطعات گلویی شکل. اشکال گلویی شکل از طریق فورج همزمان از دو طرف، ساخته می‌شوند.



شکل۲۱

جهت دستیابی به بهترین کیفیت در فورج از پرس هیدرولیک با موقعیت یابی قالب می توان از خط نشانی طبق شکل۲۱ استفاده نمود. در مراحل بعدی، قطعه کار به صورت دستی یا مکانیکی تحت زاویه ۱۰ تا ۱۵ درجه می چرخد، (از انحراف محور بالای ۲۵ درصد نمی توان استفاده نمود.) در صورتی که کار با دقت انجام شود روی هم افتادگی رخ نداده و سطحی نسبتا یکنواخت به دست می‌آید.

۲-۱۵- تلرانس های مجاز

مسلما در ساخت قطعات فورج می‌توان از ماشین‌ها جهت تصحیح اندازه نهایی بهره برد، بنابراین لازم است که در طراحی قطعه مواردی همچون دقت مجاز، تلرانس‌ها، و خصوصیاتی همچون تختی و هم مرکز بودن را رعایت نمود.

۲-۱۵-۱-دقت مجاز (مقادیر مجاز). در قالب‌های فورج باز، دقت مجاز بر حسب اضافه ابعادی که برای مراحل بعدی ساخت در نظر گرفته شده تعیین می گردد. مقادیر مجاز به اندازه نهایی جهت ماشین کاری اضافه می‌شود. همچنین مقادیر مجاز، خشن تراشی قطعه را نیز شامل می‌شود.

در نظر گرفتن اضافه مجاز بیش از حد سبب افزایش وزن قطعه شده و از آنجا که وزن اضافی فلز نیاز به عملیات ماشینکاری دارد سبب افزایش قیمت نهایی قطعه تولیدی می گردد. لذا باید اضافات مجاز را کم در نظر بگیریم تا در کمترین زمان بتوان به سهولت با روش های متداول قطعه را به ابعاد نهایی برسانیم.

جدول ۱ اضافه مقادیر مجاز برای قطعات با سطح مقطع دایره، مربع، مستطیل، هشت وجهی و همچنین قطعات دارای مقاطع مختلف را نشان می دهد.

Table 1 Allowances and tolerances for as-forged shafts and bars

Allowance is added to rough-machined dimension to obtain forged dimension. Tolerances are the variations permitted on forged dimensions.

Rough-machined diameter or width, mm (in.)	Allowance for overall rough-machined length, mm (in.), of: Over 152-762 (6-30)	Over 762-1520 (30-60)	Over 1520-2290 (60-90)	Over 2290-3050 (90-120)
Over 25-75 (1-3)	7.7 (5/16) +3.2, −0 (+⅛, −0)	9.5 (⅜) +3.2, −1.6 (+⅛, −1/16)	11.1 (7/16) +3.2, −1.6 (+⅛, −1/16)	12.7 ± 3.2 (½ ± ⅛)
Over 75-152 (3-6)	9.5 (⅜) +3.2, −1.6 (+⅛, −1/16)	11.1 (7/16) +3.2, −1.6 (+⅛, −1/16)	12.7 ± 3.2 (½ ± ⅛)	14.3 (9/16) +4.8, −1.6 (+3/16, −1/16)
Over 152-229 (6-9)	11.1 (7/16) +3.2, −1.6 (+⅛, −1/16)	12.7 ± 3.2 (½ ± ⅛)	14.3 (9/16) +4.8, −1.6 (+3/16, −1/16)	15.9 (⅝) +4.8, −3.2 (+3/16, −⅛)
Over 229-305 (9-12)	12.7 ± 3.2 (½ ± ⅛)	14.3 (9/16) +4.8, −1.6 (+3/16, −1/16)	15.9 (⅝) +4.8, −3.2 (+3/16, −⅛)	19.1 ± 4.8 (¾ ± 3/16)
Over 305-457 (12-18)	19.1 ± 4.8 (¾ ± 3/16)	19.1 ± 4.8 (¾ ± 3/16)	25.4 ± 6.4 (1 5 ¼)	25.4 5 6.4 (1 5 Y4)
Over 457-610 (18-24)	31.8 ± 7.9 (1¼ ± 5/16)	31.8 ± 7.9 (1% ± 5/16)	31.8 ± 7.9 (1¼ ± 5/16)	31.8 ± 7.9 (1¼ ± 5/16)
Over 610-762 (24-30)	38.1 ± 9.5 (1½ ± ⅜)	38.1 ± 9.5 (1½ ± ⅜)	38.1 ± 9.5 (1½ ± ⅜)	38.1 ± 9.5 (1½ ± ⅜)
Over 762-914 (30-36)	44.5 ± 11.1 (1¾ ± 7/16)	44.5 ± 11.1 (1% ± 7/16)	44.5 ± 11.1 (1% ± 7/16)	44.5 ± 11.1 (1¾ ± 7/16)
Over 914-1070 (36-42)	50.8 ± 12.7 (2 ± ½)	50.8 + 12.7 (2 ± ½)	50.8 ± 12.7 (2 ± ½)	50.8 ± 12.7 (2 ± ½)
Over 1070-1220 (42-48)	57.2 ± 14.3 (2¼ ± 9/16)	57.2 ± 14.3 (2¼ 5 %6)	57.2 ± 14.3 (2% ± 9/16)	57.2 ± 14.3 (2¼ ± 9/16)
Over 1220-1370 (48-54)	63.5 ± 15.9 (2½ ± ⅝)	63.5 ± 15.9 (2½ ± ⅝)	63.5 ± 15.9 (2½ ± ⅝)	63.5 ± 15.9 (2½ ± ⅝)
Over 1370-1520 (54-60)	69.8 ± 17.5 (2¾ ± 11/16)	69.8 ± 17.5 (2% ± 11/16)	69.8 ± 17.5 (2¾ ± 11/16)	69.8 ± 17.5 (2¾ ± 11/16)

Rough-machined diameter or width, mm (in.)	Allowance for overall rough-machined length, mm (in.), of: Over 3050-4060 (120-160)	Over 4060-5080 (160-200)	Over 5080-7620 (200-300)	Over 7620-10160 (300-400)	Over 10160-12700 (400-500)	Over 12700-15240 (500-600)
Over 25-75 (1-3)	14.3 (9/16) +4.8, −1.6 (+3/16, −1/16)	15.9 (⅝) +4.8, −3.2 (+3/16, −%)	25.4 ± 6.4 (1 ± ¼)	31.8 ± 7.9 (1% 5 5/16)	. . .	. . .
Over 75-152 (3-6)	15.9 (⅝) +4.8, −3.2 (+3/16, −⅛)	19.1 r 4.8 (¾ ± 3/16)	25.4 ± 6.4 (1 ± ¼)	31.8 ± 7.9 (1¼ ± 5/16)	. . .	. . .
Over 152-229 (6-9)	19.1 ± 4.8 (¾ ± 3/16)	22.2 (⅞) +6.4, −4.8 (+¼, −3/16)	31.8 ± 7.9 (1¼ ± 5/16)	38.1 ± 9.5 (1½ ± ⅜)	44.5 ± 11.1 (1¾ ± %6)	50.8 ± 12.7 (2 ± ½)
Over 229-305 (9-12)	22.2 (⅞) +6.4, −4.8 (+¼, −3/16)	25.4 ± 6.4 (1 ± ¼)	31.8 ± 7.9 (1¼ ± 5/16)	38.1 ± 9.5 (1½ ± ⅜)	44.5 ± 11.1 (1¾ ± 7/16)	50.8 ± 12.7 (2 ± ½)
Over 305-457 (12-18)	31.8 ± 7.9 (1¼ ± 5/16)	31.8 ± 7.9 (1¼ ± 5/16)	38.1 ± 9.5 (1½ ± ⅜)	44.5 5 11.1 (1¾ ± 7/16)	50.8 ± 12.7 (2 ± ½)	57.2 ± 14.3 (2¼ ± 9/16)
Over 457-610 (18-24)	38.1 ± 9.5 (1½ ± X)	38.1 ± 9.5 (1½ ± X)	44.5 ± 11.1 (1¾ ± 7/16)	50.8 ± 12.7 (2 ± ½)	57.2 ± 14.3 (2% ± 9/16)	63.5 5 15.9 (2½ ± ⅝)
Over 610-762 (24-30)	44.5 ± 11.1 (1¾ ± 7/16)	44.5 ± 11.1 (1% ± 7/16)	50.8 ± 12.7 (2 ± ½)	57.2 ± 14.3 (2¼ ± 9/16)	63.5 ± 15.9 (2½ ± ⅝)	69.8 ± 17.5 (2¾ ± 11/16)
Over 762-914 (30-36)	50.8 ± 12.7 (2 ± ½)	50.8 ± 12.7 (2 ± ½)	57.2 ± 14.3 (2¼ ± 9/16)	63.5 ± 15.9 (2½ ± ⅝)	69.8 ± 17.5 (2¾ ± 11/16)	76.2 ± 19.1 (3 ± ¾)
Over 914-1070 (36-42)	57.2 ± 14.3 (2¼ ± 9/16)	57.2 ± 14.3 (2% ± 9/16)	63.5 ± 15.9 (2½ ± ⅝)	69.8 ± 17.5 (2¾ ± 11/16)	76.2 ± 19.1 (3 ± ¾)	82.6 5 20.6 (3¼ 5 13/16)
Over 1070-1220 (42-48)	63.5 ± 15.9 (2½ ± ⅝)	63.5 ± 15.9 (2% ± ⅝)	69.8 ± 17.5 (2% ± 11/16)	76.2 ± 19.1 (3 ± ¼)	82.6 ± 20.6 (3¼ ± 13/16)	88.9 ± 22.2 (3½ ± ⅞)
Over 1220-1370 (48-54)	69.8 ± 17.5 (2% ± 11/16)	69.8 ± 17.5 (2¾ ± 11/16)	76.2 ± 19.1 (3 ± ¼)	82.6 ± 20.6 (3% ± 13/16)	88.9 ± 22.2 (3½ ± ⅞)	95.3 ± 23.8 (3¾ ± 15/16)
Over 1370-1520 (54-60)	76.2 ± 19.1 (3 ± ¾)	76.2 ± 19.1 (3 ± ¾)	82.6 ± 20.6 (3¼ 5 13/16)	88.9 ± 22.2 (3½ ± ⅞)	95.3 ± 23.8 (3¾ ± 15/16)	101.6 ± 25.4 (4 ± 1)

جدول ۱: تلرانس های مجاز برای فورج شافت ها و میله ها

(تلرانس به توصیف محدوده مجاز اندازه ها در فورج می پردازد)

Allowances and tolerances for diameters

Machined dimension, mm (in.)	Allowance, mm (in.)	Forging dimension, mm (in.)	Tolerance on forging, mm (in.)(a)
318 (12½)	25.4 (1)	343 (13½)	±6.4 (±¼)
241 (9½)	22.2 [(19.1 + 25.4) ÷ 2] (⅞ [(¾ + 1) ÷ 2])	264 (10⅜)	+6.4, −4.8 (+¼, −3/16)
165 (6½)	22.2 [(15.9 + 25.4) ÷ 2] (⅞ [(⅝ + 1) ÷ 2])(b)	187 (7⅜)	+6.4, −4.8 (+¼, −3/16)
127 (5)	22.2 [(14.3 + 25.4) ÷ 2] (⅞ [(9/16 + 1) ÷ 2])(b)	149 (5⅞)	+6.4, −4.8 (+¼, −3/16)

تلرانس ها و مقادیر مجاز در قطر

Allowances and tolerances for ends

Table allowance for 2490 mm (98 in.) length	12.7 mm (½ in.)
Table allowance for 318 mm (12½ in.) diameter	19.1 mm (¾ in.)
End allowance applicable (point 3 above)	19.1 mm (¾ in.) per end
Tolerance on 19.1 mm (¾ in.) end allowance	4.8 mm (3/16 in.) per end; 9.5 mm (⅜ in.) on total length

(a) From the table, for allowances of 25.4 and 22.2 mm (1 and ⅞ in.). (b) Because product is not in the table, the next-larger allowance is used (as noted in item 2 in the list of instructions at left above). Dimensions in figure given in inches

تلرانس ها و مقادیر مجاز برای انتها

در تکنولوژی جدید، کنترل ابعادی توسط تجهیزاتی که بر روی پرس بسته شده است انجام می‌گیرد. البته این تجهیزات خود باعث محدودتر شدن ماشین‌های سنگین پرس شده است. هر چند جهت کاهش خطاهای ابعادی، دقت در کنترل را بیشتر کنیم، نمی توانیم از مشکلات ماشین کاری اجتناب کنیم. به عنوان مثال سطوح دکربنیزه شده باید ماشین کاری شوند در حالی که نمی‌توان مقدار خاصی را برای آن در نظر گرفت.

تلرانس به توصیف محدوده مجاز می پردازد. مقادیر مجاز تلرانس را می توان از جدول ۱ استخراج نمود. تلرانس ها تقریبا یک- چهارم(بیشتر یا کمتر) مقادیر مجاز می‌باشند.

۲-۱۵-۲- تختی و هم محوری. میزان تختی و هم محوری معمولا بر اساس توافقی است که بین آهنگر و مشتری صورت می‌گیرد. اگر چه غالبا در ساخت قالب های فورج باز ناگزیر به رعایت خصوصیاتی محرز می‌باشد. به عنوان مثال جهت فورج یک قطعه کاربردی صفحه‌ای خاص با قطر ۶۱۰ میلیمتر (۲۴ اینچ)، می‌توان میزان لنگی و دایره‌ای بودن حداکثر به اندازه ۶.۴ میلیمتر در نظر گرفت، و تختی نیز نباید از ۴.۸ میلیمتر بیشتر شود. جهت فورج صفحات با قطرهای بزرگتر از ۶۱۰ میلیمتر، لنگی و غیر دایره ای بودن نباید از ۹.۸ میلیمتر بیشتر باشد و تختی نیز در محدوده ۶.۴ میلیمتر قرار گیرد.

۲-۳. پریفرم سازی در فرآیند فورج قالب باز :

از انواع قطعاتی که با استفاده از این روش تولید می شود می توان انواع واشرها ، رینگ ها ، بوش ها ، محور توربین ، رتورها ، محور کشتی ها ،دسته پیستون میل لنگ ها ، مخازن تحت فشار راکتورها و تعدادی از قطعات و ابزار بزرگ مورد استفاده در کارگاههای فولاد سازی و شکل دادن را نام برد .

در فرآیند فورج با قالب باز ، زما نیکه قطعه بین دو صفحه مسطح و موازی ، تحت فشار قرار می گیرد ، نحوه ی سیلان و تغییر شکل حاصل از آن ارتباط شدیدی به اصطکاک بین سطح تماسی قطعه و صفحات فشار و سرعت تغییر شکل (به ویژه در آهنگری داغ) دارد .

تعیین توزیع تنش ، تغییر شکل و دما ، در این فرآیند با مشکلاتی همراه است . این مشکلات ناشی از شرایط ناپایدار و شرایط مرزی مانند اصطکاک بین سطح تماس قطعه و ابزار و تأثیر آن بر روی سیلان ماده است که در فرآیند فورج قابل تعیین نیستند .

نکات

۱/ در برنامه ریزی تولید قطعات ، جهت صرفه جویی در مصرف انرژی و هزینه های تولید جهت دستیابی به راندمان بالا در مدت زمان کوتاه لازم است زمان حرارت دهی به قطعه و تعداد مراحل تولید تا حد امکان کاهش یابد .

۲/ در طراحی و انتخاب اندازه شمش ها یا لقمه های خام اولیه بایستی سعی شود از مقدار دور ریز تا حد امکان کاسته شده و ارتباط بین خواص مکانیکی (به ویژه مقاومت در مقابل ضربه و حد تحمل در مقابل نیروهای تناوبی) و ساختار متالوژیکی مورد توجه قرار گیرد .

۳-۳. فرآیند فورج در قالب بسته (Closed die Forging)

در آهنگری با قالب بسته ، تغییر شکل و یا شکل قطعه ، به شکل ابزار بستگی دارد . بطوریکه شکل گیری قطعه با قرار گرفتن قالب بالایي و قالب پائینی در مقابل یکدیگر انجام می شود .

(شکل ۹-۱) دراین روش تمامی قطعه تحت عملیات تغییر شکل قرار می گیرد .

کاربرد فورج با قالب های بسته در تولید قطعات(اولیه ، نیمه تمام و نهایی است)وزن قطعات تولید شده از ۵۰gr تا 1.5ton می باشد .

قطعات مورد استفاده در فرایند فورج در قالب های بسته

۱- ماشین آلات و وسایل نقلیه زمینی و هوایی

۲- پیچ و مهره و پین

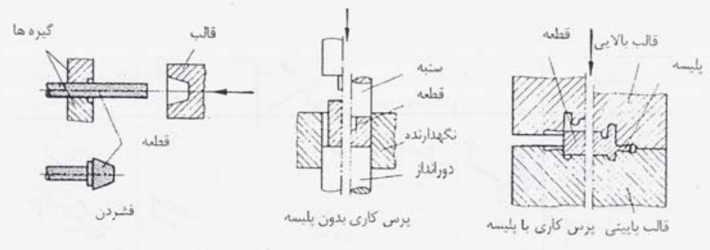
۳- ابزار همانند چکش ، انواع آچارها ، انبردست ، قالب و ...

۴- ابزارهای برش (چاقو ، کارد و ...) و ابزار جراحی

۵- چرخ دنده های استوانه ای و مخروطی شکل

۶- پرهای توربین

شکل (۹-۷) روشهایي از آهنگری با قالب های بسته را نشان می دهد . این روش جهت تولید قطعاتی با شکل هندسی معین و تا حد امکان با دقت ابعادی و حجمی مناسب بکار برده می شود .



شکل ۷.۹ روش فورجینگ با قالب بسته با قالب‌هایی از نوع مختلف[۲].

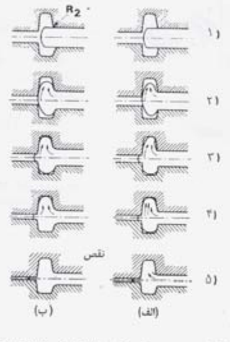
۳-۳-۱. تقسیم بندی فرآیند های فورج در قالب بسته :

روشهای فورج در قالب بسته به دو دسته ذیل طبقه بندی می شوند :

I *فورج در قالب بسته با زائده (پلیسه) (**Closed Die Forging With Flash**)*

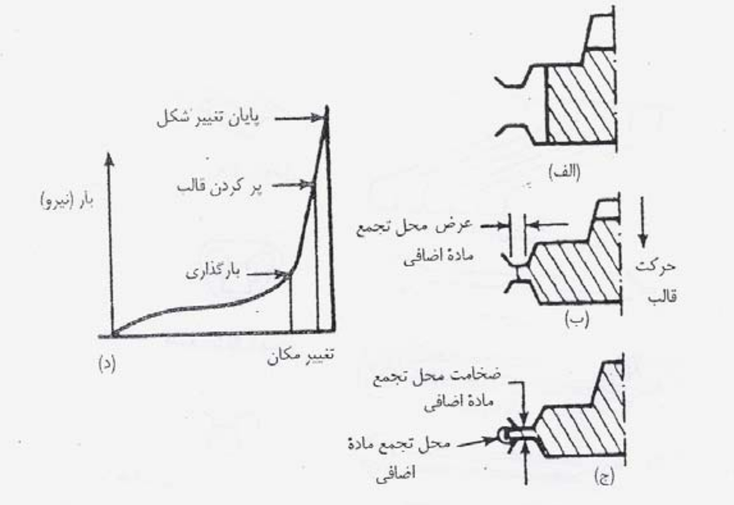
II *فورج در قالب بسته بدون زائده (**Closed Die Forging Withought Flash**)*

شکل (۹-۷) این دو روش را توضیح می دهد .
روشی که در صنعت کاربرد بیشتری دارد فورج در قالب های بسته با زائده (پلیسه) است . دلیل این موضوع این است که : طراحی قالبهای میانی به منظور تولید انبوه ممحصولات بدون زائده (پلیسه) مشکل است .
در روش فورج با استفاده از قالب های با زائده ی $(flash)$ دو نیمه بالایی و پائینی قالب کاملاً روی همدیگر قرار نمی گیرند . و به اندازه ی کمی از همدیگر فاصله دارند . علاوه بر آن در مواردی لازم است در قالب مذبور در کنار شکل اصلی یک فرورفتگی یا شیاری به منظور فراهم ساختن امکان سیلان و خارج شدن مواد اضافی پس از پر شدن قالب و جلوگیری از شکست قالب ، پیش بینی نمود . این پیش بینی به این دلیل باید مورد توجه قرار گیرد که انتخاب مواد اولیه به صورت کاملاً دقیق و کافی جهت تولید هر قطعه مشکل است . از این رو جهت اطمینان کامل نسبت به پر شدن کامل قالب و در نتیجه بدست آوردن قطعه کامل وسالم لازم است همواره حجم ماده او لیه به اندازه ی جزیی بیش از حجم ماده ی لازم برای قطعه باشد . فضای پیش بینی شده در محفظه قالب مکان $(flash)$ نباید به گونه ای باشد که ماده قبل از پر کردن تمامی فضای قالب به راحتی وارد آن شود . از طرفی این فضای پیش بینی شده باید به گونه ای باشد که زائده ی حاصل تا حد امکان کوچک باشد هم از لحاظ ضخامت و هم از لحاظ عرض شکل (۹-۸) شکل گیری عیب را به دلیل کوچک بودن شعاع انحناء فرآیند در فورج را نشان می دهد .



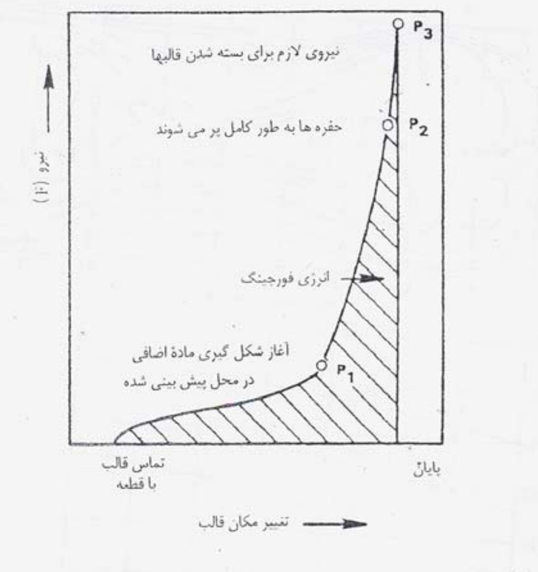
شکل ۸.۹ شکل گیری عیب در فورجینگ به علت کوچک بودن شعاع انحناها [۷].

شکل (۹-۹) تأثیر ضخامت و عرض $(flash)$ پلبیسه را بر نیروی لازم جهت پر نودن محوطه قالب را نشان می دهد . مطابق نمودار ، ابتدا نیرو با کاهش ضخامت و افزایش عرض $(flash)$ افزایش می یابد . زیرا اصطکاک افزایش یافته و درجه ی حرارت ماده در$(flash)$ کاهش یافته است .



شکل ۹.۹ سیلان فلز و منحنی نیرو تغییر مکان در فورجینگ با قالب بسته، الف) آغاز سیلان، ب) پرکردن قالب، ج) پایان تغییر شکل، د) منحنی نیرو-تغییر مکان[۷]

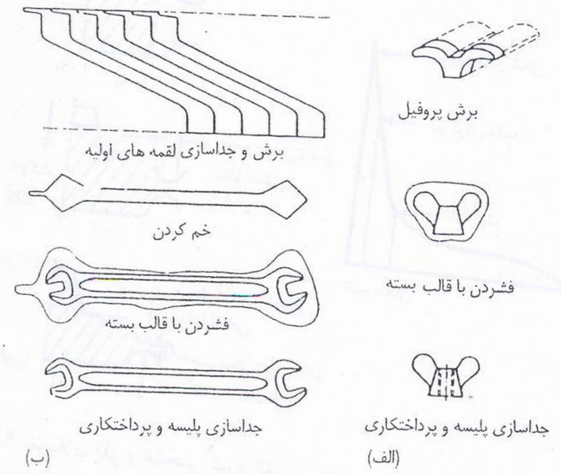
شکل (۹-۱۰) نمونه ای از منحنی مربوط به تغییرات نیرو را نسبت به جابجایی نیرو در فرآیند فورجنیگ با قالب بسته نشان می دهد . جهت موفقیت درانجام فرآیند رعایت دو شرط لازم است ، یکی کافی بودن ماده و دیگری راحتر بودن سیلان ماده در پیچ و خم های قالب از سیلان در مسیر باریک به سمت جایگاه پیش بینی شده بر ای ماده اضافی .



شکل ۱۰.۹ منحنی نیرو-تغییر مکان برای فورجینگ با قالب بسته [۷]

۳-۳-۲.نکات مهم در فرآیند فورج در قالب بسته

یکی از مهمترین نکات قابل توجه در آهنگری با قالب بسته ، طراحی مناسب لقمه یا لقمه ی اولیه است . طراحی باید به گونه ای باشد که در پایان عملیات فورج قطعه ی تولید شده بدون عیب باشد . از طرفی نیز میزان موارد به حداقل ممکن تقلیل یابد . (شکل ۹-۱۱)



شکل ۱۱.۹ مثال‌هایی برای حالت‌های خاص، الف) برش میله‌های اولیه برای تولید مهرهٔ پروانه‌ای، ب) برش لقمه‌های اولیه برای تولید آچارهای تخت، [۲]

ماده اضافی(*flash*) باعث سیلان اضافی ماده شده در نهایت سایش و استهلاک بیشتر قالب را در پی دارد.

معمولاً طراحی شکل و حجم لقمه ی اولیه و همچنین طراحی شکل قالب در مراحل مختلف فرآیند فورجنیگ جهت تولید قطعه ای با شکل مهندسی پیچیده به منظور سیلان راحت و مناسب و توزیع صحیح و کافی ماده در تمام فضاهای پیچیده درون محفظه ی قالب و پر شدن کامل قالب مسئله ی چندان ساده ای نبوده و مستلزم مهارتهای زیادی است که فقط در طی سالها تجربه می تواند کسب شود .

با توجه به تنوع وسیع در شکل قطعات تولید شده از طریق فورج اطلاعات کمی در این خصوص انتشار یافته و بیشتر وتجارت کسب شده جزء اطلاعات محرمانه ی شرکت هاست .

خصوصیات محصولات فورج با قالب بسته

۱- دقت شکل هندسی وابعادی بالا

۲- استحکام استاتیکی و دینامیکی بالا

۳-پایین بودن هزینه های تولید در نتیجه نزدیکی شکل به شکل نهایی قطعه وعدم نیاز به عملیات ماشینکاری(دربرخی موارد)

عوامل مؤثر بر استحکام محصولات فورج

۱- استحکام ،که خود به جنس قطعه،عملیات حرارتی و یاترمومکانیکی انجام گرفته برروی آن بستگی دارد.

۲- موقعیت لایه خارجی،از لحاظ تنش های داخلی در آن ،سختی و نوع پرداخت کاری سطح خارجی(براده برداری شده ،ماسه پاشی واز این قبیل،عملیات حرارتی سطحی)

۳- شکل هندسی وچگونگی تغییر ابعاد (تیز ،انحناءدارو شعاع انحنا)

۴- نوع بار و چگونگی توزیع آن برروی قطعه

۵- خصوصیات ویژه قطعات آهنگری شده مانند ساختار رشته ای (لایه ای)

۳-۳-۳. تأثیر دما در فرآیند فورج در قالب بسته:

دمای قطعه در حد قابل ملاحظه ای برروی تنش سیلان ، قابلیت شکل پذیری وخواص مکانیکی قطعه تأثیردارد.

توزیع درجه حرارت در قطعه قبل ،درحین تولیدوبعداز عملیات فورج برحسب موقعیت مکانی وزمانی به دلایل ذیل غیر یکنواخت است:

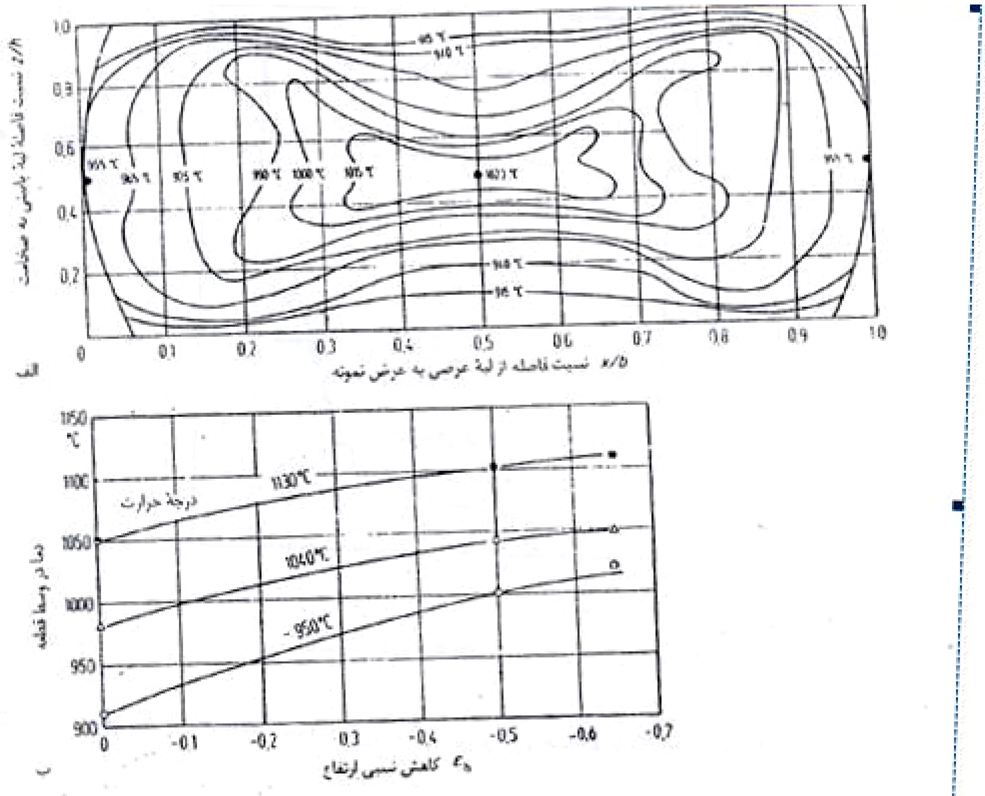
۱-گرم شدن غیر یکنواخت در کوره پیش گرم

۲-اتلاف حرارت در موقع انتقال از طرق تشعشع واز طریق انتقال حرارت در نتیجه تماس با تکیه گاه واحیاناً تماس باغلتک های هادی.

۳-اتلاف حرارت در هنگام تغییر شکل در نتیجه انتقال حرارت از طریق تماس قطعه با ابزار تغییر شکل (قالب)

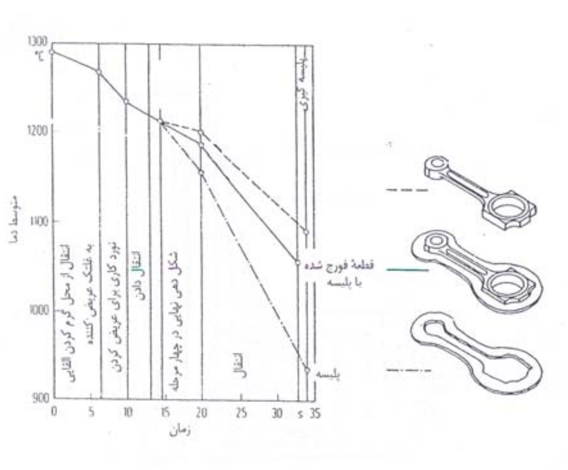
۴-افزایش دما در نتیجه تبدیل کار اصطکاکی وکار تغییر شکل در قطعه فورج شده

- بنابراین تعیین چگونگی توزیع دما در قطعه در حال فورج،به ویژه در عملیات فورج چند مرحله ای متوالی کار ساده ای نیست وبسته به ضریب هدایت حرارتی برای مواد مختلف متفاوت است .
- توزیع دما در قطعه ی فورج شده در پایان عملیات تغییر شکل به خواص حرارتی ماده ی قطعه لایه های میانی،درجه حرارت ابتدایی قطعه وابزار تغییر شکل،حرارت حاصل از اصطکاک ،میزان تغییر شکل(ویراکشن)،ابعاد قطعه در قسمتهای مختلف آن ،زمان تماس قطعه وابزار تغییر شکل، وضریب هدایت حرارتی قطعه و قالب ، بستگی دارد.
- در قطعات با ضخامت زیاد و درصد تغییر شکل بالا ، دمای موضعی در پایان عملیات تغییر شکل می تواند بیش از دمای ابتدایی باشد .(شکل۹-۱۲توزیع دما در عملیات پرس میل لنگ)



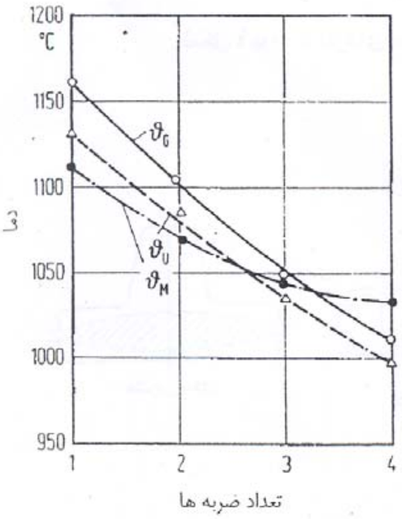
شکل ۱۲.۹ توزیع دما در عملیات پرس میل لنگ، الف) خطوط همدما (ایزوترم) به دست آمده از طریق فتوترمیک (b_0 = ۳۲ mm، m=۱/۸ kg، T=۹۵۰ °C، ε_h = -۰/۵، ب) دما در مرکز قطعه در ارتباط با ε_h(b_0=۱۷ mm، h_0=۲۴ mm، m = ۰/۵۵kg) [۲]

در تغییر شکل های چند مرحله ای معمولاً دما کاهش می یابد (شکل ۹-۱۳) منحنی دمای متوسط اندازه گیری شده فورج یک دسته شاتون را نشان می دهد .



شکل ۱۳.۹ دمای متوسط قطعهٔ فورج شده و پلیسه در عملیات فورجینگ یک دسته شاتون، (جنس قطعه فولاد CK ۳۵، وزن نهایی قطعه m=۰/۹ kg)

شکل (۹-۱۴) دمای اندازه گیری شده در نقاط مختلف قطعه

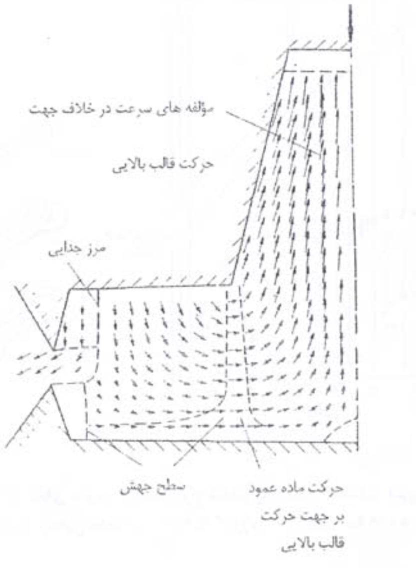


شکل ۱۴.۹ تغییرات دما در عملیات فورجینگ در چکش بالایی در ارتباط با تعداد ضربه‌ها برای دست‌یابی به ضخامت معینی از پلیسه. ϑ_G دمای پلیسه، ϑ_U دمای منطقه تغییر شکل، ϑ_M دمای مغز قطعه (دمای تغییر شکل ۱۱۵۰°C، دمای محیط ۲۰°C، kg m=۰/۲، s=۱/۶ mm، b/s=۴/۷، زمان تناوب هر ضربه ۱ ثانیه، [۲]

۴-۳-۳ . چگونگی سیلان در عملیات فورج در قالب بسته

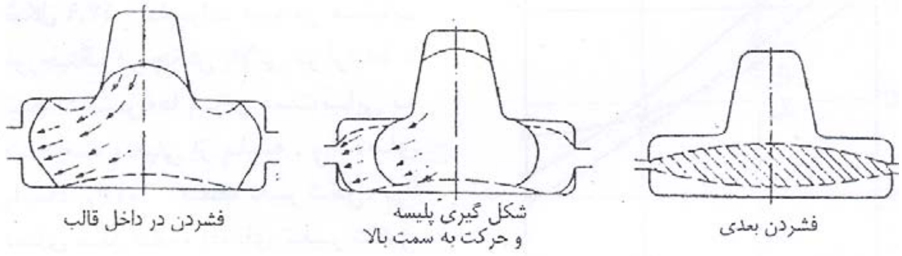
نحوه ی سیلان ماده در شکل دهی و عملیات فورج در قالب بسته به میزان قابل توجهی به شکل ابزار تغییر شکل و قالب) بستگی دارد . جهت بررسی چگونگی سیلان ماده می توان از عواملی مانند :

۱- بردارهای سرعت ماده ، مرزهای جدایی و صفحه های جهش (شکل ۹-۱۵)



شکل ۱۵.۹ بردارهای سرعت در فرایند نشردن با پلیسه [۲]

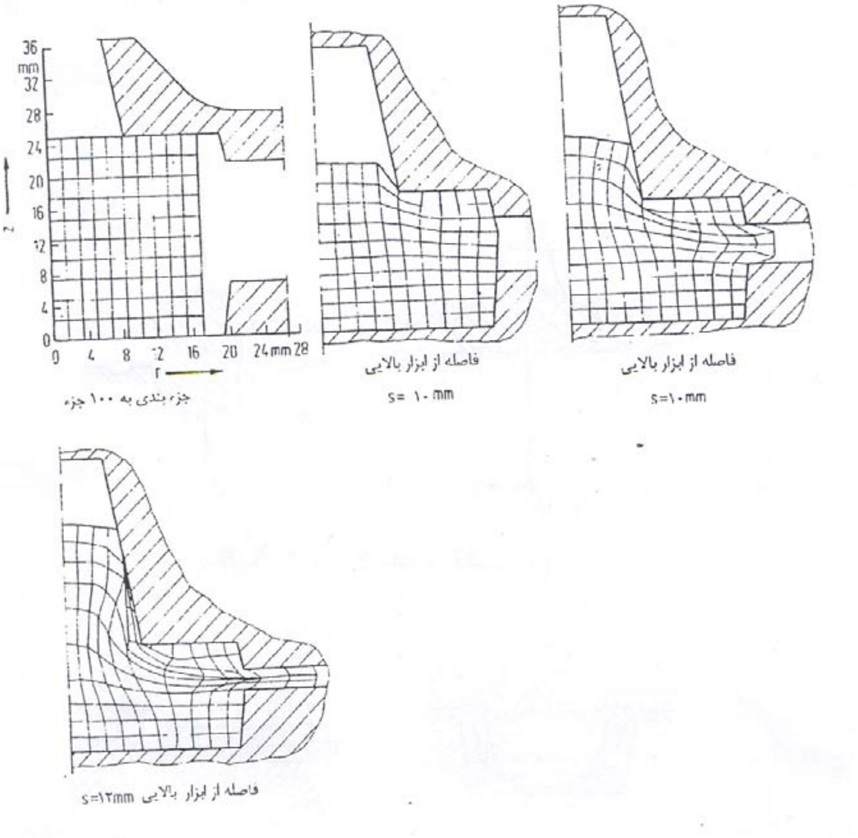
۲- شکل خارجی لحظه ایی به ویژه در پایان هر یک از عملیات تغییر شکل استفاده نمود (شکل ۹-۱۶) نقاط یا مرز خنثی و صفحه های جهش در فشردن را نشان می دهد.



شکل ۱۶.۹ نقاط یا مرز خنثی و صفحه‌های جهش در فشردن با پلیسه، [۲]

- شکل ۹-۱۷ ، مرزهای جدایی سطوحی هستند که محدوده های با جهت سرعت متفاوت را از هم جدا می سازد . به گونه ای که مؤلفه ی عمودی سرعت در سطح از نقطه O می گذرد .

(شکل خارجی لحظه ای با محاسبه ی جزء محدود در فشردن, شکل ۹-۱۷)



شکل ۱۷.۹ شکل خارجی لحظه‌ای با محاسبهٔ جزء محدود در فشردن با پلیسه، [۲]

در مرز جدایی ، سیلان با تغییر جهت همراه است . تغییر سرعت در این سطح به طور جهشی انجام می گیرد . این سطوح به ویژه شامل سطوحی است که تغییر شکل پلاستیکی را از تغییر شکل الاستیک جدا می نماید .

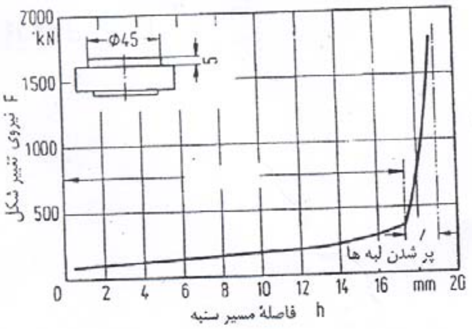
- سیلان مواد در (ابزار آهنگری با قالب بسته)، بیش از همه به شکل قالب (اندازه ، نوع ، پیچیدگی شکل هندسی قالب و شعاع لبه ها) بستگی د ارد .

شکل هندسی ناحیه *flash* (در حالات مختلف شکل گیری ماده) روی سیلان مواد مؤثر است . به گونه ای که ممکن است سیلا ن ماده در جهت خاصی شکل گیرد .

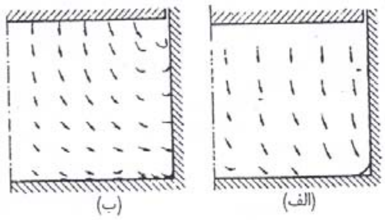
- چگونگی سیلان ماده را می توان به کمک مدل سازی و محاسبات عدد به روش المان محدود نیز بررسی نمود . در این روش تطابق مناسبی بین محاسبه و اندازه گیری عملی صورت می پذیرد . (مسائل تقارن محوری دو بعدی) با این وجود مقادیر عددی دقیقی برای شرایط مرزی در رفتار ماده شرط اولیه ا ی برای تحلیل مطمئن تئوری عملیات است . بر عکس تحلیل مسائل تئوری تغییر شکل سه بعدی هنوز پیچیده است .

در فرآیند فورج درقالب بسته ، بدون *flash* ، صرفنظر از مشکلات موجود کنترل تغییرات حجم ، پر کردن لبه های قالب با اعمال نیروی زیاد ، امکان پذیر است . (شکل ۹-۹)

در نمودار نیرو – لغزش ، بیانگر افزایش شدید نیرو در موقع پر شدن لبه هاست . (شکل ۹-۱۹) خطوط لغزش را برای هر یک از ذرات ماده در موقع سیلان ماده جهت پر نمودن لبه ها را نشان می دهد .



شکل ۱۸.۹ تغییرات نیرو در فورجینگ با قالب بسته و بدون پلیسه، جنس قطعه C ۱۵، درجه حرارت تغییر شکل ۱۲۰۰°C، روانکاری با روغن - گرافیت، [۱]

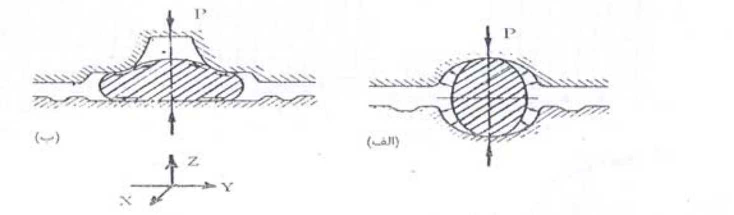


شکل ۱۹.۹ خطوط لغزش برای فورجینگ با قالب بسته بودن پلیسه در موقع ورود به لبه‌های قالب، الف) بالا رفتن، ب) عریض شدن، [۱]

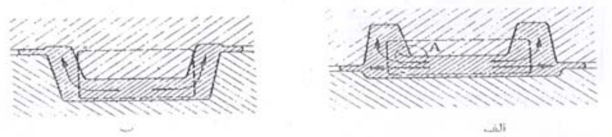
- درفرآیند فورج در قالب بسته ، بدون *flash* ، تجمع موضعی و غیر یکنواخت ماده می تواند موجب پدیدار شدن محل های خالی در یک طرف شود . در این گونه موارد فشار به طور غیر یکنواخت به قالب اعمال می شود . به دلیل ایجاد تنش های متفاوت (گرادیان تنش) ، امکان ایجاد*flash* موضعی درسطح قاعده قطعه کار وجود دارد .

- بر اساس بررسی های انجام شده ، پر شدن کامل لبه ها یکی از مسائل مهم در فرآیند فورج است . لذا چنانچه قطعات دارای برآمدگی های موضعی در یک طرف باشند بایستی ماده اضافه در پریفرم اولیه قطعه پیش بینی شود تا از پر شدن قالب یقین حاصل گردد .
- اساساً به دلیل مقاومت تغییر شکل کم ، در مواردی که برآمدگیها و فرو رفتگی های بیشتری در طراحی وجود داشته باشد ، ابتدا قسمتهای عمیق قالب پر شده سپس با افزایش شدید مقاومت در مقابل تغییر شکل ، دیگر قسمتهای قالب پر می شود .
- بر عکس در قطعات فورجی که دارای قسمتهای عمیق می باشند ، مشکلات کمتری در فورج با قالب های بسته بدون *flash* ایجاد می شود .
- جهت جلوگیری از ایجاد عیب در اطراف دیواره های قالب که از سیلان غیر یکنواخت ماده ناشی می شود ، لازم است قبل از تغییر شکل نهایی ، توزیع داده به طور دقیق و محاسبه شده صورت پذیرد .

شکل ۹-۲۰ سیلان ماده درقالب بسته و با *flash* را نشان می دهد . مطابق شکل مزبور سیلان ماده در آغاز تغییر شکل ، از طریق غلتیدن و لغزیدن و در پایان تغییر شکل از طریق لغزش ، همراه با سیلان در جهت شکاف پیش بینی شده جهت (ایجاد) پلیسه انجام می گیرد و چنانچه شکل هندسی ابزار به دقت با شرایط اعمال شده (جنس ، درجه حرارت ، اندازه قطعه ، ابعاد اصلی) به ویژه ر ارتباط با شعاع لبه ها مطابقت نداشته باشد ، عیوبی مانند عیبی که در محل A از شکل ۹-۲۱ نشان داده شده ظاهر می شود .



شکل ۲۰.۹ سیلان ماده در قالب، [۱]



شکل ۲۱.۹ سیلان ماده در حین تغییر شکل، الف) سیلان به سمت بالا، ب) سیلان در موقع عریض شدن، ----- شکل-اولیه. امکان ایجاد عیب در محل A، [۲]

- چنانچه از حفره های ناصاف قالب بالایی و پائینی ماده به داخل شکاف سیلان یابد گسستگی در مسیر بافت ساختاری رخ می دهد .

این پدیده می تواند در موار حساس ، حد تحمل را به میزان قابل توجهی کاهش دهد . درحالی که استحکام زمانی وتغییر طول نسبی چندان تحت تأثیر قرار نمی گیرد .

فورج در قالب بسته در چکش ها و پرس ها

(Closed-die Forging in hammers and presses)

فورج قالب بسته یا فشاری، عبارت است از شکل دادن فلز داغ به طور کامل درون دیواره ها و حفره های دو قالب نسبت به یکدیگر از تمام جهات. فشار فورج می تواند به طور کامل در هر یک از قالب ها و یا بین قالب بالا و پایین تقسیم شود. در این فرایند ماده اولیه به صورت شمش با مقطع مربع یا گرد با در نظر گرفتن حجم مورد نیاز جهت پر نمودن حفره های قالب، بریده می شود. همچنین مقداری اضافه ماده مجاز برای پلیسه[۲۸] و گاهی جهت نگاه داشتن قطعه در نظر گرفته می شود. نکته: پلیسه (فلش) در قالب بسته همانند یک شیر اطمینان در مقابل فشار زیاد همچنین به عنوان یک ترمزی جهت خروج جریان فلز عمل می کند زیرا بایستی اجازه پر شدن کامل ماده را در محفظه قالب بدهد.

۱-۱ - توانایی هایی فرایند فورج در قالب بسته

قالب های فورج بسته، جهت تولید اشکال پیچیده با اعمال ریداکشن های بالا به کار برده می شوند. در مقایسه با قالب های فورج باز محصول تولید شده از تلرانس ابعادی بسته تری برخوردار است. قالب های فورج باز، نوعا جهت عملیات فورج اشکال ساده یا قطعات بزرک که نتوان ان ها را در قالب های فورج بسته تولید نمود، به کار برده می شوند. محصول خروجی حاصل از قالب فورج بسته نسبت به قالب فورج باز نیاز کمتری به عملیات ماشین کاری دارد.

عملیات فورج در قالب بسته مطابق با حجم بالا یا حجم پایین محصول در نظر گرفته می شود. علاوه بر تولید یک شکل نهایی یا نزدیک به شکل نهایی، فلز شکل داده شده در این نوع قالب ها اجازه سیلان در یک جهت را می یابد و همچنین شرایط سیلان ماده تحت کنترل قرار می گیرد.

نکته: در اغلب موارد خواص مکانیکی در جهت طولی بهبود می یابد.

[28] flash

۱-۱-۱- اندازه. قطعاتی که در قالب بسته تولید می شوند از چند اونس تا چند تن می باشد. حداکثر ابعاد قطعه ای که می توان با این روش تولید نمود تنها به تجهیزات فورج و امکانات موجود بستگی دارد.

ما می توانیم قطعات به وزن 25400kg را به طور موفقیت امیزی در قالب بسته فورج کنیم، اگر چه ۷۰٪ محصولات دارای وزنی کمتر از 0.9kg هستند.

۱-۱-۲- شکل. جهت تولید اشکال غیر متقارن پیچیده که نیاز به تعداد عملیات کمی دارند، می توان از قالب بسته استفاده کرد. همچنین از دیگر فرایند ها به صورت ترکیبی برای تولید قطعات پیچیده تر و تلرانس های بسته تر استفاده می شود. سکه زنی سرد[۲۹] و مونتاژ دو یا چند قطعه فورج توسط جوشکاری ، مثال هایی از فرایند های دیگر است که می توانند در محدوده فرایند فورج در قالب بسته گسترش یابند.

۱-۲- مواد فورج

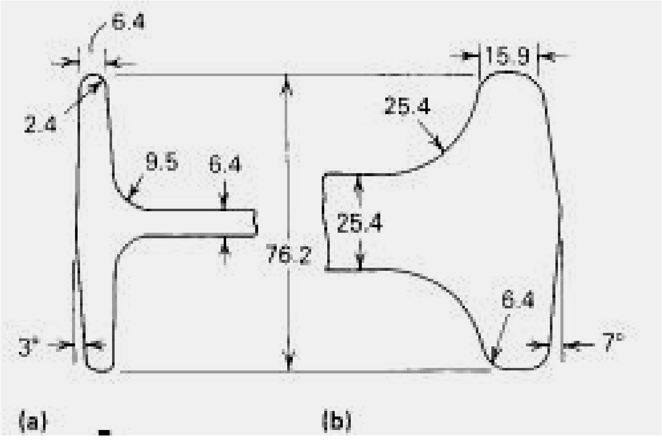
در فرایند فورج قالب بسته، یک ماده بایستی دو نیاز اساسی را بر طرف نماید. اول: استحکام ماده(تنش سیلان) باید به گونه ای پایین باشد که فشار اعمالی به قالب در محدوده تغییر شکل ابعادی مواد قالب نبوده و قالب فورج مزبور صلبیت خود را تا پایان مرحله فورج حفظ نماید. دوم: قابلیت فورج پذیری ماده باید به گونه ای باشد که اجازه تغییر شکل مورد نیاز را بدون انکه شکست یا عیوبی در ان ایجاد شود، تامین نماید. عرفاً فورج قالب بسته به کار گرم ماده بر می گردد.جدول یک لیست انواع گروه های آلیاژی و محدوده دمایی فورج را بر اساس افزایش سختی فورج نشان می دهد .

Alloy group	Approximate forging temperature range °C	°F
Least difficult		
Aluminum alloys	400-550	750-1020
Magnesium alloys	250-350	480-660
Copper alloys	600-900	1110-1650
Carbon and low-alloy steels	850-1150	1560-2100
Martensitic stainless steels	1100-1250	2010-2280
Maraging steels	1100-1250	2010-2280
Austenitic stainless steels	1100-1250	2010-2280
Nickel alloys	1000-1150	1830-2100
Semiaustenitic PH stainless steels	1100-1250	2010-2280
Titanium alloys	700-950	1290-1740
Iron-base superalloys	1050-1180	1920-2160
Cobalt-base superalloys	1180-1250	2160-2280
Niobium alloys	950-1150	1740-2100
Tantalum alloys	1050-1350	1920-2460
Molybdenum alloys	1150-1350	2100-2460
Nickel-base superalloys	1050-1200	1920-2190
Tungsten alloys	1200-1300	2190-2370
Most difficult		

جدول1

[29] Cold coining

همچنین مواد فورج خود بر روی طراحی، همانند جزئیات فرایند، تاثیر می گذارد. شکل ۱ مقایسه فورج دو نوع طراحی برای آلیاژ نیکل و الومینیم را نشان می دهد. به دلیل مشکلاتی که در فورج آلیاژ نیکل نسبت به الومینیوم وجود دارد، پری فرم ان نسبت به الومینیوم تغییر یافته است.



شکل ۱: مقایسه محدوده طراحی برای فورج web-rib
a: الومینیم b: آلیاژ پایه نیکل

برای یک فلز مشخص، دو پارامتر تنش سیلان[۳۰] و قابلیت فورج پذیری[۳۱] تحت تاثیر مشخصه های متالورژیکی ماده، دما، کرنش ها، نرخ کرنش ها و تنش هایی که در حین تغییر شکل ماده رخ می دهد، قرار می گیرند.

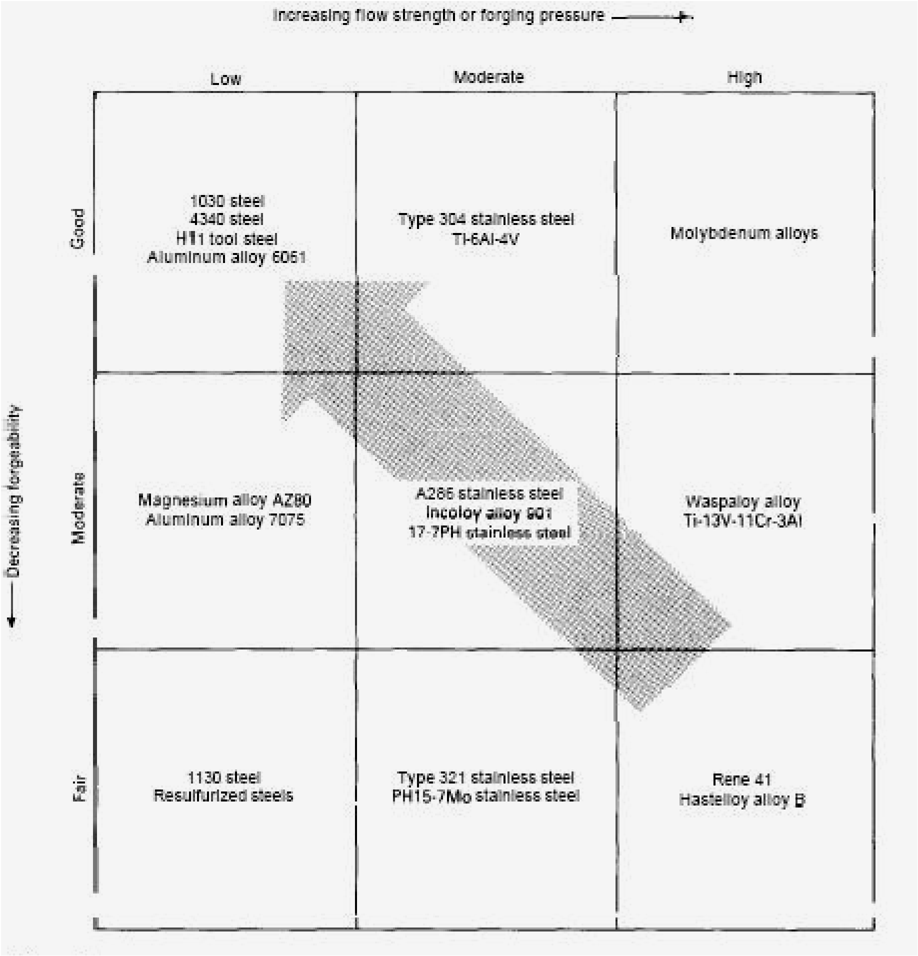
در اغلب عملیات فورج داغ، دمای قطعه کار از دمای قالب ها بیشتر است. سیلان فلز[۳۲] و پر شدن قالب به طور گسترده ای توسط مقاومت و قابلیت فورج سیلان ماده تعیین می شود. که تنش سیلان و قابلیت فورج پذیری تحت تاثیر اصطکاک و سرد شدن ماده، در فصل مشترک ماده/ قالب و پیچیدگی شکل هندسی قطعه کار قرار می گیرد.

دو مشخصه ماده، تنش سیلان، که نشان دهنده مقاومت فلز در مقابل تغییر شکل پلاستیک و فورج پذیری، که نشان دهنده قابلیت تغییرشکل فلز بدون شکست است، بدون انکه به بزرگی تنش ها و بار توجه شود، برای یک تغییر شکل لازم است.

[30] Flow stress
[31] Forgeability
[32] Metal flow

مفهوم فورج پذیری به عنوان ترکیبی از مقاومت به تغییر شکل و قابلیت تغییر شکل بدون شکست مورد استفاده قرار می گیرد.

دیاگرامی که اینگونه اطلاعات را نمایش می دهد در شکل ۲ نشان داده شده است .



شکل۲: اثر قابلیت فورج کاری و استحکام جریان در پر کردن قالب

از انجا که مقاومت فلز به تغییر شکل پلاستیک اساسا توسط تنش سیلان ماده در شرایط دمای و نرخ کرنش مختلف تعیین می شود، این پارامتر به عنوان قابلیت فورج پذیری ماده بدون ایجاد شکست در ان، صرف نظر از مقادیر بار و فشار مورد نیاز مطرح است.

در مجموع قابلیت فورج پذیری مواد با افزایش دما، افزایش می یابد. با افزایش دما، رشد دانه رخ می دهد لذا در برخی سیستم های آلیاژی، فورج پذیری با افزایش اندازه دانه، کاهش می یابد. در آلیاژ های دیگر، قابلیت فورج پذیری تحت تاثیر فاز ثانویه قرار می گیرد.

حالت تنش در یک فرایند تغییر شکل داده شده به طور قابل توجهی بر قابلیت فورج پذیری تاثیر می گذارد. در فرایند فورج upset ممکن است در ریداکشن های بالا مثلا در لایه های خارجی بیلت ترک رخ دهد، به خصوص در جایی که بشکه ای شدن رخ می دهد تنش کششی افزایش می یابد. درعملیات های فورج نوع اکستروژن، تنش های محوری ممکن است در منطقه تغییر شکل داده باعث ترک داخلی شود. به عنوان یک قانون کلی و عملی، مهم است که تکیه گاه فشاری برای قسمت هایی که فورج پذیری کمتری دارند و در حالت عادی در معرض تنش های برشی و کششی قرار می گیرند، در نظرگرفته شود. فورج پذیری فلزاتی را که در نرخ های تغییر شکل و دماهای مختلفی قرار دارند، می توان با برخی تست ها مانند تست پیچش، کشش و فشار، تخمین زد. در همه این تست ها مقدار تغییر شکل قبل از شکست نمونه، به عنوان یک شاخصی از قابلیت فورج در دماها و نرخ های تغییر شکل در نظر قرار می گیرد.

۱-۳- اصطکاک و روانکاری در فرایند فورج

در فرایند فورج، اصطکاک بر روی جریان فلز، توزیع فشار، بار و انرژی لازم تاثیر به سزایی دارد. علاوه بر روانکاری بایستی اثرات خنک شدن قالب یا انتقال گرما از مواد داغ به قالب سرد مورد بررسی قرار گیرد.

به عنوان مثال برای یک روانکاری مناسب، ما نمی توانیم داده های مربوط به اصطکاک، که از فرایند فورج با پرس هیدرولیکی استخراج می شود را برای فورجکاری با پرس های مکانیکی یا چکشی استفاده کنیم حتی اگر دمای قالب ها و بیلت همانند هم باشد(همدما).

در فرایند فورج وظایف روانکار به شرح زیر است:

- کاهش لغزش بین قالب و قطعه کار به منظور کاهش فشار لازم جهت پر کردن حفره و کنترل جریان فلز
- روانکار به عنوان یک عامل جهت جدایش میان قالب و قطعه کار عمل نموده و از جوشکاری موضعی و خرابی پی در پی سطوح قالب و قطعه جلوگیری می نماید.
- دارا بودن خواص ایزوله، لذا هدر رفتن گرمای قطعه کار کاهش یافته و نوسان دما در سطح قالب کمتر می شود.

- روانکار سطح قالب را می پوشاند. بنابراین روانکاری موضعی را کاهش داده و از جریان نامناسب فلز جلوگیری می کند.
- افزایش فشار متعادل جهت کمک به رها کردن قطعه از قالب. این خاصیت علی الخصوص در فورج چکشی که از پران نیز استفاده نمی شود حائز اهمیت است.
- روانکار بایستی عاری از ذرات سمی و الوده باشد وهنگام کار دود تولید نکند.

از انجا که هیچ روانکاری نمی تواند همه نیازهای ذکر شده را تامین نماید، لذا بسته به شرایط تولید، روانکار بایستی ترکیبی از ویژگی های گفته شده را در مجموع داشته باشد. روانکارها می توانند به صورت اسپری یا مالیدن استفاده شوند. راحت ترین روش، مالیدن روغن با نقطه اشتعال بالا بر روی قالب ها است. گرافیت کولوئیدی معلق در روغن یا اب به طور متداول جهت روانکاری مورد استفاده قرار می گیرد. همچنین می توان از روانکارهای مصنوعی من جمله نوع پایه ابی به علت پاکیزگی جهت عملیات های فورج ساده استفاده نمود.

۱-۴. طبقه بندی قالب های فورج بسته

قالبهای فورج بسته به سه نوع زیر تقسیم بندی می شوند:

۱-۴-۱- نوع بلوکر[33]: این قالب ها ارزان بوده اما اندازه و وزن ان ها بیشتر از نوع متداول است. ما می توانیم محصول را مطابق با شکل نهایی در این نوع قالب تولید نماییم. همچنین جهت تولید قطعاتی که تعداد مراحل فورج ان ها کم بوده و نیاز به ماشین کاری اندکی دارند، مورد استفاده قرار می گیرد.

۱-۴-۲- نوع متداول[34]: نوع متداول یکی از رایج ترین نوع قالب های بسته بوده و قطعات با تلرانس های بسته تری تولید می شوند. طراحی این قالب ها پیچیده و ابعاد محصول تولیدی در این نوع قالب نسیت به نوع بلوکر نزدیک به شکل نهایی بوده، لذا سبکتر و دارای جزئیات بیشتری می باشد.

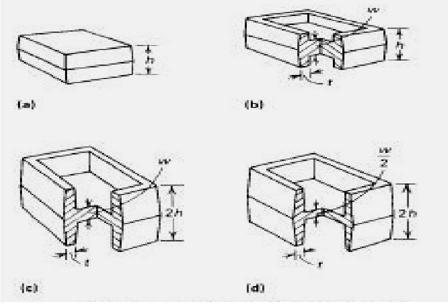
۱-۴-۳- نوع تلرانس بسته:[35] این نوع از قالب ها معمولا در تلرانس های بسته تری نسبت نوع متداول ساخته می شوند. از ان جا که در این نوع قالب ها، قطعات فورج با شیب کمتر، مواد کمتر، دیواره ها[36]و

[33] blocker
[34] conventional
[35] Closed-tolerance
[36] wall

تارهای[37] نازکتر تولید می شوند، بعد از عمل فورج احتیاج به ماشین کاری کمتری داشته و یا ممکن است نیازی به ماشین کاری نباشد. هزینه تولید قطعات با این نوع قالب ها بالا بوده و فشار بیشتری را نسبت به نوع متداول در واحد سطح نیاز دارند. به هر حال هزینه بالای تولید قطعه با این نوع قالب ها، با کاهش ماشین کاری متقاعد کننده است.

۱-۵- پیچیدگی اشکال فورج

جریان فلز در فرایند فورج شدیدا به هندسه قالب و قطعه بستگی دارد. اغلب چندین عملیات (پری فرم یا بلانکینگ) برای رسیدن به الگوی سیلان فلز از یک شکل ساده(بیلت استوانه ای یا مربعی گوشه گرد) به شکل پیچیده تر (قطعه نهایی) نیاز است. به طور کلی اشکال بلوکی و کروی برای قالب های فورج بسته مناسب تر هستند. قطعات با مقاطع نازک، طویل و دارای برامدگی (webs and ribs) به علت دارا بودن مساحت بیشتر در واحد حجم، سخت تر فورج می شوند. چنانچه برخی تغییرات در شکل قطعه صورت گیرد، اثرات اصطکاک و دما را تغییر می دهد به این ترتیب بر فشار نهایی مورد نیاز برای پر کردن حفره های قالب اثر می گذارد. در واقع یک رابطه مستقیم بین نسبت سطح به حجم و سخت تر تولید شدن قطعه ی حاصل از فرایند فورج وجود دارد. شکل ۳ شماتیکی از اشکال پیچیده، که به سختی فورج فورج می شوند را نشان می دهد. قطعات نشان داده شده در در شکل 3c و ۳d نه تنها به فشار بیشتری نیاز است بلکه حداقل یک مرحله عمل فورج بیشتر از قطعات نشان داده شده در شکل 3a و ۳b جهت اطمینان از پر شدن نیاز دارند.

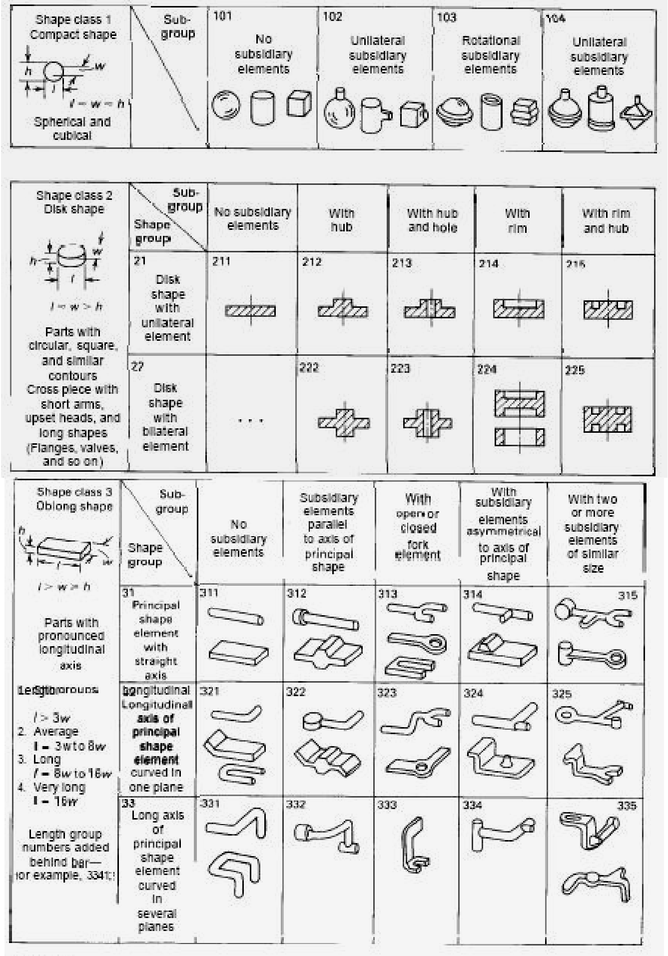


شکل۳: سخت کاری فورج به عنوان یک عملکرد هندسی

a: مکعب مستطیل   b: حالت rib-web   c: قطعه با ریب بلندتر   d: قطعه با ریب بزرگتر و وب نازکتر

[37] web

مطابق شکل ۴ بیشتر قطعات فورج به ۳ گروه اصلی طبقه بندی می شوند. اولین گروه شامل اشکال فشرده[38] که سه بعد اصلی دارای اندازه های مساوی هستند(طول، عرض ، ارتفاع). قطعات مربوط به این گروه محدود می باشند. دومین گروه مربوط به قطعاتی است که دو بعد انها تقریبا با هم برابر و بزرگتر از بعد دیگر یعنی ارتفاع می باشد. تمامی قطعات گرد که حدود ۳۰٪ فرایند فورج را تشکیل می دهند، مربوط به این گروه هستند. سومین گروه شامل اشکال طویل بوده که یک بعد ان خیلی بزرگتر از دو بعد دیگر است (L >w ≥ H). این سه گروه ذکر شده خود به زیر گروه هایی که به نوع المان های کمکی بستگی دارند، تقسیم بندی می شوند. این تقسیم بندی می تواند برای اهداف خاصی از قبیل هزینه ها و پیش بینی مراحل پری فرم مفید باشد. به هر حال این روش کافی نیست و نیاز به ارزیابی مشخصی بر اساس تجربیات قبلی دارد.



شکل۴: طبقه بندی اشکال فورج

[38] compact

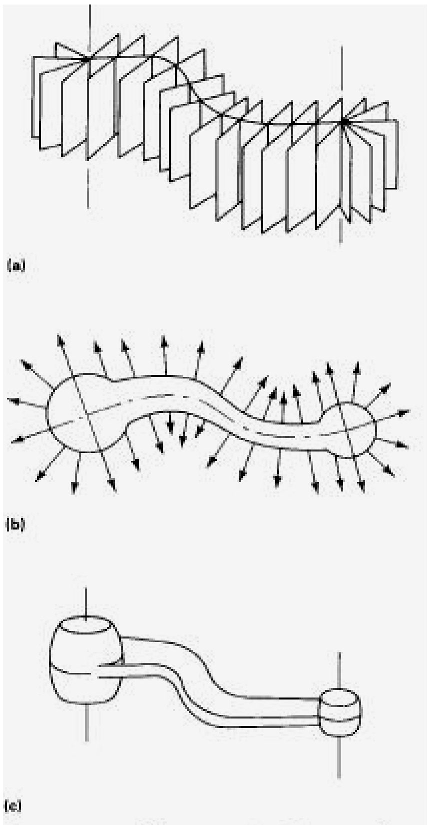
۱-۶- طراحی قالب های بلوکر(پری فرم)

یکی از مهم ترین جنبه های فرایند فورج در قالب بسته، طراحی صحیح از پری فرم و بلوکر جهت توزیع کافی فلز می باشد. لذا با طراحی مناسب می توان در پایان عملیات فورج، به جریانی از فلز بدون عیب و پر شدن کامل دست یافت و از هدر رفتن فلز در قسمت فلش جلوگیری کرد. در عملیات پری فرم، بیلت مربعی با گوشه گرد یا بیلت گرد با سطح مقطع ثابت تغییر شکل می یابد، بنابراین می توان به توزیع مطلوبی از حجم فلز، قبل از پایان عملیات فورج رسید.

هدف اولیه از ساخت پری فرم، توزیع فلز در قالب بر اساس زیر می باشد:

- اطمینان از جریان فلز بدون عیب و پر شدن قالب به طور کامل
- کاهش مقدار مواد در فلش
- کاهش سایش حفره قالب با محدود کردن جریان فلز در این جهت
- رسیدن به الگوی سیلان ماده (جریان دانه ای) مطلوب و کنترل کردن خواص مکانیکی

رایج ترین عمل در طراحی پری فرم، به کار گیری صفحات جریان فلز بوده که تحت عنوان سطح مقطع فورج به کار می رود (شکل ۵)



شکل۵: a:صفحات b: جهات جریان مواد در حین فورج اشکال پیچیده c: قطعه پایانی

نکته: در عمل ممکن است چندین مرحله پری فرم، قبل از اتمام فرایند فورج لازم باشد.

لازم است که ابتدا جهت مشخص نمودن مراحل مختلف فرایند فورج، حجم قطعه را بر اساس مساحت مقاطع در طی مراحل فورج به دست اورد.

جهت به دست اوردن حجم مورد نیاز، از روند زیر استفاده می کنیم:

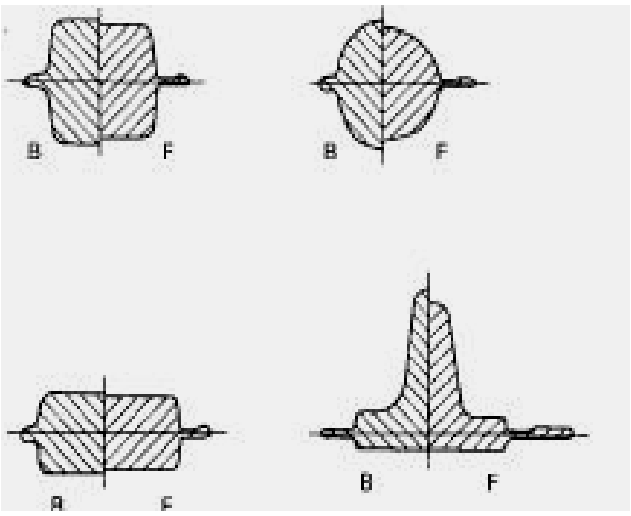
- ترسیم پیکره نهایی اندازه گذاری شده به همراه فلش
- ایجاد یک خط پایه برای تشخیص مساحت موازی با خط مرکزی قطعه
- تعیین میزان کمترین و بیشترین مساحت های مقاطع عمود بر خط مرکزی قطعه
- رسم این سطوح درفواصل متناسب از خط پایه
- ارتباط نقاط با یک منحنی صاف. در مواردی که چگونگی تغییرات منحنی سطوح واضح نباشد، نقاط اضافی را جهت کمک به مشخص کردن یک منحنی صاف ترسیم کنید.

- بالای این منحنی، مساحت تقریبی فلش در هر سطح مقطع را اضافه کنید. در جایی که فلش باید عریض تر باشد دقت کنید. به طور کلی ضخامت فلش ثابت خواهد بود اما در مقاطع باریک، ضخیم تر و در مقاطع پهن، نازک تر می باشد.
- تبدیل بیشترین و کمترین اندلزه مساحت ها به اشکال مستطیلی و دایروی که دارای سطح مقطع های یکسان هستند.

در طراحی مقاطع پری فرم، سه قانون اصلی زیر را باید رعایت کرد:

- مساحت هر مقطع در طول پری فرم باید با مساحت مقطع نهایی به همراه فلش برابر باشد. لذا توزیع شمش اولیه با مشخص شدن مساحت های مقاطع در طول محور اصلی قطعه فورج به دست می اید.
- کلیه ی شعاع های مقعر (شامل فیلت) پری فرم باید از شعاع های قطعه فورج بزرگتر باشند.
- در عمل ابعاد پری فرم باید از ابعاد قطعه پایانی بزرگتر باشد. در طی عملیات نهایی، مواد از کناره ها به سمت حفره های قالب بدون برش اضافی در محل تقاطع سطوح قالب/ مواد فشرده می شوند.

شکل ۶ کاربرد این سه اصل را برای قطعات فولادی توپر، نشان می دهد.



B: بلوکر F: قطعه پایانی

شکل ۶: سطح مقطع پیشنهادی برای فورج فولاد

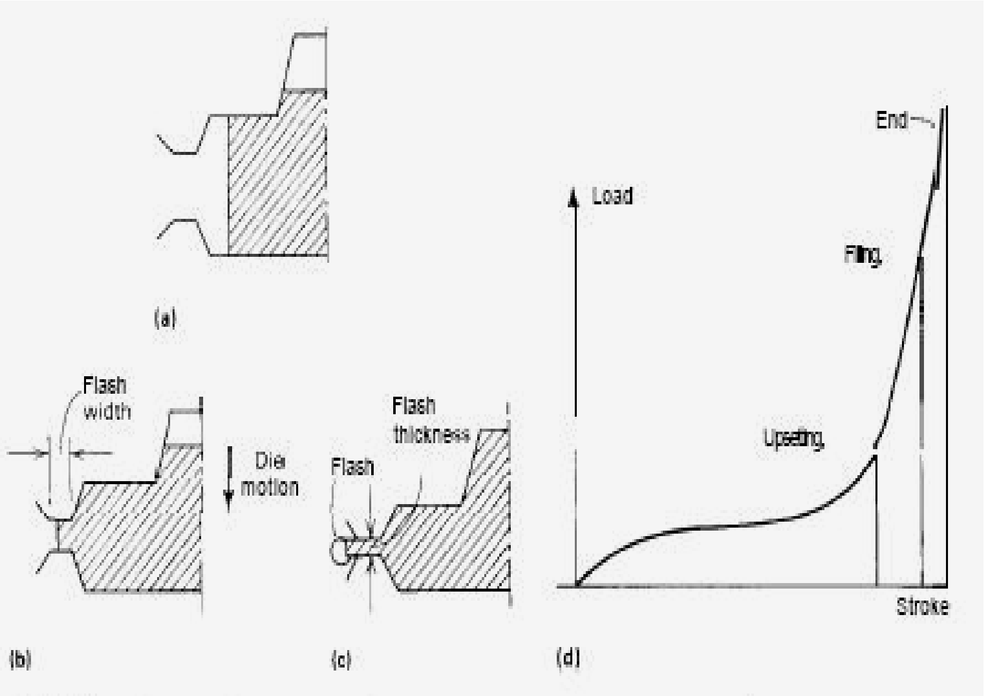
اطلاعات مربوط به کیفیت در طراحی پری فرم به اندازه کافی موجود بوده اما اطلاعات عددی به ندرت در دسترس است.

نکته: برای فورج قطعات پیچیده ممکن است دستورالعمل های تجربی، کافی نباشد و به کار گیری روند سعی وخطا وقت گیر و هزینه زا است.

یک روش سیستماتیک و اثبات شده جهت بهبود اشکال پری فرم، مدل سازی فیزیکی با استفاده از مواد نرم از قبیل سرب، خمیر چوب یا موم بوده و همچنین از قالب های پلاستیک سخت یا فولادی کم کربن به عنوان ابزار فورج[۳۹] استفاده می نمایند. لذا با استفاده از ابزارهای ارزان و تجربه کم، قادر خواهیم بود که اشکال پری فرم را تعیین کنیم. جزئیات بیشتر در مورد مدل سازی فیزیکی و طراحی به کمک کامپیوتر[۴۰] فرایند فورج در بخش computer aided در این جلد موجود است.

۱-۷- طراحی فلش

شکل۷ اثرات ضخامت و پهنای فلش بر روی فشار فورج را به طور واضح از نظر کیفیتی نمایش می دهد.

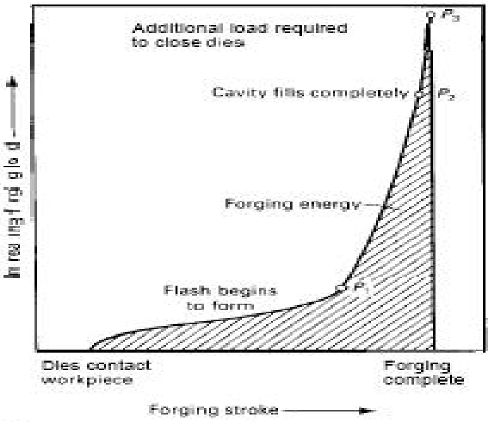


*شکل ۷ : جریان مواد **a** تا **c** و **d** بار- کورس . **a** upsetting **b** پر شدن **c** انتها*

---

39 tooling
40 CADI CAM

از ان جا که در نزدیکی فلش نیروهای اصطکاکی افزایش و دما کاهش می یابد، لذا با کاهش ضخامت فلش و افزایش پهنای ان، میزان فشار فورج افزایش می یابد. شکل ۸ منحنی کورس- بار را در قالب فورج بسته نشان می دهد.



شکل ۸

تا زمانی که قسمت های جزئی تر و سخت تر قالب پر شود و فلز به دهانه فلش برسد، نیروی فورج پایین می باشد شکل ۷. این مرحله با نقطه p در شکل ۸ نشان داده شده است.

جهت رسیدن به فورج مطلوب، بایستی دو نیاز اساسی را برطرف نمود:

اول: حجم کافی از فلز، جهت پر کردن محفظه قالب، موجود باشد.

دوم: بایستی عبور فلز از میان دهانه باریک فلش، به مراتب سخت تر از قسمت های جزئی و پیچیده قالب باشد.

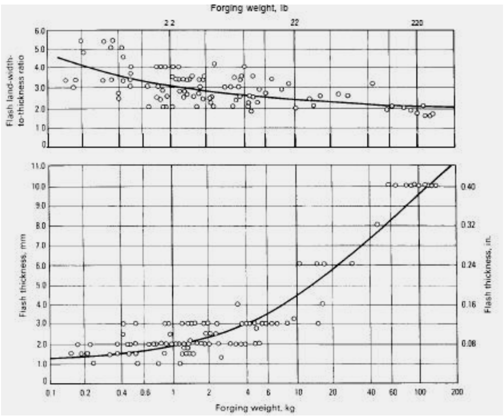
هنگام بسته شدن قالب، مقدار فشار تا نقطه P2 افزایش می یابد. در این نقطه حفره قالب به طور کامل پر می شود. لذا، فشار قالب که تحت تاثیر هندسه فلش قرار دارد، بایستی جهت پر کردن تمام حفره قالب کافی بوده و فرایند فورج به طور کامل صورت پذیرد. نقطه p3، مقدار فشار نهایی را جهت اطمینان از پر شدن کامل قالب نشان می دهد. حد فاصل بین نقطه p2تا p3 موقعیتی است که تمامی جریان فلز در نزدیکی دهانه فلش و یا درون ان رخ می دهد. با توجه به این موضوع محدودیت پر شدن قالب در نقاط p2 و p3 به ترتیب، بیشتر می شود. در این رابطه، قسمتی که با سختی بیشتر پر می شود، کمترین میزان فشار را برای تولید قطعه نیاز خواهد داشت.

نکته: ابعاد فلش میزان فشار نهایی مورد نیاز را برای بستن قالب ها تعیین می کند.

به طور کلی فلش به شدت از مقدار ماده اضافی در حفره متاثر بوده زیرا این ماده اضافی میزان ارتفاع لحظه ای فلش اکسترود شده و تنش های قالب را مشخص می کند.

چنانچه ماده به اندازه کافی در حفره موجود باشد، قالب با هندسه های گوناگونی از فلش پر خواهد شد. لذا این امکان وجود دارد که برای قالب یک فلش ضخیم تر در نظر گرفت و به این ترتیب به فشار کمتری نیاز می باشد. (رابطه تنش ها کم شده ولی هدر رفتن مواد را به دنبال خواهد داشت.)

شکل۴ ، طبقه بندی اشکال را جهت ارزیابی سیستماتیک ابعاد یک فلش در فرایند فورج نشان می دهد. به عنوان مثال، گروه ۲۲۴ درشکل ۹ نمایش داده شده.



شکل۹

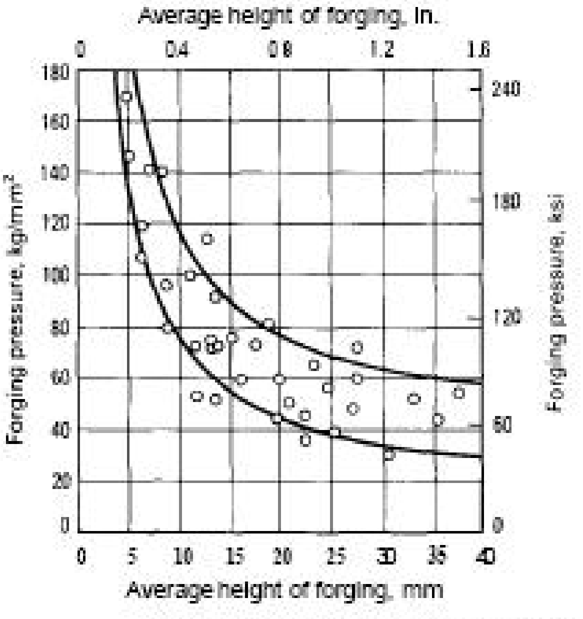
نکته: به طور کلی ضخامت فلش با وزن قطعه فورج افزایش می یابد، در حالی که نسبت پهنای فلش به ضخامت، به مقدار محدودی کاهش می یابد .

۱-۸- پیش بینی فشار فورج کاری

گاهی نیاز است که فشار فورج را پیش بینی نماییم. لذا می توان یک پرس مناسب را انتخاب و از تنش های بیش از حد قالب جلوگیری نمود. جهت تخمین فشار حاصل از فورج به صورت تجربی، مساحت سطوح قطعه فورج را که شامل منطقه فلش هم می باشد در فشار میانگین تجربی ضرب می نماییم.

فشار، بسته به نوع مواد و هندسه پیکره قطعه کار از $56kg/mm^2$ تا ۹۶ درعمل تغییر می کند.

شکل ۱۰ فشار مورد نیاز فورج کاری را برای قطعات ساخته شده از کربن (تا ۰.۶٪) و فولاد های آلیاژی را نشان می دهد.



شکل ۱۰

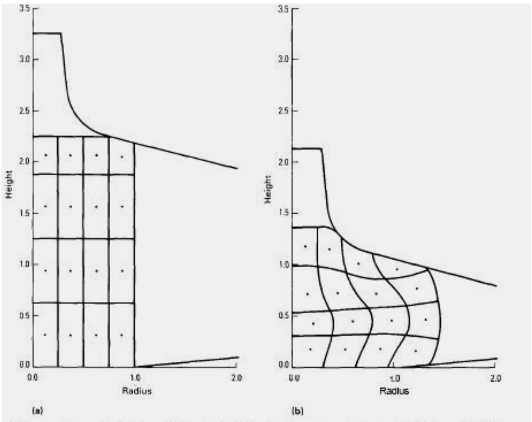
در این رایطه از نسبت پهنا به ضخامت ۲ تا ۴ استفاده شده است. متغییری که بیشترین اثر را بر فشار فورج دارد، میانگین ارتفاع قطعه است. در شکل شماره ۱۰ منحنی پایینی مربوط به قطعات نسبتا ساده و منحنی بالایی مربوط به قطعاتی است که فورج مشکلی دارند. بیشتر روش های تجربی در قالب فرمول و نموگرام خلاصه شده اند، که جهت پیش بینی فشار فورج قطعات مختلف کافی نیستند. کمبود فرمول تجربی، ما را بر این می دارد که از روش های کامپیوتری و یا انالیزی جهت محاسبه مقدار فشار و تنش استفاده نماییم.

۱-۹- استفاده از CAD/CAM در قالب های فورج

در طی دهه گذشته، کامپیوترها جهت کاربرد در فرایند فورج گسترش یافته اند. پیشرفت های اولیه بر روی ماشین کاری قالب های فورج به صورت کنترل عددی تمرکز داشت. در اواسط دهه ۷۰ ماشین کاری NC و CNC برای فرایند فورج و پره های توربین بخار معرفی شد. در اوایل دهه ۸۰ استفاده از سیستم های خودکار CAD/CAM جهت طرح های مکانیکی، drafting و همچنین ماشین کاری NC برای ساخت قالب های فورج اغاز گردید. سیستم های خودکار CAD/CAM به صورت تجاری موجود هستند و دارای نرم افزارهای لازم جهت طراحی کامپیوتری و ماشین کاریNC می باشند. سیستم CAD/CAM، میکروکامپیوتر یا مینی کامپیوتر، شامل یک صفحه نمایش گرافیکی، صفحه کلید، دیجیتایزر به همراه منو جهت ورودی اطلاعات به ماشین طراحی خودکار و

همچنین شامل سخت افزاری جهت ذخیره اطلاعات مانند نوار پانچ یا فلاپی می باشد. برخی از سیستم ها اجازه می دهند که در رده های مختلف اتوماسیون، قطعه کار به صورت سه بعدی نمایش داده شود و همچنین بزرگ کردن و چرخش قطعه را بر روی صفحه نمایش جهت دید بهتر امکان پذیر می سازد. علاوه بر ان اجازه مقطع زنی قطعه کار، جهت بررسی و انالیز جریان فلز و تنش قالب را نیز می دهند. لذا نتایج می توانند جهت درک بهتر بین طراح و کامپیوتر نمایش داده شود و تغییرات لازم بر روی قالب اعمال گردد.اخرین مزیت طراحی به کمک کامپیوتر در فرایند فورج، هنگامی به دست می اید که نرم افزار ارزان و با دقت جهت شبیه سازی جریان فلز در طی عملیات فورج، موجود باشد.

شکل۱۱ شبیه سازی کامپیوتری یک قطعه با فرایند فورج را نشان می دهد.



شکل۱۱: شبیه سازی کامپیوتری تغییر شکل در فورج متقارن محوری

a: قبل از تغییر شکل b: تغییر شکل در نیمی از ارتفاع بیلت

در این رابطه می توان فرایند فورج را از طریق شبیه سازی به کمک کامپیوتر با طراحی بلوکر به صورت فرضی انجام داد و سپس نتایج بر روی صفحه گرافیک نمایش داده شود. چنانچه فرایند شبیه سازی مشخص کند که بلوکر طراحی شده قالب را پر نمی کند و یا مواد زیادی هدر خواهد رفت، می توان قالب دیگری را طراحی نمود و شبیه سازی جدیدی صورت گیرد. این چنین شبیه سازی ها، هزینه قالب های گران را کاهش خواهد داد. اطلاعات بیشتر در مورد طراحی به کمک کامپیوتر جهت فرم دهی ، در این جلد موجود است.

۱-۱۰- تجهیزات قالب فورج بسته

۱-۱۰-۱- چکش ها پرس ها. انواع چکش ها و پرس ها به منظور تامین نیروی قالب فورج بسته در این مقاله توصیف شده است. ظرفیت هرکدام از انواع پرس ها و چکش ها (انتخاب تجهیزات فورج) و همچنین اطلاعات

مربوط به قالب های فورج بسته به طور جزئی تر در مقاله (قالب ها و جنس قالب های فورج داغ)، در این جلد مورد بحث قرار گرفته است. عمل برش شمش اولیه[۴۱] را می توان توسط برش سرد یا گرم[۴۲]، اره کردن[۴۳]، برش سایشی[۴۴] و برش الکتریکی یا حرارتی انجام داد. عملیات مربوط به برش و تجهیزات ان، در بخش برشکاری گفته شده است.

۱-۱۰-۲- تجهیزات گرم کردن. با توجه به مواد مختلف در فرایند فورج، از نرخ های حرارتی گسترده ای استفاده می شود. جدول۱. وجود مواد ار جنس های گوناگون، شکل های مختلف شمش اولیه و همچنین سوخت های متنوع، منجر به ساخت انواع وسیعی از تجهیزات حرارت دهی شده است.

نکته: جهت اطمینان از بهبود میکروساختار و خواص قطعات تولید شده حاصل از فرایند فورج، بایستی دما و شرایط اتمسفری در واحد گرما را کنترل نمود.

۱-۱۱- دمای فرایند فورج فولاد ها

ماکزیمم دمای فورج کاری قطعات برای فولادهای آلیاژی و کربنی در جدول ۲ آمده است.

با توجه به جدول هنگامی که کربن افزایش یابد، دما کاهش می یابد. هرچه دما بالاتر باشد پلاستیسیته فولاد افزایش می یابد، در نتیجه فرایند فورج آسان تر شده و سایش کمتر قالب را به همراه خواهد داشت. اما اگر دما بیش از حد باشد در پی ان رشد دانه ها افزایش خواهد یافت.

چنانچه یک فولاد به ماکزیمم درجه حرارت ایمن خود برسد سریع تر فورج شده و با ریداکشن بالا، انرژی انتقالی به فولاد در حین عمل فورج، سبب افزایش بیش از حد دما می شود. لذا بایستی دما را کمتر از حالت ایمن در نظر بگیریم.

---

[41] stock
[42] Cold or hot shearing
[43] sawing
[44] Abrasive cutting

Carbon content, %	Maximum safe forging temperature — Carbon steels °C	°F	Alloy steels °C	°F
0.10	1290	2350	1260	2300
0.20	1275	2325	1245	2275
0.30	1260	2300	1230	2250
0.40	1245	2275	1230	2250
0.50	1230	2250	1230	2250
0.60	1205	2200	1205	2200
0.70	1190	2175	1175	2150
0.90	1150	2100	...	...
1.10	1110	2025	...	

جدول ۲

اثر کربن بر دمای فورج، همانند فولاد ابزار، فولاد آلیاژی و کربنی است. به هر حال ترکیبات آلیاژی پیچیده فولاد ابزار، اثرات مختلفی بر روی دمای فورج دارد. جدول ۳ دمای فرایند فورج را برای فولادهای ابزار نشان می دهد.

Steels	Forging temperatures — Preheat slowly to: °C	°F	Begin forging at(a): °C	°F	Do not forge below: °C	°F
Water-hardening tool steels						
W1-W5	790	1450	980-1095(b)	1800-2000(b)	815	1500
Shock-resisting tool steels						
S1, S2, S4, S5	815	1500	1040-1150	1900-2100	870	1600
Oil-hardening cold-work tool steels						
O1	815	1500	980-1065	1800-1950	845	1550
O2	815	1500	980-1040	1800-1900	845	1550
O7	815	1500	980-1095	1800-2000	870	1600
Medium-alloy air-hardening cold-work tool steels						
A2, A4, A5, A6	870	1600	1010-1095	1850-2000	900	1650
High-carbon high-chromium cold-work tool steels						
D1-D6	900	1650	980-1095	1800-2000	900	1650
Chromium hot-work tool steels						
H11, H12, H13	900	1650	1065-1175	1950-2150	900	1650
H14, H16	900	1650	1065-1175	1950-2150	925	1700
H15	845	1550	1040-1150	1900-2100	900	1650
Tungsten hot-work tool steels						
H20, H21, H22	870	1600	1095-1205	2000-2200	900	1650
H24, H25	900	1650	1095-1205	2000-2200	925	1700
H26	900	1650	1095-1205	2000-2200	955	1750
Molybdenum high-speed tool steels						
M1, M10	815	1500	1040-1150	1900-2100	925	1700
M2	815	1500	1065-1175	1950-2150	925	1700
M4	815	1500	1095-1175	2000-2150	925	1700
M30, M34, M35, M36	815	1500	1065-1175	1950-2150	955	1750
Tungsten high-speed tool steels						
T1	870	1600	1065-1205	1950-2200	955	1750
T2, T4, T8	870	1600	1095-1205	1950-2200	955	1750
T3	870	1600	1095-1230	2000-2250	955	1750
T5, T6	870	1600	1095-1205	2000-2200	980	1800
Low-alloy special-purpose tool steels						
L1, L2, L6	815	1500	1040-1150	1900-2100	845	1550
L3	815	1500	980-1095	1800-2000	845	1550
Carbon-tungsten special-purpose tool steels						
F2, F3	815	1500	980-1095	1800-2000	900	1650
Low-carbon mold steels						
P1	...	...	1205-1290	2200-2350	1040	1900
P3	...	...	1040-1205	1900-2200	845	1550
P4	870	1600	1095-1230	2000-2250	900	1650
P20	815	1500	1065-1230	1950-2250	815	1500

جدول ۳

۱-۱۱-۱- زمان حرارت دادن. در هر نوع فولاد، بایستی زمان حرارت دادن جهت رساندن مرکز شمش اولیه به دمای فورج کافی باشد. چنانچه زمان طولانی تر شود دی کربورازیسیون، پوسته شدن و رشد دانه ها رخ خواهد داد.

زمان حرارت دادن در هر اینچ ضخامت:

- شمش های تا قطر 75mm، کمتر از ۵ دقیقه
- فولاد ها با کربن متوسط و کم، کمتر از ۶ دقیقه.
- شمش های به قطر 75-230 mm کمتر از ۱۵ دقیقه
- برای فولادها با کربن بالا (۰.۵٪ یا بالاتر) و یا درصد الیاژی بالا، نرخ حرارتی پایین تری نیاز است.

نکته: گاهی جهت جلوگیری درجه از ترک برداشتن قطعه، به پیش گرم کردن از دمای ۶۵۰ تا ۷۶۰ درجه سانتی گراد نیاز داریم.

۱-۱۱-۲- دمای پایانی. همیشه بایستی دمای پایانی بالاتر از دمای انتقالی فولاد فورج شده باشد، زیرا از ترک برداشتن فولاد و سایش بیش از حد قالب جلوگیری می کند. اما بایستی به اندازه کافی کم باشد تا از رشد بیش از حد دانه ها جلوگیری نماید. دمای مناسب برای بیشتر فولادهای آلیاژی و کربنی جهت عمل فورج پایانی، از ۹۸۰°c تا ۱۰۹۵ می باشد.

۱-۱۲- کنترل دمای قالب

قبل از اینکه قالب ها بر روی پرس و یا چکش بسته شوند، درون کوره هایی حرارت داده می شوند. بایستی قالب ها قبل از فرایند فورج حداقل ۱۲۰درجه سانتی گراد و ترجیحاً 205-315 درجه سانتی گراد حرارت ببینند. جهت اندازه گیری دمای سطح می توان از شمع های شاخص دما استفاده نمود. چناچه گرم کردن قالب با مشکل رو به رو شود، سبب شکستن آن خواهد شد.

دمای فرایند. فرایند فورج پرسی و چکشی تامین کننده خنک کاری قالب ها نخواهد بود; معمولا مقدار جرم و نوع روانکار، در امر خنک کاری تاثیر به سزایی دارد. ماکزیمم دمای کاری به شدت به ترکیبات فولاد قالب بستگی دارد. همچنین دماهای بالاتر امکان استفاده از فولادهای آلیاژی برای تهیه قالب مانند h11 را می دهد.

نکته: هیچگاه نباید قسمت هایی از قالب، در دمایی بالاتر از دمای حرارت داده شده، کار کند. اکثر قالب ها در دمای 540-595 درجه و گاهی بالاتر حرارت داده می شوند، لذا تخطی از این دما جهت کار کردن مجاز نیست.

به طور کلی دمای کاری برای فولادهای مختلف فرق می کند.

۱-۱۳- دوره بری[45]

دوره بری در قالب فورج بسته به طور نسبتا زیادی به فرایند فورج و تجهیزات آن بستگی دارد. گاهی یک فرایند دوره بری می تواند عمل ماشینکاری را حذف نماید.

اغلب جهت حذف فلش قطعات بزرگ و یا تعداد محدودی از قطعات، از اره کاری یا ماشینکاری استفاده می شود. اما در مواردی که تعداد قطعات زیاد باشد، معمولا هزینه کردن برای قالب های تریم متقاعد کننده است. نکته: بیشتر محصولات قالب بسته، تریم می شوند. مواد فورج در قالب های دوره بری به دو گروه تقسیم می شوند: یکی انهایی که در حالت سرد و دیگری در حالت گرم فورج می شوند. تقریبا تمام مواد می توانند در حالت سرد تریم شوند اما برخی از انها بایستی بعد از فرایند فورج و قبل از تریم سرد، حرارت ببینند.

به طور کلی قطعات با استحکام کششی کمتر از 690Mpa و یا سختی کمتر از 207HB به اسانی تریم سرد خواهند شد. در واقع دوره بری سرد همان از بین بردن فلش در یک دمایی پایین تر از 150°c بوده و این روش به طور نسبتا زیاد، برای قطعات کوچک مورد استفاده قرار می گیرد. یکی از مزایای دوره بری سرد این است که نیازی به دوباره گرم کردن قطعه فورج نیست. دوره بری گرم در دماهای پایینی مانند 150°c برای آلیاژهای غیراهنی و دماهای بالا مانند 980°c یا بالاتر برای فولاد ها و دیگر آلیاژهای اهنی صورت می پذیرد.

۱-۱۴- خنک کاری

عمل خنک کاری در هوای بی حرکت یا درون جعبه هایی مخصوص عمل رایجی بوده و برای قطعات فورج از جنس فولاد کربنی و یا فولاد های کم آلیاژ که سطح مقطع انها از 64mm بیشتر نمی باشد، مناسب است. هنگامی که قطعات فورج با هوا سرد می شوند، ممکن است سبب پوسته شدن ان ها شود. پوسته ها(که ترک های ریز یا پوسته برفکی نامیده می شوند) کوتاه، دارای شیارهای داخلی منقطع، وابسته به تنش های ایجاد شده توسط جابجایی موضعی و همچنین کاهش هیدروژن در طی فرایند خنک کاری می باشند.

پوسته ها در یک سطح شکسته شده همانند یک منطقه نقره ای روشن و بر روی یک سطح اچ شده شبیه به ترک های کوتاه ظاهر می شوند. در واقع پوسته شدن نشان دهنده این است که قطعه نیاز به خنک کاری در کوره و یا

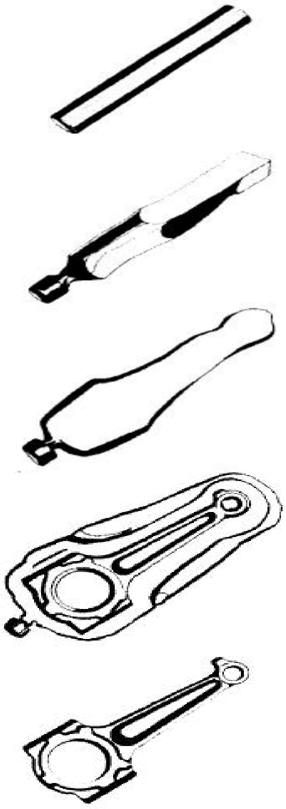
---

[45] trimming

قرار دادن ان درون شن یا ریگ دارد. یک روش مناسب جهت خنک کاری قطعات بزرگ از جنس فولاد هایی مانند ۴۳۴۰ این است که ان ها در هوا تا حدود 540°c به همراه انیل همدما در 650°c خنک کنند. طبق توصیه های بالا بایستی قطعات بزرگ از جنس فولادهای کربنی و آلیاژی، ارام خنک شوند .

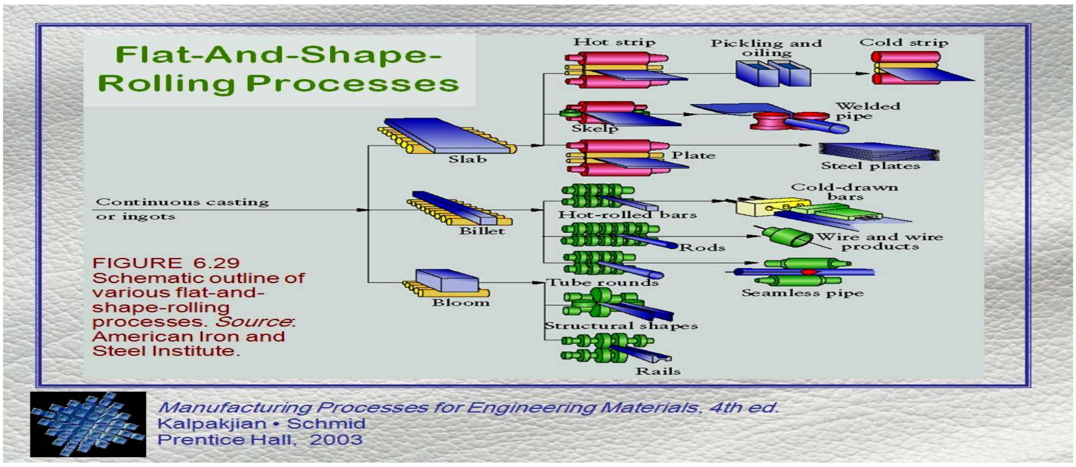
۱-۱۵- ترتیب فرایند فورج یک نمونه قطعه

فرایند فورج دسته شاتون اتومبیل مثال خوبی جهت مراحل به کار رفته در قالب بسته می باشد. طبق شکل ۱۲ توالی فرایند با شمش اولیه گرد شروع می شود. ابتدا فلز را جهت فرم دهی دسته شاتون اماده کار گرم می کنند تا ساختار دانه ای ان توسعه یابد. سپس عمل بلاکینگ دسته شاتون انجام می شود. ممکن است لازم باشد چندین بار عمل کوبش توسط پتک صورت گیرد. در فرایند بلاکینگ، فلش هممانند فلز شکل داده نشده و تخت در لبه دسته شاتون ظاهر می گردد. جهت رسیدن به شکل نهایی و اطمینان از پر شدن کامل قالب، کوبش های اضافی بر روی دسته شاتون انجام می گردد. قطعه کامل شده را به صورت گرم یا سرد تریم می کنند تا فلش برداشته شود.



شکل۱۲: مراحل فورج دسته شاتون

بخش ضمیمه :



بطور خلاصه برخی از حصولات حاصل از نورد به شرح ذیل است :

Bar:

مقطع نورد گرم شده ای است از یک بیلت که به اشکال مختلفی مثل دایره یا مستطیل تا گوشه ها یا لبه های تیز یا پخ زده (گرد) که مساحت سطح مقطع آن کمتر از $105\ Cm^2$ ($16\ in^2$) باشد. در این محصول طول بستگی به سطح مقطع دارد.

Billet:

مقطع نیمه ساخته ای است از یک شمش فلزی نورد گرم شده ، با سطح مقطع مستطیل که معمولاً از 105-230 Cm^2 ($16\text{-}36\ in^2$) متغیر بوده و عرض آن کمتر از دو برابر ضخامتش می باشد. هنگامی که سطح مقطع آن بیش از 320 Cm^2 ($36\ in^2$) باشد، اصطلاح شمشه یا (*bloom*) نیزمناسب است ولی عمومی ندارد. به اندازه های کمتر از $105\ Cm^2$ ($16\ in^2$) معمولاً اصطلاح بار (*bar*) اطلاق می شود.

Bloom:

محصول نیمه ساخته نورد گرم شده ای است با سطح مقطع مربع یا مستطیل که به وسیله دستگاه نورد شمشه تولید می شود. برای محصولات فولادی ، عرض آن کمتر از دو برابر ضخامت بوده و مساحت سطح مقطع آن بیش از ($230\ Cm^2$) می باشد.

Foil:

ورق فلزی نورد شده ای با سطح مقطع مستطیل که ضخامت آن کمتر از 0.15 mm (0.006 in) می باشد.

Plate:

محصول نورد شده ای است با سطح مقطع مستطیل که ضخامت آن کمتر از 6.35 mm (0.25 in) نبوده و به صورت لبه قیچی شده یا کنگره ای شکل می باشد.

Rod:

محصول توپر کار شده ای است با مقطع دایره که قطر آن 9.5 mm (0.375 in) یا بیشتر بوده و طول آن نسبت به قطرش بزرگ می باشد.

Sheet:

هر ماده یا قطعه یا ضخامت یکنواخت که طول و عرض قابل توجهی نسبت به ضخامتش دارد، با توجه به نوع فلز، قطعاتی تا کمتر از ضخامت 6.5 mm (0.25 in) ورق (*Sheet*) نامیده می شوند. آنهایی که ضخامت بیش از 6.5 mm داشته باشند صفحه (*plate*) می نامند.

Slab:

محصول نیمه ساخته ای از شمش فلزی نورد شده که عرض آن بیشتر از 250 mm (9.8 in) و مساحت سطح مقطع آن بیش از $105\ Cm^2$ می باشد.

Strip:

محصول دستگاه های نورد گرم، نوار ورق از تختال است که به صورت کلاف با عرض 60-180 Cm و بیشتر می باشد. نوار ورق در صورتی که به طولهای معینی بریده شود، ورق به دست می آید. ضخامت و پهنای این محصولات بستگی به نوع فلز داشته و عرض آن از ورق (Sheet) کمتر است.

Wire:

محصول توپر کار شده ای که طول آن بستگی به سطح مقطع دارد که به صورت مربع یا مستطیل با لبه ها و گوشه های گرد یا تیز می باشد و یا اینکه شش گوش یا هشت گوش است. قطر این محصول یا بزرگترین فاصله عمودی بین صفحات موازی کمتر از 9.5 mm (0.375 in) است.