بنام خدا

۱۰۸ قانون

در فرآیندهای فورج در قالب بسته

(108 of laws, in the closed die forging process)

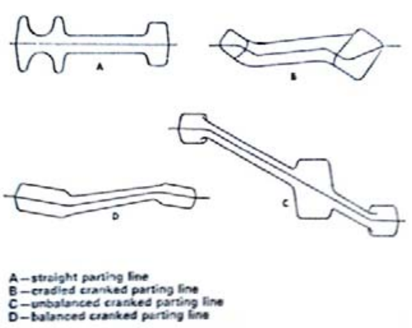
پژوهشگر:

محمد شهابی زاده- کارشناس ارشد شکل دادن فلزات

و مدرس دانشگاه

۳-۱- خط جدایش[1]

خط جدایش قالب سطح یا سطوحی است که قالب های بالایی و پایینی را از هم جدا می کند .



شکل ۳-۱- انواع خط جدایش[۳۵]

اصل ۱ : موقعیت خط جدایش می تواند تحت تأثیر موارد زیر باشد .

۱- آسان حفاری کردن قالب و اقتصادی بودن آن ؛

۲- آسان پر شدن قالب؛

۳- تشکیل عیوب آهنگری؛

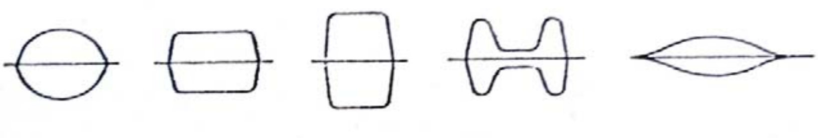
۴- آسان گیره کردن قالب [2] ، معمولاً در چکش ها از گوه و در پرس ها از پیچ استفاده می شود؛

۵- مقدار شیب مورد نیاز و همچنین مقدار وزن قطعه مورد نظر؛

۶- نیاز به استفاده از قفل ؛

۷- تلرانس های آهنگری[۳۵].

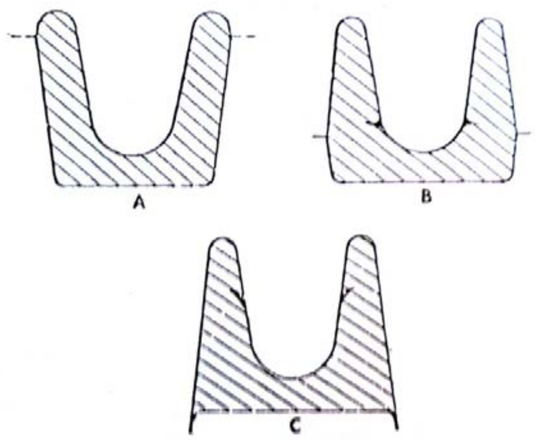
اصل۲: برای مقاطع ساده، کم عمق و متقارن همانند شکل(۳-۲) خط جدایش مستقیم معمول می باشد [۳۵].



شکل ۳-۲- خط جدایش مستقیم برای مقاطع متقارن [۳۵]

1- parting line
2-clipping

اصل ۳ : برای مقاطع U شکل ، همانند شکل(۳-۳) بایستی خط جدایش نزدیک بالای دیواره[3] قرار گیرد . قرار دادن خط جدایش در مکان های دیگر ممکن است منجر به دشواری در پرشدن دیواره و ایجاد عیوب آهنگری گردد، شکل (۳-c۳ و ۳-b۳)[۳۵].

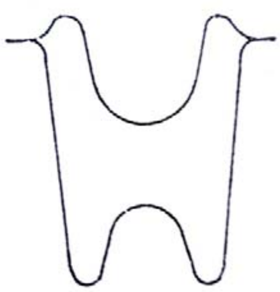


شکل ۳-۳- موقعیت خط جدایش برای مقطع U شکل و تأثیرات آن [۳۵]

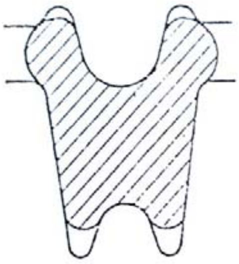
اصل ۴ : در آهنگری نوع دیواره- راهگاهی با دیواره های عمیق خط جدایش باید نزدیک دیواره شکل یافته در قالب بالایی قرار گیرد (شکل۳-۴) .قرارگرفتن خط جدایش در نزدیک بالای دیواره به پر شدن دیواره های باریک یا محدود کردن فلز می کند (شکل ۳-۵).

این کار همچنین از چین خوردگی های ناشی از مکش فلز به داخل محفظه پلیسه، که در صورت زیاد پایین آمدن خط جدایش بوجود می آید، جلوگیری می کند. (شکل ۳-۶).

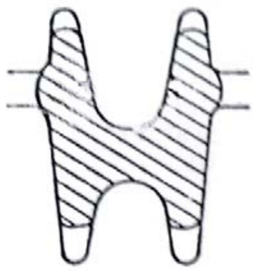
3- rib



شکل ۳-۴- موقعیت مناسب خط جدایش در آهنگری دیواره – راهگاهی[۳۵]

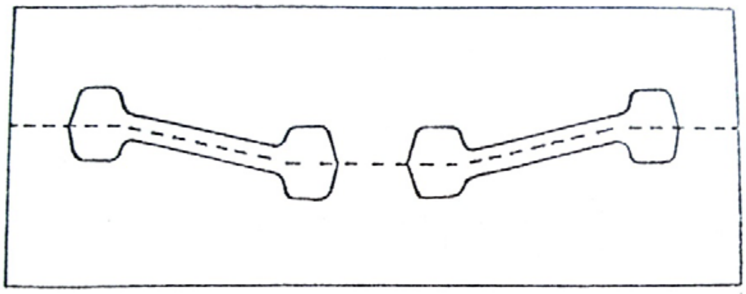


شکل ۳-۵- محدودیت سیلان جانبی به منظور کمک به پر شدن دیواره [۳۵]



شکل ۳-۶- چین خوردگی ناشی از مکش فلز[۳۵]

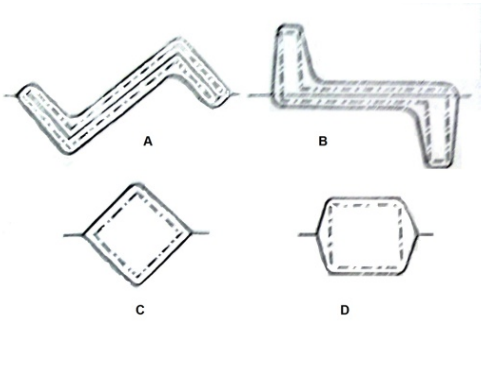
اصل ۵ : یک راه حل برای به حداقل رساندن تعداد ضربات آهنگری ، استفاده از خط جدایش غیر مستقیم یا شکسته همانند شکل (۳-۷) می باشد [۳۵] .



شکل ۳-۷- خط جدایش غیر مستقیم [۳۵]

اصل ۶ : اگر ابعاد شکل قطعه آهنگری شده نسبت به ابعاد چکش طوری باشد که بتوان دو قطعه را پشت سر هم همانند شکل (۳-۷) قرار داد در اینصورت می توان تعداد ضربات را کاهش داد . این عمل موجب بالا رفتن عمر قالب (سایش کم) و خنثی شدن نیروی رانش می شود[۳۵] .

اصل ۷ : در بعضی مواقع استفاده از خطوط شکسته می تواند مزیت شیب طبیعی را در یک قطعه فراهم کند ، این کار باعث کاهش عملیات ماشینکاری می شود(شکل ۳-۸)[۳۵].

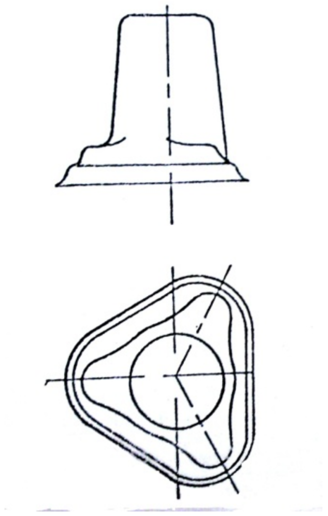


شکل ۳-۸- انتخاب خط جدایش به منظور ایجاد شیب طبیعی (C,A) موجب کاهش وزن آهنگری و امکان ماشینکاری بعدی می شود [۳۵]

اصل ۸ : امتداد یافتن خط جدایش در گوشه ها مانند شکل (۳-۸ A,C) باعث تولید دیواره های موازی می شود ، اگرچه این کار برای رفع بعضی از نیازها انجام می گیرد اما تولید به این روش سبب بروز مشکلاتی نظیر چین خوردگی در گوشه ها تیز و مشکل کنترل و جابجایی می گردد[۳۵].

اصل ۹ : در قطعاتی که شامل راهگاه در سطوح یا تراز مختلف می باشند، موقعیت خط جدایش ممکن است همه شکل قطعه را در برگیرد[۳۵].

اصل ۱۰ : در بعضی از قطعات این امکان وجود دارد که خط جدایش را طوری انتخاب کنیم که تمام اجزای قطعه در یک قالب قرار گیرد. بنابراین هزینه ماشینکاری قالب کم می گردد ،چون فقط قالب پایینی حفاری می شود . اما تجربه نشان داده است که وجود برآمدگی در قالب بالایی موجب آسان پر شدن قالب می شود (شکل ۳-۹)[۳۵].

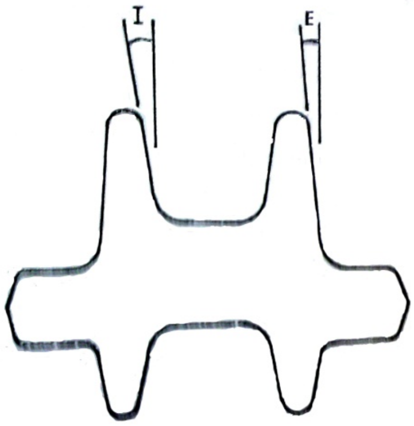


شکل ۳-۹- آهنگری هنگامیکه تمام حفره ها در یک قالب باشد[۳۵]

اصل ۱۱ : خط جدایش باید طوری قرار گیرد تا به گیردار کردن و برداشتن مواد در ماشینکاری بعدی کمک کند [۴].

۳-۲- زاویه شیب[۴]

زوایای شیب همانطور که در شکل (۳-۱۰) نشان داده شده است ، برای کمک به آسان در آوردن قطعه از قالب مورد استفاده قرار می گیرد .



شکل ۳-۱۰- زوایای شیب داخلی (I) و خارجی (E)

اصل ۱۲ : حدود زوایای شیب برای قالب های چکشی و قالب های پرسی بین ۳ تا ۱۰درجه می باشد (جدول ۳-۱) [۳۵] .

جدول ۳-۱- زوایای شیب[۳۵]

	قالب های چکشی		قالب های پرسی	
ماده	خارجی	داخلی	خارجی	داخلی
فولادها آلیاژهای آلومینیوم آلیاژهای تیتانیوم آلیاژهای پایه نیکل	5°-7°	7°-10°	3°-5°	5°-7°

4- Draft angles

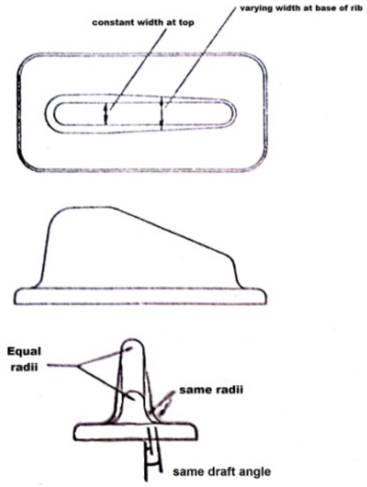
اصل ۱۳ : آلیاژهای آلومینیوم که به راحتی آهنگری می شوند به یک زاویه کوچک (حدود ۱ درجه) نیاز دارند[۳۶].

اصل ۱۴ : آلیاژهای فولادی و فولادهای کربنی به زاویه شیب متوسط (۱تا ۵ درجه) نیازمند هستند[۳۶].

اصل ۱۵ : آلیاژهای سخت نظیر سوپرآلیاژهای پایه نیکل به دلیل فشار آهنگری بیشتر و تمایل بیشتر برای چسبیدن به قالب به زاویه شیب بزرگتر (۷ درجه یا بیشتر) نیاز دارند [۳۶].

اصل ۱۶ : زوایای شیب داخلی (I) معمولاً بزرگتر از زوایای شیب خارجی (E) هستند ، زیرا به دلیل سرد شدن فلز پدیده انقباض روی می دهد و قطعه به برآمدگی های داخل حفره می چسبد [۳۵].

اصل ۱۷ : هنگامیکه دیواره های طویل با ارتفاع های مختلف در یک قطعه وجود داشته باشد ، برای تسهیل در ماشینکاری قالب همانند شکل (۳-۱۱) عرض دیواره در بالای آنرا ثابت در نظرگرفته و اجازه می دهیم که شیب در امتداد طول تغییر کند، بطوریکه همانند زاویه شیب باقی بماند. در چنین حالتی در بالای دیواره و همینطور شعاع گوشه ها ثابت باقی می ماند [۳۵].



شکل۳-۱۱- شیب های دیواره با ارتفاعات گوناگون[۳۵]

اصل ۱۸ : زاویه شیب معمولاً در جهت عمودی اندازه گیری می شوند[۳۵].

اصل ۱۹ : زاویه شیب پیش فرم (δ_P) بر حسب زاویه شیب قطعه نهایی(δ_F) برای آلیاژهای آلومینیوم از رابطه زیر بدست می آید[۳۶].

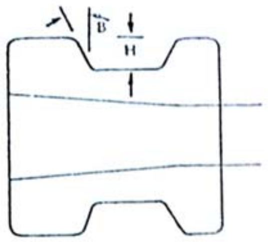
$$\delta_P \approx \delta_F \left(2^\circ \text{ تا } 5^\circ\right) \qquad (۳-۱)$$

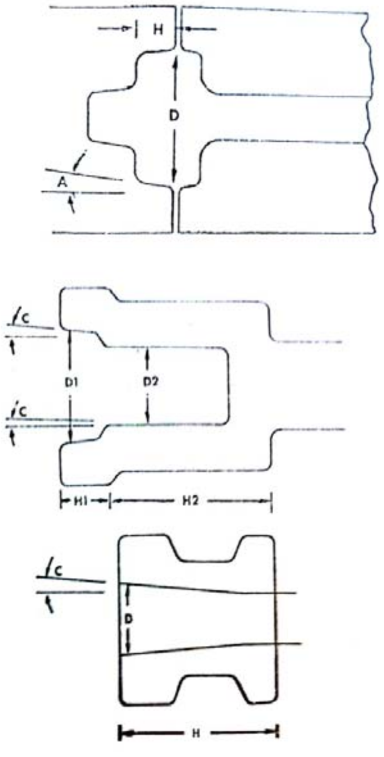
اصل ۲۰ : زاویه شیب پیش فرم (δ_P) بر حسب زاویه شیب قطعه نهایی(δ_F) برای آلیاژهای تیتانیوم از رابطه زیر بدست می آید[۳۶].

$$\delta_P \approx \delta_F \left(3^\circ \text{ تا } 5^\circ\right) \qquad (۳-۲)$$

اصل ۲۱ : در قالب های آهنگری افقی زوایای شیب معمولاً کمتر از آهنگری پرس ها و چکش ها می باشد شکل (۳-۱۳) نمونه هایی از این قالب را نشان می دهد [۳۵].

ارتفاع H (mm)	زاویه B
<۱۲	۱°
۱۲-۲۵	۳°
۲۵-۵۰	۵°
۵۰-۷۵	۷°





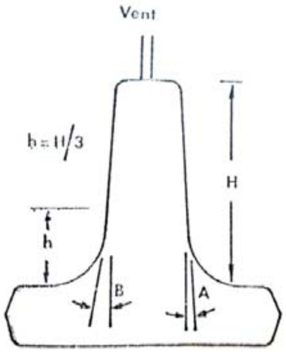
نسبت H/D	زاویه A
<۰/۳	۰°۳۰´
۰/۳-۱/۳	۰°۴۵´
۱/۳-۲/۳	۱°
۲/۳-۳/۳	۱°۳۰´
۳/۳-۴/۳	۲°

ارتفاع H (mm)	زاویه C
<۰/۵	۰°۳۰´
۰/۵-۲/۵	۱°
۲/۵-۴/۵	۱°۳۰´
۴/۵-۶/۵	۲°
۶/۵-۸/۵	۲°۳۰´

شکل ۳-۱۲- زوایای شیب برای قالب های آهنگری افقی[۳۵]

اصل ۲۲: در بعضی از مواقع ممکن است زاویه شیب را برای کمک به پرشدن عمیق کاهش دهیم، شکل (۳-۱۳) این موضوع را با اندازه و زوایا مشخص می کند [۳۵].

نسبت H/D	زاویه	
	A°	B°
تا ۱/۵	۳	۵
۱/۵ تا ۳	۳	۷
بیشتر از ۳	۵	۱۰



شکل ۳-۱۳- شیب در آهنگری قطعات با دیواره های بلند[۳۵]

اصل۲۳ : افزایش زاویه شیب ، عمر قالب را کاهش می دهد ؛ زیرا زاویه شیب بیشتر نیازمند بارهای بالاتر جهت پرکردن حفره قالب است [۳].

اصل ۲۴ : معمولاً پیش فرم طوری طراحی می شود که دارای همان زاویه شیب قطعه نهایی باشد ، در عین حال ، در صورت وجود حفره های بسیار عمیق تر در قالب نهایی ، زاویه شیب بزرگتر در پیش فرم ایجاد می گردد [۳].

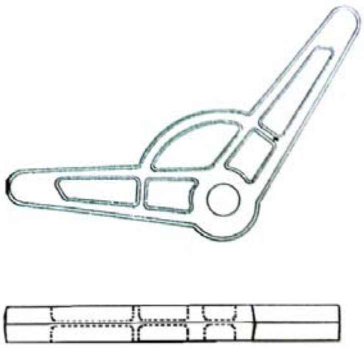
اصل ۲۵ : زاویه شیب در قالب پیش فرم با افزایش ارتفاع دیواره زیاد می شود (جدول ۳-۲)[۳۸].

جدول ۳-۲- زاویه شیب در پیش فرم[۳۸]

ارتفاع دیواره (mm)	پرس		چکش	
	داخلی	خارجی	داخلی	خارجی
<۳۰	۷°	۵°	۱۰°	۷°
>۳۰	۱۰°	۷°	۱۰°	۱۰°

۳-۳- ابعاد راهگاه[5]

معمولاً در قطعات آهنگری راهگاه ها ، دیواره ها و برآمدگی های قطعه را به یکدیگر متصل می سازند که موازات سطح جدایش نیز می باشند (شکل ۳-۱۴)[۳۹].



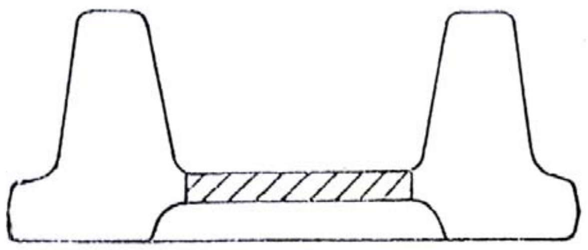
شکل ۳-۱۴- دیواره ها ، راهگاه های قطعه را به هم متصل می کند[۳۵]

5-web

اصل ۲۶ : مهمترین وظیفه راهگاه هدایت مواد جهت پر کردن حفره قالب می باشد [۳۵].

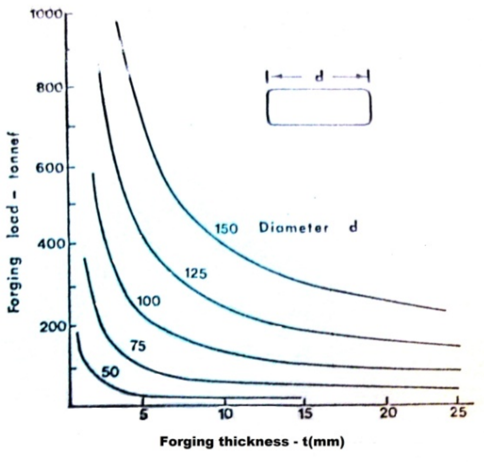
اصل ۲۷ : زمانیکه در قطعه ماشینکاری سوراخ راه به در وجودر داشته باشد ، ایجاد راهگاه لازم می شود

(شکل ۳-۱۵) [۳۵].

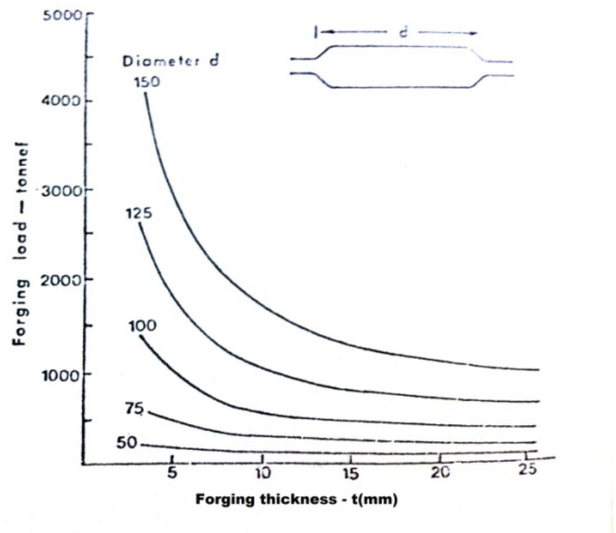


شکل۳-۱۵- راهگاهی که متعاقباً برای تولید یک سوراخ پانچ شده است [۳۵]

اصل ۲۸ : برای تولید راهگاه نازک از سطوح بزرگ نیاز به نیروی آهنگری زیادی می باشد. در ضمن حداقل ضخامت راهگاه به سطح آن بستگی دارد (شکل های ۳-۱۶ و ۳-۱۷)[۳۵].

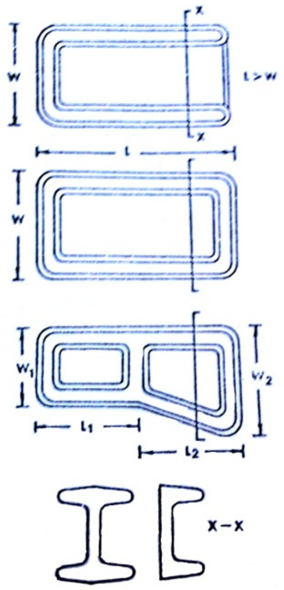


شکل ۳-۱۶- تأثیر ضخامت و قطر برروی نیروی آهنگری دیسک[۳۵]

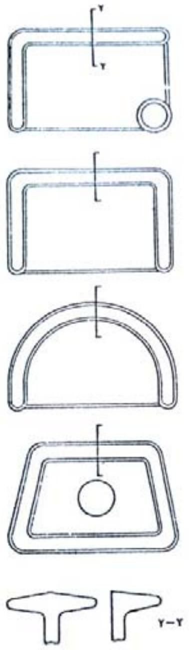


شکل۳-۱۷- افزایش نیرو به دلیل ایجاد پلیسه در آهنگری دیسک[۳۵]

اصل ۲۹ : راهگاه ها می توانند بصورت محدود یا نا محدود باشند که به فلز اضافی بستگی دارد که می تواند در طول آهنگری در شیار کناری پلیسه جربان یابد. شکلهای (۳-۱۸ و ۳-۱۹) به ترتیب مثال هایی را از راهگاه های محدود و نا محدود نشان می دهند [۳۵].



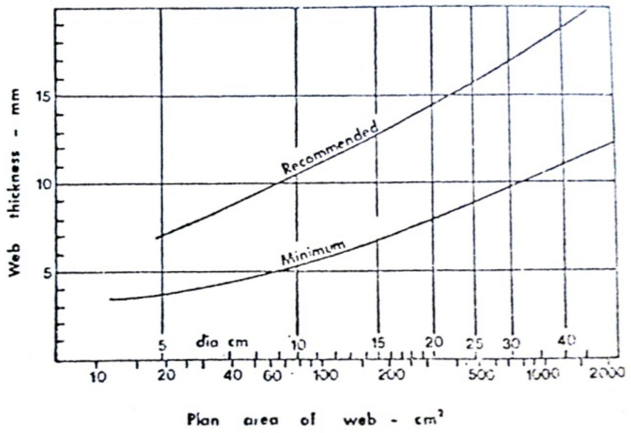
شکل ۳-۱۸- راهگاه های محدود با مقید کردن سیلان ماده به درون پلیسه[۳۵]



شکل ۳-۱۹- راهگاه های نامحدود با مقید نکردی سیلان ماده به درون پلیسه [۳۵]

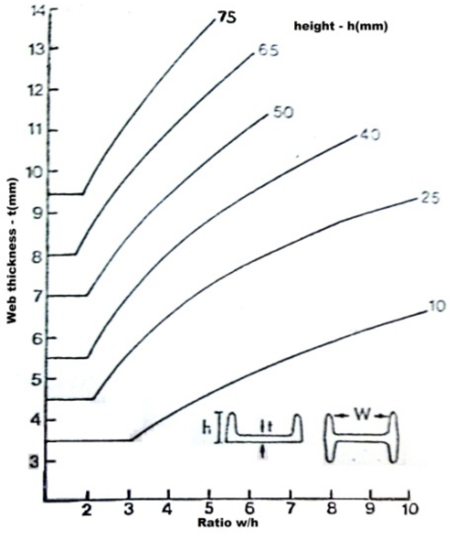
اصل ۳۰ : به دلیل آنکه فلز از راهگاه های محدود به داخل پلیسه مشکل است ، ضخامت راهگاه های محدود معمولاً بیشتر از راهگاه های نامحدود است [۳۵].

اصل ۳۱ : ضخامت راهگاه ها با ابعاد بزرگتر را می توان توسط مساحت سطح یا قطر کنترل کرد . رهنمودهایی برای ضخامت مینیمم راهگاه به عنوان تابعی از مساحت برای فولادهای کربنی و کم آلیاژ در شکل (۳-۲۰) داده شده است [۳۵].



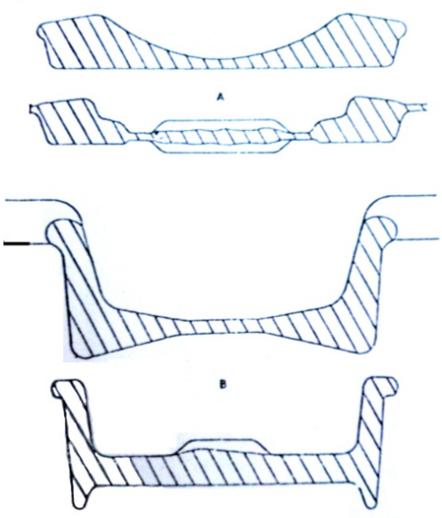
شکل ۳-۲۰- ضخامت راهگاه به عنوان تابعی از مساحت راهگاه برای فولاد های کربنی و کم آلیاژ [۳۵]

اصل ۳۲ : وقتی راهگاهی بوسیله دیواره یا دیواره هایی محدود شود ، ابعاد این دیواره برروی ضخامت مجار راهگاه تأثیر می گذارد . شکل(۳-۲۱) ضخامت راهگاه را تحت این شرایط نشان می دهد[۳۵].



شکل ۳-۲۱- تأثیر ارتفاع دیواره بر روی ضخامت مینیمم راهگاه[۳۵]

اصل ۳۳ : برای کاهش بار آهنگری مورد نیاز معمولاً قالب خامی را طراحی می کنند. روش های مورد استفاده در قالب ها که به صورت پیش فرم به کار می رود در شکل(۳-۲۲) آورده شده است .قالب پیش فرم بخاطر تسهیل جریان فلز از مرکز قطعه طراحی می شود که این عمل باعث تشکیل راهگاه نازک می شود[۳۵].



شکل ۳-۲۲- نمونه ای طراحی قالب های نهایی و پیش فرم برای کاهش نیرو[۳۵]

اصل ۳۴ : در قطعات آلومینیمی هنگامی که مساحت راهگاه نسبتاً کوچک و ارتفاع دیواره های مجاور آن بسیار بزرگ باشد ، ضخامت بیشتری برای راهگاه پیش فرم انتخاب می گردد[۳].

اصل ۳۵ : ضخامت راهگاه پیش فرم (t_P) بر حسب ضخامت راهگاه قطعه نهایی(t_F) برای آلیاژهای آلومینیوم از رابطه زیر بدست می آید[۳۶].

$$t_p \approx \left(1 \text{تا} 1.5\right) t_f \quad (۳-۳)$$

اصل ۳۶ : ضخامت راهگاه پیش فرم (t_P) بر حسب ضخامت راهگاه قطعه نهایی(t_F) برای آلیاژهای تیتانیوم از رابطه زیر بدست می آید[۳۶].

$$t_p \approx (1.5\text{تا}2.2)\, t_f \tag{۳-۴}$$

اصل ۳۷ : مینیمم ضخامت مقطع پیشنهادی برای آهنگری راهگاهی – دیواره ای چندین آلیاژ در جدول (۳-۳) آمده است [۳۶]

جدول ۳-۳- مینیمم ضخامت مقطع پیشنهادی برای آهنگری راهگاهی – دیواره ای چندین آلیاژ[۳۶]

آلیاژ	کمترین مقدار راهگاه (mm) برای آهنگری مساحت صفحه cm^2		
	بالاتر از ۲۵	۲۵-۲۵۰	۲۵۰-۷۵۰
آلومینیوم ۲۰۱۴	۳	۶	۸
فولاد آلیاژی ۴۳۴۰	۵	۸	۱۳
H۱۱	-	۱۰	-
فولاد زنگ نزن ph۷-۱۷	-	۱۰	-
سوپر آلیاژ a۲۸۶	-	۱۰	-
Ti-al-4v	-	۸	-
مولیبدن خالص	-	۱۰	-

اصل ۳۸ : ضخامت راهگاه در پیش فرم معمولاً بزرگتر از قالب نهایی می باشد ، چرا که مواد در حین فشرده شده از راهگاه به سمت پلیسه حرکت می کنند. برای جریان آسان تر مواد در قالب نهایی ، راهگاه در قالب پیش فرم بصورت مخروطی از مرکز به محیط طراحی می گردد که زاویه این مخروطی شدن در جدول ۳-۴ آمده است [۳۸].

جدول ۳-۴- زاویه مخروطی شدن راهگاه در قالب پیش فرم[۳۸]

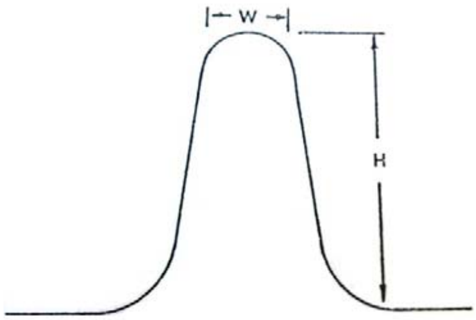
نسبت عرض به ضخامت راهگاه	زاویه مخروط
۳-۸	۳°
۸-۱۵	۵°
>۱۵	۱۰°

۳-۴- دیواره [۶]

دیواره به قسمتی از قطعه آهنگری اتلاق می گردد که به صورت عمود بر سطح جدایش قرار گرفته و نسبت ارتفاع به ضخامت آن بزرگتر از ۱/۲۵ می باشد.

اصل ۳۹ : برای مواد با قابلیت آهنگری پایین ، می بایست ضخامت دیواره بزرگتری انتخاب گردد .

اصل ۴۰ : دیواره های بلند و باریک در قطعات آهنگری معمولاً مشکل پر می شوند . بخصوص زمانیکه این دیواره ها در سمت لبه خارجی قرار گیرند . حدود پیشنهادی برای نسبت ارتفاع به عرض در شکل(۳-۲۳) نشان داده شده است [۳۵].



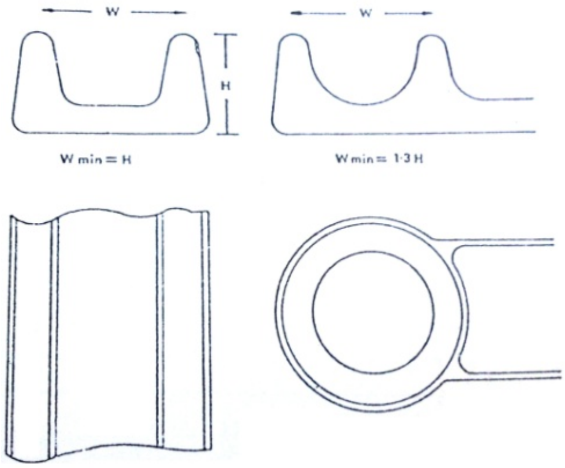
ارتفاع H(mm)	۶	۸	۱۰	۱۲	۱۵	۱۸	۲۰	۲۵	۳۰	۴۰	۵۰
عرض مینیمم W(mm)	۱	۲/۵	۳	۳/۵	۴	۴/۵	۵	۵/۵	۶	۸	۱۰

شکل ۳-۲۴- رابطه بین ارتفاع و عرض دیواره [۳۵].

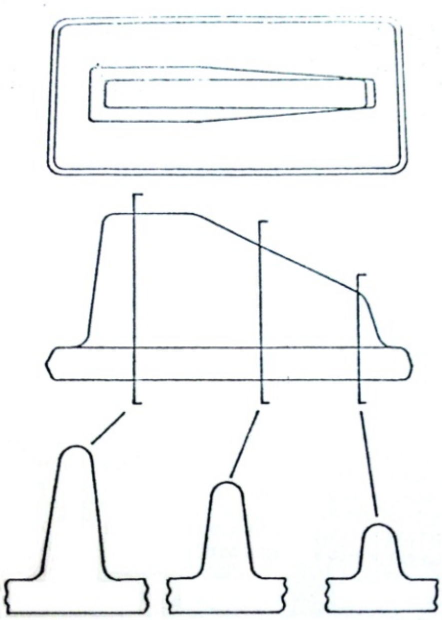
اصل ۴۱ : هنگامیکه در قطعه دیواره های مجاور وجود داشته باشد ، حداقل فاصله مورد نیاز باید طبق شکل (۳-۲۵) در نظر گرفته شود [۳۵].

6-Rib

اصل ۴۲ : هنگامیکه قطعه دارای دیواره هایی بصورت شیبدار باشد ، برای طراحی آن ها باید عرض در بالای دیواره و همچنین زاویه شیب ثابت بماند (شکل ۳-۲۶)[۳۵].



شکل ۳-۲۵- کمترین فاصله برای دیواره های مجاور[۳۵].



شکل ۳-۲۶- طراحی دیواره های مخروطی[۳۵]

اصل ۴۳ : در مورد آهنگری آهن اگر امکان پذیر باشد ، ضخامت دیواره پیش فرم را نازکتر و ارتفاع را بلندتر طراحی نموده زیرا باعث کاهش سایش قالب می شود [۳].

اصل ۴۴ : عرض دیواره در قالب پیش فرم نسبت به قالب نهایی برای سیلان آسانتر مواد ، کوچکتر می باشد . قوانین مربوط به عرض دیواره در قالب پیش فرم نسبت به قالب نهایی در جدول (۳-۵) ارائه شده است [۳۸].

جدول ۳-۵- کاهش عرض دیواره قالب پیش فرم نسبت به قالب نهایی[۳۸]

عرض دیواره قالب نهایی (mm)	کاهش
۳/۲-۶/۴	۰/۲۵
۶/۴-۹/۵	۰/۵
>۹/۵	۰/۸

اصل ۴۵ : مینیمم ضخامت مقاطع پیشنهادی برای آهنگری راهگاهی – دیواره ای چندین آلیاژ در جدول (۳-۶) آمده است[۳۶].

جدول ۳-۶- مینیمم ضخامت مقطع پیشنهادی برای آهنگری راهگاهی – دیواره ای چندین آلیاژ[۳۶]

آلیاژ	کمترین مقدار دیواره (mm) برای آهنگری مساحت صفحه cm^2		
	بالاتر از ۲۵	۲۵-۲۵۰	۲۵۰-۷۵۰
آلومینیوم ۲۰۱۴	۳	۵	-
فولاد آلیاژی ۴۳۴۰	۳	۵	-
H۱۱	۳	۵	-
فولاد زنگ نزن ph۷-۱۷	-	۶	-
سوپر آلیاژ a۲۸۶	-	۶	-
Ti-al-4v	-	۶	-
مولیبدن خالص	-	۱۰	-

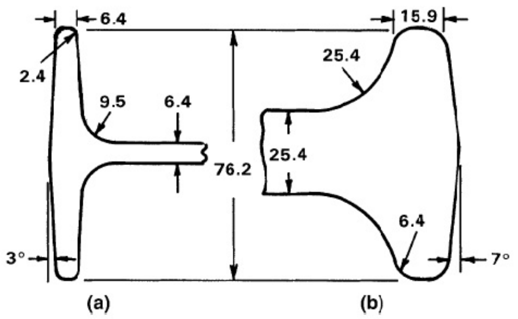
اصل ۴۶ : عرض دیواره پیش فرم (w_P) بر حسب عرض دیواره قطعه نهایی(w_F) برای آلیاژهای آلومینیوم از رابطه زیر بدست می آید[۳۶].

$$\mathrm{w_p} \approx \mathrm{w_f} - 0.8mm \qquad (۳-۵)$$

اصل ۴۷ : عرض دیواره پیش فرم (w_P) بر حسب عرض دیواره قطعه نهایی(w_F) برای آلیاژهای تیتانیوم از رابطه زیر بدست می آید[۳۶].

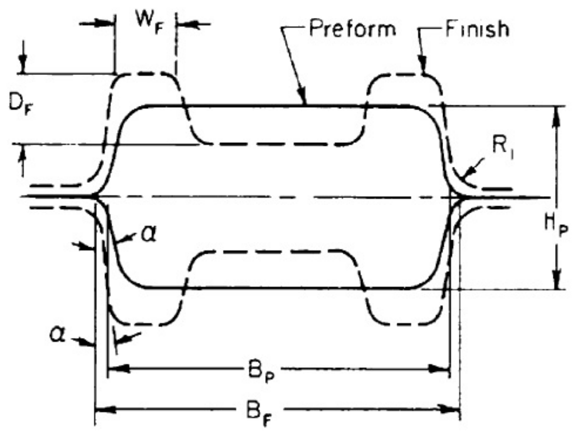
$$\mathrm{w_p} \approx \mathrm{w_f} - \left(1.6 \text{ تا } 3.2\mathrm{mm}\right) \qquad (۳-۶)$$

اصل ۴۸ : حدود متداول طراحی برای آهنگری قطعات راهگاهی – دیواره ای آلیاژهای مختلف متفاوت می باشد . شکل (۳-۲۷) این ابعاد را برای آلیاژهای آلومینیوم و ابرآلیاژهای پایه نیکل را نمایش می دهد [۳].



شکل ۳-۲۷- مقایسه حدود متداول طراحی برای آهنگری قطعات راهگاهی-دیواره a)آلومینیوم و b) ابر آلیاژهای پایه نیکل[۳].

اصل ۴۹ : برای یک قطعه با سطح مقطع H که در آن ارتفاع دیواره کوچکتر از دو برابر عرض دیواره است ($2W_F > D_F$) ، پیش فرم دارای شکل مستطیلی خواهد بود (شکل ۳-۲۸) [۳].



شکل ۳-۲۸- شکل پیش فرم وقتی که $(2W_F > D_F)$ [۳].

اصل ۵۰ : عرض کلی پیش فرم (B_P) بر حسب عرض حفره نهایی (B_F) مطابق از رابطه زیر (۳-۷) تعیین می شود (شکل ۳-۲۸) [۳].

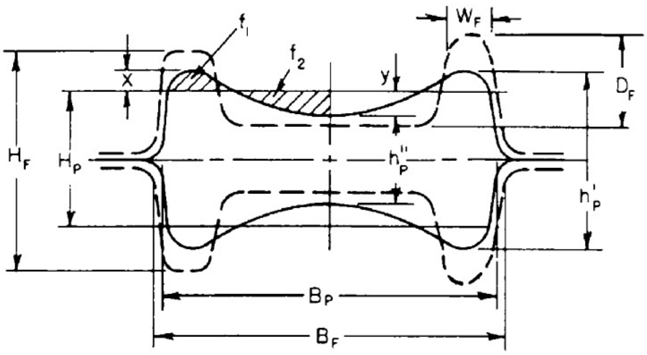
$$\mathrm{B_P} = \mathrm{B_F} - \left(0.4 \text{ تا } 0.08\right) \qquad (۳\text{-}۷)$$

اصل ۵۱ : ارتفاع پیش فرم (H_P) پس از تعیین عرض پیش فرم و با تقسیم مساحت سطحی (SA) سطح مقطع نهایی بر عرض پیش فرم بدست می آید (شکل ۳-۲۸)[۳].

$$\mathrm{H_P} = \left(\mathrm{SA} + \text{پلیسه}\right)/B_\mathrm{P} \qquad (۳\text{-}۸)$$

$\text{پلیسه} = \big(\%5$ تا

اصل ۵۲ : برای یک قطعه با سطح مقطع H شکل که در آن ارتفاع دیواره بزرگتر از دو برابر عرض دیواره است $(2W_F < D_F)$ ، پیش فرم دارای شکل ذوزنقه ای خواهد بود (شکل ۳-۲۹) [۳].



شکل ۳-۲۹- شکل پیش فرم وقتی که $(2W_F < D_F)$ [۳].

اصل ۵۳ : عرض کلی پیش فرم (B_P) بر حسب عرض حفره نهایی (B_F) برای شکل (۳-۲۹) نیز از رابطه (۳-۷) تعیین می شود [۳].

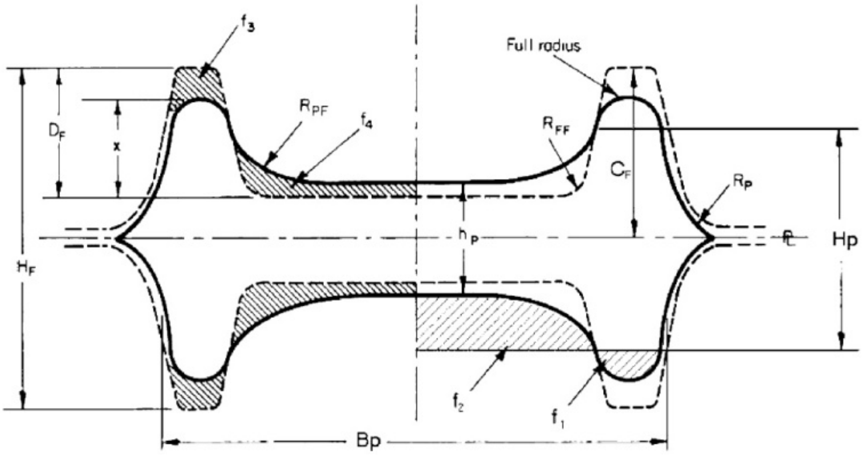
اصل ۵۴ : ارتفاع پیش فرم (H_P) شکل (۳-۲۹) نیز پس از تعیین عرض پیش فرم و با تقسیم مساحت سطحی (SA) سطح مقطع نهایی بر عرض پیش فرم بدست می آید (فرمول ۳-۸)[۳].

اصل ۵۵ : ارتفاع اضافی دیواره (x) مطابق رابطه (۳-۹) بدست می آید (شکل ۳-۲۹) [۳].

$$x = 0.25(H_F - H_P) \quad (۳-۹)$$

اصل ۵۶ : با بدست آوردن ارتفاع پیش فرم و ارتفاع اضافی دیواره ، نازک شدگی قسمت راهگاه با قرار دادن $f_1 = f_2$ (شکل ۳-۲۹) بدست می آید ، که راهگاه و دیواره با شعاع بزرگ به یکدیگر مرتبط می شوند [۳].

اصل ۵۷ : برای یک قطعه با سطح مقطع H شکل که در آن فاصله بین دیواره ها بسیار زیاد است (شکل ۳-۳۰) پیش فرم دارای شکل ذوزنقه ای است [۳].



شکل ۳-۳۰ – طرح پیش فرم ، وقتی که فاصله بین دیواره ها بسیار زیاد باشد[۳].

اصل ۵۸ : عرض و ارتفاع پیش فرم برای شکل (۳-۳۰) نیز از روابط (۳-۷ و ۳-۸) تعیین می گردد[۳].

اصل ۵۹ : فرض می شود که پیش فرم این مقطع (شکل ۳-۳۰) دارای شکل ذوزنقه ای باشد . مساحت سطحی f_2 می تواند به میزان قابل توجهی از مساحت سطحی f_1 بزرگتر باشد . ارتفاع دیواره (x) مورد نیاز از رابطه (۳-۱۰) بدست می آید [۳].

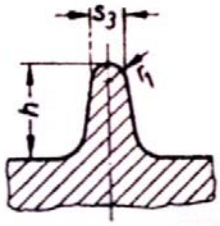
$$x = \left(0.6 \text{ تا } 0.8\right) D_F \qquad (۳-۱۰)$$

اصل ۶۰ : شعاع های گوشه و پلیسه (R_{PF}, R_F) شکل (۳-۳۰) را نیز می توان طبق روابط (۳-۱۱و۳-۱۲) بدست آورد [۳].

$$R_{PF} = 1.2R_{FF} + 3.175\text{mm} \qquad (۳-۱۱)$$

$$R_P \approx R_F + C \qquad (۳-۱۲)$$

اصل ۶۱ : در آلیاژهای آلومینیوم ، انتهای دیواره باید گرد باشد و شعاع r_1 باید تا حد امکان نصف ضخامت s_3 باشد (شکل ۳-۳۱ و جدول ۳- ۷) [۳۷].

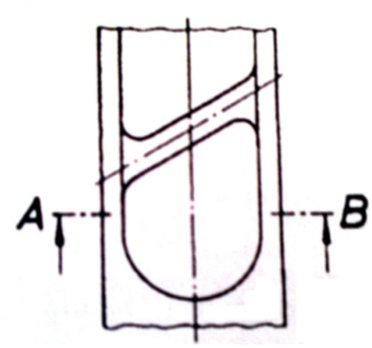


شکل ۳-۳۱- شماتیک ابعاد دیواره در آلیاژ آلومینیوم[۳۷].

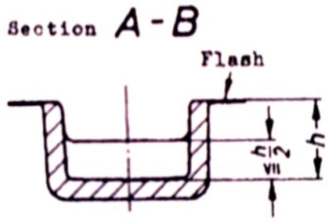
جدول ۳-۷- ابعاد دیواره برای آلیاژهای آلومینیوم(ابعاد برحسب میلیمتر هستند)[۳۷]

h	تا ۴	۴تا ۶	۶تا ۱۰	۱۰تا ۱۶	۱۶-۲۵	۲۵تا ۴۰	بالاتر از۴۰
حداقل s_3	۲/۶	۳	۳/۵	۴/۵	۶	۷/۵	۹/۵
حداقل r_1	۱	۱	۱	۱/۵	۲	۲/۵	۳

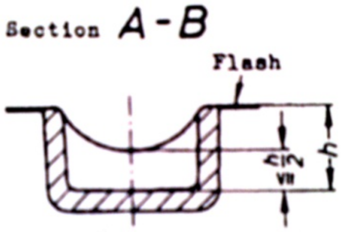
اصل ۶۲ : در آلیاژ های آلومینیوم اگر دیواره ها برای تأمین استحکام باشند ، آنگاه ارتفاع آنها نباید از نصف ارتفاع راهگاه ها بیشتر باشد (شکل های ۳-۳۱ و ۳-۳۲ و ۳-۳۳) [۳۷].



شکل ۳-۳۱- مقطع A-B [۳۷].

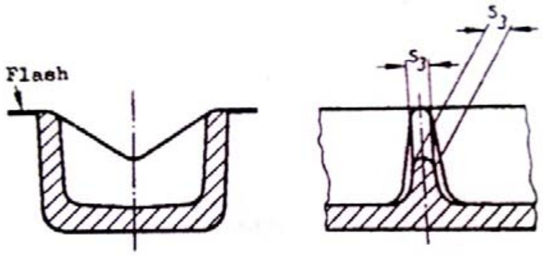


شکل ۳-۳۲- شکل دیواره مجاز[۳۷] .



شکل ۳-۳۳- شکل دیواره مناسب[۳۷] .

اصل ۶۳ : دیواره های آلیاژهای آلومینیوم باید تا جاییکه امکان دارد تا انتهای سطح ، ضخامت یکسان (s_3) داشته باشد ، زیرا این موضوع ساخت قالب را ارزان تر می نماید (شکل ۳-۳۴) [۳۷].



شکل ۳-۳۴- ضخامت مناسب دیواره [۳۷] .

اصل ۶۴ : به منظور دستیابی به دیواره های خارجی با فشردگی مناسب ، باید نسبت ارتفاع به ضخامت دیواره حتی الامکان کوچک و کم باشد [۳۷].

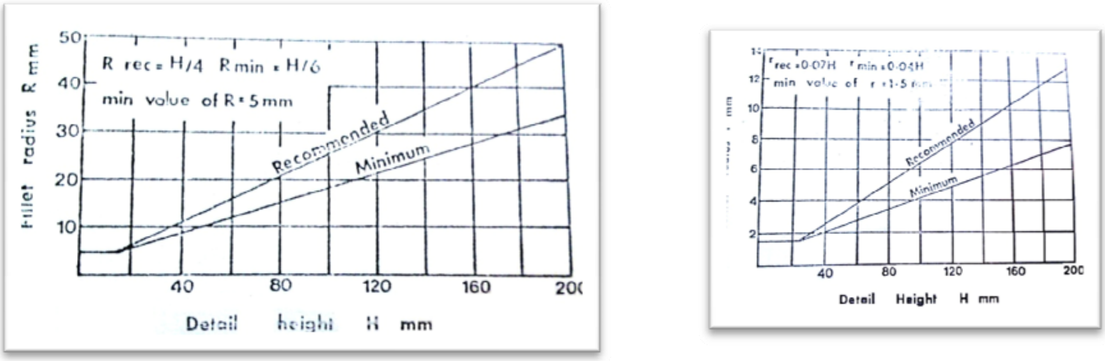
۳-۵- شعاع گوشه [۷] و شعاع لبه [۸]

گوشه ها و لبه ها کمان هایی می باشند که در محل لبه های تیز در قطعه آهنگری ایجاد می شوند . جریان مواد ، نیروی آهنگری مورد نیاز ، میزان سایش قالب ها ، میزان موادی که طی عملیات برداشته می شود و هزینه تولید قالبها و قطعات ، تحت تأثیر میزان شعاع گوشه و لبه می باشد .

گوشه، کمان محدبی است که بین دو سطح از قطعه که زاویه خارجی آن ها بزرگتر از ۱۸۰° است ، ایجاد می شود و لبه کمان مقعری است که بین دو سطح از قطعه که زاویه خارجی آن ها کوچکتر از ۱۸۰° می باشد، ایجاد می گردد .

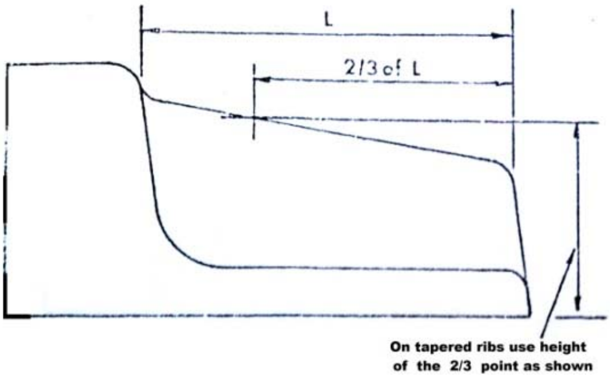
7- fillet
8- corner radius

اصل ۶۵ : مقادیر پیشنهادی و حداقل مقدار شعاع گوشه و لبه در نمودارهای شکل (۳-۳۵) آمده است . در این نمودارها محور افقی ارتفاع و محور عمودی شعاع گوشه و شعاع لبه را نشان می دهد[۳۵] .



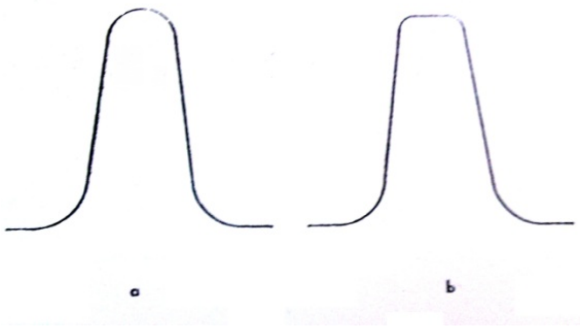
شکل ۳-۳۵- مقادیر پیشنهادی برای شعاع گوشه و لبه [۳۵] .

اصل ۶۶ : هنگامیکه دیواره های شیبدار بلند در قطعه وجود داشته باشد ، برای مشخص کردن ارتفاع جهت استفاده می کنیم (شکل ۳-۳۶) (l) از امتداد طول قسمت دیواره مانند$\frac{2}{3}$پیدا کردن شعاع ها از محلی به فاصله .[۳۵]



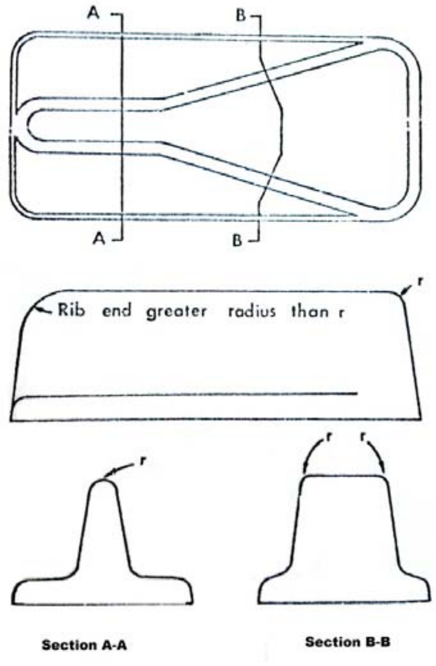
شکل ۳-۳۶ [۳۵]

اصل ۶۷ : گاهی اوقات همانند شکل (۳-۳۷) گوشه های کاملاً گرد (شکل ۳-۳۷ a) نسبت به شکل (۳-۳۷ b) ترجیح داده می شوند ، مخصوصاً هنگامیکه دیواره ها باریک باشند [۳۵] .



شکل ۳-۳۷- گوشه های کاملاً گرد (a) ترجیح داده می شوند [۳۵] .

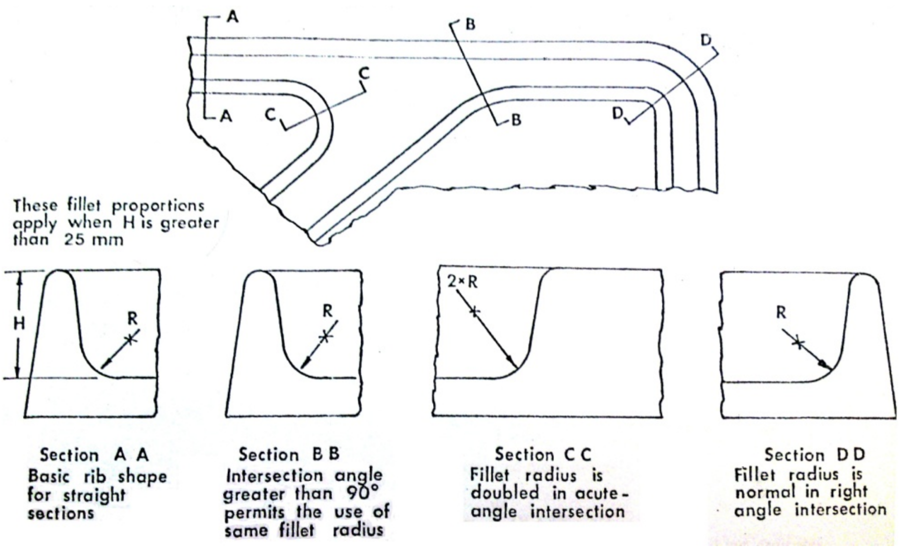
اصل ۶۸ : هنگامیکه یک دیواره با ضخامت متغیر در قطعه باشد ، در صورت امکان باید شعاع لبه ها را ثابت در نظر بگیریم . این کار باعث کاهش هزینه قالبسازی می شود . در انتهای دیواره شعاع باید به منظور کمک به پر شدن دیواره افزایش یابد (شکل ۳-۳۸) [۳۵].



شکل ۳-۳۸ – شعاع دیواره با ضخامت های گوناگون [۳۵] .

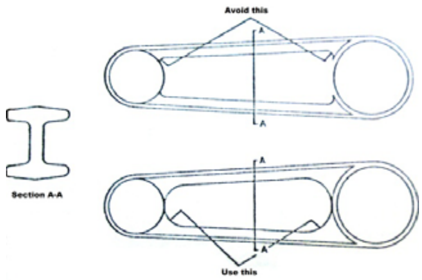
اصل ۶۹ : شعاع پیشنهادی انتهای دیواره ، سه برابر شعاع گوشه می باشد[۳۵] .

اصل ۷۰ :شکل (۳-۳۹) شعاع گوشه ها را در زوایای مختلف دیواره نشان می دهد و معمولاً در زاویه کمتر از °۹۰ ، اندازه شعاع پیشنهادی دو برابر می باشد [۳۵] .



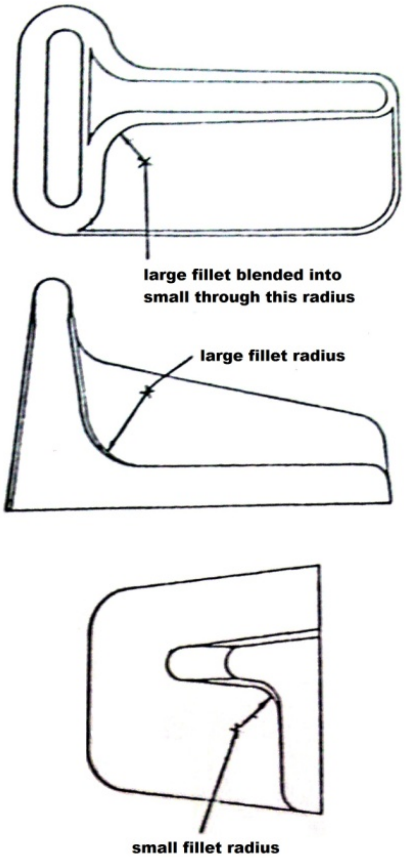
شکل ۳-۳۹- شعاع در فصل مشترک [۳۵] .

اصل ۷۱ : وقتی راهگاه به برآمدگی متصل باشد ، باید از شعاع داخلی کوچک اجتناب کرد و در صورت امکان به خاطر سیلان باید از شعاع کامل استفاده شود (شکل ۳-۴۰) [۳۵] .



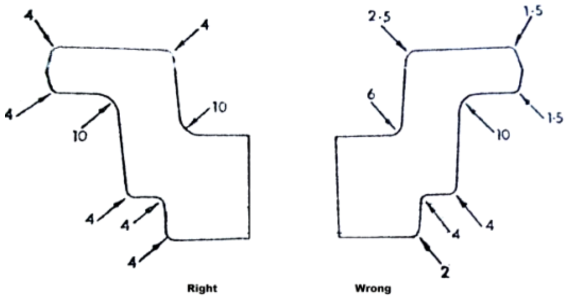
شکل۳-۴۰[۳۵] .

اصل ۷۲ : تا جاییکه امکان دارد بایستی شعاع گوشه ها ثابت بماند اما وقتی که این امکان وجود نداشته باشد ، در این صورت گوشه های مختلف در هم تلفیق می شوند . تغییرات در نقشه باید مطابق شکل (۳-۴۱) باشد [۳۵].



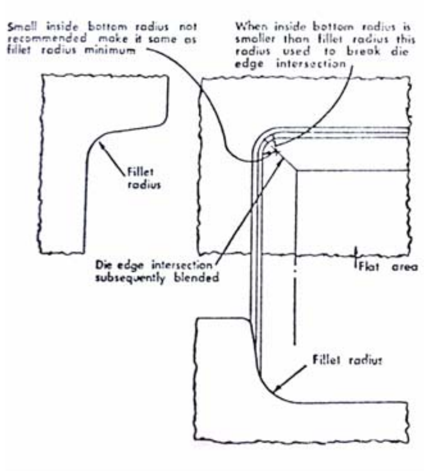
شکل ۳-۴۱- تلفیق شعاع ها [۳۵] .

اصل ۷۳ : تا آنجا که امکان دارد شعاع روی قالب ها باید مانند شکل (۳-۴۲) یکسان شود تا از عوض کردن ابزار قالبسازی جلوگیری شود ، هرچند که در این مقاطع حداقل شعاع گوشه و شعاع لبه و مقادیر پیشنهادی آن داده شده است[۳۵] .



شکل ۳-۴۲- استاندارد کردن شعاع ها [۳۵] .

اصل ۷۴ : در جاییکه یک شعاع در مقاطع داخلی قرار می گیرد ، شعاع نباید کوچکتر از شعاع گوشه در آن نقطه باشد . شکل (۳-۴۳) این امر را تشریح می کند[۳۵] .



شکل ۳-۴۴- شعاع های مقاطع داخلی[۳۵] .

اصل ۷۵ : شعاع گوشه پیش فرم (R_{PF}) بر حسب شعاع گوشه قطعه نهایی(R_{FF}) برای آلیاژهای آلومینیوم از رابطه زیر بدست می آید[۳۶].

$$R_{PF} \approx (1.2 \text{ تا } 2)\, R_{FF} \quad (۳-۱۳)$$

اصل ۷۶ : شعاع لبه پیش فرم (R_{PC}) بر حسب شعاع لبه قطعه نهایی(R_{FC}) برای آلیاژهای آلومینیوم از رابطه زیر بدست می آید[۳۶].

$$R_{PC} \approx (1.2 \text{ تا } 2)\, R_{FC} \quad (۳-۱۴)$$

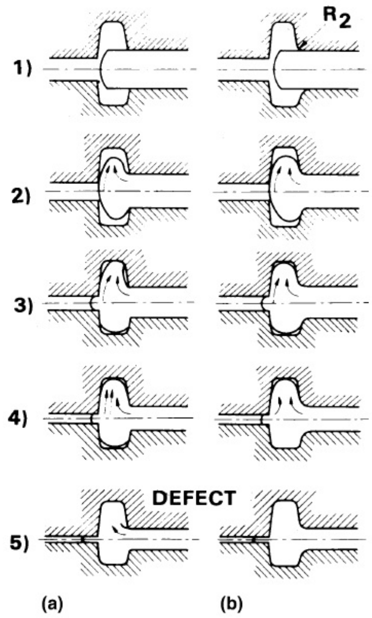
اصل ۷۷ : شعاع گوشه پیش فرم (R_{PF}) بر حسب شعاع گوشه قطعه نهایی(R_{FF}) برای آلیاژهای تیتانیوم از رابطه زیر بدست می آید[۳۶].

$$R_{PF} \approx (2 \text{ تا } 3)\, R_{FF} \quad (۳-۱۵)$$

اصل ۷۸ : شعاع لبه پیش فرم (R_{PC}) بر حسب شعاع لبه قطعه نهایی(R_{FC}) برای آلیاژهای تیتانیوم از رابطه زیر بدست می آید[۳۶]

$$R_{PC} \approx (2) R_{FC} \quad (۳-۱۶)$$

اصل ۷۹ : شعاع های گوشه و لبه در طراحی قالب مهم می باشند ، زیرا یک شعاع کوچک ممکن است منجر به ایجاد روی هم افتادگی یا عدم پرشدن قالب شود . البته بزرگی بیش از حد شعاع گوشه و لبه نیز مطلوب نمی باشد زیرا مسئله منجر به مصرف ماده اضافی و ماشینکاری بیشتر شده که خود منجر به بالا رفتن هزینه تولید می گردد (شکل ۳-۴۵) [۳۶] .



شکل ۳-۴۵- عیوب ایجاد شده در آهنگری زمانیکه شعاع گوشه ها بسیار کوچک باشد[۳] .

اصل ۸۰ : همانند زاویه شیب ، شعاع های گوشه و لبه مورد نیاز با افزایش سختی آهنگری آلیاژهای قطعه کار افزایش می یابد . در جدول (۳-۷) شعاع گوشه و لبه برای آهنگری چندین آلیاژ پیشنهاد شده است [۳۵].

جدول ۳-۷- شعاع های گوشه و لبه پیشنهاد شده برای آهنگری چندین آلیاژ [۳۶]

آلیاژ	شعاع گوشه (mm)	شعاع لبه(mm)
آلومینیوم ۲۰۱۴	۶	۳
فولاد آلیاژی ۴۳۴۰	۱۳-۱۰	۳
H۱۱	۱۳-۱۰	۵
فولاد زنگ نزن ph۷-۱۷	۱۳-۶	۵
سوپر آلیاژ a۲۸۶	۱۹-۱۳	۶
Ti-6al-4v	۱۶-۱۳	۶
مولیبدن خالص	۱۳	۱۳

اصل ۸۱ : در پیش فرم شعاع گوشه ها و لبه ها بزرگتر انتخاب می شود تا توزیع مواد بهتر انجام گیرد .

اصل ۸۲ : شعاع گوشه خارجی از شعاع گوشه داخلی در قالب پیش فرم بزرگتر بوده ، که برای گوشه های خارجی سه برابر قالب نهایی و برای گوشه داخلی برابر با قالب نهایی طراحی می گردد [۳۸] .

اصل ۸۳ : شعاع گوشه به زاویه شیب ، نسبت ارتفاع ، عرض دیواره ، زاویه مخروطی و فاصله راهگاه از مرکز قطعه بستگی دارد [۳۸].

اصل ۸۴ : شعاع گوشه هنگامیکه موقعیت آن به مرکز قطعه نزدیکتر می گردد ، کوچکتر می شود[۳۸] .

اصل ۸۵ : شعاع گوشه در مرکز محصول حدود ۲۵٪ کوچکتر از شعاع گوشه قرار گرفته در محیط قطعه می باشد [۳۸].

اصل ۸۶ : قوانین محاسبه شعاع گوشه که توسط ربلسکی[۹] ارائه گردیده در جدول (۳-۸) بیان شده است ، که در جدول مذکور ، شعاع گوشه پیش فرم (R_{PF}) و شعاع گوشه قطعه نهایی (R_{FF}) است [۳۸] .

جدول ۳-۸- تعیین ثابت (C) برای محاسبه شعاع گوشه در قالب پیش فرم[۳۸] .

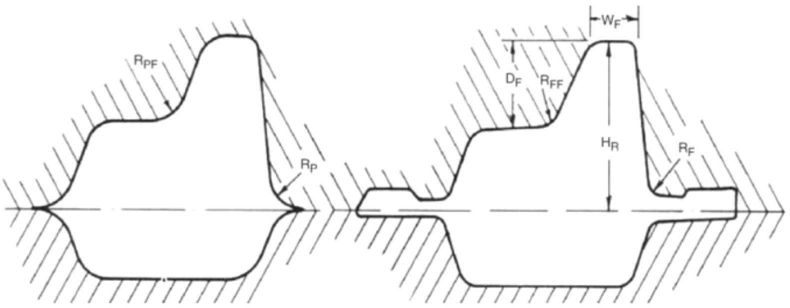
عمق حفره (mm)	
<۱۰	۲
۱۰-۲۵	۳
۲۵-۵۰	۴
>۵۰	۵

9- Rebelski

اصل ۸۷ : شعاع گوشه پیش فرم (R_{PF}) بر حسب شعاع گوشه قطعه نهایی(R_{FF}) برای فولادهای کربنی و کم آلیاژی از رابطه زیر بدست می آید[۳] .

$$R_{PF} \approx 1.2R_{FF} + 3.175mm \qquad (۱۷-۳)$$

اصل ۸۸ : در پیش فرم زمانیکه ارتفاع دیواره روی راهگاه از عرض دیواره بیشتر باشد ($W_F < D_F$) ، شعاع گوشه (R_{PF}) بین راهگاه با دیواره از مقدار نظیر آن در قطعه نهایی آهنگری (R_{FF}) بزرگتر است (شکل ۳-۴۶) [۳] .



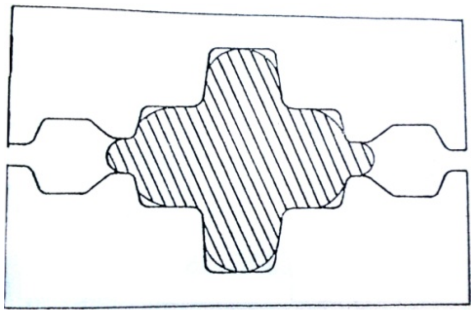
شکل ۳-۴۶- پیش فرم و شکل نهایی[۳]

۳-۶- گلوگاه پلیسه [10] و محفظه پلیسه [11]

گلوگاه پلیسه که در قالب های آهنگری مورد استفاده قرار می گیرد دو نقش اساسی را ایفا می کند :

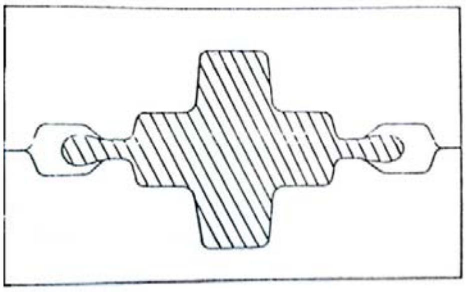
۱-در هر مرحله از آهنگری گلوگاه پلیسه موجب محدود شدن جریان فلز به سمت خارج از حفره قالب می گردد (شکل۳-۴۷)[۳۵].

10- Flash Land
11- Gutter



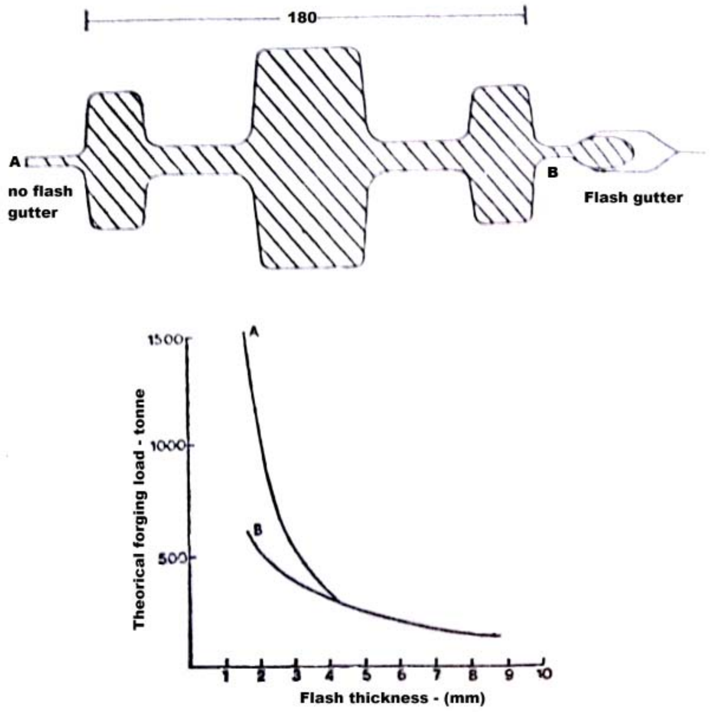
شکل ۳-۴۷- محدودیت در سیلان جانبی[۳۵] .

۲- در مرحله نهایی آهنگری وقتی حفره قالب پر شد ، فلز به داخل محفظه پلیسه جریان می یابد (شکل ۳-۴۸)[۳۵] .



شکل ۳-۴۸- سیلان ماده اضافی به درون محفظه پلیسه هنگامیکه حفره قالب پر شده باشد[۳۵] .

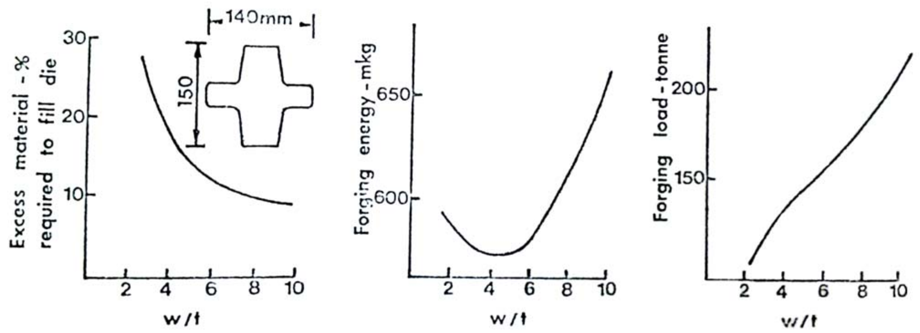
اصل ۸۹ : اهمیت محفظه پلیسه در پذیرش ماده اضافه در شکل (۳-۴۹) نشان داده شده است که نیروی آهنگری محاسبه شده را به عنوان تابعی از ضخامت پلیسه با محفظه و یا بدون محفظه پلیسه را نشان می دهد [۳۵].



شکل ۳-۴۹- تأثیر محفظه برروی نیروی آهنگری[۳۵] .

اصل ۹۰ : تأثیر گلوگاه پلیسه روی فرآیند آهنگری بوسیله محققان زیادی مورد بررسی قرار گرفته است . این محققان اعلام می کنند که حداقل فلز محدود شده در گلوگاه پلیسه به نسبت عرض به ضخامت$\left(\frac{w}{t}\right)$ بستگی دارد .

شکل(۳-۵۰) نشان می دهد که این نسبت چگونه روی مواد اضافی مورد نیاز برای پر کردن یک حفره قالب اثر می گذارد و همچنین نسبت $\left(\frac{w}{t}\right)$ ، مقدار بار و انرژی مورد نیاز آهنگری را مشخص می کند [۳۵] .

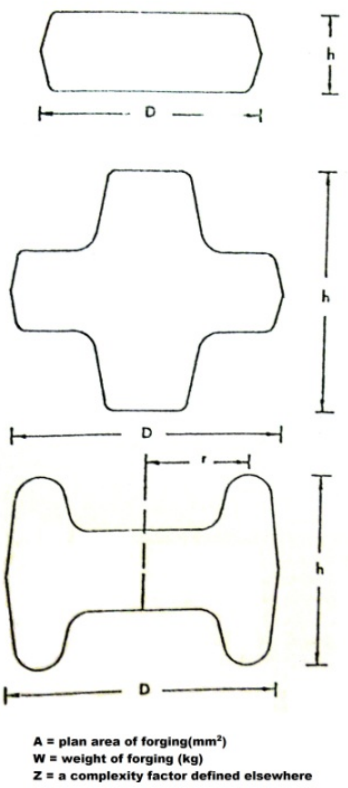


شکل ۳-۵۰- تأثیر نسبت گلوگاه پلیسه بر روی مقدار ماده اضافی ، بار و انرژی آهنگری[۳۵].

اصل ۹۱ : محققان روش های زیادی را برای تعیین ابعاد گلوگاه پلیسه ارائه کرده اند که در جدول (۳-۹) آمده است . علامت ها و واحدهای بکار رفته در جدول (۳-۹) در شکل (۳-۵۱) تشریح شده است(روابط ۳-۱۸ تا ۳-۲۶) [۳۵].

جدول ۳-۹- روابط پیشنهادی برای ابعاد گلوگاه پلیسه [۳۵].

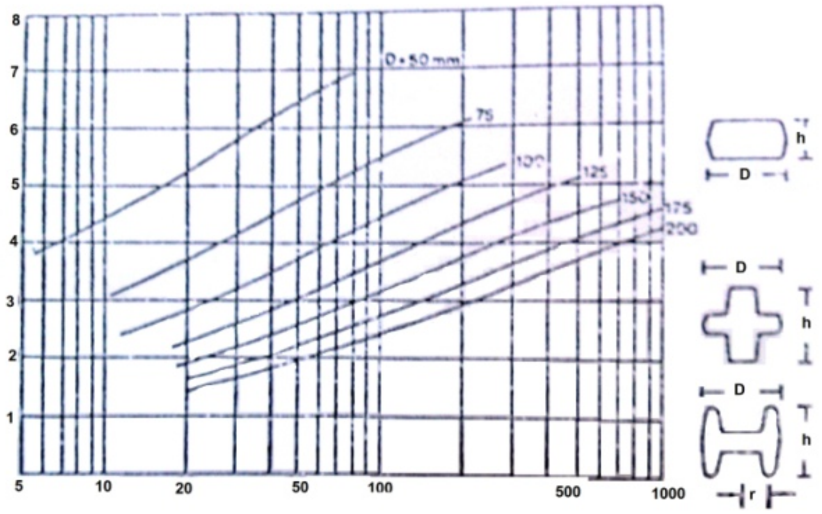
محقق	ضخامت پلیسه (t)	نسبت گلوگاه پلیسه (w/t)
Burchanof & Rebelski	$t = 0.015\sqrt{A}$ ۳-۱۸	-
Voigtlander	$t = 0.016D = 0.018\sqrt{A}$ ۳-۱۹	$w/t = 63/\sqrt{D}$ ۳-۲۰
Vieregge	$t = 0.017D + 1/\sqrt{D+5}$ ۳-۲۱	$w/t = \frac{30}{\sqrt[3]{D\left[1+\frac{2D^2}{h(2r=D)}\right]}}$ ۳-۲۲
Neuberger & Mockel	$t = 0.89\sqrt{W} - 0.017W + 1.13$ ۳-۲۳	$w/t = 3 + 1.2e^{-1.09w}$ ۳-۲۴
Teterin & Tranovski	$t = 2\sqrt[3]{w} - 0.01w - 0.09$ ۳-۲۵	$w/t = 0.0038\frac{ZD}{t} + \frac{4.39}{w^{0.2}} - 0.2$ ۳-۲۶



شکل ۳-۵۱- علامت استفاده شده در جدول (۳-۹) [۳۵].

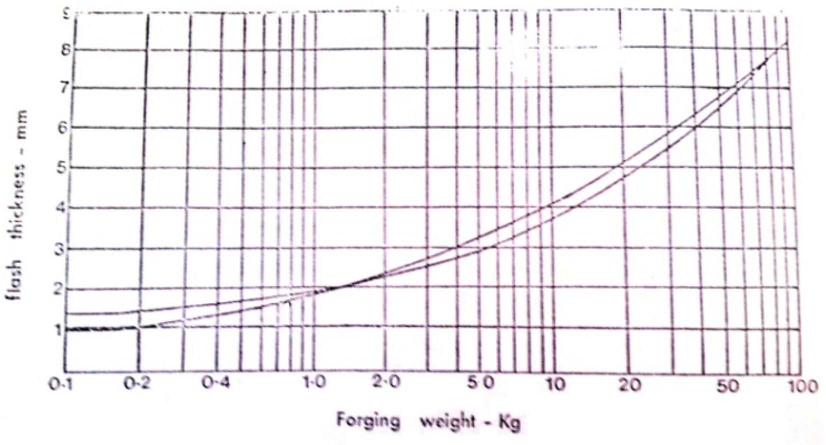
اصل ۹۲ : در جدول (۳-۹) روابط (۳-۱۸ و ۳-۱۹ و ۳-۲۰) پیچیدگی قطعه در تعیین ابعاد گلوگاه پلیسه در نظر گرفته نشده است . هرچند که این روابط از تجربه های عملی بدست آمده اند ولی عملاً برای تعیین کردن ابعاد پلیسه مناسب نیستند [۳۵] .

اصل ۹۳ : رابطه (۳-۲۱ و ۳-۲۲) ارائه شده در جدول (۳-۹) پیچیدگی قطعه را منظور نموده است اما تنها بر اساس چهار شکل قطعه ، قرار دارد . با این رابطه گلوگاه پلیسه می تواند بوسیله نسبت $\left(\frac{w}{t}\right)$ با کمک شکل (۳-۵۲) تخمین زده شود [۳۵] .



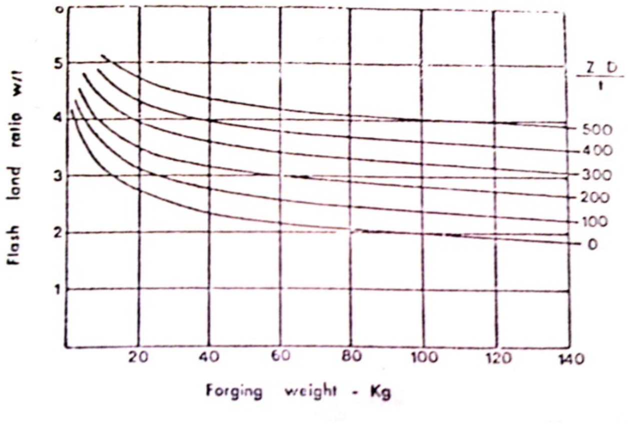
شکل ۳-۵۲- تخمین نسبت گلوگاه پلیسه توسط فرمول (۳-۲۱ و ۳-۲۲) جدول (۳-۹) [۳۵] .

اصل ۹۴ : روابط (۳-۲۳ و ۳-۲۵) ارائه شده در جدول (۳-۹) بدلیل آنکه بر اساس تحلیل آماری از تعداد زیادی قطعه آهنگری شده ، تهیه شده است ، بنابراین یک ضخامت پلیسه مناسب را تعیین می کند . نتایج بدست آمده از روابط(۲-۲۳ و ۲-۲۴ و ۲-۲۵ و ۲-۲۶) بر روی منحنی های نسبت ضخامت به وزن قطعه آهنگری شده در شکل (۳-۵۳) نشان داده شده است [۳۵] .



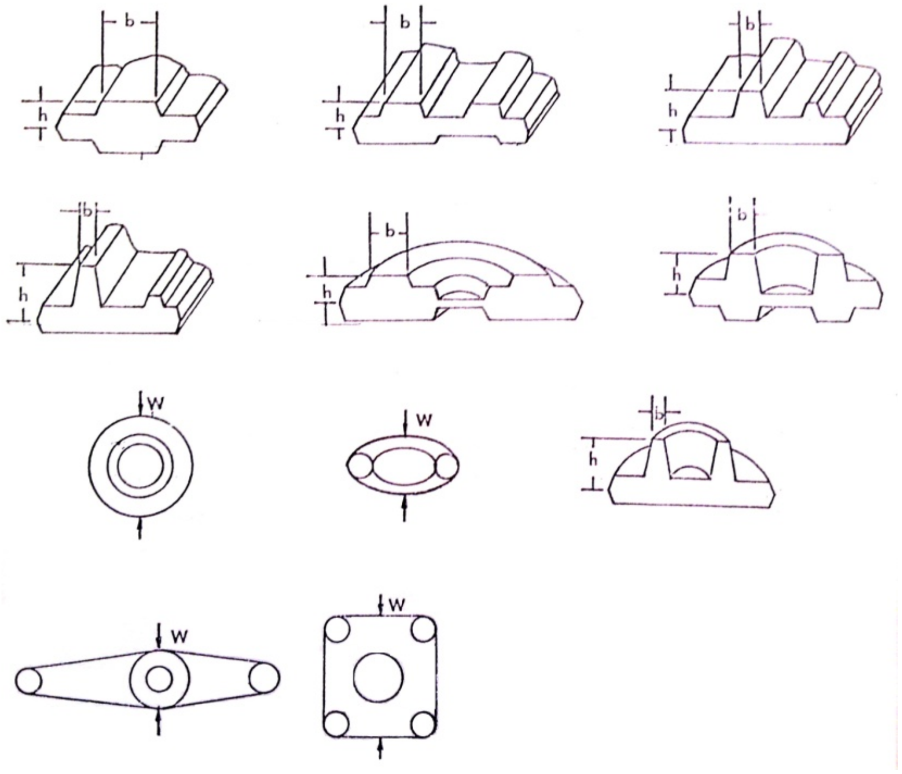
شکل ۳-۵۳- رابطه بین ضخامت پلیسه و وزن آهنگری [۳۵] .

اصل ۹۵ : با مشاهده اصول ۹۴ و ۹۵ به وضوح دیده می شود که نتایج این دو رابطه تقریباً یکسان می باشد . رابطه (۳-۲۶) جدول(۳-۹) کاملاً بر اساس کارهای تجربی روی قطعات آهنگری با محور متقارن می باشد . شکل (۳-۵۴) برای مشخص کردن نسبت پلیسه از فرمول (۳-۲۶) بکار می رود [۳۵] .



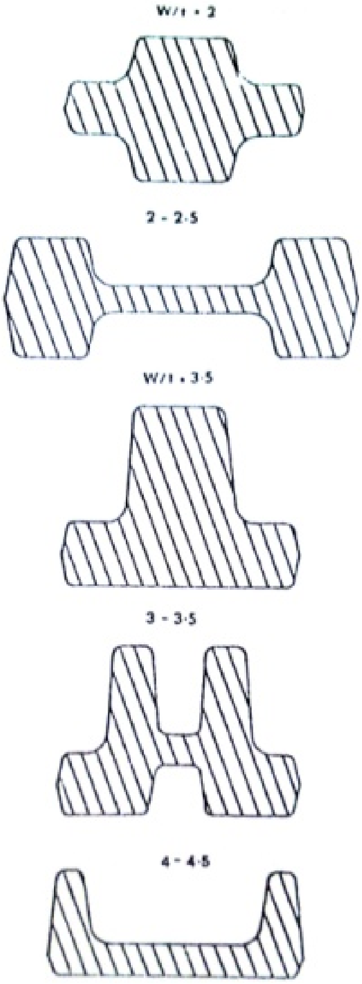
شکل ۳-۵۴- تعیین نسبت گلوگاه پلیسه از فرمول (۳-۲۶) [۳۵] .

اصل ۹۶ : روش ارائه شده در رابطه (۳-۲۶) جدول (۳-۹) را نمی توان برای محاسبه ابعاد گلوگاه پلیسه قطعات طویل بکار برد . بنابراین یک روش جدولی برای مشخص کردن ابعاد کانال پلیسه در شکل (۳-۵۵) نشان داده شده است [۳۵] .



شکل ۳-۵۵: تعیین ابعاد پلیسه [۳۵] .

اصل ۹۷ : شکل (۳-۵۶) نحوه تعیین گلوگاه پلیسه مربوط به قطعات پیچیده را مشخص می کند و همچنین می تواند به عنوان یک راهنمای عمومی مورد استفاده قرار گیرد [۳۵] .

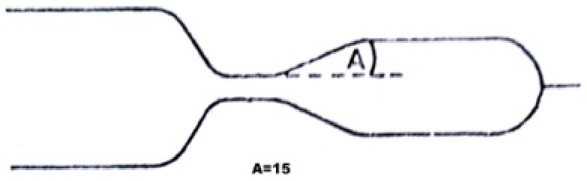


شکل ۳-۵۶- راهنمایی های عمومی برای نسبت گلوگاه پلیسه [۳۵] .

اصل ۹۸ : گلوگاه پلیسه ایده آل اجازه می دهد که ماده اضافی بدون محدودیت به داخل محفظه پلیسه جریان یابد[۳۵].

اصل ۹۹ : ابعاد محفظه پلیسه باید طوری طراحی شود که برای پذیرفتن فلزی که به خارج اکسترود می شود ، کافی باشد [۳۵] .

اصل ۱۰۰ : تقاطع قالب در قسمت محفظه پلیسه باید شیبدار باشد تا اینکه مقاومت زیادی را بتواند ایجاد کند (شکل ۳-۵۷) . این موضوع بویژه در موقعی که گلوگاه پلیسه باریک مورد استفاده قرار گیرد ، مهم است . اما در جاییکه مقدار نسبت گلوگاه کم مورد نیاز باشد ،بهترین روش رسیدن به آن افزایش ضخامت می باشد . زیرا این موضوع از ضعیف شدن بیش از حد گلوگاه پلیسه که ناشی از کاهش بیش از اندازه عرض می باشد ، جلوگیری می کند [۳۵] .



شکل ۳-۵۷- گلوگاه پلیسه به سمت محفظه مخروطی می شود[۳۵] .

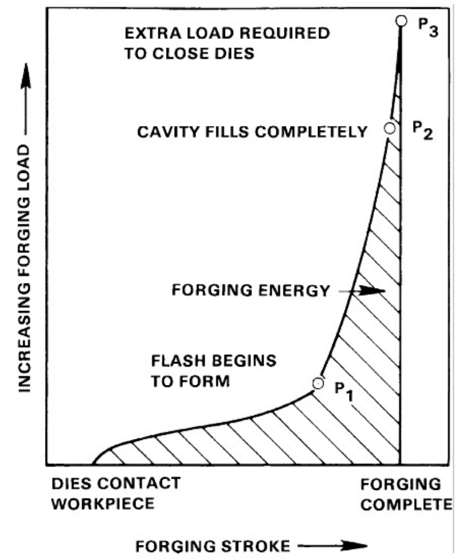
اصل ۱۰۱ : تأثیر ضخامت گلوگاه پلیسه و عرض آن بر فشار آهنگری از دیدگاه کیفی بخوبی شناخته شده است . فشار آهنگری با عوامل زیر افزایش می یابد :

- کاستن از ضخامت گلوگاه پلیسه
- افزودن عرض گلوگاه پلیسه ، به دلیل ترکیبی از افزایش محدودیت جریان افزایش نیروهای اصطکاکی وکاهش درجه حرارت در ناحیه گلوگاه [۳] .

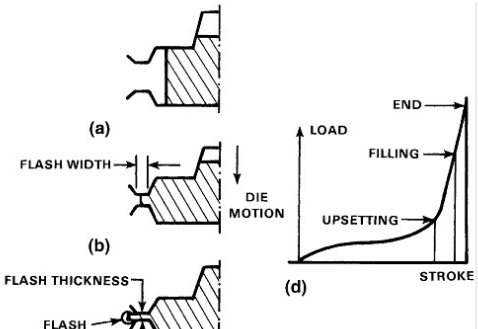
اصل ۱۰۲ : در آهنگری با چکش فولادهای کربنی و کم آلیاژی ، پیش فرم معمولاً دارای گلوگاه پلیسه نمی باشد [۳] .

اصل ۱۰۳ : یک منحنی متداول بار بر حسب کورس برای عملیات آهنگری در قالب نقش دار در شکل (۳-۵۸) نشان داده شده است . تا زمانیکه بخش های دشوار تر پر شوند و فلز به ورودی گلوگاه برسد ، نیروها نسبتاً پایین هستند (شکل ۳-۵۹) . این مرحله متناظر با نقطه P_1 در شکل (۳-۵۸) است.

در حالیکه عمل بسته شدن قالب ها ادامه می یابد ،نیرو با شیب تند تا نقطه P_2 ، یعنی مرحله ای که در آن حفره قالب به طور کامل پر می شود ، افزایش می یابد . با این وجود ، P_3 بیانگر بار نهایی در عملیات معمول است تا اطمینان حاصل شود که حفره ها به طورکامل پرشده و اینکه قطعه آهنگری دارای اندازه مطلوب می باشد[۳] .



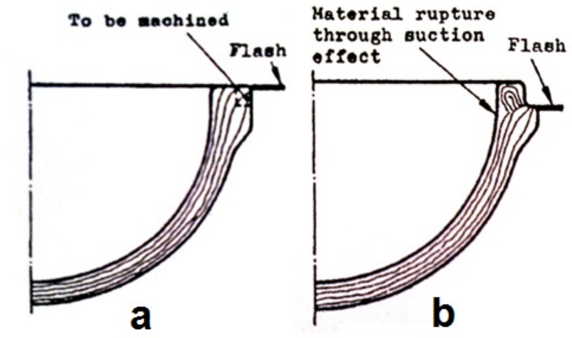
شکل ۳-۵۸- منحنی متداول بار کورس در آهنگری بسته [۳]



شکل ۳-۵۹- جریان فلز و منحنی متناظر بار – کورس ؛ a) سطح افزایی ؛ b) پرشدن ؛ c) انتها ؛

d) منحنی بار – کورس[۳]

اصل ۱۰۴ : در آلیاژهای آلومینیوم باید از انتخاب مناسب مکان و ابعاد پلیسه اطمینان حاصل نمود تا از عیوبی مانند ایجاد لبه ، چین خوردگی و دیگر گسیختگی های ماده جلوگیری نمود(شکل ۳-۶۰) [۳۷] .



شکل ۳-۶۰- مکان پلیسه a) صحیح ؛ b) نامناسب [۳۷].

۳-۷- ضریب پیچیدگی شکل [۱۲]

به طور کلی نخست باید از لزوم طراحی قالب پیش فرم در قطعه اطمینان حاصل نمود ، سپس اقدام به طراحی و ساخت قالب پیش فرم نمود. یکی از پارامترهایی که با استفاده از آن می توان در خصوص طراحی تعداد قالب های پیش فرم بالاخص در قالب های متقارن محوری قضاوت نمود ، ضریب پیچیدگی قطعه است .

اصل ۱۰۵ : مطابق استاندارد $DIN\ 7526$ ، ضریب پیچیدگی با رابطه (۳-۱۸) تعریف می شود . که در قطعات متقارن محوری m_a جرم استوانه فرضی است که بر محصول محیط می شود و m_w نیز جرم قطعه است . در صورت بالا رفتن این ضریب پیچیدگی ، ماده قبل از پر کردن ،به صورت مواد اضافی (پلیسه) از خط جدایش قالب خارج می شود . لذا برای جلوگیری از این مشکل باید تعدادی قالب پیش فرم طراحی نمود .

12 – Shape complexity factor

$$z = \frac{m_a}{m_v} \qquad (۱۸-۳)$$

اصل ۱۰۶ : یک مقدار کمی که ضریب پیچیدگی شکل نامیده می شود ، توسط تترین برای پیچیدگی هندسی قطعات آهنگری گرد با یک محور تقارن دورانی ارایه شده است . یک عامل شکلی طولی عبارست از : [۳] .

$$\alpha = \frac{X_f}{X_c} \qquad (۱۹-۳)$$

$$X_f = \frac{P^2}{F} \qquad (۲۰-۳)$$

$$X_c = \frac{P_c^2}{F_c} \qquad (۲۱-۳)$$

که در آنها ، P محیط سطح مقطع محوری قطعه آهنگری ، F مساحت سطح مقطع محوری قطعه آهنگری (سطحی که تمام محور تقارن را در برگیرد) ، P_c محیط مقطع محوری استوانه محیط بر قطعه آهنگری ، و F_C مساحت سطح مقطع محوری استوانه محیط بر قطعه آهنگری ، می باشد[۳] .

اصل ۱۰۷ : در مورد قطعات آهنگری گرد ، برآمدگی ها و طوقه هایی که از مرکز دورترند ، آهنگری آنها به طور افزاینده ای دشوارتر است . بنابراین ، یک عامل شکل جانبی (β) به صورت زیر تعریف می شود .

$$\beta = \frac{2R_g}{R_C} \qquad (۲۲-۳)$$

که در آن R_g فاصله شعاعی از محور تقارن تا مرکز گرانش نصف سطح مقطع و R_C شعاع بیشینه قطعه آهنگری است که برابر با شعاع استوانه محیط شونده می باشد [۳] .

اصل ۱۰۸ : یک ضریب پیچیدگی شکل که در برگیرنده هر دو عامل طولی و جانبی است ، مطابق زیر تعریف می شود .

$$S = \alpha\beta \qquad (۲۳-۳)$$

عامل S بیان کننده پیچیدگی نیمی از سطح مقطع یک قطعه آهنگری در مقایسه با مقدار آن برای استوانه محیط شونده است . در قطعات آهنگری گرد ، در طی عملیات آهنگری ، ماده از مرکز استوانه که منطبق بر محور خنثی فرض می شود ، در جهت جانبی حرکت می کند . در آهنگری نامتقارن هم ، ماده همچنان از سطح خنثی در جهت جانبی به سمت بیرون حرکت می کند . بنابراین ، با تعریف این سطح خنثی ، یک ضریب پیچیدگی شکل در قطعات آهنگری نا متقارن هم می تواند محاسبه شود[۳].

منابع و ماخذ :

[1] ASM .1996 . *Metals Handbook ; Forming and Forging* . Metals Park , Ohio : ASM.

[2]بشارتی گیوی، محمد کاظم. ۱۳۸۵ . *مهندسی تولید وفناوری* . تهران : انتشارات دانشگاه تهران.

[3] Taylan Altan, Gracious Ngaile, Gangshu Shen. 2004. *Cold and hot forging: fundamentals and applications*. . Metals Park , Ohio: ASM International.

[4] Kurt Lange .1985. *Hand Book of Metal Forming*. Michigan: SME.

[5] Metals Handbook, Volume 2. Formerly Tenth Edition. 1990. Properties and Selection: Nonferrous Alloys and Special-Purpose Materials. ASM International. American Society of Materials .

[6] Military Handbook MIL-HDBK-5H, 2003. Metallic Materials and Elements for Aerospace Vehicle Structures, Knovel Interactive Edition

[7] MaWeb,the Online Material Datbase .2001-2002.Aluminum , Magnesium and Copper alloys. Crptechnology . http://www.crptechnology.com/sito/en/material/al-mg-and-copper alloys.html.

[8] Cayless R.B.C, Alcan Rolled Products Company. 1990. Alloy and Temper Designation Systems for Aluminum and Aluminum Alloy. Metal Handbook. Volume 2. Formerly Tenth Edition

[9] بهروز فر، علی. ۱۳۸۴. طراحی پیش فرم آهنگری به روش برون یابی المان های مرزی. پایان نامه کارشناسی. دانشگاه صنعتی امیرکبیر.

[10] هادی، مصطفی. ۱۳۸۴. طراحی پیش فرم در فرآیند آهنگری با قالب بسته. سمینار کارشناسی ارشد. دانشگاه امیر کبیر .

[11] Lee.S.R , Y.K.Lee , C.H.Park , D.Y.Yang . 2002. A new method of design in hot forging by using electric field theory. *International Journal of mechanical sciences* .44:773-792.

[12] Bramley.A.N. 2001 .UBET and TEUBA: fast methods for forging simulating and preform design. *Materials Processing Technology* .116: 62-66.

[13] Biglari. F.R,M.P.O'Dowd,R.T.Fenner.1998.optimum design of forging dies fuzzy logic in conjuction with the backward deformation method. *International Journal of Mach,Tool & man*.vol 38.

[14] Kobayashi.Sh,J.J.Park,N.Rebelo.1983.A new approach to perform design in metal forming with the finite element method. *International Journal of Mach,Tool*.Des,Res ,vol 24:71-79 .

[15] Anza.J.J,J.I.Barbero,C.Muga,J.Calvo,A.R.Carrillo ,A.R.De pedro.1994.Computer aided forging design.*Journal Master.process.Technol*.45:715-719.

[16] Lapovok.R.Ye. P. F. Thomson. 1995. An approach to perform design. *Tools Manufact* 35: 1537-1544.

[17] Zhao.G, Ed Wright, Ramana, V. Grandhi. 1995. Forging preform design with shape complexity control in simulating backward deformation .*Tools Manufact*. 35: 1225-1239.

[18] Zhao.G., E. Wright, R. V. Grandhi.1996. Computer aided perform design in forging using the inverse die contact tracking method. *Tools Manufact* .36: 755-769.

[19] Mamalis.A.G, D.E. Manolakos, A.K. Baldoukas.1996.Finite-element simulation of axisymmetric preforms in precision forging at elevated temperatures. Materials Processing Technology .57: 103-111.

[20] Zhao.V, E.Wright, Ramana, V. Grandhi. 1997 .Sensitivity analysis based perform die shape design for net-shape forging. *Tools Manufact* .37: 1251-1271.

[21] Zhao.G, Z.Zhao, T.Wang, Ramana.V.Grandhi.1998.Preform design of a generic turbine disk forging process. *Materials Processing Technology* .84: 193-201.

[22] Liu.Q,w.Shichun,S.Sheng.1998.Preform desighn in axisymmetric forging by a new FEM-UBET method.*Journal of Materials Technology* .74:218-222.

[23] Chang.C.C.,A.N.Bramley.1998.A new forging preform design approach using reverse simulation. *Annals of the CIRP* . 47:193-196.

[24] Lapovok.R.1998 . Improvement of die life by minimisation of damage accumulation and optimisation of preform design. *Materials Processing Technology*. 80–81: 608-612.

[25] Vazquez.V,T.Altan. 2000 .Die design for flashless forging of complex parts. *Materials Processing Technology* .98: 81-89.

[26] Chang.C.C,A.N.Bramley . 2000. Forging preform design using a reverse simulation approach with the upper bound finite element procedure. *IMechE*.127-136.

[27] Zhao.X , G.Zhao , G.Wang , T.Wang. 2002 . Preform die shape design for uniformity of deformation in forging based on preform sensitivity analysis . *Journal of Materials Processing Technology* . 128:25-32 .

[28] Zhao.G,G.Wang,R.V.Grandhi . 2002 . Die cavity design of near flashless forging process using FEM – based backward simulation . *Journal of Materials Processing Technology*. 121:173-181 .

[29] Almohaileb. M , J.S.Gunasekera , B.V.Mehta, B.Oyekanmi. 2004 . Modified upper bound elemental technique (MUBET) for preform design in closed die Forging . *Material Processing and Design*.2062-2067.

[30] Shim. H .2003 . Optimal preform design for rhe free forging of 3D shape by the sensitivity method . *Journal of Materials Processing Technology* . 134:99-107 .

[31] Jolfa. M , A.M.S.Hamuda , S.Sulaiman , M.M.Hamdan . 2003 . Development of a CAD/CAM system for the closed-die forging process . *Journal of Materials Processing Technology* .138 :436–442.

[32] Tomov.B , R.Radef . 2004 . An example of determination of performing steps in hot die forging . *Journal of Materials Processing Technology* .157-158 :617-619.

[33] Tomov.B,V.I.Gagov , R.Radef . 2004 . Numerical simulations of hot die forging processes using finite element method . *Journal of Materials Processing Technology* .153-154 :352-358.

[34] Poursina. M , J.Parvizian , C.A.C.Antonio . 2006 . Optimum preform dies in two stage forging . *Journal of Materials Processing Technology* .174 :325-333.

[35] Tao.G , Y.He ,L.Y.Li . 2006 . Backward tracing simulation of precision forging process for blade based on 3D FEM . *Trans.Nonferrous.Met.Soc.China* .16: 639-644.

[36] Park. J.J , H.S.Hwang . 2007 . Preform design for precision forging of an asymmetric rib-web types component. *Journal of Materials Processing Technology*. 187-188:595-599 .

[37] Hino. R , A.Sasaki , F.Yoshida , V.Toropov . 2008 . A new algorithm for reduction of number of press-formin stages in forming processes using numerical optimization and FE simulation . *International Journal of Mechanical Sciences*. 50 : 974-983.

[38] Satish. G.D , N.K.Singh , R.K.Ohdar . 2008 . Preform optimization of pad section of front axle beam using DEFORM . *journal of materials processing technology* .203 : 102–106 .

[39] Sedighi. M , M.Hadi , S.Kolahdouz . 2009 . Optimization of Preform in Close Die Forging by Of Neural Network and Genetic Algorithm . *World Applied Sciences Journal*. 7 (11): 1464-1473.

[40] A.Thomas .1982. *Forging machine and process* . DFRA manual .

[41] T.G.Byrer .1985. Forging Handbook. American society of metal .

[42] Kim. D.Y. , J.J.Park . 2000. Development of an expert system for the process design of axisymetric hot steel forging . *journal of materials processing technology* . 101:223-230.

[43] مسن آبادی ، رضا . ۱۳۸۷ . آهنگری . تهران : انتشارات دانشگاه صنعتی امیرکبیر.

[44] DIN 1749 .1974. Aluminum Drop Forging . DIN .

[45] DEFORM™ 3D Version 6.1 User's Manual .