

اصول طراحی قالب‌های مرحله‌ای (Progressive Dies)

محمد برزگری

کارشناس ارشد مهندسی ساخت و تولید

بخش اول

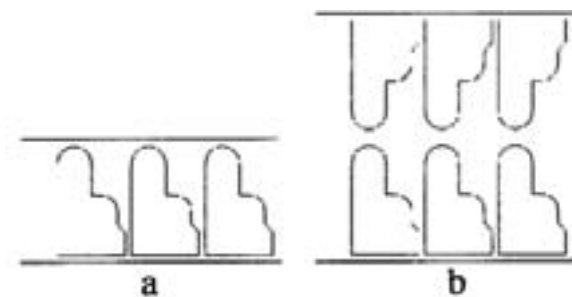


۲- در صورت نبودن سوراخ مناسب در قطعه فضای کافی برای دو سوراخ راهنما قرینه در نظر گرفته شود.

۳- راستای خم بر مسیر الیاف باید عمود باشد.

۴- در صورت یکسان بودن شرایط برای جانمایی قطعه بهتر است پهنای قطعه در عرض نوار قرار گیرد زیرا: اولاً برش کمتری برای تولید نوار لازم است.

ثانیاً طول تغذیه ورق کوتاه‌تر است که باعث کاهش زمان تولید می‌شود. ثالثاً تعداد قطعه بیشتری در هر نوار تولید می‌شود. ۵- جانمایی باید به گونه‌ای باشد تا نوار صلیبیت خود را از دست ندهد و به راحتی بدون گیر کردن و پیچ‌خوردگی، در قالب حرکت داده شود. ۶- در جانمایی سعی شود از ورق با پهنای استاندارد استفاده شود. ۷- برای قطعات کوچک که تیراژ بالا دارند از طرح دو حفره‌ای استفاده می‌شود. این طرح برای تعادل نیروها در قطعاتی که برش متقارن ندارند مفید می‌باشد.



شکل (۲): طرح یک حفره‌ای (a) و دو حفره‌ای (b)

به اعتقاد اکثر متخصصان در صنایع پرسکاری، قالبسازی یک هنر است تا یک علم و طراحی قالب به خصوص قالب مرحله‌ای یک جریان تجربی همراه با سعی و خطا است و تنها با داشتن سال‌ها تجربه می‌توان یک خبره طراح قالب شده، به همین دلیل با وجود آنکه قالب‌های مرحله‌ای نقش بسزایی در تولید قطعات دارند متأسفانه در کتب و دروس دانشگاهی جایگاهی ندارند.

اما واقعیت این است که قالبسازی هنر محض نیست بلکه عملکرد صحیح قالب نتیجه به کار بردن یکسری اصول علمی است که در یک قالب نامطمئن به کار برده نشده است با جمع‌آوری این اصول می‌توان طراحی قالب را از حالت کارگاهی خارج کرده و به آن جنبه علمی داد و اگر رابطه منطقی این اصول مشخص شود می‌توان الگو ریتیم فرایند طراحی قالب را نوشت و آن را کامپیوتری کرد.

۱- انتخاب یک قالب مرحله‌ای:

در هنگام انتخاب قالب مرحله‌ای علاوه بر تیراژ تولید و تعداد عملیات باید توجه داشت که:

- ۱- ورق آنقدر نازک نباشد که نتوان آن را هدایت کرد.
- ۲- اندازه نهایی قالب برای پرس‌های موجود خیلی بزرگ نباشد.
- ۳- ظرفیت نهایی پرس خواسته شده موجود باشد.
- ۴- اشکال موجود روی قطعه، تolerانس دقیق (بسته) نسبت به پیرامون قطعه نداشته باشند.

رابطه (۱-۲) به صرفه بودن قالب مرحله‌ای با توجه به نرخ تولید را نشان می‌دهد.
(هزینه پرسکاری هر قطعه - قیمت هر قطعه) / هزینه قالب = حداقل تعداد تولید در یک دید کلی مراحل لازم برای طراحی قالب مرحله‌ای در شکل زیر نشان داده شده است.

۲- جانمایی (nesting):

جانمایی عبارت از چگونگی چیدن قطعات ورق فلزی کنار یکدیگر به صورتی که حداقل دور ریز ورق و حداقل هزینه در رابطه با قالب حاصل شود. جانمایی با چیدمان (Strip layout) متفاوت است که در بخش بعدی توضیح داده شده است. در جانمایی برای قالب مرحله‌ای علاوه بر درصد دورریز باید موارد زیر را مدنظر داشت.

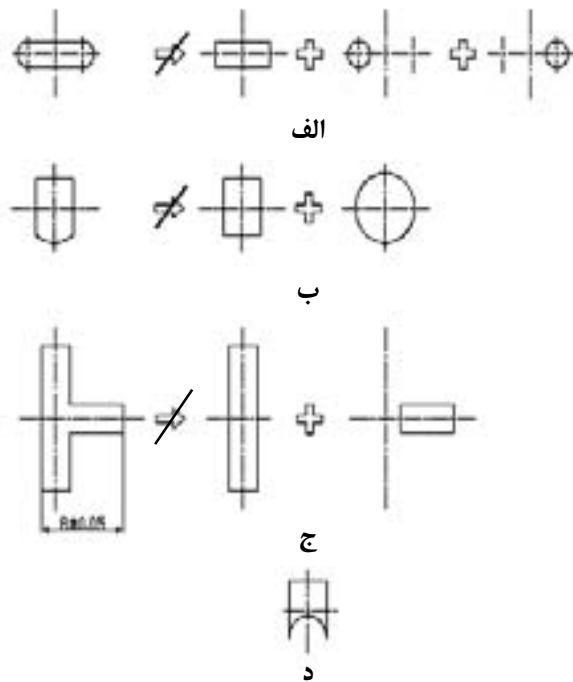
- ۱- در حالت کلی به جز برای قطعات مدور و بیضوی طرح یک ردیفه مناسبترین طرح برای قالب‌های مرحله‌ای است در این طرح با کج کردن و تحت زاویه قرار دادن قطعه می‌توان درصد دورریز را کاهش داد.

۲- شکل‌هایی که از ساده شدن به وجود می‌آیند با هم تداخل داشته باشد (شکل ۶ ب)

۳- شکل، تلرانس دقیق داشته باشد. (شکل ۶ ج)

۴- شکل، کمان مقعر داشته باشد. (شکل ۶ د)

۵- اندازه نهایی اشکال ساده شده از حد معین که سبب ضعیف شدن سنبه‌ها می‌شود کمتر باشد.



شکل ۶: شکل‌های مرکب تجزیه ناپذیر

۴- موقعیت‌دهی ورق:

از مهمترین مراحل طراحی موقعیت‌دهی ورق در هر ایستگاه است ورق باید دقیقاً در هر ایستگاه موقعیت بگیرد تا عملیات پرسکاری در موقعیت صحیح انجام گیرد. یک روش رایج موقعیت‌دهی ورق استفاده از راهنمای ورق (پین‌های جوینده یا پیلوت) می‌باشد.

ورق ابتدا به وسیله استپ‌های ثابت و اتوماتیک موقعیت تقریبی می‌گیرد سپس راهنماها وارد سوراخ‌های از قبل ایجاد شده می‌شوند. سرکاجی شکل راهنماها سبب کشیده شدن و هدایت ورق به موقعیت صحیح قبل از عمل پرسکاری می‌شوند. راهنماهای ورق، نقش حیاتی در قالب‌های مرحله‌ای دارند و طراحی نادرست آنها مشکلات زیادی به وجود می‌آورد.

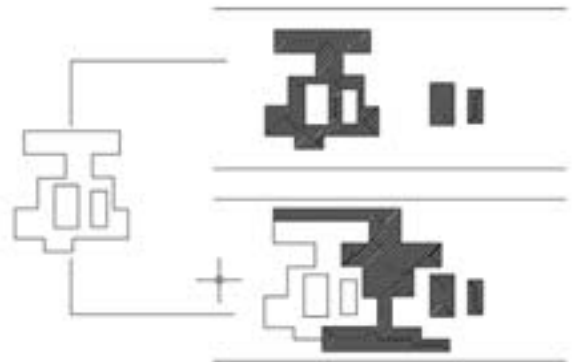
سه روش مستقیم، غیرمستقیم و نیمه مستقیم برای راهنمایی ورق در قالب‌های مرحله‌ای وجود دارد.

۱-۴ راهنمای مستقیم (direct pilot): در راهنمای مستقیم از سوراخ‌های قطعه کار که در ایستگاه‌های قبل ایجاد شده، استفاده می‌شود.

۲-۴ راهنمای غیرمستقیم (indirect pilot): راهنمای غیرمستقیم

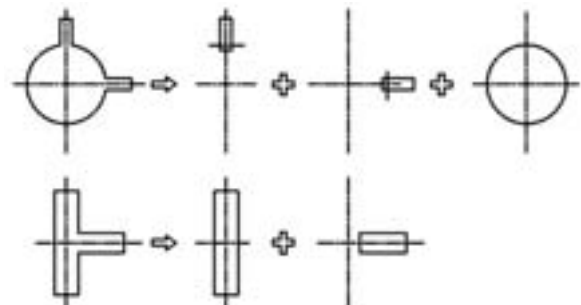
تعیین سنبه‌های برش:

در این مرحله ابتدا مشخص می‌شود که آیا قطعه کار به صورت یک تکه دوربری می‌شود و یا با کناره‌بری متوالی پیرامون آن تولید می‌شود. در مواردی که سنبه دوربری شکل پیچیده داشته باشد و یا بعضی اضلاع قطعه کار با حاشیه نوار یکی باشند بهتر است از سنبه قطع به جای سنبه دوربری استفاده شود.



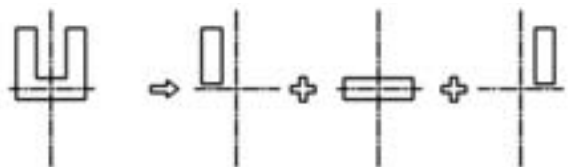
شکل ۳: نحوه بیرون آوردن قطعه از ورق

بعد از تعیین روش برداشت قطعه شکل‌های ترکیبی به شکل‌های ساده‌تر تبدیل شده تا اینکه ساخت سنبه و ماتریس آنها امکان‌پذیر باشد شکل ۴. همچنین شکل‌هایی که سنبه و ماتریس آنها از لحاظ عملکردی مشکل



شکل ۴: تقسیم شکل‌های ترکیبی به شکل‌های ساده‌تر برای ساخت ساده‌تر سنبه و ماتریس

دارند به شکل‌های ساده‌تر تقسیم می‌شوند



شکل ۵: تقسیم شکل برای تقویت دیواره ماتریس

اشکال با شرایط زیر را نمی‌توان به شکل‌های ساده‌تر تقسیم کرد:

۱- شکل، لبه‌های مماس به کمان داشته باشد (شکل الف)

عبارت از ایجاد سوراخ‌ها در دورریز ورق و موقعیت‌گیری از این سوراخ‌ها در عملیات بعدی است. راهنمای مستقیم مطلوب‌ترین روش برای موقعیت‌دهی ورق می‌باشد اما در شرایط زیر لازم است از راهنمای غیرمستقیم استفاده شود.

۱- سوراخ‌های قطعه کوچک باشد. (شکل الف) راهنمای ورق باید استحکام لازم برای کشیدن مواد به موقعیت مناسب را داشته باشد.

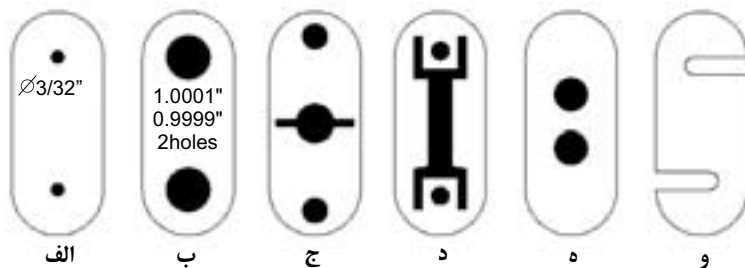
۲- سوراخ‌های قطعه تلرانس دقیق داشته باشند. راهنماها ممکن است هنگام کشیدن ورق‌های سنگین، سبب بزرگ شدن سوراخ شوند.

۳- سوراخ‌های قطعه خیلی نزدیک به لبه‌های قطعه باشند. با بزرگ شدن احتمالی سوراخ‌ها، خرابی لبه‌های قطعه کار می‌تواند اتفاق افتد. حداقل فاصله دو برابر ضخامت ورق باشد.

۴- سوراخ‌ها در منطقه ضعیف قطعه قرار داشته باشد. (شکل د) در این حالت احتمال قلاب کردن قطعه وجود دارد.

۵- سوراخ‌های قطعه نزدیک به هم باشند و برای به دست آوردن دقت موقعیت‌دهی قطعه، باید راهنماها حتی‌الامکان از هم دور باشند. در این حالت می‌توان از یک سوراخ در دو ایستگاه برای راهنمایی ورق استفاده کرد. عملی بودن این راه‌حل بستگی به دسترسی یک ایستگاه اضافی دارد.

۶- قطعه سوراخ نداشته باشد.



شکل ۷: مواردی که از سوراخ‌های قطعه، کار نمی‌شود برای راهنمای ورق استفاده کرد

در مجموع فواید استفاده از قراردادی سوراخ راهنماها در دورریز عبارتند از:

۱- سوراخ راهنما از تغییرات قطعه کار بی‌تأثیر می‌باشد.

۲- اندازه و موقعیت سوراخ راهنما محدودیت ندارد.

مضرات استفاده از قراردادی سوراخ راهنماها در دورریز عبارتند از:

۱- ممکن است به پهنای بیشتری نیاز باشد و مقدار دورریز مواد بیشتر شود.

۲- حاشیه نوار در بعضی از عملیات‌ها خراب شده و در نتیجه استفاده از ایستگاه‌های بعدی غیرممکن است.

از مجموعه سوراخ‌های قطعه که شرایط لازم راهنما را دارند ۲ سوراخ بر اساس تقدم زیر انتخاب می‌شوند.

- ۱- اولاً در دو طرف مرکز قطعه کار باشند.
 - ۲- نسبت قطری آنها از حد معینی کمتر نباشد.
 - ۳- بیشترین فاصله عمود بر جهت حرکت را داشته باشند.
 - ۴- حتی‌الامکان بزرگترین سوراخ‌ها باشند.
 - ۵- حتی‌الامکان قطرهای مساوی داشته باشند.
- در هنگام انتخاب راهنمای غیرمستقیم نکات زیر در نظر گرفته شوند.
- ۱- سوراخ‌های راهنما بهتر است در مرکز دو تکه دورریز که بیشترین فاصله عمود بر جهت تغذیه را دارند قرار داده شوند.
- ۲- یک ضلع تکه دورریز با حاشیه مواد یکی باشد.

با تأیید علمی - سازمان پژوهشهای علمی و صنعتی ایران (شماره تأییدیه ۳۷-۳۰۳-۷۵-۱۰۳)

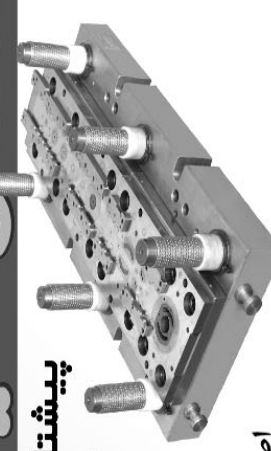
گروه فنی و مهندسی

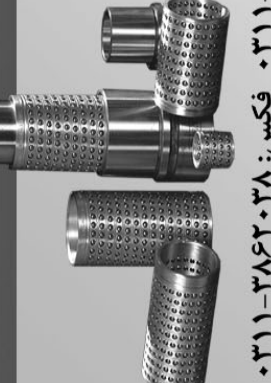
اطلس تکنیتی

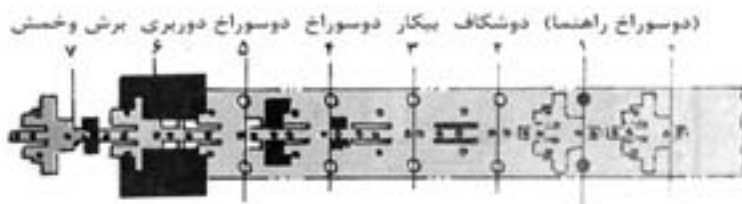
پیش‌تاز در صنعت قالب‌های دقیق

E-mail: axeteg@hotmail.com

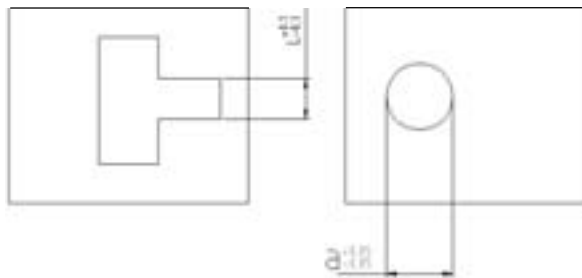
اصفهان - شهرک صنعتی امیرکبیر، فاز ۲، بلوک ۲۰، تلفن: ۰۳۱۱-۳۸۶۳۳۴۴، فکس: ۰۳۱۱-۳۸۶۲۰۳۸



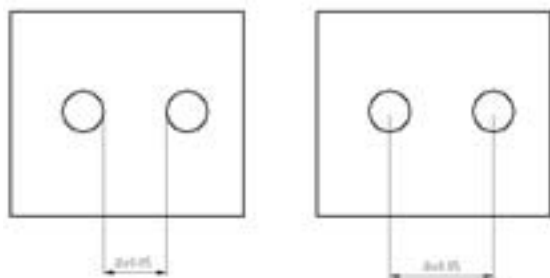




شکل ۸: مراحل تکمیلی نوار



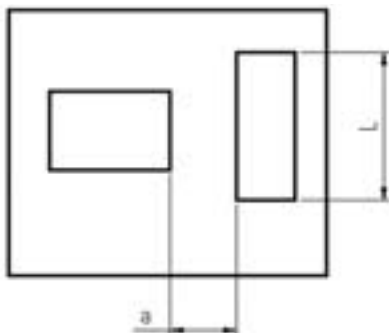
شکل ۹: سوراخ با تفرانس دقیق



شکل ۱۰: حداقل فاصله بین دو سوراخ نباید از مقادیر جدول زیر کمتر باشد

a (mm) فاصله دو سوراخ			
فاصله ورق (mm)	قطر سوراخ ID (mm)	نزدیکترین فاصله بین لبه‌های سوراخ	حداقل مرکز تا مرکز
≤ 2	≤ 5	1.5 D	4
	> 5	1.0 D	4
> 2	≤ 5	2.0 D	4
	> 5	1.5 D	4

جدول ۱: حداقل فاصله دو سوراخ برای جلوگیری از ضعیف شدن ماتریس a (mm) و فاصله دو سوراخ - مقادیر این جدول تنها یک الگو بوده و مورد تأیید نیست



شکل ۱۱: فاصله بین دو ناحیه سوراخکاری

۳- این تکه‌های دورریز نباید در مرحله اول کناره‌بری شوند.

۴- اگر تکه‌های دورریز مناسب نباشند با افزایش عرض نوار سوراخ‌های راهنما در حاشیه قرار داده می‌شوند.

۵- سوراخ‌های راهنما به اندازه کافی بزرگ باشند.

۳-۴- راهنمای نیمه مستقیم (semi-direct piloting)

در مواردی که سوراخ‌های قطعه تفرانس دقیق دارند اما این سوراخ‌ها سایر شرایط راهنما مستقیم را دارند. می‌توان از آنها برای راهنمای نیم مستقیم استفاده کرد. عملکرد این راهنماها شبیه راهنمایی مستقیم می‌باشد با این تفاوت که سوراخ‌های راهنما در ابتدا کمی کوچکتر از اندازه واقعی سوراخ‌های قطعه ایجاد می‌شوند و این سوراخ‌های راهنما در ایستگاه آخر مجدداً به اندازه واقعی، سوراخکاری می‌شوند. در این روش خرابی و تغییر اندازه سوراخ در اثر ضربات سنبه‌های راهنما در اندازه نهایی سوراخ بی‌تأثیرند.

۵- طراحی چیدمان (Strip layout)

چیدمان ورق در قالب‌های مرحله‌ای نشان‌دهنده عملیاتی است که باید به وسیله قالب در مراحل مختلف انجام شده تا قطعه تولید شود. چیدمان ورق مراحل تکامل قطعه را نشان می‌دهد (شکل ۸) در این شماره تنها چیدمان قالب‌های برش مرحله ارائه شده است. در شماره‌های بعدی مجله چیدمان سایر قالب‌های مرحله‌ای ارائه می‌شود.

هر ایستگاه قالب مرحله‌ای مانند یک قالب ساده است اما هنگامی که در یک قالب ادغام می‌شوند تصمیم‌گیری در نحوه چیدمان ایستگاه‌ها برای عملیات بهینه مشکل بوده و نیاز به تجربه و تخصص فراوان دارد.

دقت در طراحی چیدمان ورق و تشریح جزئیات هر عملیات پیش نیاز طراحی مناسب چیدمان سنبه و ماتریس و طراحی قالب برای تولید اقتصادی می‌باشد. یک طرح چیدمان مناسب طرحی است که در آن نکات زیر در نظر گرفته شده باشد.

۱- طرح چیدمان حداقل ایستگاه ممکن را نتیجه دهد.

۲- سوراخکاری سوراخ‌های راهنما همیشه در مرحله اول است.

۳- در ایستگاه دوم حتماً باید ورق موقعیت بگیرد و وجود راهنمای ورق الزامی است.

۴- همیشه قطعه‌زنی قطعه آخرین مرحله است.

۵- قطع کردن قطعه یا در آخرین ایستگاه بوده و یا آخرین ایستگاه است.

۶- سنبه‌های استاپ جانبی (کناره بر ورق) در مرحله اول قرار می‌گیرند.

۷- سوراخی که تفرانس دقیق دارد در مراحل آخر ایجاد می‌شود تا ابعاد آن هنگام سوراخکاری دیگر نواحی، خراب نشود. (شکل ۹-۱۰)

۸- برای جلوگیری از ضعیف شدن ماتریس اگر حداقل فاصله بین لبه‌های دو سوراخ از مقدار مجازی که تابع ضخامت ورق و قطر سوراخ است کمتر باشد این دو سوراخ نمی‌توانند در یک مرحله ایجاد شوند. اما این مقدار مجاز چه اندازه است و به جز یک مرجع در مرجع دیگر آورده نشده است. لذا مقادیر جدول ۱ و ۲ مورد تأیید نیست.

ماتریس کمتر از مقادیر مجاز باشد اضافه کردن ایستگاه بیکار الزامی است. در شکل زیر سوراخ‌های لوبیایی نزدیک به لبه آزاد ماتریس جایی که قطع کردن قطعه صورت می‌گیرد، سبب ضعیف شدن دیواره ماتریس شده است و با اضافه کردن ایستگاه بیکار دیواره ماتریس قوی‌تر شده و احتمال ترک، منتفی می‌شود.

۱۱- سنبه‌هایی متداخل با سنبه‌های سوراخکاری راهنماهای ورق نباید در ایستگاه دوم چیده شوند. چون در ایستگاه ورق موقعیت می‌گیرد. ۱۲- از سنبه‌های متداخل، سنبه‌ای به مرحله بعد منتقل می‌شود که کمترین تداخل با سنبه‌های مرحله بعدی و بیشترین تداخل با سنبه‌های همان مرحله را داشته باشد.

۱۳- اگر ورق ضخیم بوده و استحکام لازم برای تغذیه را داشته باشد تقدم با سوراخ‌های بزرگتر است. ایجاد سوراخ‌های بزرگ در مراحل آخر، باعث تخریب دیگر سوراخ‌ها می‌شود و اگر ورق نازک بوده و با ایجاد سوراخ‌های بزرگ در مراحل اولیه، ورق پایداری لازم برای تغذیه را از دست می‌دهد، تقدم با سوراخ‌ها و نواحی کوچکتر است. ۱۴- نیروهای برش در ایستگاه اول باید حتی‌الامکان کم باشد.

۱۵- پراکندگی مناسب سنبه‌ها به گونه‌ای باشد که بارگذاری یکنواخت روی راهنمای پرس اعمال شود.

مرجع:

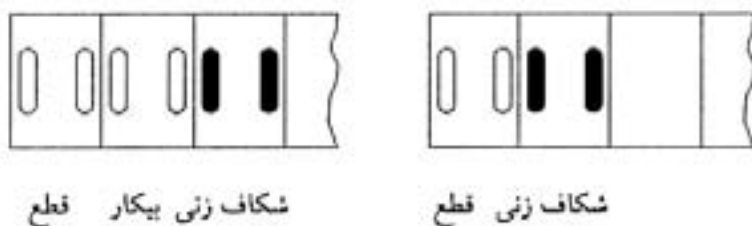
برزگری، م، طراحی قالب‌های پروگرسو به کمک کامپیوتر، پایان‌نامه فوق لیسانس، دانشگاه صنعتی امیرکبیر، ۱۳۷۸



الف) طرح ضعیف به دلیل استفاده از دوایستگاه برش

ب) طرح خوب به دلیل حفظ یک تیرانس در یک ایستگاه

شکل ۱۰: استفاده از یک ایستگاه به جای دو ایستگاه به منظور حفظ تیرانس



شکاف زنی بیکار قطع

شکاف زنی قطع

شکل ۱۱: استفاده از ایستگاه بیکار برای تقویت ماتریس

فاصله بین لبه‌های در ناحیه a(mm)	اندازه متوسط در ناحیه L(mm)	ضخامت ورق (mm)
1.5 L	≤ 5	≥ 2
1.0 L	> 5	
2.0 L	≤ 5	> 2
1.5 L	> 5	

جدول ۲: حداقل فاصله بین دو ناحیه برای جلوگیری از ضعیف شدن ماتریس مقادیر این جدول تنها یک الگو است و صحت آن مورد تأیید نمی‌باشد.

همچنین جدول ۲ حداقل فاصله بین دو ناحیه را مشخص می‌کند اگر فاصله دو ناحیه کمتر از مقادیر مجاز باشد دو ناحیه را نمی‌توان در یک مرحله قرار داد. در شکل ۱۲ برای جلوگیری از ضعیف شدن دیواره ماتریس مابین سوراخ‌ها، سنبه‌های سوراخکاری در دو ایستگاه قرار داده شده است. ۸- اگر فاصله بین دو سنبه از حدمعین که تابعی از قطر و یا ابعاد دنباله سنبه



شکل ۱۲ استفاده از سه ایستگاه به جای دو ایستگاه برای تقویت جداره ماتریس

و نحوه مونتاژ آن در سنبه گیر است کمتر باشد دو سنبه را نمی‌توان در یک ایستگاه قرار داد.

حوزه عملکرد سنبه محدوده‌ای است که حداقل دیواره ماتریس برای آن سنبه و حداقل فضای لازم برای نگهداشتن سنبه را در بر می‌گیرد. در این مقاله منظور از تداخل سنبه‌ها تداخل حوزه عملکرد آنهاست. سنبه‌های متداخل براساس شرایط تقدم زیر به ایستگاه‌های جدید فرستاده شده تا تداخل منتفی شود.

۹- دو سوراخ و یا دو ناحیه که نسبت به هم تیرانس دارند در یک مرحله ایجاد می‌شوند محدوده این تیرانس بستگی به دقت پرس و دقت قالب دارد به طور معمول اگر تیرانس نسبی موقعیت دو ناحیه کمتر از ± 0.05 باشد این دو ناحیه در یک مرحله سوراخکاری می‌شوند.

شکل ۱۳ نشان می‌دهد که استفاده از یک ایستگاه به جای دو ایستگاه ابعاد تیرانس را حفظ می‌کند اگر از دو ایستگاه استفاده شود به دلیل خطا، موقعیت‌دهی ورق به سختی می‌توان تیرانس را در محدوده $\pm 0.30\text{mm}$ نگهداشت.

۱۰- اگر فاصله بین لبه‌های قطعه و نزدیکترین سوراخ به لبه از مقدار مجاز کمتر باشد باید یک ایستگاه بیکار بین ایستگاه سوراخکاری و ایستگاه دوربری یا قطع قرار داده شود. همچنین هنگامی که در همسایگی یک حفره بزرگ عملیات سوراخکاری صورت می‌گیرد اضافه کردن ایستگاه بیکار باعث تقویت قالب می‌شود. ایستگاه بیکار نه تنها باعث افزایش تعداد ایستگاه‌ها می‌شود بلکه باعث

پیچیدگی ساختمان قالب و افزایش هزینه ساخت و نگهداری قالب می‌شود. با افزایش طول پل بین دو ایستگاه می‌توان فاصله بین حفره بزرگ و سوراخ‌های دیگر را افزایش داده و ایستگاه بیکار را حذف کرد. در این حالت دورریز مواد بیشتر خواهد شد بنابراین باید حالت بهینه را انتخاب کرد.

در حالی که از لبه آزاد ماتریس برای لبه برش و قطع قطعه استفاده می‌شود اگر فاصله نزدیک‌ترین لبه آزاد