

بررسی فشار تماسی در شعاع ماتریس در پرسکاری ورق‌های فلزی

Modeling of Contact pressure in Sheet metal forming

علی طاهری، کارشناس ارشد متالورژی
شرکت قالب‌های صنعتی ایران خودرو
واحد تحقیقات و فناوری

مشابه وجود خواهد داشت.
۱- پیک‌های ناشی از فشار تماسی
۲- پیک‌های ناشی از ناحیه موضعی سایش در سراسر سطح ماتریس
و این نتایج و همچنین ارتباط مهم میان سایش و نیروی عمودی هنگام لغزش سطحی نشان می‌دهد که عامل فشار سطحی یک اصل اولیه مهم در سایش قطعات می‌باشد.

۱-۲- پرسکاری ورق‌های فلزی
محققان مشخص کردند شرایط تماس سطحی در پرسکاری واقعی متضاد با شرایط روی داده bending under tension می‌باشد و شرایط سطحی در پرسکاری به زمان بستگی دارد. همچنین مدل المان محدود نیز وابستگی شرایط تماسی در سطح شعاع ماتریس را به زمان نشان می‌دهد.

شرایط تماسی پیچیده در سراسر سطح ماتریس با ایجاد ناحیه‌ای از تماس‌های موضعی بالا و شدید اتفاق می‌افتد.

در شکل ۱ ماهیت دینامیکی تنش‌های فشاری تماسی نشان داده شده است. مضافاً ارتباط تغییر قسم بلاتک و تنش تسلیم را در کانتورها می‌توان مشاهده نمود.

بررسی شرایط سطحی موضعی در طی فشار تماسی یک اصل مهم برای درک سایش ابزار در طی فرایند پرسکاری ورق می‌باشد.

در طی نتایج المان محدود و مشاهدات تجربی از شرایط تغییر فرم و پدیده تماس در سطح قالب، مشخص گردید که در نتیجه تغییر فرم همگن و شرایط سطحی رخ داده سه مرحله وجود دارد: مرحله اول، مرحله میانی و مرحله آخر.

حفظ قسمتی از قطعه که در سراسر سطح ماتریس سیلان کرده و سطح آزادی که با ابزار پرسکاری تماس نداشته را از یکدیگر جدا می‌کند. قسمتی از قطعه که با سطح ماتریس تماس داشته برداخت شده می‌باشد و اثر شعاع ماتریس در سطح قطعه کاملاً نمایان است. بنابراین بررسی پدیده تماس در هر موقعیت از تماس یک فاکتور مهم و کلیدی می‌باشد.

۱-۱- آزمایش خمش تحت کشش Bending under tension test

در این آزمایش یک ورق توسط تماس با یک ابزار استوانه‌ای خمیده شده و توسط یک تنش کششی معکوس فشار داده می‌شود این آزمایش در سالیان اخیر برای شبیه‌سازی شرایط در شعاع قالب به کار برده شده است و آنالیزهای سطحی فراوانی از شرایط در سطح سننه توسط کاربر این تست منتشر شده است. طی آزمایشات دیگر مشخص گردیده است که در نواحی موضعی در سطح ماتریس ساینده‌گی وجود دارد. ساینده‌گی سطح ماتریس توسط زبری سطحی سنجی سنجی می‌گردند. همچنین توسط تصاویر میکروسکوپ الکترونی ساینده‌گی‌های موضعی تشخیص داده می‌شوند. آنالیز المان محدود پیک‌های فشاری تماسی را در سطح ماتریس که باعث تماس‌های موضعی و در نهایت سایش می‌گردند را نشان می‌دهد. طی آزمایش‌های صورت گرفته مشخص شده است که پیک‌های فشاری مشابه‌ای در مکان‌هایی روی سطح ماتریس نزدیک به ورود و خروج ورق در طی آزمایش وجود خواهند داشت.

طی گزارشات محققین از این آزمایشات مشخص گردید که دو نوع پیک با ویژگی‌های

چکیده

شرایط سطحی در شعاع ماتریس یک ارزیابی مهم در بررسی علت سایش در طی فرایندهای پرسکاری ورق‌های فلزی می‌باشد. در این مقاله فشارهای تماسی و نحوه توزیع فشارهای تماسی در شعاع ماتریس به هنگام یک فرایند شکل‌دهی مورد ارزیابی قرار گرفته است. از طریق آنالیز شرایط تغییر فرم و پدیده‌های سطحی، سه فاز (مرحله) مشخص گردیدند. در مرحله اولیه و میانی شرایط تماس موضعی و شدیدی به وجود می‌آید در این مراحل مقدار فشار سطحی بزرگتر از استحکام تسلیم بلاتک می‌باشد. در مرحله آخر سطح تماس بزرگتری میان بلاتک تغییر فرم یافته و ماتریس ایجاد می‌گردد و فشارهای سطحی کوچکتر و پایدارتر می‌باشند.

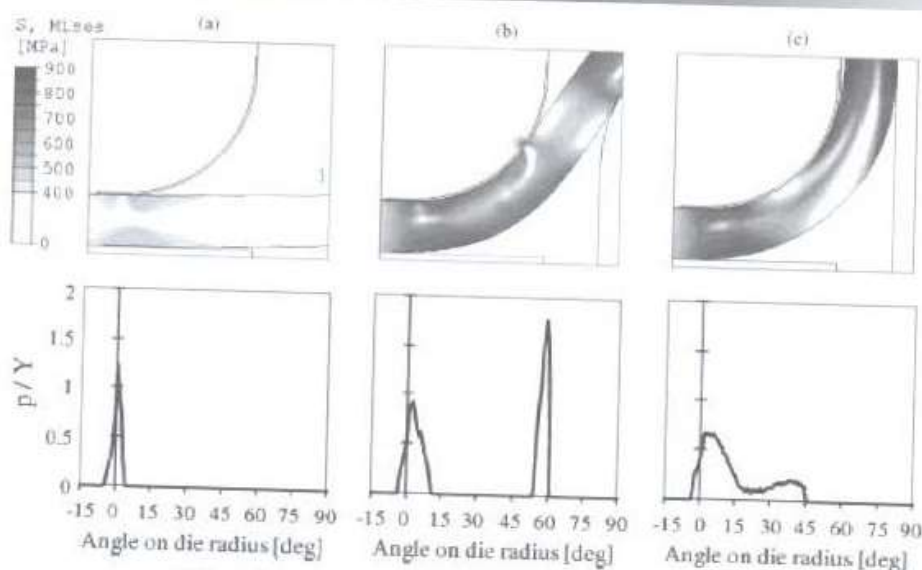
مقدمه

در سالیان اخیر، افزایش چشمگیری در مسائل سایش مرتبط با سطح ماتریس گزارش شده است. این مسائل به هنگام استفاده از فولادهای پر استحکام در قالب اتساق می‌افتد، لذا ابزارهای شکل‌دهی و قالب‌های مخصوصی برای مقاومت در برابر نیروهای زیاد شکل دهنده و تنش‌های تریبولوژیکی مورد نیاز است. این عوامل باعث افزایش قیمت در اثر توقفات خارج از برنامه و هزینه‌های نگهداری و تعمیرات شده و منجر به تولید قطعات با کیفیت پایین و دقت ابعادی پایین و در نهایت خرابی قطعه می‌شوند.

اگر دیواره کناری یک قطعه کشیده شده بعد از شکل‌دهی مورد آزمایش قرار گیرد یک علامت از خط قالب در آن مشاهده خواهند گردید این



قالبسازی



شکل ۱- پیش بینی توزیع فشار تماسی نرمال به وسیله آنالیز المان محدود در سه ناحیه طی فرایند شکل دهی.

برای تغییر فرم در حالت کرنش صفحه ای در بعدی حول شعاع ماتریس، آنالیزها نشان می دهند مقدار فشار تماسی P برابر است با:

$$P = \frac{T}{R} = \frac{\delta_1}{R/t} \quad (1)$$

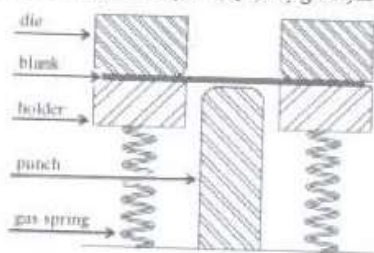
δ_1 تنش اصلی طولی، T تنش طولی، R شعاع ماتریس، t ضخامت ورق و R/t نسبت خمشی می باشد.

در نتیجه اصطکاک و تنش کششی طولی در ورق در امتداد شعاع و سطح ماتریس تغییر می کند. اگر تنش کششی در نقطه (روی سطح ماتریس شناخته شود در نقاط دیگر در طول شعاع قالب نیز می تواند بر طبق معادله زیر محاسبه گردد.

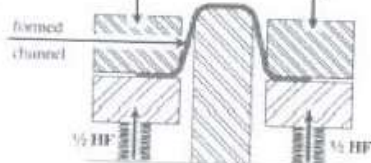
$$T_k = T_1 \exp(2\theta_k \mu)$$

جائیکه θ_k زاویه چرخش میان دو نقطه و μ ضریب اصطکاک میان ابزار و سطح ورق می باشد. معادله ۱ نشان می دهد که فشار سطحی با نسبت خمشی رابطه عکس دارد.

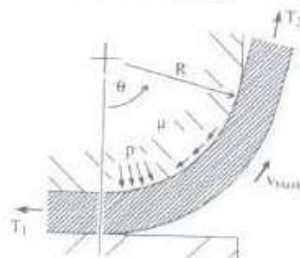
محققین نتیجه گیری کرده اند که تنش کششی معمولاً به تنش کششی تسلیم نزدیک می باشد. ویست خمش در ابزار اغلب کمتر از ۱۰ می باشد. طبق معادله ۱ تنش های تماسی درجهد قابل محسوس از تنش تسلیم می باشند. لذا امکان این که



شکل ۲- شروع یک فرایند پرسکاری



۲- b- شکل گرفتن پلانک داخل ماتریس



۲- c- نیروهای وارد بر ورق در شعاع ماتریس

در طی مراحل اولیه و میانی، نواحی موضعی در اثر فشار تسلیم به وجود می آیند که همراه با تنش های تماسی می باشد و مقدار این تنش از تنش تسلیم بالاتر نمی باشد.

مرحله آخر بعنوان مرحله پایدار تعریف می گردد که مطلقاً با فشار تماسی کوچکتر و منطفه ای پایدار می باشد. در این مرحله ناحیه تماس بزرگتر می باشد و فشار تماسی کوچکتر می باشد.

مرحله آخر با توجه به شرایط در شعاع ماتریس به عنوان یک حالت پایدار در نظر گرفته می شود. بزرگی اینگ تنش های تماسی به عوامل زیادی از قبیل تنش کششی معکوس، نسبت شعاع قالب به ضخامت ورق و لغز بین شبه و ماتریس بستگی دارد.

۲- فرایند پرسکاری ورق های فلزی

فرایند پرسکاری یا کشش بطور شعاعیک در شکل ۳ نشان داده شده است. ورق فلزی که میان سنبه، ماتریس و ورق گیر قرار دارد توسط سنبه کشیده می شود. ورق با سرعت بالا در سراسر سطح شعاع قالب در حضور فشار تماسی و اصطکاک لغزش کرده و دستخوش خمش های پیچیده، نازک شدن و straightening deformation قرار می گیرد (شکل ۳c).

در بیشتر آنالیزهای اولیه شکل دهی فلزات، خمش مورد توجه قرار نمی گیرد و تغییر فرم تنها تحت تنش های کششی اصلی مورد بررسی قرار می گیرد. تنش کششی نیروی واحد بر عرض انتقال داده شده ورق می باشد.



قالبسازی

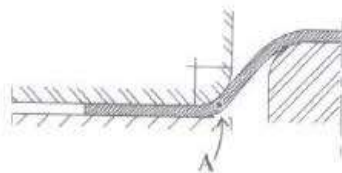
ماتریس محدود شده ایست. در این مرحله بعد از نقطه A در طول شعاع ماتریس جابه‌جا شده است ولی هنوز به خارج یا نقطه تماس نرسیده است. در این لحظه مواد در دیواره کناری (میان شعاع ماتریس و شعاع سلبه) صاف باقی مانده است و مثل قبل با ابزار تماس پیدا نکرده است. بک حالت تقریباً پایدار در شعاع ماتریس هنگامی که نقطه A به ناحیه دیوار کناری می‌رود به دست می‌آید.

۱-۳- تغییر فرم اولیه همان‌طور که در شکل ۵-۵ نشان داده شده است، در ابتدای کرنش شکل دهی، تماس میان پلانک و ماتریس نزدیک ابتدای شعاع ماتریس در $\theta = \alpha$ اتفاق می‌افتد.

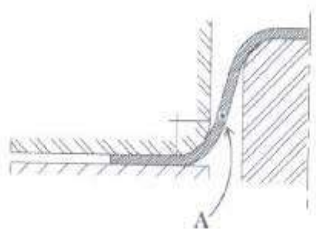
دایره مور نشان دهنده تنش در تماس داخلی سطح و توزیع تنش در ضخامت ورق می‌باشد. ناحیه تغییر فرم پلاستیک توسط سایه زنی در ورق نشان داده شده است.

ورق به وسیله نیروی معکوس خمیده می‌شود بنابراین در سطح بالایی، تنش خمشی فشاری σ_1 وجود دارد.

در نتیجه مطابقت اولیه پلانک با شعاع ماتریس کم می‌باشد و تماس تقریباً در طول بک خط اتفاق می‌افتد که باعث می‌شود فشار سطحی Pa به وجود



شکل ۱-۵- شرایط مابقی



شکل ۲-۵- شرایط پایدار در شعاع ماتریس

طبق شکل ۴ تغییر فرم و شرایط تماس در سطح ماتریس در سه ناحیه، فاز بندی شده است. در شکل ۵-۵ یک المان از مواد روی پلانک، نقطه A، به منظور اولیه در ابتدای شعاع ماتریس تعیین شده است. در این لحظه تماس به یک خط در عرض

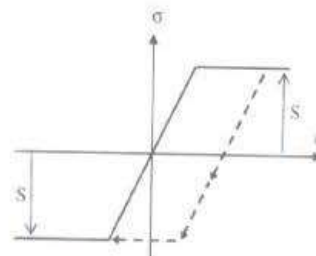
فرض تنش صفحه‌ای در ورق درست نباشد و جود دارد. طی مطالعات عددی از یک فرایند خمش تحت کشش با یک نسبت خمشی ۳:۳ نشان داد که نیروهای بازدارنده متناسب به خمش تقریباً ۵۰ درصد از کل نیروهای بازدارنده روی ورق می‌باشند.

عوضاً این قبیل آنالیزها فرض می‌کنند که لغزش ورق به صورت پیوسته و در سراسر سطح ماتریس و تحت شرایط پایدار انجام می‌گردد. همان‌طور که در قسمت ۱ گفته شد طی مطالعات زیاد ثابت شده است که شرایط سطحی در طی فرایند پرسکاری ورق‌ها پایدار نمی‌باشند به این دلیل آنالیزهای پیشتری با جزئیات بیشتر می‌بایست بر روی حالات تنش و حالات تسلیم به منظور درک از شرایط پیچیده سطحی و وابستگی آن به زمان در سطح ماتریس انجام گردد.

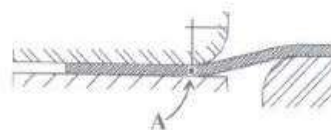
۳- فشار تماسی در شعاع قالب

توزیع یک‌گانه فشاری تماسی در سطح ماتریس در شکل ۲ نشان داده شده است. برای درک بهتر تغییر فرم به صورت بک فرایند کرنش صفحه‌ای (دو بعدی) فرض گردیده معیار تسلیم ترسکا به کار رفته است.

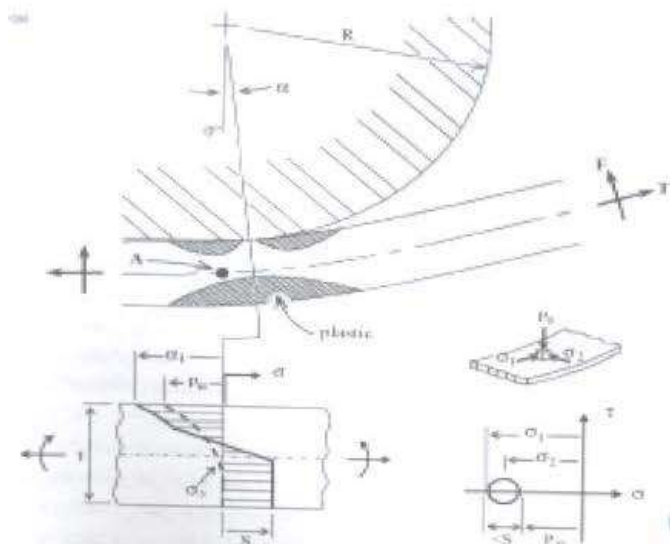
منحنی مواد در شکل ۳ نشان داده شده است جایی که جریان تنش S می‌باشد و اثر بواسینگنر برای نیروهای معکوس ضعیف در نظر گرفته شده است.



شکل ۳- کرنش صفحه‌ای مواد بدلیل نیروی معکوس



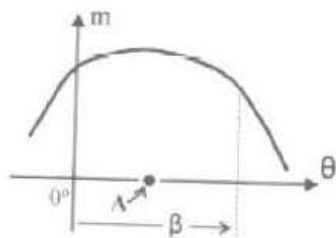
شکل ۱-۵- تغییر فرم اولیه



شکل ۵-۵- مرحله تغییر فرم اولیه در سطوح شعاعی ماتریس-توزیع تنش در ضخامت و دایره مور در سطح تماس نشان داده می‌شود.



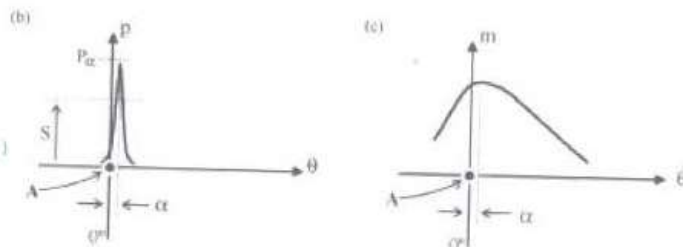
قالی سازی



شکل 6-c- توزیعات تنش در اطراف شعاع ماتریس و ارتباط آن با منحنی خمشی

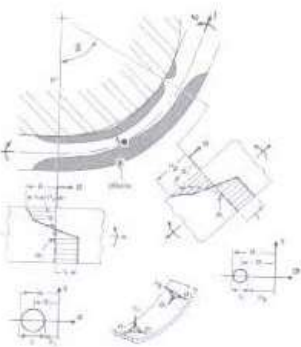
در نتیجه تنش هیدرواستاتیک فشاری کاهش یافته و تغییر فرم پلاستیک در ورق اتفاق می افتد (قطر دایره مور برابر با S می شود). گشتاور خمشی در ورق نزدیک به نقطه A دارای بیشترین مقدار می باشد لذا ورق ممکن است کاملاً در این نقطه خم گردد و باعث کم شدن تماس میان ورق و شعاع ماتریس گردد. این موضوع در شکل 6-c نشان داده شده است (همچنین در سراسر دهانه مسنه نیز می تواند اثری مطابق با مکانیزم فوق وجود داشته باشد). به همان ترتیب یک نقطه تماسی ثانویه با ماتریس در امتداد دیگر شعاع ماتریس ($\theta = \beta$) اتفاق می افتد. نقطه A که در ابتدای شعاع ماتریس قرار دارد هنوز به نقطه تماس β نرسیده است. از این رو مواد در نقطه β تغییر فرم نکرده است با وجود این واقعیت که زاویه چرخش پلاک در سراسر سطح شعاعی غالب نسبتاً بزرگ بوده است. مطابق با شرایط تماس مشابه با مرحله تغییر فرم اولیه تماس خطی در β اتفاق می افتد. همان طور که قبلاً دیده شد این شرایط باعث ایجاد فشارهای تماسی بزرگ و تنش های هیدرواستاتیک فشاری بزرگ در سطح می شوند. و می توانند از تغییر فرم پلاستیک در سطح پلاستیک، همان طور که در شکل 1b نشان داده شد مناعت کنند.

شکل 6-b توزیع فشارهای تماسی را در مرحله میانی نشان می دهد جایی که تماس در سراسر یک ناحیه بزرگتر توزیع گردیده است. مقدار فشار تماسی در ابتدای شعاع ماتریس کمتر از تنش تسلیم می باشد. از طرف دیگر در نقطه تماس β یک پیک نیز وجود دارد. در این نقطه ورق در حال خم شدن می باشد و سطح تماس کوچک می باشد. در بیشتر مسنه و ماتریس ها با اشکال مختلف یا تغییر مکان مسنه، فاز از ابتدای شعاع ماتریس پیرامون نقطه تماس کشیده می شود. بنابراین فاز

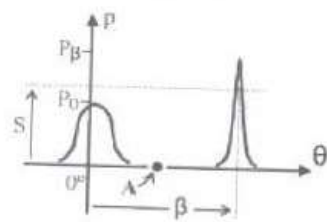


شکل های 6-b و 6-c- ارتباط توزیع تنش به ترتیب با فشار سطحی و منحنی خمشی

آید که این فشار می تواند خیلی بزرگ باشد. در نتیجه تنش عمومی δ_g که برابر با P_a می باشد دارای بیشترین مقدار خود در سطح می باشد و در بیرون از سطح (سطح آزاد) تا صفر کاهش می یابد. تنش در این مکان تقریباً به صورت صفحه ای می باشد و ورق تحت تنش کششی در تنش تسلیم کرنش صفحه ای S تسلیم می گردد. از آنجایی که فرایند در حالت کرنش صفحه ای انجام می گیرد، تنش معکوس δ_2 در سطح داخلی یک اندازه متوسط خواهد داشت. در شرایط تغییر فرم پلاستیکی میانگین تنش های اصلی S می باشد و در مورد الاستیک به صورت تقریبی اندازه گیری می شود.



شکل 6-a- مرحله تغییر فرم میانی در سطوح شعاعی ماتریس-توزیع تنش در ضخامت و دایره مور در سطح تماس نشان داده می شوند.



شکل 6-b- توزیعات تنش در اطراف شعاع ماتریس و ارتباط آن با فشار سطحی

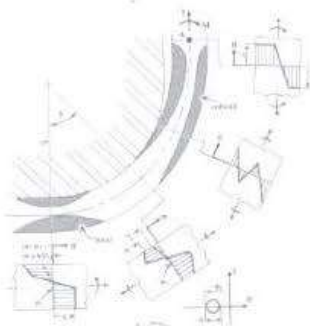
تنش در این مکان تقریباً به صورت صفحه ای می باشد و ورق تحت تنش کششی در تنش تسلیم کرنش صفحه ای S تسلیم می گردد. از آنجایی که فرایند در حالت کرنش صفحه ای انجام می گیرد، تنش معکوس δ_2 در سطح داخلی یک اندازه متوسط خواهد داشت. در شرایط تغییر فرم پلاستیکی میانگین تنش های اصلی S می باشد و در مورد الاستیک به صورت تقریبی اندازه گیری می شود. تنش خمشی و فشار تماسی در سطح داخلی یک تنش هیدرواستاتیک فشاری بالا را ایجاد می کنند که می تواند از تسلیم مناعت کند (قطر دایره مور کمتر از S می باشد). این پدیده توسط نتایج شبیه سازی همان طور که در شکل 1a نشان داده شده است. همان طور که در شکل 2-5 نشان داده شده میان خمکاری m در خط تماس بیشترین مقدار را دارد و تغییر فرم پلاستیک خمشی تنها در هر دو طرف این ناحیه و در مکانی که تنش های هیدرواستاتیک و فشاری مناعت کننده دارای مقادیر کمی باشند، اتفاق می افتد. در نتیجه یک پیک فشاری خیلی بزرگ در خط تماس به وجود می آید که بزرگتر از تنش تسلیم ورق است (شکل 6b). این تماس خطی اولیه که باعث یک فشار تماسی موضعی می شود، زودگذر می باشد.

۳-۳- شرایط میانی

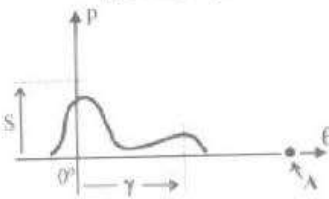
هنگامی که مسنه ورق را بدون حفره ماتریس هدایت می کند، همان طور که در شکل 2-a نشان داده می شود، نقطه A از ابتدای ماتریس دور می شود.



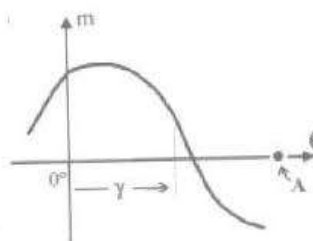
میانی ممکن است طولانی شود و زاویه تماس ماکزیمم β_{max} کاملاً بزرگ می‌شود.
 3-3- شرایط حالت پایدار در شعاع ماتریس
 شرایط حالت پایدار در ماتریس موقعی حاصل می‌گردد که نقطه A که حرکت آن از ابتدای ماتریس شروع گردیده است و در حوال شعاع ماتریس به حرکت خود ادامه داده و به صورت قسمتی از دیواره کناری درآمده است. این موضوع در شکل 7-8 نشان داده می‌شود.



شکل 7-8: فصل مشترک پلانک با ماتریس در طی مرحله پایدار - توزیع تنش در ضخامت و دایره مور در سطح تماس نشان داده شده‌اند.



شکل 7-9: توزیع تنش در شعاع ماتریس و ارتباط آن با فشار سطحی



شکل 7-10: توزیع تنش در شعاع ماتریس و ارتباط آن با ممان خمشی

ماده جدید به صورت پلاستیکی خم می‌گردد هنگامی که از ناحیه ورق گیر وارد محفظه شعاع قالب (ماتریس) می‌گردد. در این مرحله فشار تماسی و توزیع تنش مشابه با توزیع تنش در مرحله میانی می‌باشد. این مقابقت در نتیجه خمش و مطابقت پلانک با شعاع ماتریس می‌باشد. در آن سویی این ناحیه ورق در تماس با ماتریس بدون تغییر فرم باقی می‌ماند و نتجتاً فشار تماسی در این ناحیه دارای مقدار کمی می‌باشد. در منطقه دورتر از شعاع که تحت افزایش در ممان مخالف قرار دارد ورق به صورت جزئی صاف می‌گردد. این اتفاق در جایی می‌افتد که تماس با شعاع ماتریس وجود ندارد. در همین بنگ فشاری تماسی کوچکتر در مکان $\theta = \gamma$ اتفاق می‌افتد.

مکانیزم تشکیل این بنگ همانطور که در بخش 2 ذکر گردید توضیح داده می‌شود. بر طبق معادله فشار سطحی (فشار تماسی) متناسب با تنش کششی در ورق می‌باشد این فشار مطابق با معادله 7-10 با افزایش θ در طول شعاع افزایش می‌یابد. بنابراین فشار تماسی با افزایش زاویه در طول شعاع ماتریس افزایش می‌یابد و باعث ایجاد یک بنگ فشاری نزدیک به نقطه خارجی ورق می‌شود. این فشار سطحی با P_p نشان داده می‌شود شکل (7-11). در این موقعیت ورق به صورت الاستیک تحت نیرو قرار دارد و توزیع تنش نشان داده شده است (قطر دایره مور کمتر از S می‌باشد).

همانطور که در شکل 7-11 نشان داده شده در آن طرف یک فشاری تماسی، ممان خمشی روی ورق معکوس می‌گردد و صاف شدن در نقطه تماس اتفاق می‌افتد. فرایند صاف شدن در سویی دیگر نقطه تماس ادامه می‌یابد و مقدار این صاف شدن بستگی به شرایط سطحی و تنش کششی ایجاد شده از طرف ورق گیر دارد.

پدیده موجی شدن دیواره کناری (Side wall curl) در فرایند کشش دارای اهمیت ریاضیاتی می‌باشد و زمانی که کشش ورق گیر کم باشد اتفاق می‌افتد. بعنوان یک نتیجه از موجی شدن دیواره کناری، زاویه تماس کمتر از مرحله میانی می‌باشد. در مرحله میانی دیواره کناری ورودی به ماتریس تقریباً صاف بوده این نشان می‌دهد که ناحیه‌ای در سطح شعاع ماتریس وجود دارد که تنها باعث ایجاد تماس با پلانک در طی مرحله میانی شده است. پس ارزشمند است که تأکید گردد با وجودی که شرایط سطحی تقریباً پایداری در طی این مرحله در سطح ماتریس رخ می‌دهد ولی فرایند شکل دادن به یک شرایط پایدار واقعی نخواهد رسید. دلیل این موضوع را می‌توان در جانبی پلانک

به هنگام کشیده شدن در حواسر ماتریس به وسیله سینه جستجو کرد.
 در نتیجه یک کاهش پیوسته در طول خمکاری (فلنج) و یک تغییر متعاقب در شرایط تماسی در ناحیه ورق گیر وجود خواهد داشت.

نتیجه گیری

- 1- در ابتدای فرایند، پلانک به وسیله سینه خمیده می‌شود و بیک فشار تماسی بزرگی در ابتدای شعاع ماتریس وجود دارد.
- 2- در طی مرحله میانی، ناحیه تغییر فرم یافته در ابتدای ماتریس به دیواره کناری نرسیده است. بنابراین دیواره کناری به صورت صاف باقی می‌ماند و همان تماس جداگانه می‌باشد. بزرگترین فشار که خیلی بیشتر از تنش جریان مواد می‌باشد در نزدیکی آخر شعاع ماتریس در نقطه تماس بین شعاع ماتریس و دیواره کناری موجود می‌باشد.
- 3- در مرحله پایانی شرایط تماسی پایداری در شعاع ماتریس اتفاق می‌افتد این مرحله هنگامی اتفاق می‌افتد که مواد به دیواره کناری رسیده باشند. در این مرحله همان تماس کاهش می‌یابد و بزرگترین فشار تماسی در ابتدای شعاع ماتریس اتفاق می‌افتد. اندازه بنگ فشاری خیلی کوچکتر از مرحله قبل می‌باشد.

منابع

1-Pereira, M.p., Yan, W.B.F, 2008. Contact pressure evolution and its relation to wear in sheet metal stamping wear doi:10.1016/j.Wear.2008.04.042
 2-Swift, H.W., 1984. plastic bending under tension. Engineering 166, 333-359.
 3-Rhee, s.k., 1970. wear equation for polymers sliding against metal surfaces wear 16, 431-445.
 4-Pereira, M.p., Yan, W.B.F, 2007. Modeling of contact pressure in sheet metal forming. Matter sci forum 561 1978-565, 1975.
 5-Marcinica, Z., Duncan, J.L., Hu, S.J., 2002. Mechanics of sheet metal forming. OXFORD

