Archive of SID

بررسی تجربی و شبیه‌سازی فرآیند شکل‌دهی غلتکی سرد لوله به روش تحلیل اجزای محدود

حسن مسلمی نائینی* مهدی تاجداری** سیامک مزدک*** ولی اله پناهی زاده***

* دانشیار دانشگاه تربیت مدرس: *Moslemi@Modares.ac.ir*

** دانشیار دانشگاه صنعتی مالک اشتر

*** دانشجوی دکتری دانشگاه تربیت مدرس

چکیده

فرآیند شکل‌دهی غلتکی سرد یکی از روش‌های شکل‌دهی فلزات است و روشی متداول برای تولید لوله از ورق تخت می‌باشد. در این مقاله تغییر شکل الاستیک-پلاستیک یک ورق فلزی طی فرآیند شکل‌دهی غلتکی سرد و تبدیل آن به لوله توسط نرم‌افزار روش اجزای محدود انسیس[1]، بررسی شده است. در این شبیه‌سازی مراحل فشاری شدید، مرحله راهنما و مرحله پره‌ای مورد بررسی قرار گرفته است. در بخش عملی با استفاده از اطلاعات خطوط لوله ۲۴ اینچ کارخانه لوله‌سازی اهواز مدلی جداگانه طراحی گردیده است. نتایج حاصل از شبیه‌سازی با آنچه از مطالعات تجربی و تحلیلی دیگر پژوهشگران و با نتایج تجربی شرکت لوله‌سازی اهواز به دست آمده است؛ مقایسه گردیده و همخوانی خوبی بین آنها دیده می‌شود.

واژگان کلیدی: شکل‌دهی غلتکی سرد، تحلیل عددی، طراحی غلتک، مرحله فشاری شدید، مرحله راهنما، مرحله پره‌ای

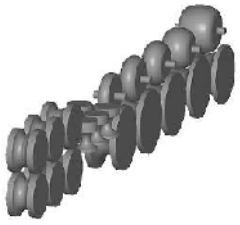
1-Ansys

www.SID.ir

Archive of SID

۱- مقدمه

فرآیند شکل‌دهی غلتکی سرد روشی است که بوسیله اعمال مقدار شکل‌دهی کم در هر ایستگاه، به صورت پیوسته و تصاعدی یک نوار فلزی را به سطح مقطع مطلوب بوسیله یک‌سری غلتک شکل می‌دهد [۱].



شکل (۱): شکل‌دهی غلتکی سرد[۲]

کیم[1] و همکارانش[۲] بوسیله یک برنامه اجزای محدود سه بعدی با نام *"Shape-RF"* فرآیند شکل‌دهی غلتکی سرد را مدل کرده و پارامترهای موثر را در حالات و قطرهای مختلف مورد بررسی قرار داده‌اند. و برای نسبت ضخامت به قطرهای مختلف شکل اولیه لبه ورق متفاوتی پیشنهاد کرده‌اند.

کیوچی[2] و همکارانش[۳] در مطالعاتی تجربی، اثر مقدار زاویه پره در مرحله پره‌ای را بر شکل ورق بررسی کرده‌اند. ایشان بوسیله یک‌سری آزمایشات تجربی تاثیر زاویه پره در مرحله غلتکی در برطرف کردن عیوب ایجاد شده در مناطق مختلف ورق را مورد مطالعه قرار داده‌اند و برای طراحی مراحل پره‌ای یکسری نمودارهای طراحی ارائه داده‌اند.

تویوکا[3] و همکارانش[۴] بر روی رفتار تغییر شکل ورق در مراحل شکل‌دهی قفسه‌ای[4] و پره‌ای تحقیقاتی را انجام داده‌اند. ایشان اثر پارامترهای مختلف مثل ارتفاع انحنای پایین[5]، زاویه پره روی نیروی شکل‌دهی و کرنش را بررسی کرده‌اند.

مسلمی نائینی و همکارانش[۵] با استفاده از روش المان محدود مقدار پارامترهای مناسب جهت ساخت غلتک در مراحل بریک‌دان و همچین عیوب رخ داده و نحوه رفع آنها بررسی کرده‌اند.

مسلمی نائینی و همکارانش[۶] با استفاده از روش المان محدود مقدار زاویه پره مناسب غلتکهای پره‌ای و همچنین مقدار زاویه مناسب لبه ورق برای پرهیز از ایجاد عیوب در فرآیند را بررسی کرده‌اند.

مسلمی نائینی و همکارانش[۷] با استفاده از روش المان محدود عوامل موثر بر عیوب ایجاد شده در مرحله راهنما را مورد بررسی قرار داده‌اند.

مزدک[۸] با استفاده از روش المان محدود عوامل موثر بر شکل لبه را در فرآیند شکل‌دهی غلتکی سرد لوله مورد بررسی قرار داده و مقادیر مناسب برای شکل لبه اولیه ورق را برای نسبت ضخامت به قطرهای مختلف پیشنهاد داده است.

در این مقاله با استفاده از روش المان محدود عیوب ایجاد شده در مراحل فشاری شدید، راهنما و پره‌ای بررسی شده همچنین تاثیر شکل لبه اولیه ورق بر این عیوب مورد بررسی شده است. در بخش عملی با استفاده از اطلاعات خطوط لوله ۲۴ اینچ کارخانه لوله‌سازی اهواز مدلی جداگانه طراحی گردیده است. نتایج حاصل از شبیه‌سازی با آنچه از مطالعات تجربی و تحلیلی دیگر پژوهشگران و با نتایج تجربی شرکت لوله‌سازی اهواز به دست آمده است؛ مقایسه گردیده و همخوانی خوبی بین آنها دیده می‌شود.

۲- انواع غلتک‌های شکل‌دهی

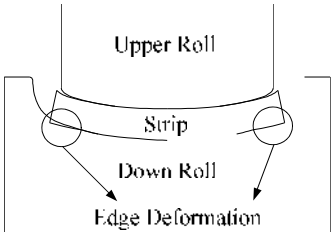
وظیفه غلتک‌های فشاری شدید شکل دادن وسط ورق می‌باشد. معمولاً شروع عملیات شکل‌دهی با این غلتک‌ها است. یکی از عیوبی که در این مرحله رخ می‌دهد له‌شدن گوشه‌های ورق است. این پدیده به این دلیل رخ می‌دهد که اولین نقطه تماس غلتک با ورق گوشه ورق می‌باشد و تماس در ناحیه کوچکی اتفاق می‌افتد؛ در نتیجه گوشه ورق له می‌شود. این له‌شدگی اثرات بدی بر روی جوش و همچنین شکل ورق در مراحل بعد از غلتک‌های فشاری شدید می‌گذارد.

1!Kim
2!Kiuchi
3!Toyooka
4!Cage forming
5!Down Hill

www.SID.ir

Archive of SID

شکل (۲): انواع غلتک‌های شکل‌دهی غلتکی سرد

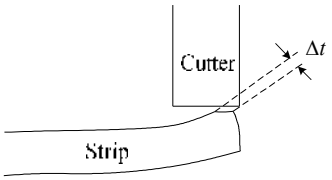


شکل (۳): له‌شدن گوشه ورق در اثر اولین تماس غلتک فشاری[۳]

رای کمتر شدن این پدیده باید سطح تماس اولیه را بزرگتر کرد. دو راه برای بزرگ کردن سطح تماس وجود دارد:

- برش لبه ورق در راستای افقی
- تغییر شعاع انحنای محل تماس غلتک در اولین تماس

در روش اول رنده برش باعث ایجاد آسیب‌هایی از قبیل خشن‌شدن، ترک برداشتن لبه می‌شود.

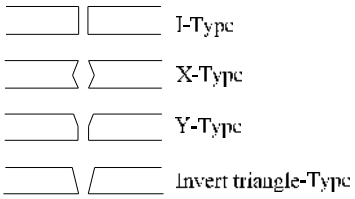


شکل (۴): برش در راستای افقی [۳]

با برش زدن لهیدگی گوشه کمتر شده ولی عدم شکل‌دهی در سطح بالایی ورق رخ می‌دهد. در صورتیکه در حالت دوم لهیدگی ورق کاهش یافته و عیوب سطحی هم بوجود نمی‌آیند.

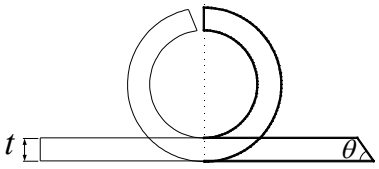
۳- شکل لبه ورق به صورت سطحی تخت و I شکل

در جوش فرکانس بالا، اولین تماس بین گوشه‌های ورق بوده و به تدریج کل لبه با هم در تماس قرار می‌گیرد بنابراین اولاً سطح لبه باید تخت باشد تا این تماس به طور کامل انجام شود. دوماً به علت اینکه در جوش مقاومتی فرکانس بالا از ماده خارجی برای جوش دادن استفاده نمی‌شود، پس شکل شیار باید به صورت *I* شکل باشد تا احتیاجی به ماده خارجی نباشد.



شکل (۵): انواع شکل لبه جهت جوش دادن ورق [۲]

به علت تماس بسیار زیاد سطح بالایی ورق با غلتک بالا، سطح بالای ورق مثل یک تکیه‌گاه عمل کرده و سطح پایینی ورق است که تغییر می‌یابد. این تفاوت باعث می‌شود که غیر یکنواختی در تغییر شکل به وجود بیاید. با افزایش نسبت ضخامت به قطر این مسئله بحرانی‌تر می‌شود. در نتیجه در اثر تغییر شکل، شکل لبه ورق تغییر می‌کند. اگر لبه ورق را در مرحله فرزکاری به صورت زاویه‌دار در آورده شود به طوری که مقدار زاویه لبه با مقدار تغییر شکل لبه اثر هم دیگر را خنثی کرده به این ترتیب می‌توان اثر تغییر شکل را خنثی و بر شکل لبه کنترل داشت.



شکل (۶): زاویه لبه ورق قبل از فرآیند [۲]

۱- مدل‌سازی

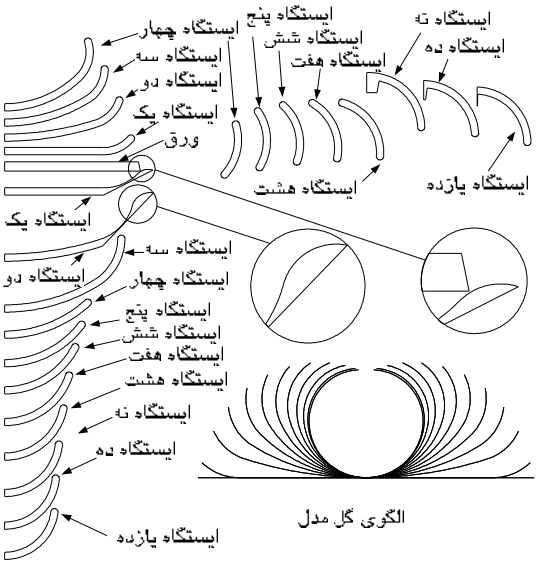
از آنجا که هدف از ایجاد مدل، بدست آوردن مدلی است که بتوان زوایا و شعاع‌های خم، موقعیت غلتک‌ها، زاویه اولیه لبه، ضخامت ورق را به راحتی تغییر داد؛ به همین منظور مدلی دو بعدی در نرم‌افزار کاتیا ترسیم شد که:

- غلتک‌ها به صورت سطوحی دوبعدی مدل شده‌اند.
- نصف مقطع لوله مدل شده است. به این وسیله زمان تحلیل نصف

www.SID.ir

Archive of SID

می‌شود.



شکل (۷): مدل طراحی شده در نرم‌افزار *CATIA*

مدل بر اساس روش شکل‌دهی شعاعی دوبل طراحی شده است. معادلات این روش بر اساس ۱۱ ایستگاه و پهنای ورق طبق رابطه(۱) حل گردیده است.

$$w = \pi(D - t) + 2t \qquad (۱)$$

که w پهنای ورق، D قطر خارجی ورق و t ضخامت ورق می‌باشد. این مدل شامل ۴ ایستگاه غلتک فشاری، ۴ ایستگاه غلتک راهنما، ۳ ایستگاه پره‌ای است.

۲- خواص ماده

برای تحلیل مدل‌ها غلتک‌ها به صوررت صلب و ورق از جنس فولاد با خواص همسانگرد در نظر گرفته شد. برای آزمایش عملی جنس ورق از نوع فولاد *API 5L X60* و برای مدل‌ها از دو ماده استفاده شده که در جدول(۱) خصوصیات آن‌ها آورده شده است.

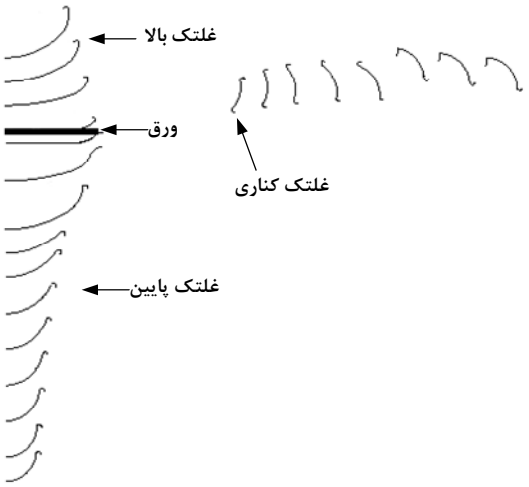
جدول (۱): خواص مواد استفاده شده

نام مدل	*Material 1 [2]*	*Material 2 [2]*	*API 5L X60*
تنش تسلیم *(Mpa)*	*198.9*	*316.1*	*413*
تنش جریان *(Mpa)*	$500.2(\bar{\varepsilon}+0.0044)^{0.17}$	$837.9(\bar{\varepsilon}+0.0119)^{0.22}$	$902.4(\bar{\varepsilon}+0.002)^{0.21}$
مدول الاستیسیته $\left(N/m^2\right)$	*200×109*	*200×109*	*201×109*
ضریب پواسان	*0.3*	*0.3*	*0.29*

۳- تعیین المان

المان *Visco108* به دلیل داشتن خاصیت غیر خطی و توانایی پذیرش کرنش‌های بزرگ جهت مدل‌سازی ورق انتخاب شده است. برای مدل‌سازی غلتک‌ها و سطوح ورق از المان‌های *Conta172* و *Targe169* استفاده شده است. برای مش‌بندی بر روی سطوح تماس غلتک، تنها المان *Targe169* استفاده شده است و به همین علت دارای شکلی به‌صورت یک خط است؛ بنابراین در تحلیل غلتک‌ها تنها به صورت خط دیده می‌شوند.

شکل (۸): نمونه‌ای از مش‌بندی ورق و غلتک



شکل (۹): ورق و غلتک‌ها پس از المان‌بندی در انسیس

ورق به صورت *Mapped* و با المان‌های مربعی از نوع *Visco108* شبکه‌بندی شده است؛ تعداد المان‌ها برای تحلیل‌های مختلف متفاوت بوده است. در تحلیل‌ها عدم وابستگی به مش‌بندی با ریزتر کردن مش‌بندی بررسی شد.

www.SID.ir

Archive of SID

۴- تعیین شرایط مرزی و حل مسئله

در فرآیند شکل‌دهی غلتکی سرد، ورق بوسیله حرکت دورانی غلتک به داخل دستگاه کشیده می‌شود و پس از عبور از بین غلتک‌ها به شکل لوله در می‌آید. تحلیل با فرض ساده‌سازی کرنش صفحه‌ای و تحلیل کردن نصف مقطع لوله انجام شد. لبه سمت چپ ورق در جهت X مقید شده و به غلتک‌ها در هر مرحله جابجایی وارد می‌شود.

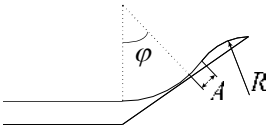
نکته مهمی که در جابجایی غلتک‌ها وجود دارد این است که در جابجایی:

- غلتک‌ها نباید با هم برخورد داشته باشند.
- باید سرعت شکل‌دهی در یک ایستگاه برای تمام اجزاء غلتک‌ها با هم برابر باشد.

برای این منظور غلتک‌ها فاصله‌ای معین از ورق قرار می‌گیرند سپس در مرحله بعد عمل شکل‌دهی در زمان ۱ ثانیه انجام می‌شود. در ادامه غلتک‌ها در ۲ یا یک مرحله از ورق دور می‌شوند. رعایت فاصله معین برای حفظ سرعت شکل‌دهی بسیار مهم است. در نتیجه مدل ۴۱ مرحله تحلیل شد که هر *Step* زمان ۱ ثانیه را دارد. به غیر از مرحله اول که یک ورق اولیه ورودی آن است در مراحل بعدی ورودی، خروجی مرحله قبل است.

۵- پارامترهای تماسی

برای تغییر نحوه تماس از پارامترهای A و R در مراحلی که تماس بین غلتک و ورق مشکل دارد استفاده شد.



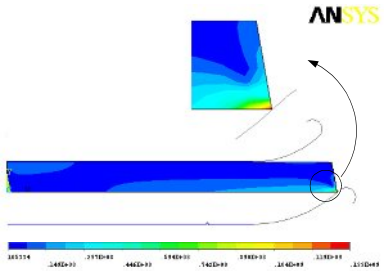
شکل (۱۰): شکل غلتک در محل تماس غلتک و ورق

R شعاع تماس، A فاصله شروع دایره تماسی با نقطه‌ای که از روابط طراحی الگوی گل بدست آمده است. φ زاویه‌ای است که از روابط مربوط به روش شعاعی دوبل بدست آمده است. [$R1$ و $A1$ پارامترهای تماسی در ایستگاه ۱ شکل‌دهی، $R2$ و $A2$ پارامترهای تماسی در ایستگاه ۲ شکل‌دهی است.]

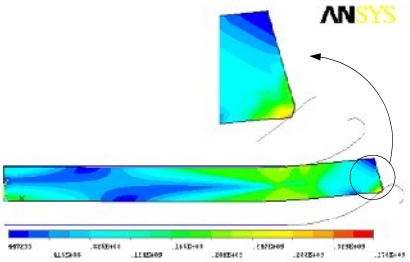
۶- نتایج شبیه‌سازی

نتایج شبیه‌سازی را در سه مرحله دسته‌بندی شده به ترتیب مراحل فشاری شدید، راهنما و مرحله پره‌ای که به ترتیب به بررسی آن‌ها پرداخته می‌شود:

شکل‌های(۱۱) از تحلیل مدلی با قطر ۲۶۷/۴mm، ضخامت ۳۲mm زاویه لبه ورق اولیه ۸۰ درجه و ماده طبق جدول(۱) از نوع ۱ و زوایای پره به ترتیب برابر ۲۰، ۱۵، ۵ درجه می‌باشد. همانطور که مشاهده می‌شود در شکل (۱۱) تماس به صورت نقطه‌ای است. له شدن گوشه در شکل‌های (۱۴-۱۱) کاملاً مشهود بوده که این له شدن سبب بالا رفتن بیش از اندازه تنش در گوشه شده و در نهایت لبه ورق دارای شکلی نامنظم است و تماس قسمت بالایی ورق با غلتک به صورت کامل انجام نشده است. قابل ذکر است که رنگ آبی بیانگر تنش کم و رنگ قرمز بیانگر تنش زیاد است.



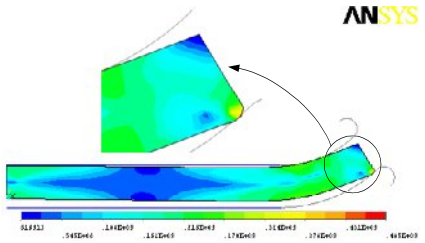
شکل (۱۱): تنش ون میسز درشروع تماس غلتک با ورق در ایستگاه اول برای حالت تماسی غیر بهینه



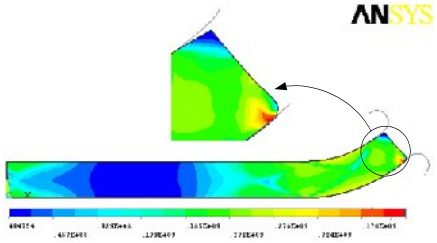
شکل (۱۲)تنش ون‌میسز در ۰/۴ زمان ایستگاه اول برای حالت تماسی غیر بهینه

www.SID.ir

Archive of SID

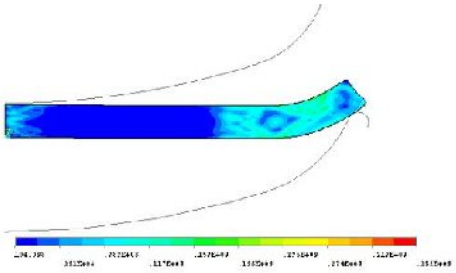


شکل (۱۳): تنش ون‌میسز در ۰/۸ زمان ایستگاه اول برای حالت تماسی غیر بهینه

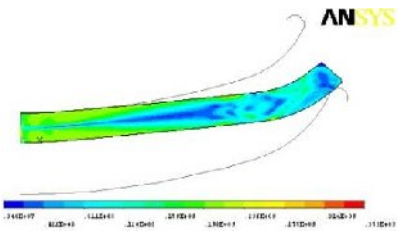


شکل (۱۴): تنش ون‌میسز در انتهای ایستگاه اول برای حالت تماسی غیر بهینه

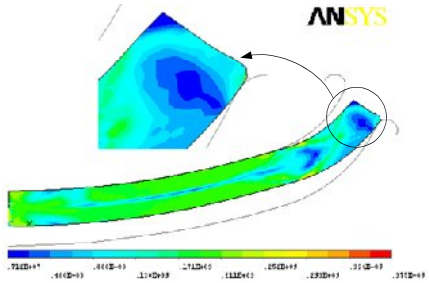
همانطور که در شکل‌های(۱۸-۱۵) دیده می‌شود در این مرحله هم له‌شدگی لبه را وجود دارد؛ ولی نسبت به مرحله قبل از شدت کمتری برخوردار است. در حالتی که زاویه لبه اولیه ورق کمتر باشد؛ (گوشه ورق تیزتر است) این مرحله هم بحرانی می‌شود.



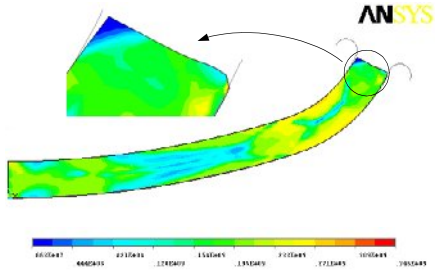
شکل (۱۵): تنش ون‌میسز در شروع تماس غلتک با ورق در ایستگاه ۲ شکل‌دهی برای حالت تماسی غیر بهینه



شکل (۱۶): تنش ون‌میسز در ۰/۴ زمان ایستگاه ۲ شکل‌دهی برای حالت تماسی غیر بهینه

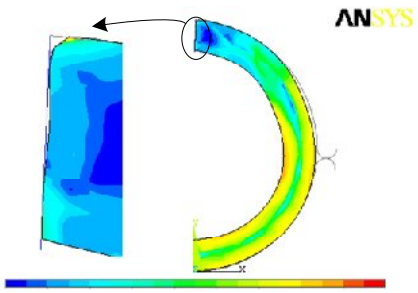


شکل (۱۷): تنش ون‌میسز در ۰/۸ زمان ایستگاه ۲ شکل‌دهی برای حالت تماسی غیر بهینه



شکل (۱۸): تنش ون‌میسز در پایان ایستگاه دوم شکل‌دهی برای حالت تماسی غیر بهینه

در شکل(۱۹) لبه ورق به صورت یک منحنی در آمده که در ایستگاه ۹ شکل‌دهی داشتن تماسی کامل بین ورق و پره را غیر ممکن می‌کند. همچنین گوشه ورق از حالت تیزی در آمده که این حالت در نهایت بر روی جوش تاثیر بسیار بدی می‌گذارد؛ زیرا در مراحل شکل‌دهی پره‌ای حذف این گوشه غیر تیز بسیار مشکل و در موارد بسیاری غیر ممکن می‌باشد.

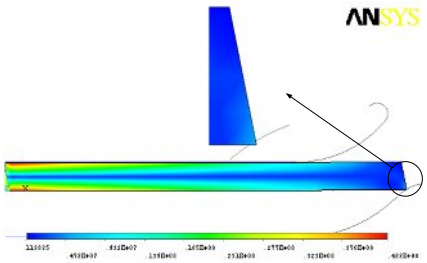


www.SID.ir

Archive of SID

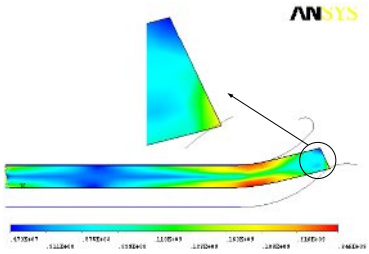
شکل (۱۹): تنش ون میسز در ایستگاه ۳
پره‌ای برای حالت تماسی غیر بهینه

با تغییر پارامترهای تماسی لهیدگی ورق به مقدار حداقل رسید در شکل‌های(۲۴-۲۰) همانطور که مشاهده می‌شود با انتخاب مناسب پارامترهای تماسی لهیدگی گوشه ورق به حداقل رسیده است.

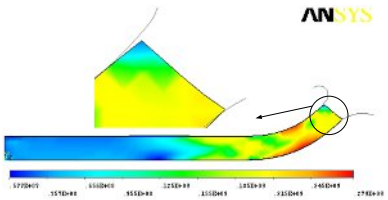


شکل (۲۰): توزیع تنش در شروع ایستگاه ۱
برای حالت تماسی بهینه

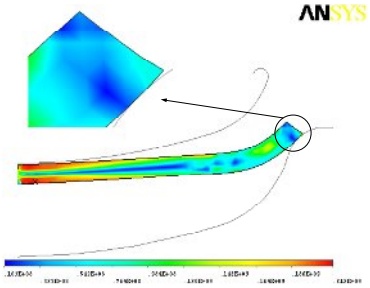
همانطور که در شکل‌های(۲۵) مشاهده می‌شود در مرحله آخر پره‌ای تطابق کامل بین لبه ورق و پره وجود دارد.



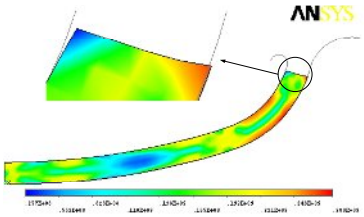
شکل (۲۱): توزیع تنش در نصف زمان
ایستگاه ۱ برای حالت تماسی بهینه



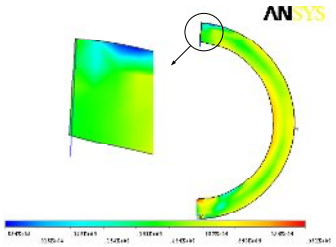
شکل (۲۲): توزیع تنش در پایان ایستگاه ۱
برای حالت تماسی بهینه



شکل (۲۳): توزیع تنش در نصف زمان
مرحله ۲ برای حالت تماسی بهینه



شکل (۲۴): توزیع تنش در پایان ایستگاه ۲
برای حالت تماسی بهینه

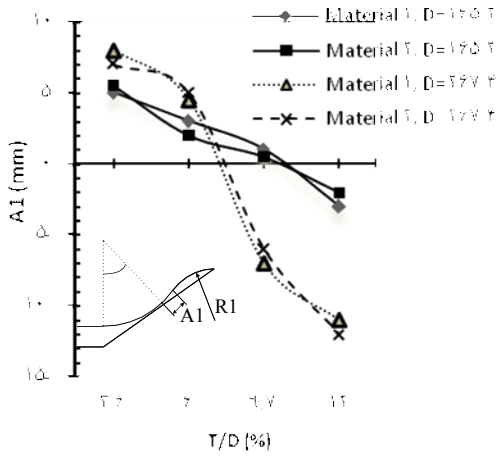


شکل (۲۵): توزیع تنش در پایان ایستگاه ۱۱
شکل‌دهی برای حالت تماسی بهینه

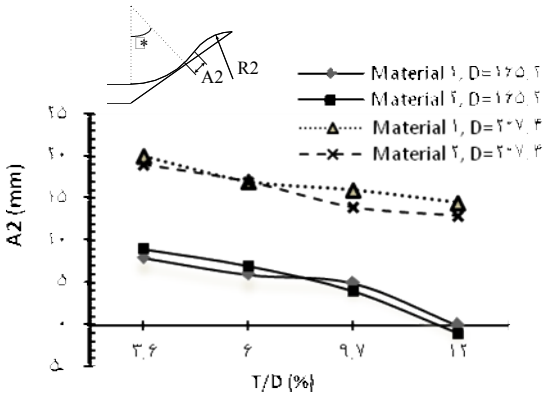
همانطور که در شکل‌های(۲۶ و ۲۷) نشان داده شده است با افزایش نسبت ضخامت به قطر پارامتر A1 و A2 کاهش می‌یابد. علت این پدیده را می‌توان به این دلیل توجیه کرد که با افزایش نسبت ضخامت به قطر نیروی لازم برای شکل‌دهی زیاد می‌شود؛ در نتیجه له شدن گوشه بیشتر اتفاق می‌افتد؛ پس باید شروع تماس بین غلتک و ورق در نقطه‌ای دورتر از لبه باشد.

www.SID.ir

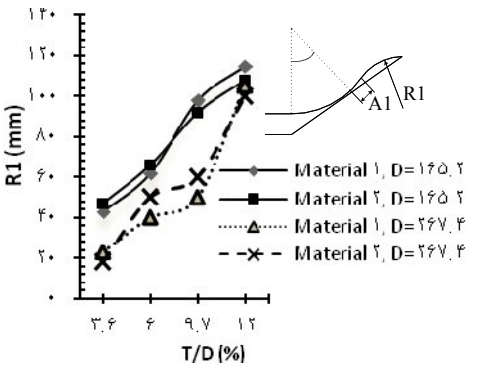
Archive of SID



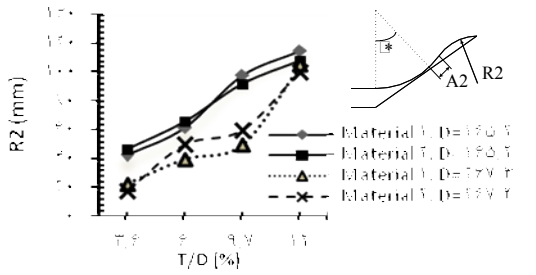
شکل (۲۶): تاثیر نسبت ضخامت به قطر بر روی *A1*



شکل (۲۷): تاثیر نسبت ضخامت به قطر بر روی *A2*



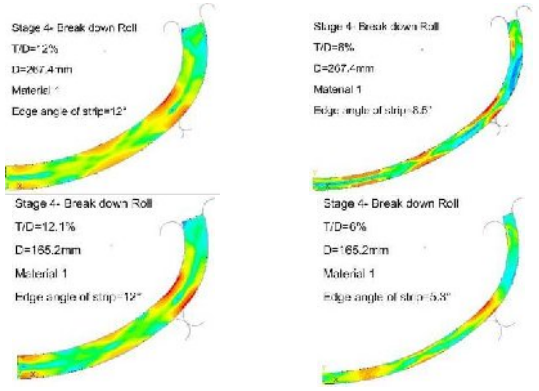
شکل (۲۸): تاثیر نسبت ضخامت به قطر بر روی *R1*



شکل (۲۹): تاثیر نسبت ضخامت به قطر بر روی *R1*

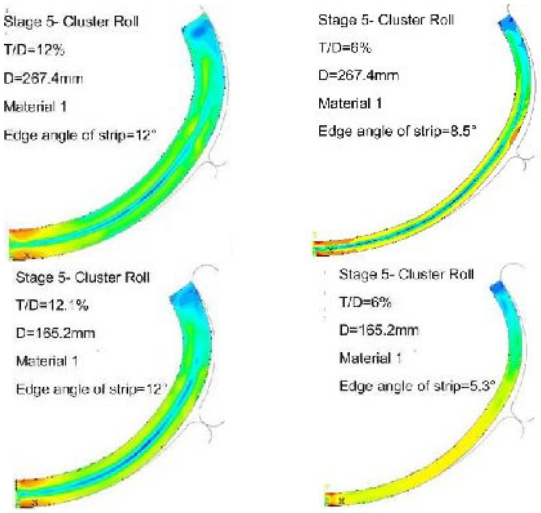
همانطور که در شکل‌های(۲۸ و ۲۹) نشان داده شده است با افزایش نسبت ضخامت به قطر مقدار شعاع تماس افزایش می‌یابد علت این پدیده افزایش نیروی شکل‌دهی به علت افزایش نسبت ضخامت به قطر است در نتیجه برای کاهش لهیدگی باید شعاع تماس افزایش یابد.

در ادامه بر نتایج حاصل از مرحله راهنما نشان داده شده است. شکل ۳۰ شکل و توزیع تنش وان‌میسز ورق را برای دو قطر *۲۶۷.۴mm* و *۱۶۵.۲mm* و نسبت ضخامت به قطرهای مختلف در مرحله ۴ شکل‌دهی از غلتک‌های فشاری نشان داده شده است. همانطور که مشاهده می‌شود ورق ورودی به مرحله بریک دان بدون عیب می باشد و هیچ گونه جداشدگی از غلتک را ندارد. همانطور که مشاهده می‌شود در فاصله دو غلتک بالا و پایین یک تمرکز تنش وجود دارد.



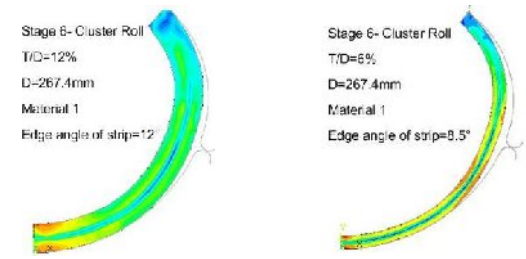
www.SID.ir

Archive of SID

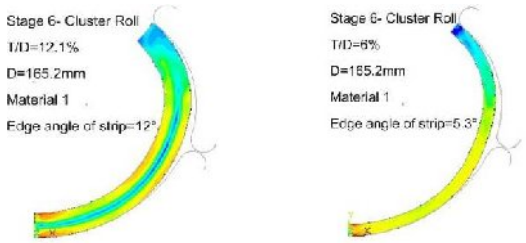


شکل (۳۰): توزیع تنش وان میسز و شکل ورق در ایستگاه ۴ (رنگ قرمز نماد بالاترین تنش و رنگ آبی کمترین تنش است)

شکل ۳۱ تا ۳۴شکل و توزیع تنش وان‌میسز ورق را برای دو قطر ۲۶۷.۴mm و ۱۶۵.۲ mm و نسبت ضخامت به قطرهای مختلف به ترتیب برای مراحل ۵ تا ۸ شکل‌دهی از غلتک‌های راهنما نشان داده شده است. همانطور که مشاهده می‌شود در مراحل راهنما ورق دارای جداشدگی از غلتک می‌باشد. مقدار بیشنه جدا شدگی در ناحیه بین غلتک بالا و پایین می‌باشد؛ همچنین تمرکز تنش در ناحیه بین دو غلتک از بین رفته است. با کاهش نسبت ضخامت به قطر این مقدار جدا شدگی بیشتر می‌شود.



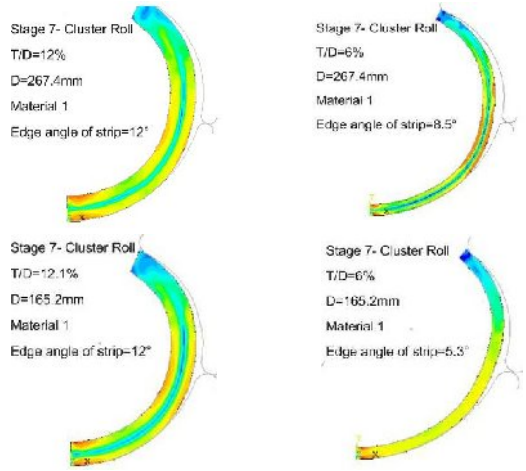
شکل (۳۱): توزیع تنش وان میسز و شکل ورق در ایستگاه ۵ (رنگ قرمز نماد بالاترین تنش و رنگ آبی کمترین تنش است)



شکل (۳۲): توزیع تنش وان میسز و شکل ورق در ایستگاه ۶ (رنگ قرمز نماد بالاترین تنش و رنگ آبی کمترین تنش است)

از نتایج شبیه‌سازی، عدم وابستگی زاویه پره در ایستگاه پره‌ای۱ نسبت به پارامتر ضخامت به قطر و جنس ورق بدست آمد که مقدار آن برابر ۲۰ درجه است.

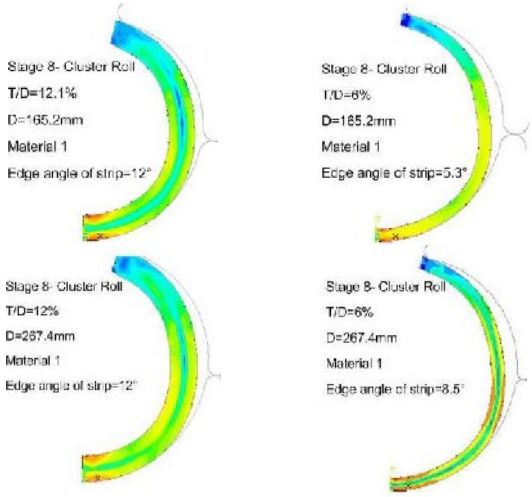
همانطور که در شکل ۳۵ مشاهده می‌شود با افزایش نسبت ضخامت به قطر مقدار زاویه پره در ایستگاه پره‌ای ۲ نیز افزایش می‌یابد علت این پدیده را می‌توان به این صورت توضیح داد که وظیفه اصلی این ایستگاه رفع عیوب رخ داده در شکل ورق می‌باشد و با توجه به این که نسبت ضخامت به قطر افزایش می‌یابد به نیروی شعاعی بیشتری برای تصحیح عیوب احتیاج است که با افزایش زاویه پره این امکان فراهم می‌شود.



شکل (۳۳): توزیع تنش وان میسز و شکل ورق در ایستگاه ۷ (رنگ قرمز نماد بالاترین تنش و رنگ آبی کمترین تنش است)

www.SID.ir

Archive of SID

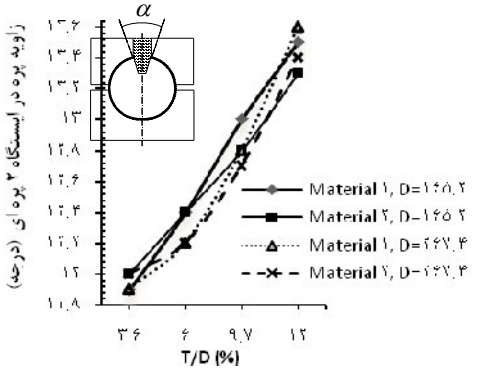


شکل (۳۴): توزیع تنش وان میسز و شکل ورق در ایستگاه ۸ (رنگ قرمز نماد بالاترین تنش و رنگ آبی کمترین تنش است)

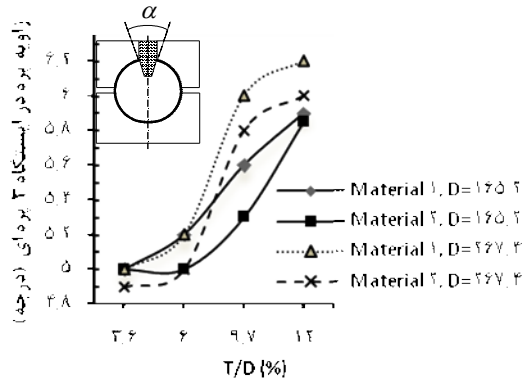
همانطور که در شکل ۳۶ نشان داده شده است با افزایش نسبت ضخامت به قطر زاویه پره در ایستگاه پره‌ای ۳ نیز افزایش می‌یابد؛ این پدیده را می توان به علت نقش دوگانه این ایستگاه در کوبش لبه برای آماده کردن شیار جوش و همچنین تصحیح عیوب باقیمانده در شکل ورق بیان نمود.

۴- بررسی توزیع تنش در لبه ورق در مراحل پره‌ای

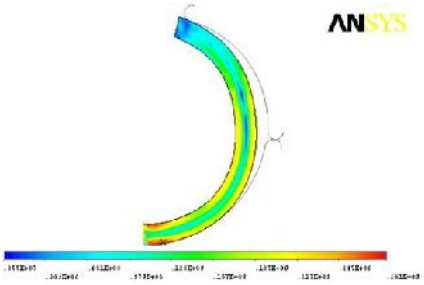
در شکل(۱۸) توزیع تنش ون میسز را در پایان ایستگاه ۸ (قبل از ایستگاه پره‌ای) نشان داده شده است. همانطور که مشاهده می‌شود ورق دارای عیب زیادی است و توزیع تنش در ناحیه لبه غیر یکنواخت است.



شکل (۳۵): تاثیر نسبت ضخامت به قطر بر روی زاویه پره در ایستگاه پره‌ای۲

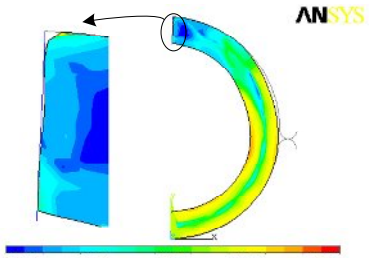


شکل (۳۶): تاثیر نسبت ضخامت به قطر بر روی زاویه پره در ایستگاه پره‌ای۳



شکل (۳۷): توزیع تنش ون میسز در پایان ایستگاه ۸

در شکل(۳۸) نمونه‌ای از یک تحلیل که زاویه پره نامناسب است نشان داده شده است. همانطور که مشاهده می‌شود لبه ورق و شکل ورق دارای عیب زیادی است گوشه لبه له شده است و توزیع تنش غیر یکنواخت است.

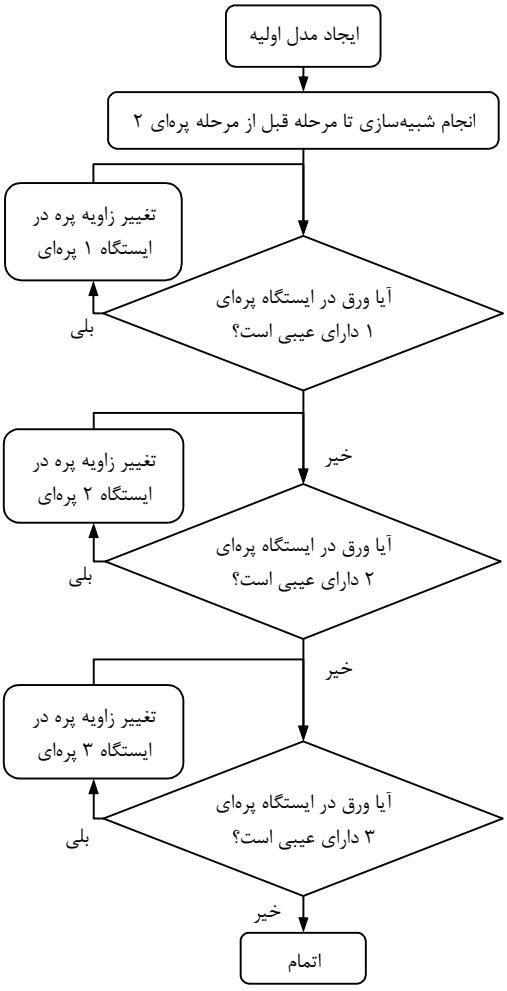


شکل (۳۸): تنش ون میسز در ایستگاه ۱۱ (زاویه پره نامناسب است)

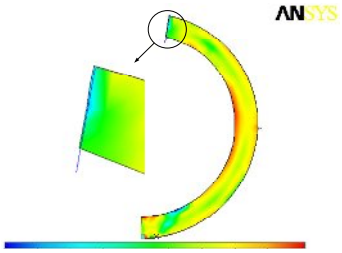
www.SID.ir

Archive of SID

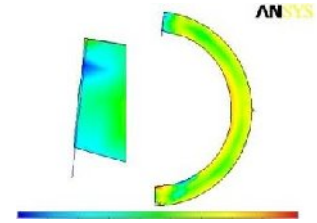
در شکل‌های(۴۰، ۴۱ و ۴۲) توزیع تنش ون میسز را در ایستگاه‌های پره‌ای برای حالتی که از الگوریتم نشان داده شده در شکل(۳۹) استفاده شده است را نشان می‌دهد. همانطور که مشاهده می شود عیوب ورق در هر سه ایستگاه از بین رفته در ناحیه لبه توزیع تنش ون میسز یکنواخت است و گوشه ورق کاملاً تیز می‌باشد.



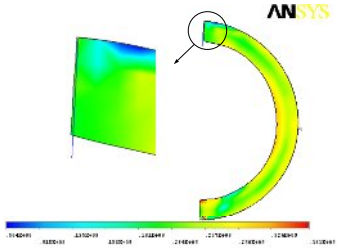
شکل (۳۹): دیاگرام حل مسئله



شکل (۴۰): توزیع تنش در پایان ایستگاه ۹



شکل (۴۱): توزیع تنش در پایان ایستگاه ۱۰ شکل‌دهی



شکل (۴۲): توزیع تنش در پایان ایستگاه ۱۱ شکل‌دهی

۴- مقایسه نتایج حاصل از شبیه‌سازی با نتایج کیوچی[۳]

برای بررسی اثر مقدار زاویه پره بر روی شکل ورق در مراحل پره‌ای مطابق با جدول۲، ۵ حالت در نظر گرفته شد؛ در این ۵ حالت زاویه لبه اولیه ورق ۸۴ درجه، نسبت ضخامت به قطر ۶٪، ضخامت ۱۰mm، پهنا ۲۵۲mm و جنس ماده طبق جدول(۱) از نوع ۱ است طبق [۳] بهترین آرایش زاویه پره به ترتیب برابر است با ۲۰، ۱۵ و ۵ درجه می‌باشد که نتیجه تحلیل‌ها هم این امر را تصدیق می‌کند. در نمودارها برای مقایسه بهتر از گره‌های واقع در فاصله بین دو غلتک صرفنظر شده است.

جدول (۲): حالت‌های مورد بررسی برای تاثیر زاویه پره بر روی شکل ورق

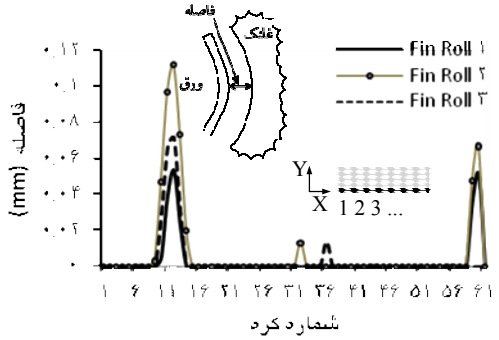
شماره	زاویه پره ۱	زاویه پره ۲	زاویه پره ۳
۱	۳۰	۱۵	۵

www.SID.ir

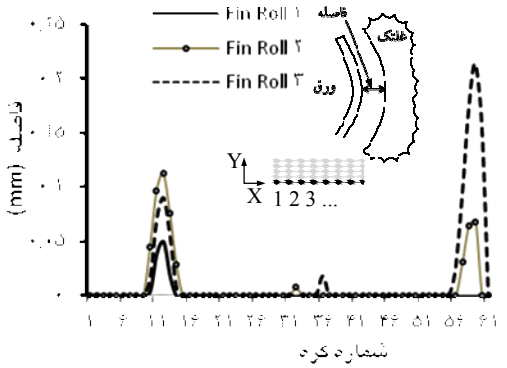
Archive of SID

شماره	زاویه پره ۱	زاویه پره ۲	زاویه پره ۳
۲	۵	۱۵	۳۰
۳	۲۰	۱۵	۵
۴	۵	۱۵	۲۰
۵	۵	۵	۵

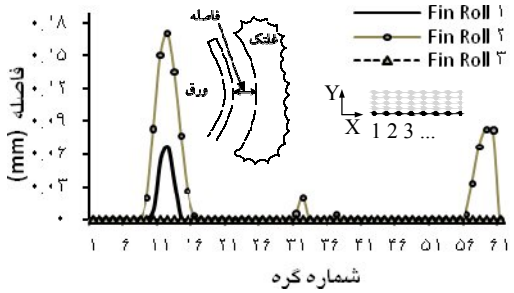
همانطور که شکل‌های(۴۷-۴۳) نشان داده شده است برای حالت ۳ از حالت‌های ذکر شده در جدول۲ بهترین توزیع فاصله بین ورق و غلتک وجود دارد که نتایج [۳] هم این امر را تصدیق می‌کند. در نتیجه بهترین آرایش زاویه پره‌ها حالت کاهشی است. و همانطور که مشاهده می‌شود؛ بیشترین تصحیح عیوب توسط غلتک ایستگاه پره‌ای ۲ انجام می‌شود



شکل (۴۳): توزیع فاصله ورق و غلتک برای حالت ۱



شکل (۴۴): توزیع فاصله ورق و غلتک برای حالت ۲



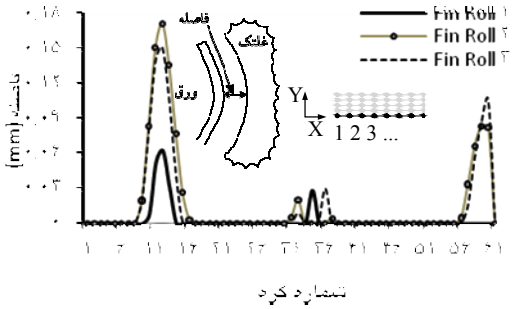
شکل (۴۵): توزیع فاصله ورق و غلتک برای حالت ۳

www.SID.ir

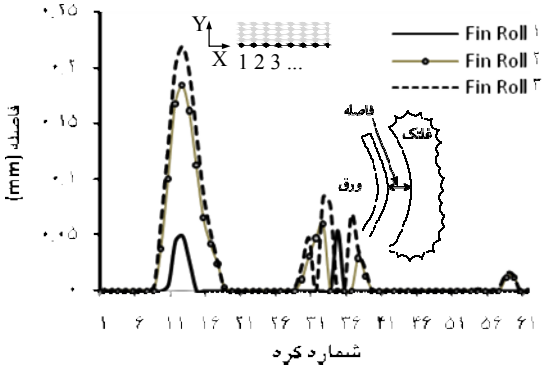
Archive of SID

۵- مطالعات تجربی

برای بررسی صحت مدل، تحلیل را بر اساس اطلاعات خط لوله ۲۴ اینچ کارخانه لوله‌سازی اهواز انجام داده برای بدست آوردن شکل ورق ورودی در این حالت قبل از ورود و بعد از خروج ورق از مرحله پره‌ای دستگاه را متوقف کرده و بوسیله یک شابلون شکل ورق را بدست آورده و از روی شابلون ۸۰ نقطه اندازه‌گیری و شبیه‌سازی برای مراحل پره‌ای انجام شد.

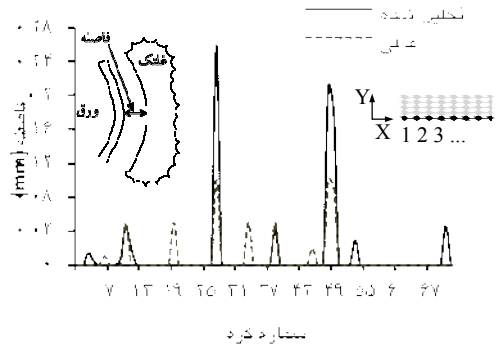


شکل (۴۶): توزیع فاصله ورق و غلتک برای حالت ۴



شکل (۴۷): توزیع فاصله ورق و غلتک برای حالت ۵

در شکل(۴۸) نتایج حاصل از اندازه‌گیری و تحلیل نشان داده شده است. در شکل (۴۸) توزیع فاصله سطح خارجی لبه ورق از غلتک پره‌ای شماره ۳ برای حالت عملی و تحلیل شده نشان داده شده است که نشانگر حداکثر خطای تحلیل برابر ۱۰ درصد می‌باشد.



شکل (۴۸): مقایسه بین نتایج تحلیل و اندازه‌گیری شده

۶- نتیجه‌گیری

با توجه به نتایج همانطور که مشاهده شد نتایج زیر حاصل شد:

۱- با افزایش نسبت ضخامت به قطر مقدار زاویه اولیه ورق افزایش پیدا می‌کند.

۲- با افزایش زاویه لبه اولیه ورق مقادیر پارامترهای تماسی $A1$، $A2$، $R1$، $R2$ افزایش پیدا می‌کند.

۳- اهمیت غلتک مرحله دوم از غلتک مرحله اول در رخ دادن عیب له‌شدگی گوشه ورق کمتر است.

۱- با کاهش نسبت ضخامت به قطر جداشدگی ورق از قالب بیشتر رخ می‌دهد.

۳- در مرحله قبل از مرحله راهنما، مرحله فشاری به علت وجود غلتک بالایی این عیب (جداشدگی ورق از قالب) کمتر مشاهده می‌شود.

۴- اگر در مرحله راهنما از غلتک‌های داخلی استفاده شود می‌توان عیب جداشدگی را کاهش داد.

۵- توزیع تنش در سطح مقطع ورق شکل‌داده شده در مرحله راهنما بسیار پراکنده می‌باشد. (لازم به ذکر است که اگر توزیع تنش در ورق یکنواخت نباشد مقاومت به خوردگی لوله تولید شده بسیار کم می‌شود.) و یکی از نواحی تمرکز تنش در فاصله غلتک بالا و پایین است که با کاهش این فاصله می‌توان مقدار غیریکنواختی را کاهش داد.

۶- توزیع تنش در سطح مقطع ورق شکل داده شده در مرحله فشاری دارای پراکندگی کمتر نسبت به مرحله راهنما می‌باشد.

www.SID.ir

Archive of SID

۷- با انتخاب مناسب غلتک‌های پره‌ای می‌توان عیوب ایجاد شده ورق در مراحل قبلی را برطرف کرد.

۸- مقدار زاویه مناسب پره در ایستگاه پره‌ای ۱ برابر ۲۰ درجه و در مراحل بعدی تابعی از نسبت ضخامت به قطر و ضخامت بوده و به طور کلی مقدار زاویه از ایستگاه ۱ تا ایستگاه ۳ پره‌ای روند کاهشی دارد.

۹- توزیع تنش در مرحله پره‌ای در صورت انتخاب مناسب غلتک‌ها دارای پراکنده‌گی مناسب می‌باشد.

۷- مراجع

[۱] مسلمی نائینی ح.، طراحی غلتک‌های فرآیند شکل‌دهی غلتکی سرد لوله به کمک کامپیوتر، دانشگاه تربیت مدرس، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، ۱۳۷۲

[2] N. Kim, "Prediction and design of edge of initial strip for thick tube roll forming using finite element method", J. Materials processing Tech, 142 (2003) 479-486

[3] Kiuchi, M., "Optimum design of fin-rolls and fin pass-schedule of roll forming of pips", Tomorrows tube-international conference & exposition, Birmingham-England, 1986

[4] Toyooka, T., "Deformation behavior & fin pass forming conditions in the 24-Inch cage forming ERW pipe mill", Research laboratories, Kawasaki Steel Corporation, 1982

[۵] مسلمی نائینی ح.، تاثیر شکل غلتک فشاری شدید و مقدار زاویه اولیه لبه ورق بر شکل ورق در فرآیند شکل دهی غلتکی سرد لوله، پانزدهمین کنفرانس سالانه(بین المللی) مهندسی مکانیک ISME2007، دانشگاه صنعتی امیرکبیر، ۱۳۸۶

[۶] مسلمی نائینی ح.،زاویه بهینه پره در مراحل پره‌ای و تاثیر آن بر شکل ورق در فرآیند شکل دهی غلتکی سرد لوله، پانزدهمین کنفرانس سالانه(بین المللی) مهندسی مکانیک ISME2007، دانشگاه صنعتی امیرکبیر، ۱۳۸۶

[۷] مسلمی نائینی ح.، بررسی عیوب مرحله راهنما در فرآیند شکل‌دهی غلتکی سرد توسط روش المان محدود، شانزدهمین کنفرانس سالانه(بین المللی) مهندسی مکانیک ISME2008، دانشگاه شهید باهنر کرمان، ۱۳۸۷

[۸] مزدک س[۸].، تحلیل تئوری و تجربی شکل لبه ورق در فرآیند شکل‌دهی غلتکی سرد لوله، دانشگاه تربیت مدرس، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، ۱۳۸۵

www.SID.ir