مطالعه رفتار الاستیک- پلاستیک ورق در فرآیند یکنواخت کردن

حسن مسلمی نائینی[i]؛ محمد حسین پورگللو[ii]؛ حامد دیلمی عضدی[iii]

چکیده

فرآیند یکنواخت کردن برای کاهش یا اصلاح عیوب تختی ورق بعد از فرآیند نورد یا باز کردن از کویل به طور گسترده استفاده می شود. در این مقاله، یک روش تحلیل عددی الاستو پلاستیک دوبعدی مبتنی بر روش حل عددی برای پیش‌بینی رفتار ورق در حین فرآیند ارائه شده است. با استفاده از آن، تاثیر پارامترهای مختلف نظیر تداخل غلتکها قطر و تعداد غلتکها بر روی انحنا و تنش پسماند محصول نهایی بررسی شده است. همچنین، تاثیر آزمایشهای تجربی متعددی روی کاهش انحنای ورق در طی فرآیند انجام شده است. نتایج بدست آمده از این روش با نتایج تحلیل اجزای محدود به کمک نرم افزار ANSYS و نتایج تجربی مقایسه شده است. تطابق نسبتا خوب بین این نتایج، اعتبارو صحت این تحلیل را نشان می دهد. مزایای این روش صرفه جویی در زمان سعی و خطا و کاهش هزینه‌های تولید است.

کلمات کلیدی

یکنواخت کردن ورق، انحنای ورق، تنش پسماند ،روش عددی، روش اجزای محدود.

A Study of Elastic-Plastic Behavior of Strip in Leveling Process

H. Moslemi Naeini ; M. Hoseinpour Gollo ; H. D. Azodi

ABSTRACT

Leveling process has been widely used for decreasing and improving the flatness strip defect which occurred after rolling or opening coil. In this paper, a two-dimensional Numerical anlysis method for analysis of elastic-plastic behavior of strip in leveling process is presented. By using the method, effect of different variables such as intermesh, roll diameter and number of rolls on residual curvature and residual stress in final product are investigated. Moreover, experiments with connecting the process for decreasing curvature of strip are carried out. The theoretical predictions are compared with results of finite element method (ANSYS) and experiment. Good agreements between the analysis and experimental results show the validity of the method. The method has the advantages of saving both the trial and error time and decreasing the production cost.

KEY WORDS

Strip Leveling, Strip Curvature, Residual- Stress, Numerical Methods, Finite- Element Method.

[i] دانشیار گروه ساخت و تولید- دانشگاه تربیت مدرس: moslemi@modares.ac.ir

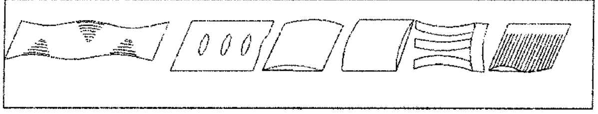
[ii] دانشجوی دکتری مهندسی مکانیک ، ساخت و تولید- دانشگاه تربیت مدرس: hoseinpour@modares.ac.ir

[iii] دانشجوی دکتری مهندسی مکانیک ، ساخت و تولید- دانشگاه تربیت مدرس: deilami@modares.ac.ir

۱- مقدمه

امروزه ورق های فلزی در صنایع مختلف از قبیل صنایع خودروسازی، هواپیما سازی، لوازم خانگی،لوله و پروفیل سازی به طور گسترده استفاده می شود. با توجه به نیاز به بهبود کیفیت قطعات، لازم است ورق های مورد استفاده دارای کیفیت مناسب و عاری از هرگونه عیب باشند. ازآنجا که ورق های فلزی عموماً به روش نورد تولید می‌شوند و معمولاً نوارهای فلزی برای عرضه به صورت کویل در می‌آیند، به دلیل شرایط کاری حین تولید و همچنین باز کردن ورق از کویل انحناها و عیوب مختلف ناخواسته در ورق ظاهر می شود. این عیوب بطور عمده شامل موج دار بودن لبه‌ها[1] و کمانش مرکزی[2] ناشی از اختلاف طول ورق بین مرکز و لبه‌ها ، و تاب طولی[3] و عرضی[4] به علت ممان ناشی از توزیع غیر یکنواخت تنش در ضخامت است. همچنین انحنای برش[5] و انحنای اچ کردن[6] که پس از فرآیند برش کاری و حکاکی شیمیایی در ورق ظاهر می‌شوند. و اولی به دلیل توزیع غیر یکنواخت ممان و دومی ناشی از غیریکنواختی توزیع تنش پسماند در راستای ضخامت است[۱] . در شکل (۱) عیوب فوق نشان داده شده است.

انحنای بعد از شکل دهی		انحنا		اختلاف طول	
انحنای اچ کردن	انحنای برش	تاب عرضی	تاب طولی	کمانش مرکزی	موج دار بودن لبه



شکل(۱):عیوب تختی ورق [۲]

برای کاهش یا حذف این عیوب از یکنواخت کننده‌های کششی[7] یا یکنواخت کننده‌های غلتکی[8] استفاده می شود. در یکنواخت کننده‌های غلتکی ورق با عبور از بین تعدادی غلتک و در اثر خمش های متناوب ، به یکنواختی لازم می‌رسد؛ اما در یکنواخت کننده های کششی، ورق با کشیده شدن بر روی غلتک ها و اعمال نیروی کشش قابل ملاحظه این یکنواختی مطلوب را به دست می آورد.

برای تعیین شرایط بهینه فرآیند تحقیقات زیر انجام شده است. تامسون[9] با بررسی فرآیند یکنواخت کردن کششی و بیان اینکه در اکثر فرآیندهای یکنواخت کردن کششی شکل ورق از غلتک‌هاپیروی نمی کند، رابطه‌ای بین انحنای ورق، نیروی کشش وهندسه غلتک‌ها ارائه داده است [۳].

ماتوبا[10] و همکارانش کرنش ایجاد شده روی یک ورق فولادی و نیروی یکنواخت کردن را در حین یکنواخت کردن غلتکی محاسبه کرده‌اند و نشان داده اند که رابطه بین انحنای ورق و موقعیت غلتک‌ها تقریباً با نتایج محاسبه شده با فرض تغییر شکل الاستیک برابر است [٤].

کادوتا[11] و همکارش نیز یک روش تحلیل عددی برای فرآیند یکنواخت کردن غلتکی ارائه دادند که با استفاده از آن می‌توان انحنای ورق و نیروی اعمالی را در این فرآیند تخمین زد [٥]. کانو[12] و همکارانش نیز یک تحلیل اجزا محدود الاستو - پلاستیک به منظور محاسبه انحنا و تنش داخلی ورق های حاصل از نورد سرد در فرآیند یکنواخت کردن غلتکی ارائه دادند. آنها با در نظر گرفتن حالت کرنش صفحه‌ای و صلب فرض کردن غلتک‌ها و صرفنظر کردن از اصطکاک، انحنای ورق در حین فرآیند و انحنای پسماند را به دست آوردند. نتایج آنها نشان می‌دهد، انحنای ورق با کاهش قطر غلتک‌ها و تنش پسماند با افزایش تعداد غلتک‌ها کاهش می‌یابند [٦].

همچنین پارک[13] و همکارش برای تحلیل فرآیند یکنواخت کردن غلتکی و کنترل انحنای بعد از برش در ورق فولادی نازک، برنامه تحلیلی بر مبنای روش اجزای محدود نوشتند. در این برنامه با تحلیل تغییر شکل های بزرگ الاستیک - پلاستیک، با در نظر گرفتن برگشت فنری و شرایط تماس بین ورق و غلتک‌ها، نشان داده شده است که اختلاف انحنای ورق با افزایش میزان تداخل غلتک‌ها[14] کم می‌شود و میزان بهینه تداخل ورودی تحت تاثیر قطر و چیدمان غلتک‌هاست [۲].

در ادامه، حسین پور یک مدل تئوری بر اساس روش حل عددی برای محاسبه توزیع تنش پسماند و انحنای پسماند ورق پس از یکنواخت کردن ارائه داده است که در ادامه نتایج این تحقیق آمده است[۱] . با توجه به کاربرد فرآیند یکنواخت کردن و نیاز صنایع مختلف کشور بویژه صنایع خودروسازی به بهره گیری از این فرآیند و نبود روش تحلیلی برای تعیین تنظیم دقیق پارامتر های فرآیند در کشور ، در این تحقیق سعی شده است رفتار ورق در حین فرآیند ، به کمک روش های عددی مدلسازی و تحلیل گردد.

۲- شبیه سازی فرآیند یکنواخت کردن به کمک روش حل عددی

فرضیات ساده کننده استفاده شده در تحلیل عبارتندا ز

۱- کرنش در جهت پهنا صفر در نظر گرفته شده است.

۲- از تنش موجود در جهت ضخامت صرفنظر شده است.

۳- سطح مقطع ورق همیشه بر لایه خنثی ورق عمود می باشد.

۴- نیروی کششی در طول پهنا یکنواخت بوده و در طی فرآیند نیز ثابت می ماند.

۵- اثر بوشینگر ناچیز در نظر گرفته شده است.

۶- مواد همسانگرد می باشد.

با توجه به هندسه مسأله یک مدل دو بعدی متشکل از سه غلتک برای تحلیل مسأله استفاده شده است. این مدل در واقع یک جزء از یک دستگاه یکنواخت کننده است.

در حالت الاستیک از روابط تنش - کرنش هوک و در حالت پلاستیک از معادلات پرنتل_رس[۱۵] استفاده شده است. همچنین در تحلیل حاضر معیار تسلیم ون میسز[۱۶] در نظر گرفته شده است. ابتدا با حل مسأله در حالت الاستیک شعاع انحنای الاستیک به صورت زیر به دست می آید[۲].

$$R_{WE} = -\frac{E \cdot I}{T \cdot I_m} \cdot \frac{(C-1) \cdot \left((\frac{1-C}{W \cdot S}) + (\frac{L_1 \cdot L_2}{L}) \right)}{\left(C \cdot (\frac{1-C}{W \cdot S}) + (\frac{L_2 \cdot S}{L \cdot W}) \right)} \qquad (۱)$$

که در آن

$$W = \sqrt{\left(\frac{T}{E \cdot I}\right)}$$

$$S = \sinh\ (W \cdot L_1) \qquad (۲)$$

$$C = \cosh\ (W \cdot L_1)$$

سپس از محاسبه R_W با کمک رابطه تجربی (۳) شعاع انحنا واقعی ورق زیر غلتک به دست می آید:

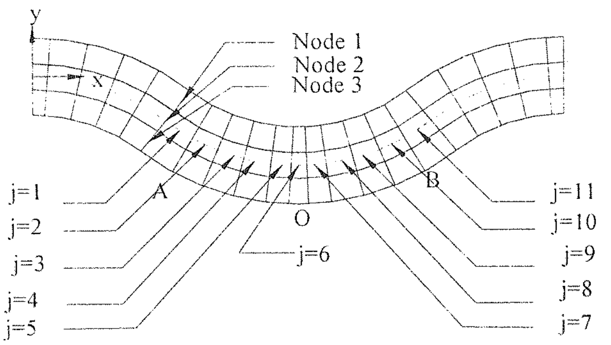
$$R_W = \alpha R_{WE} + \beta \qquad (۳)$$

که پارامترهای α و β به صورت تجربی به دست می آیند.

انحنای ورق در حین فرآیند با المان‌بندی ورق و فرض تغییر خطی انحنای بین دو گره متوالی محاسبه می شود و با استفاده از آن مقدار کرنش در هر المان به دست می آید:

لازم به ذکر است که تعداد المان های فرض شده در جهت ضخامت وطول طبق شکل(۲) است.

سپس با محاسبه σ_x و σ_y ، طبق روابط پلاستیسیته M_x و M_y محاسبه شده، انحنای پسماند در جهات x و y طبق روابط زیر به دست می‌آید[۷]، [۸].



شکل (۲): شکل مش بندی ورق در نرم افزار تدوین شده(قسمتی از ورق بین دو ایستگاه مجاور در جهت طول و ضخامت)

$$\kappa_{xres} = \frac{(-M_x + \nu M_y)}{Eh^3(1-\nu^2)} \qquad (۴)$$

$$\kappa_{yres} = \frac{(-M_y + \nu M_x)}{Eh^3(1-\nu^2)} \qquad (۵)$$

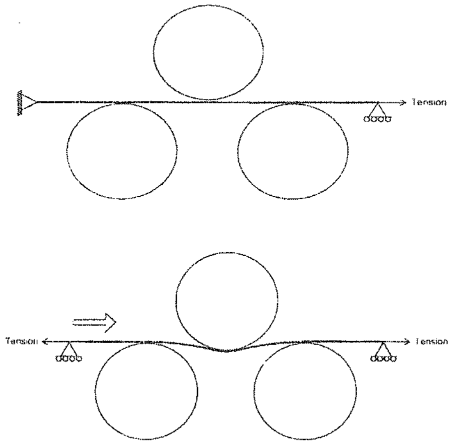
۳- شبیه سازی فرآیند با استفاده از روش اجزای محدود به کمک نرم افزار ANSYS

در تحلیل الاستیک - پلاستیک ورق در فرآیند یکنواخت کردن غلتکی ، عبور ورق از بین غلتک‌ها، در آن تغییر شکل های پلاستیک ایجاد می‌کند که در واقع باعث بروز رفتار غیر خطی در ماده می‌شود. در نرم افزار ANSYS دستورات حل غیر خطی[۱۷] با در نظر گرفتن اثرات تغییر شکل بزرگ، برای تحلیل‌های غیر خطی استفاده می‌شود.برنامه ANSYS برای تحلیل مسائل پلاستیسیته ، بر مبنای پلاستیسیته مستقل از زمان و پلاستیسیته وابسته به زمان امکان استفاده از تئوری های مختلفی را ارائه می‌دهد، که با توجه به اینکه فرآیند یکنواخت کردن در دمای محیط انجام می‌گیرد و می‌توان از اثرات نرخ کرنش صرفنظر کرد از پلاستیسیته مستقل از زمان در تحلیل حاضر استفاده شده است. با توجه به شرایط مسأله و مطالعات انجام شده رفتار ورق به صورت سخت شوندگی همسانگرد دو خطی[۱۸] در نظر گرفته شده است .

معیار تسلیم[۱۹] ، قانون جریان[۲۰] و قانون سخت شوندگی[۲۱] سه جزء مهم در تحلیل پلاستیسیته غیر وابسته به زمان است، که در این حالت از معیار تسلیم ون میسز ، قانون جریان پرانتل - رس و قانون سخت شوندگی همسانگرد[۲۲] استفاده شده است.

دراین تحلیل با توجه به هندسه مسأله از یک مدل دو بعدی متشکل از سه غلتک با فرض حالت کرنش صفحه‌ای برای تحلیل مسأله استفاده شده است.

در مدلسازی غلتک ها که اجسام صلب هستند از المان PLANE 42 استفاده شده است. این المان دارای چهار گره بوده . هر گره دو درجه آزادی دارند. از المان VISCO 106 به دلیل داشتن خاصیت غیر خطی و توانایی پذیرش کرنش های بزرگ برای مدلسازی ورق استفاده شده است. این المان همچنین می‌تواند در هر مرحله تحلیل هندسه مسأله را به روز کند. جهت مدلسازی تماس بین غلتک‌ها و سطوح ورق نیز از المان CONTACT 48 استفاده شده است. این المان به شکل مثلث بوده، دارای سه گره است. دو گره آن با تشکیل یک خط ، سطح تماس یکی از سطوح تماس مرجع را تشکیل می دهند و گره سوم روی سطح دیگر تماس قرار می گیرد. در شکل (۳) شرایط مرزی مسأله نشان داده شده است.در ضمن سعی شده است که تعداد المان ها در ضخامت و طول باهم یکی باشند.



شکل (۳): شرایط مرزی در تحلیل اجزای محدود.

٤- نتایج و بحث

در جداول (۱) و (۲) شرایط فرآیند و خواص مواد مورد استفاده شده در تحلیل آورده شده است. مقادیر α و β برای تحلیل حل عددی به کمک آزمایش با اندازه گیری شعاع انحنای مشاهده شده برای یک دستگاه یکنواخت کننده به صورت زیر به دست آمده است[۶].

$\alpha = 0.85 \qquad \beta = 1.88$

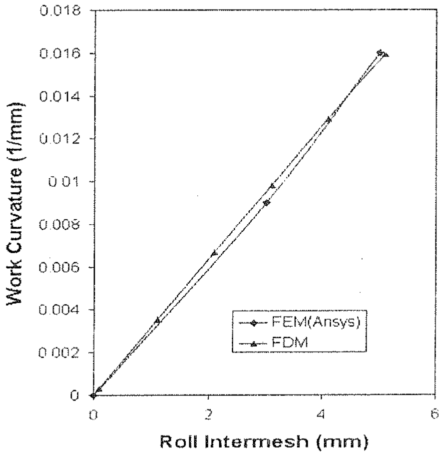
با استفاده از شرایط ذکر شده در جداول (۱) و (۲) و مقادیر α و β، فرآیند یکنواخت کردن ورق با استفاده از روش حل عددی مورد تحلیل قرار گرفت و نتایج بدست آمده از این تحلیل با نتایج حاصل از تحلیل اجزای محدود به کمک نرم افزار ANSYS با شرایط یکسان بررسی شد. در شکل (۴) نمودار انحنای ورق در حین فرآیند با افزایش تدریجی تداخل غلتکی، برای المان زیر غلتک میانی بر اساس تحلیل های فوق آورده شده است. چنانکه مشخص است با افزایش مقدار تداخل غلتکها انحنای ورق در حین فرآیند افزایش می یابد.

جدول(۱): شرایط فرآیند برای شبیه سازی

قطر غلتکها (mm)	۴۸
گام غلتکها (mm)	۷۰
تعداد غلتکها	۳
تداخل غلتکی (mm)	۵- ۰/۱
کشش (Mpa)	۳۰

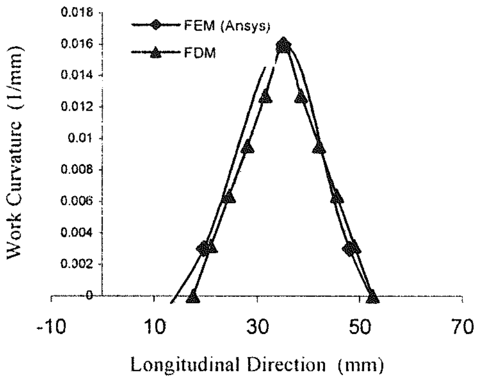
جدول (۲): خواص ورق در تحلیل فرآیند

مدول الاستیسیته (GPa)	۲۰۰
ضریب کارسختی (MPa)	۷۰۰
تنش تسلیم (Mpa)	۴۲۰
ضریب پواسون	۰/۳
ضخامت ورق(mm)	۰/۶



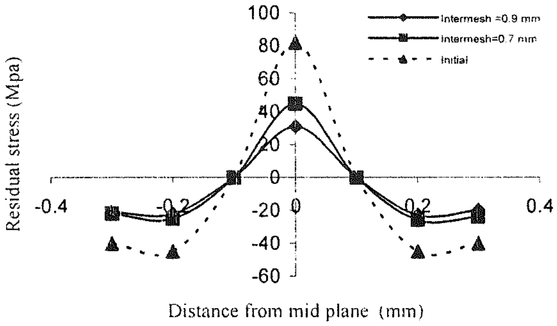
شکل (۴): انحنای ورق فولادی در محل تماس با غلتک میانی با افزایش تداخل غلتکی بر اساس دو روش حل عددی و اجزای محدود

شکل (۵) نیز انحنای ورق از نقطه ورود (تماس‌باغلتک اول) تا نقطه خروج (تماس با غلتک سوم) را بر اساس دو تحلیل عددی و اجزای محدود نشان می دهد.همان طور که در شکل دیده می شود انحنای ماکزیمم در زیر غلتک میانی اتفاق می افتد. شکلهای (۴) و (۵) نشان می دهند که نتایج بدست آمده از تحلیل های انجام شده تطابق خوبی با هم دارند. در شکل (۶) توزیع تنش پسماند در ورق قبل و بعد از یکنواخت کردن آورده شده است. کاملا مشهود است با انجام فرآیند یکنواخت کردن، سطح تنش پسماند کاهش یافته، توزیع آن یکنواخت تر شده است.



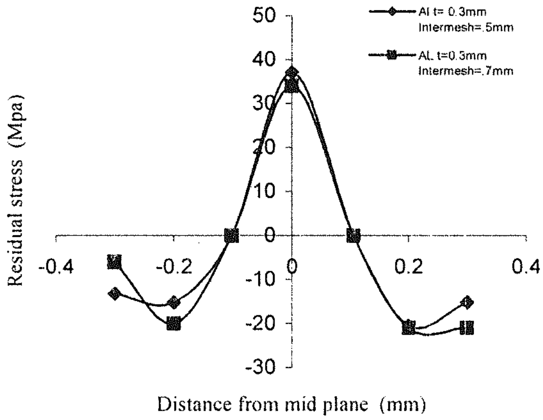
شکل(۵): انحنای محاسبه شده برای ورق فولادی از نقطه ورود تا نقطه خروج از میان سه غلتک

همچنین با افزایش مقدار تداخل غلتکی تا یک حد مناسبی کاهش سطح تنش های پسماند و یکنواخت شدن توزیع آنها بیشتر می شود پس از رسیدن به این مقدار و عبور از این مقدار مناسب باعث به هم خوردن یکنواختی تنش های داخلی می شود.



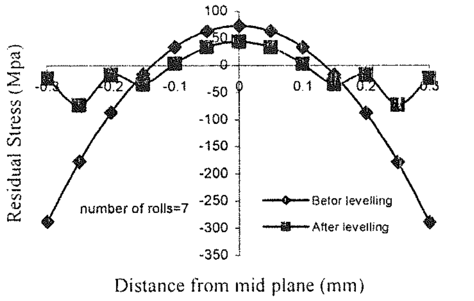
شکل(۶):تاثیر مقدار تداخل غلتکی بر توزیع تنش پسماند بر اساس روش حل عددی در ورق فولادی

در شکل (۷) نیز توزیع تنش پسماند در ورق قبل و بعد از یکنواخت کردن با دو مقدار مختلف تداخل برای ورق آلومینیوم، نشان داده شده است. منحنی های توزیع تنش در این شکل نشان می دهند که افزایش تداخل توزیع تنش یکنواخت تری را در پی دارد. البته چنانکه ذکر شد، برای مقدار تداخل حالت مناسبی وجود دارد که پس از آن افزایش تداخل اثر مطلوبی ندارد. در شکلهای (۸) و (۹) تنش پسماند در ورق بعد از یکنواخت کردن کردن با دستگاههای یکنواخت کننده دارای ۷ و ۱۹ غلتک نشان داده شده است.با توجه به اینکه در تحلیل به روش حل عددی مدلی شامل سه غلتک در نظر گرفته شده بود ، جهت شبیه سازی کل فرآیند با تعداد غلتکهای بیشتر، پس از انجام تحلیل با سه غلتک انحنای پسماند بدست آمده به عنوان انحنای اولیه برای سه غلتک بعدی دستگاه در نظر گرفته شده است.



شکل(۷):تاثیر مقدار تداخل غلتکی بر توزیع تنش پسماند برای ورق آلومینیوم بر اساس روش حل عددی

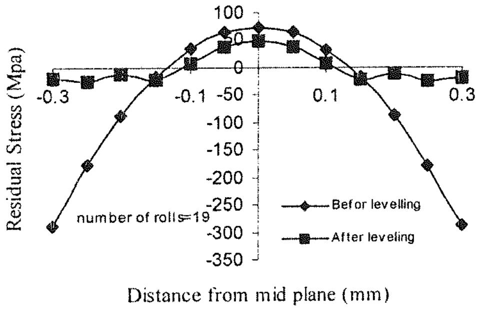
توزیع تنش پسماند اولیه در این حالات بصورت سهمی در نظر گرفته شده است و چنانکه در شکلها دیده می شود در شرایط مورد بررسی، با افزایش تعداد غلتکها تنش پسماند نیز توزیع یکنواخت تری داشته است.



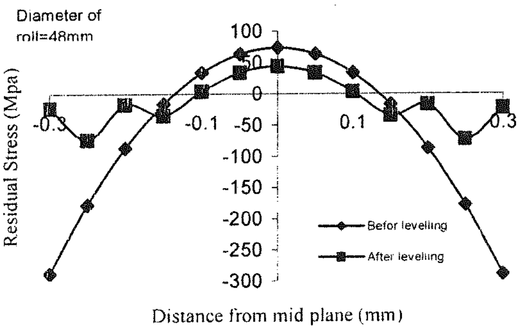
شکل(۸):توزیع تنش پسماند در ورق فولادی قبل و بعدازیکنواخت کردن بوسیله ۷ غلتک با فرض توزیع تنش پسماند اولیه سهمی وار

در شکلهای (۱۰) و (۱۱) اثر قطر غلتک ها در فرآیند یکنواخت کردن، مورد بررسی قرار گرفته است. مطابق نتایج بدست آمده در این شکلها در شرایط مورد بررسی با کاهش قطر غلتکها از۴۸ میلیمتر به ۳۸ میلیمتر توزیع تنش پسماند شکل یکنواخت تری به خود گرفته است. توزیع تنش پسماند اولیه در این تحلیل ها نیز بصورت سهمی در نظر گرفته شده است. یاد آور می شود که برای قطر غلتک ها نسبت به ضخامت ورق مقدار مناسبی وجود دارد که کاهش یا افزایش قطر غلتک ها

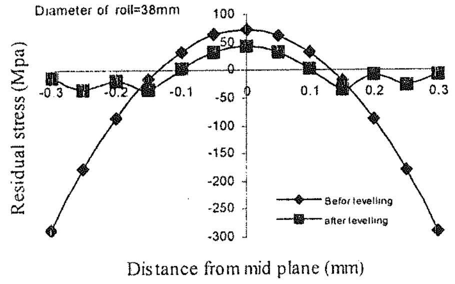
بیش از آن حد مناسب باعث به هم خوردن انحنای پسماند ورق می شود.



شکل(۹): توزیع تنش پسماند در ورق فولادی قبل و بعد ازیکنواخت کردن بوسیله ۱۹ غلتک با فرض توزیع تنش پسماند اولیه سهمی وار

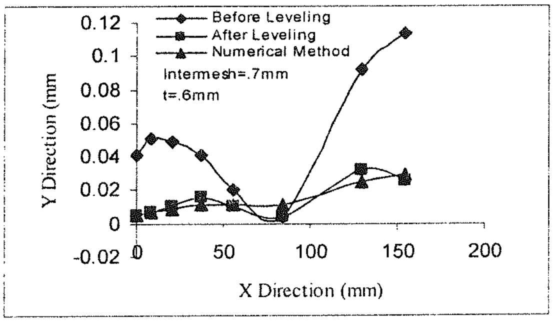


شکل(۱۰):توزیع تنش پسماند در ورق فولادی قبل وبعدازیکنواخت کردن با غلتکهای به قطر ۴۸ میلیمتر با فرض توزیع تنش اولیه سهمی وار

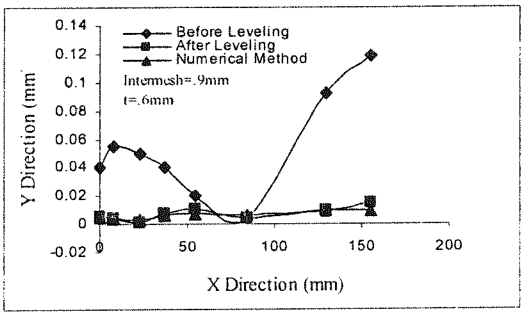


شکل(۱۱):توزیع تنش پسماند در ورق فولادی قبل و بعد ازیکنواخت کردن با غلتکهای به قطر ۳۸ میلیمتر با فرض توزیع تنش اولیه سهمی وار

همچنین در شکل های (۱۲) و (۱۳) کاهش انحنای ورق در اثر یکنواخت کردن و اثر مقدار تداخل غلتکی بر میزان انحنای پسماند به طور تجربی با استفاده از اندازه‌گیری مختصات نقاط مختلف ورق قبل و بعد از یکنواخت کردن به کمک دستگاه اندازه‌گیری مختصاتی (CMM) بررسی شده است. افزایش مقدار تداخل انحنای پسماند ورق به طور چشمگیری کاهش یافته است.



شکل (۱۲): انحنای اندازه گیری شده در ورق فولادی قبل و بعدیکنواخت کردن با تداخل ۰/۷ میلیمتر



شکل(۱۳):انحنای اندازه گیری شده در ورق فولادی قبل و بعدیکنواخت کردن با تداخل ۰/۹ میلیمتر

۵- نتیجه گیری نهایی

در این مقاله، یک روش تحلیل عددی الاستو پلاستیک دوبعدی مبتنی بر روش حل عددی برای پیش‌بینی رفتار ورق در حین فرآیند ارائه شده است. برای ارزیابی مدل تئوری ارائه شده، نتایج به دست آمده از آن با نتایج به دست آمده از نرم افزارAnsys مقایسه شده است که تطابق خوبی بین نتایج وجود دارد. به کمک مدل ارائه شده انحنای ورق در حین فرآیند و تنش پسماند ورق پس از یکنواخت کردن و اثرپارامترهای مختلف دخیل در فرآیند از قبیل، تنش پسماند اولیه، تعداد و قطر غلتک ها بررسی شده است که نتایج حاصله در زیر آورده شده است:

کاهش سطح تنش و یکنواخت تر شدن توزیع آن در اثریکنواخت کردن در نتایج بدست آمده کاملا مشهود است.با افزایش تداخل غلتک ها تا حد مناسب توزیع تنش پسماند یکنواخت تر خواهد شد. با افزایش تعداد غلتک ها، در شرایط بررسی شده تنش پسماند توزیع یکنواخت تری داشته است.

کاهش قطر غلتک ها در شرایط مورد بررسی توزیع یکنواخت تر تنش پسماند را به همراه داشته است.

۶- ضمائم

واحد	عنوان	نماد
mm	شعاع انحنای الاستیک در فرآیند	R_{WE}
mm	شعاع انحنای فرآیند	R_W
N	کشش	T
$mm4$	ممان اینرسی سطحی	I
mm	ضخامت ورق	h
mm	فاصله دو غلتک پائینی	L
mm	فاصله غلتک اول از غلتک بالائی	L_1
mm	فاصله غلتک دوم از غلتک بالائی	L_2
$N/mm2$	تنش در جهت x	σ_x
$N/mm2$	تنش در جهت y	σ_y
$N/mm2$	مدول الاستیسیته	E
بدون واحد	ضریب پوآسون	υ
mm	تداخل غلتکی	I_m
$N.m$	ممان خمشی	$M_1^{\bullet}$
mm	شعاع انحناء	R
$N.m$	ممان در جهت محور x	M_x
$N.m$	ممان در جهت محور y	M_y

زیرنویس ها

[۱] Edge Wave
[۲] Center Buckle
[۳] Curl
[۴] Gutter
[۵] Blanking Bow
[۶] Etching Bow
[۷] Tension Leveling
[۸] Roller Leveling
[۹] Thompson
[۱۰] Matoba
[۱۱] Kadota
[۱۲] Kano
[۱۳] Park
[۱۴] Intermesh
[۱۵] Prandtl-Reuss
[۱۶] Von Mises
[۱۷] NLGEOM
[۱۸] Bilinear Isotropic Hardening- BISO
[۱۹] Yield Criterion
[۲۰] Flow Rule
[۲۱] Hardening Rule
[۲۲] Isotropic Hardening

۷- مراجع

[۶] حسین‌پور، محمد؛ **مطالعه تجربی و عددی رفتار ورق در فرآیند یکنواخت کردن ورقهای فلزی**، پایانامه کارشناسی ارشد ،دانشکده فنی مهندسی دانشگاه تربیت مدرس بهمن ماه ۸۲.

[۶] K.C. Park & S. M. Hwang , "*Development of a Finite Element Analysis Program for Roller Leveling and Application for Removing Blanking Bow Defects of Thin Steel Sheet*" , ISIJ International ,Vol. 42 , No. 9, P. 990, 2002 .

[۶] N. E. Thompson , "*The Relationship between Roll Geometry and Strip Curvature in Tension Leveling*" , Proc. of the 3rd Int. Conf. on Technology of Plasticity (ICTP) , Vol. 3 , Kyoto , Japan , P. 1507 ,1990 .

[۶] T. Matoba , M, Ataka & T. Jimma, "*Calculation Method of Roller Leveling Conditions for Steel Plates*", Journal of the JSTP , Vol. 36 , No. 418 , P. 1306 ,1995 .

[۶] K. Kadota & R. Maeda , "*Application of Numerical Analysis Method to Design of Roller Levelers*" , Journal of the JSTP , Vol. 36 , No. 419, P.1391 , 1995 .

[۶] H. Kano , K. Kenmochi & I. Yarita , "*Elasto – Plastic Finite Element Analysis of Strip Curvature and Internal Stress in Roller Leveler*" , Proc. of the 7th Int. Conf. on Steel Rolling , Chiba , Japan, P. 313, 1998 .

[۷] Y. Misaka and T. masui, "*Shape Correction of Steel Strip by Tension Leveler*", Journal of the JSTP, Vol. 17, No.191, P.988, 1976.

[۸] Y. Maeda. "*Residual stress control in steel plate by Leveling process*", CAMP-ISIJ, Vol.16, P. 392 , 2003.