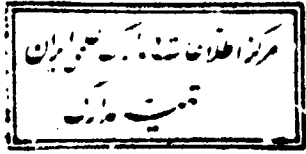


بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

۲۷۵۲.

۱۳۶۸ / ۸ / ۱۵



بسم الله الرحمن الرحيم

دانشگاه تهران
دانشکده فنی

پایان نامه

برای دریافت درجه کارشناسی ارشد

رشته: مهندسی متالورژی
گرایش: شناسایی و انتخاب مواد فلزی

موضوع:

شبیه سازی تغییر شکل ورق

توسط:

رامین صعودی

استاد راهنما:

دکتر محمد حبیبی پارسا

۲۷۵۲.

موضوع

شبه سازی تغییر شکل ورق

توسط

رامین صعودی

پایان نامه

برای دریافت درجه کارشناسی ارشد

5068

رشته : مهندسی متالورژی

گرایش : شناسایی و انتخاب مواد

از این پایان نامه در تاریخ ۱۳۷۸/۶/۲۷ در مقابل هیئت داوران دفاع بعمل آورده و مورد تصویب قرار گرفت.

محل امضاء

سرپرست کمیته تحصیلات تکمیلی دانشکده : دکتر بنی هاشمی

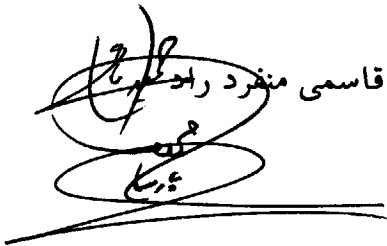
مدیر گروه آموزشی : دکتر ایوب حلوائی

سرپرست کمیته تحصیلات تکمیلی گروه : دکتر حمیدرضا قاسمی منفرد

استاد راهنما : دکتر محمد حبیبی پارسا

استاد مشاور : دکتر سید محمد حسن پیش بین

عضو هیئت داوران: دکتر رضا محمودی





شبیه سازی تغییر شکل ورق

نام و نام خانوادگی: رامین صعودی

استاد راهنما: دکتر محمد حبیبی پارسا

رشته تحصیلی: مهندسی متالورژی - شناسایی و انتخاب مواد

تاریخ دفاع: شهریور ۱۳۷۸

چکیده

به منظور بررسی تغییر شکل ورق در فرآیند کشش عمیق و کشش بوسیله ابزار فرضی یک روش المان محدود بر اساس تئوری غیر خطی پوسته ها ارائه گردید. فرض شد ماده رفتار الاستیک - پلاستیک و غیر حساس به سرعت داشته و در تغییر شکل محدود از معیار تسلیم Mises پیروی نموده و دارای کار سختی و ناهمسانگردی نرمال می باشد. در سطح تماس بین ابزار و ورق اصطکاک کولمب فرض شد. تلاش گردید تا نحوه توزیع کرنش و نمودار نیروی سنبه بر حسب میزان نفوذ سنبه برای ورق فولادی کم کربن و ورق آلومینیومی محاسبه گردد.

لازم میدانم که از زحمات فراوان استاد گرانقدر جناب آقای دکتر محمد حبیبی پارسا
کمال تشکر و قدردانی را داشته باشم چرا که همواره در بن بست های راه و تاریکی های
مسیر مشوقی صمیمی و راهنمایی دلسوز بودند. از اساتید گرامی جناب آقایان دکتر محمود
موسوی مشهدی ، دکتر رضا محمودی ، دکتر سید محمد حسن پیش بین که زحمت بازخوانی
پروژه را متقبل شدند کمال تشکر را دارم.

در پایان از زحمات فراوان برادر بزرگوارم جناب آقای سالار ماکویی و دوست گرامیم
جناب آقای مهدی هاشمی که در طول این پروژه صمیمانه مرا یاری نمودند قدردانی نموده
و یاری شان را ارج می نهم.

تقدیم به:

پدر و مادر بزرگوارم

فهرست مطالب

| | |
|--|----|
| فصل اول - مقدمه | ۱ |
| فصل دوم - مروری بر منابع | ۳ |
| ۲-۱ بررسی کارهای انجام شده..... | ۴ |
| ۲-۲ تقسیم بندی تحقیقات انجام شده..... | ۹ |
| ۲-۳ بررسی نرم افزارهای موجود | ۱۰ |
| فصل سوم - روابط ریاضی | ۱۱ |
| ۳-۱ دستگاه مختصات موضعی و عمومی | ۱۱ |
| ۳-۲ معادلات اساسی | ۱۲ |
| فصل چهارم - روش محاسبات | ۱۷ |
| ۴-۱ کاربرد المان محدود | ۱۷ |
| ۴-۲ تفکیک قوانین پایه ای برای اعمال روش المان محدود..... | ۱۸ |
| فصل پنجم - مراحل اجرای برنامه شبیه سازی | ۲۱ |
| ۵-۱ فرآیند های مقدماتی | ۲۱ |
| ۵-۲ برنامه اصلی | ۲۳ |
| ۵-۲-۱ داده های ورودی | ۲۳ |
| ۵-۲-۱-۱ داده های حاصل از شبکه بندی ورق | ۲۳ |
| ۵-۲-۱-۲ شبکه بندی ابزار..... | ۲۶ |
| ۵-۲-۱-۳ خواص مکانیکی | ۲۶ |
| ۵-۲-۲ شرایط تماس | ۲۶ |
| ۵-۲-۳ تشکیل توابع شکلی | ۲۶ |
| ۵-۲-۴ تشکیل ماتریس سختی..... | ۲۶ |

| | |
|----|--|
| ۲۷ | ۵-۲-۵ شرایط مرزی |
| ۲۷ | ۵-۲-۵-۱ کشش عمیق |
| ۲۷ | ۵-۲-۵-۱-۱ شرایط مرزی درحالت عدم استفاده از نگهدارنده ورق |
| ۲۷ | ۵-۲-۵-۱-۲ شرایط مرزی با استفاده از نگهدارنده ورق |
| ۲۷ | ۵-۲-۵-۲ کشش |
| ۲۷ | ۵-۲-۶ حل معادلات ماتریسی |
| ۲۷ | ۵-۲-۷ کنترل فرآیند |
| ۲۸ | ۵-۲-۷-۱ ضریب تصحیح هندسی |
| ۲۸ | ۵-۲-۷-۲ ضریب تصحیح پلاستیسته |
| ۲۸ | ۵-۲-۷-۳ تعیین ضریب تصحیح نهایی |
| ۲۸ | ۵-۲-۸ ذخیره داده ها |
| ۲۹ | ۵-۲-۹ تصمیم گیری برای ادامه برنامه |
| ۲۹ | ۵-۳ فرآیند ثانویه |
| ۳۱ | فصل ششم - نتایج حاصل از شبیه سازی |
| ۳۱ | ۶-۱ کاربرد هندسه |
| ۳۱ | ۶-۱-۱ ابعاد شبکه بندی ورق |
| ۳۱ | ۶-۱-۲ هندسه و نحوه شبکه بندی ابزار |
| ۳۲ | ۶-۱-۳ نحوه نحوه قرار گرفتن ورق بر ابزار |
| ۳۲ | ۶-۲ خواص مکانیکی ورق |
| ۳۳ | ۶-۳ شبکه سازی فرآیند کشش عمیق |
| ۳۳ | ۶-۳-۱ توزیع کرنش در ورق فولادی کم کربن |
| ۳۴ | ۶-۳-۲ توزیع کرنش در ورق آلومینیومی |
| ۳۵ | ۶-۳-۳ تأثیر ضخامت در فرآیند کشش عمیق |
| ۳۷ | ۶-۳-۳-۱ تأثیر ضخامت بر نیروی اعمالی توسط سنبه |
| ۳۷ | ۶-۳-۳-۲ اثر ضخامت بر توزیع کرنش در طول ورق |
| ۳۷ | ۶-۳-۳-۲-۱ کرنش ضخامتی |
| ۳۸ | ۶-۳-۳-۲-۲ کرنش محیطی |

- ۳۹ کرنش شعاعی ۶-۳-۳-۲-۳
- ۴۰ اثر ضخامت بر نحوه توزیع کرنش در عرض ورق ۶-۳-۳-۳-۳
- ۴۰ کرنش ضخامتی ۶-۳-۳-۳-۳-۱
- ۴۱ کرنش محیطی ۶-۳-۳-۳-۳-۲
- ۴۲ کرنش شعاعی ۶-۳-۳-۳-۳-۳
- ۴۳ تأثیر اصطکاک در فرآیند کشش عمیق ۶-۳-۴
- ۴۳ تأثیر اصطکاک بر نیروی اعمالی توسط سنبه ۶-۳-۴-۱
- ۴۴ تأثیر اصطکاک در نحوه توزیع کرنش طولی ۶-۳-۴-۲
- ۴۴ کرنش ضخامتی ۶-۳-۴-۲-۱
- ۴۵ کرنش محیطی ۶-۳-۴-۲-۳
- ۴۵ اثر اصطکاک بر توزیع کرنش در عرض ورق ۶-۳-۴-۳
- ۴۵ کرنش ضخامتی ۶-۳-۴-۳-۱
- ۴۶ کرنش شعاعی ۶-۳-۴-۳-۲
- ۴۷ تأثیر نیروی نگهدارنده ورق در فرآیند کشش عمیق ۶-۳-۴-۴
- ۴۷ تأثیر نیروی نگهدارنده ورق بر نیروی اعمالی توسط سنبه ۶-۳-۵-۱
- ۴۷ تأثیر نیروی نگهدارنده ورق بر توزیع کرنش در جهت طولی ۶-۳-۵-۲
- ۴۷ کرنش ضخامتی ۶-۳-۵-۲-۱
- ۴۸ کرنش شعاعی ۶-۳-۵-۲-۲
- ۴۸ کرنش محیطی ۶-۳-۵-۲-۳
- ۴۹ تأثیر نیروی نگهدارنده بر توزیع کرنش در جهت عرضی ۶-۳-۵-۳
- ۴۹ کرنش ضخامتی ۶-۳-۵-۳-۱
- ۴۹ کرنش شعاعی ۶-۳-۵-۳-۲
- ۵۰ کرنش محیطی ۶-۳-۵-۳-۳
- ۵۱ شبیه سازی فرآیند کشش ۶-۴
- ۵۱ توزیع کرنش در ورق فولادی کم کربن ۶-۴-۱
- ۵۱ توزیع کرنش در کشش ورق آلومینیومی ۶-۴-۲
- ۵۲ تأثیر ضریب اصطکاک بر فرآیند کشش ۶-۴-۳
- ۵۳ تأثیر ضریب اصطکاک بر نیروی اعمالی سنبه ۶-۴-۳-۱

- ۵۳ ۶-۳-۴-۲ تأثیر ضریب اصطکاک بر توزیع کرنش در طول ورق
- ۵۳ ۶-۴-۳-۲-۱ کرنش ضخامتی
- ۵۴ ۶-۴-۳-۲-۲ کرنش شعاعی
- ۵۵ ۶-۴-۳-۲-۳ کرنش محیطی
- ۵۶ ۶-۴-۳-۳ تأثیر اصطکاک بر توزیع کرنش در عرض ورق
- ۵۶ ۶-۴-۳-۳-۱ کرنش ضخامتی
- ۵۶ ۶-۴-۳-۳-۲ کرنش شعاعی
- ۵۷ ۶-۴-۳-۳-۳ کرنش محیطی
- ۵۸ ۶-۵ مقایسه فرآیند کشش عمیق و کشش
- ۵۸ ۶-۵-۱ تغییر شکل ورق فولادی
- ۵۸ ۶-۵-۱-۱ مقایسه نیروی اعمالی توسط سنبه
- ۵۹ ۶-۵-۱-۲ مقایسه توزیع کرنش ها
- ۵۹ ۶-۵-۱-۲-۱ توزیع کرنش در جهت طولی ورق
- ۵۹ ۶-۵-۱-۲-۱-۱ کرنش ضخامتی
- ۵۹ ۶-۵-۱-۲-۱-۲ کرنش شعاعی
- ۶۰ ۶-۵-۱-۲-۱-۳ کرنش محیطی
- ۶۱ ۶-۵-۱-۲-۲ توزیع کرنش در جهت عرضی ورق
- ۶۱ ۶-۵-۱-۲-۲-۱ کرنش ضخامتی
- ۶۱ ۶-۵-۱-۲-۲-۲ کرنش شعاعی
- ۶۲ ۶-۵-۱-۲-۱-۳ کرنش محیطی
- ۶۲ ۶-۵-۱ تغییر شکل ورق آلومینیومی
- ۶۲ ۶-۵-۲-۱ مقایسه نیروی اعمالی توسط سنبه
- ۶۳ ۶-۵-۱-۲ مقایسه توزیع کرنش ها
- ۶۳ ۶-۵-۲-۲-۱-۱ کرنش ضخامتی
- ۶۴ ۶-۵-۲-۲-۱-۲ کرنش شعاعی
- ۶۵ ۶-۵-۲-۲-۱-۳ کرنش محیطی
- ۶۵ ۶-۵-۱-۲-۲ توزیع کرنش در جهت عرضی ورق
- ۶۵ ۶-۵-۲-۲-۱ کرنش ضخامتی

۶۶ کرنش شعاعی ۶-۵-۲-۲-۲

۶۶ کرنش محیطی ۶-۵-۲-۲-۳

۶۷..... فصل هفتم - نتیجه گیری

۶۸..... مراجع

فصل اول

مقدمه

فرآیندهای ساخت و تولید نیازمند محاسبات بسیار دقیقی می باشند تا محصول نهایی منطبق با قطعه مورد نظر تولید گردد. اکثر اوقات لازم است که قالبها مجدداً طراحی و ساخته شوند بنابراین ایدآل خواهد بود اگر بتوان شکل نهایی قطعه ای را که توسط قالب تولید می گردد قبل از قالب سازی پیش بینی نمود .

شبیه سازی رایانه ای فرآیندهای ساخت و تولید به مهندسین امکان بهینه سازی طرح های خود را پیش از تولید میدهد و آنان را از بروز نواقص احتمالی آگاه می سازد ضمن آنکه هزینه مواد مصرفی و قالب سازی و زمان لازم برای رسیدن به قطعه مطلوب را در مقایسه با طراحی هایی که هنوز بر اساس سعی و خطا هستند کاهش می دهد.

در روشهایی که مبتنی بر سعی و خطا میباشد تولید قطعه سالم فقط به تجربه کارکنان متکی بوده و برای قطعات نو و بدون سابقه قبلی زمان و هزینه زیادی برای تولید ابزار مورد نیاز صرف خواهد شد.

در روش تجربی با چاپ کردن شبکه ای با اشکال متفاوت می توان نحوه توزیع کرنش را بر روی قطعه تغییر شکل یافته مورد مطالعه قرار داد و با تغییرات مورد نیاز به توزیع کرنش یکنواخت تر و در نتیجه قطعه سالم دست یافت که این تغییرات مستلزم ساخت ابزار میباشد و در صورت بروز معایب اساسی منجر به تعویض کلی ابزار میگردد.

با توسعه روش های عددی تلاش زیادی در زمینه مطالعه تغییر شکل ورق بکمک روشهای محاسباتی انجام شده است که شامل روش های اجزاء محدود⁽¹⁾ و المان محدود⁽²⁾ می گردد .

به دلیل قابلیت روش المان محدود (FEM) در حال حاضر عمدتاً از این روش برای شبیه سازی تغییر شکل ورق ها استفاده شده و سعی میگردد دامنه آزمایش ها تا حد ممکن کاهش یابد.

در روشهای محاسباتی با وجود آنکه زمان اولیه تهیه برنامه ممکن است بسیار طولانی باشد اما با تهیه نرم افزار مناسب میتوان زمان تهیه ابزار و شکل آنرا با شبیه سازی های متعدد رایانه ای بسیار کوتاه نمود.

با توجه به وابستگی صنعت ورقکاری به صنایع بزرگ از جمله صنایع خودرو سازی و در پی کاهش تولید صنایع خودروسازی که ناشی از رکود اقتصادی سالهای آغازین دهه نود میلادی بود تقاضا برای این بخش صنعت نیز کاهش یافت. بنابر این روشهایی مدنظر قرار گرفتند که قادر باشند ضمن کاهش زمان و هزینه تولید باعث بهبود کیفی محصولات گردند. مهمترین این روشها شبیه سازی رایانه ای فرآیندهای تولیدی بود. بدلیل این رویکرد توسعه روشهای شبیه سازی در سالهای اخیر شتاب بیشتری یافته است و انتظار می رود که بهترین جایگزین برای روشهای مورد استفاده فعلی در صنعت باشد.

فصل دوم

مروری بر منابع

کشش عمیق^(۱) و کشش^(۲) مهمترین فرآیندها برای شکل دادن ورق فلزی بوده و اساس تولید انبوه قطعات برای کاربردهای مختلف از جمله قطعات خودرو میباشند. در فرآیند کشش عمیق قطعه کار توسط سمبه به شکل قطعه توخالی در آمده و تغییر ضخامت در طی فرآیند ناچیز می باشد و معمولا ورق با اعمال نیرو توسط نگهدارنده ورق^(۳) که در اطراف قالب قرار دارد کنترل می شود.

در فرآیندهای تغییر شکل حجمی مانند اکستروژن تنش میانگین^(۴) فشاری بوده و دستیابی به کرنشهای بالا امکان پذیر می باشد در حالیکه در فرآیند کشش عمیق تنش میانگین از نوع کششی بوده و حداکثر تنش کششی نباید از استحکام کششی ماده بیشتر گردد.

یکی از مشخصه های فرآیند کشش عمیق اعمال غیر مستقیم نیرو میباشد. نیروی لازم برای تغییر شکل توسط سمبه به کف قطعه وارد و سپس به نواحی که تغییر شکل می یابد انتقال داده شده و به همین دلیل تنش کششی بالایی در دیواره های قطعه کار طی کشش عمیق بوجود میآید.

1- Deep drawing

2- Stretching

3- Blank holder

4- Meam stress

در فرآیند کشش ورق فلزی توسط ورق نگهدارنده در اطراف قالب ثابت مانده و نیروی کشش لازم برای تغییر شکل بطور مستقیم توسط سنبه اعمال میگردد و بتدریج ورق شکل سنبه را بخود گرفته و قطعه نهایی تولید می گردد.

باید توجه داشت که فاکتورهای بسیاری در فرآیند تغییر شکل ورق مؤثرند و شکل نهایی قطعه را کنترل می نمایند و معمولاً نمی توان این عوامل را کاملاً دقیق کنترل نمود ضمن آنکه در صورت اعمال دقیق رفتار ماده و هندسه قالب در شبیه سازی فرآیند کشش عمیق و کشش نیاز به حجم بسیار بالای محاسبات خواهد بود. به همین دلیل همواره فرضیاتی جهت ساده سازی شبیه سازی و کاهش زمان و حجم محاسبات صورت می پذیرد و نتایج حاصل از شبیه سازی همواره بستگی مستقیم به قدرت و سرعت رایانه مورد استفاده خواهد داشت.

۱-۲ بررسی کارهای انجام شده

تاکنون پژوهشهای بسیاری در زمینه شکل دهی ورق توسط قالب و سنبه و شبیه سازی این فرآیند صورت پذیرفته است. اولین گزارشها در سال ۱۹۳۴ توسط Sommer ارائه گردید ولی نخستین تحقیقی که پارامترهای مهم این فرآیند را مدنظر قرارداد در سال ۱۹۵۱ توسط Swift صورت پذیرفت که بر مبنای فرضیات زیاد انجام یافته و با قطع خطای بالایی داشت. در این تحقیق مراحل میانی تغییر شکل در نظر گرفته نشده بود و کرنش ها با توجه به شکل نهایی محاسبه می گردیدند. کرنش معادل از نظر عددی با کرنش محیطی برابر فرض شده و از تغییرات ضخامت صرف نظر گردیده بود [۱].

تحقیقات بعدی در این زمینه توسط Schofman بر روی تولید قطعات متقارن انجام پذیرفت. وی سیلان ماده را به شکل شعاعی در نظر گرفت و سیلان لبه ورق را که در سطح قالب قرار داشت با بارگذاری با علامت مخالف مدل نمود. همچنین فرض شد که تغییرات ضخامت در طی فرآیند ناچیز باشد. برای وارد کردن اصطکاک در فرآیند تنش فشاری در قسمت محیطی ورق به شکل یکسانی بیشتر در نظر گرفته شد و اثر کارسختی در حالت خطی در معادلات وارد گردید. بررسی بر روی قطعات استوانه ای صورت پذیرفت و تلاش گردید که با حداکثر ساده سازی توزیع تنش کششی در دیواره های قطعه کار محاسبه گردد. با فرض یکسان بودن این تنش با استحکام کششی ماده حد کشش بدست آمد. توزیع تنش شعاعی و تنش مماسی در سطح قطعه محاسبه گردید ولی به دلیل فرضیات زیاد نتایج تئوری در مقایسه با

آزمایشهای عملی از خطای بالایی برخوردار بود. دلیل اصلی این خطا ثابت فرض نمودن ضخامت در طی فرآیند بود [۲].

Ovchinikov تلاش نمود تا با مقایسه نتایج حاصل از مطالعات Schofman و داده های حاصل از آزمایشهای عملی دقت این روش را برای قطعات استوانه ای با افزودن ضرایب تصحیح افزایش دهد [۳].

Woo تغییرات و نیز نحوه توزیع تنش ها را در قسمت مرکزی ورق درحالتی که قطعه با سنبه کروی تغییر شکل می یافت محاسبه نمود. تأثیر اصطکاک و کارسختی و تغییر ضخامت ورق در طی فرآیند در نظر گرفته شد لیکن بمنظور جلوگیری از پیچیده تر شدن محاسبات از تغییر شکل الاستیک صرف نظر گردید [۴].

دیدگاه کلی محققان در این زمینه را Schofman در سال ۱۹۶۸ بدین شکل بیان نمود: " برای مطالعات مربوط به تولید قطعات متقارن از ورق فلزی باید مسیر دیگری انتخاب گردد. ما در محاسباتمان تنش ها را به شکل یکسان در محیط ورق توزیع می کنیم درحالیکه در عمل بدین شکل نمی باشد. این روش بسیار ساده است و باید کامل گردد و به همین دلیل لازم است که تغییر شکلها را ناهمگن در نظر گرفته و مواد را نیز ناهمسان فرض نماییم [۵]. "

Golovliov از تئوری هیل برای مدل کردن تغییر شکل پلاستیک ورق استفاده نمود اما پس از تجزیه و تحلیل تنش های محاسبه شده مشخص گردید که نتایج دقیق نمی باشند [۶]. Yoshida تئوری هیل را برای مواد ناهمسان بکار برد و در محاسبات از روش المان محدود کمک گرفت ولی بدلیل حذف مرحله تغییر شکل الاستیک نتایج حاصل دارای دقت مناسبی نبودند [۷].

تحقیقات جامعی در این زمینه توسط Wang و Budinsky صورت پذیرفت. شبیه سازی تغییر شکل ورق به کمک روش المان محدود برای یک شکل فرضی قالب و سنبه و بر اساس تئوری غیرخطی پوسته ها برای ماده الاستو پلاستیک انجام گرفت. اصطکاک در سطح تماس ورق با ابزار از نوع اصطکاک کولمب فرض گردید و معیار شکست نیز Von-Mises در نظر گرفته شد. برای اینکه بتوان از تئوری پوسته ها استفاده نمود حداکثر ضخامت ورق در مقایسه با کوچکترین شعاع انحناء ابزار بسیار کمتر فرض گردید.