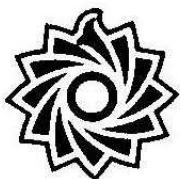


۱۵۴۲۹۵۱



دانشگاه تربیت دبیر شهید رجایی

بسم الله الرحمن الرحيم

مکانیک شکل دهی ورق های فلزی

مدل سازی ساختاری و شبیه سازی عددی

تألیف و ترجمه:

دکتر محمد حسین پور

عضو هیأت علمی دانشگاه تربیت دبیر شهید رجایی

مهندس افسون ملکیان

سر شناسنامه	حسین پور، محمد، ۱۳۵۷ -، گردآورنده، مترجم
عنوان و نام پدید آور	مکانیک شکل‌دهی ورق‌های فلزی مدل‌سازی ساختاری و شبیه‌سازی عددی / تألیف و ترجمه محمد حسین پور، افسون ملکیان.
مشخصات نشر	تهران: دانشگاه تربیت دبیر شهید رجائی، ۱۳۹۵.
مشخصات ظاهری	۴۰۰ص: مصور، جدول، نمودار.
شابک	۹۷۸-۶۰۰-۶۵۹۴-۸۴-۲
وضعیت فهرست نویسی	فیها
یادداشت	واژه‌نامه.
یادداشت	کتابنامه.
یادداشت	نمایه.
موضوع	ورقکاری
موضوع	Sheet-metal work
موضوع	ورقکاری -- شکل‌پذیری
موضوع	Sheet-metal -- Formability
موضوع	ورقکاری -- الگوهای ریاضی
موضوع	Sheet-metal work-- Mathematical models
شناسه افزده	دانشگاه تربیت دبیر شهید رجائی
شناسه افزوده	Shahid Rajaee Teacher Training University
رده بندی کنگره	TS۲۵۰/ح۵م۷ ۱۳۹۵
رده بندی دیویی	۸/۶۷۱
شماره کتابشناسی ملی	۴۶۰۰۰۹



دانشگاه تربیت دبیر شهید رجائی

عنوان	مکانیک شکل‌دهی ورق‌های فلزی مدل‌سازی ساختاری و شبیه‌سازی عددی
تألیف و ترجمه	دکتر محمد حسین پور، افسون ملکیان
ویراستار علمی	دکتر محمد حسین پور
ویراستار ادبی	شهرام طهماسبی
نویت چاپ	اول- زمستان ۱۳۹۶
انتشارات	دانشگاه تربیت دبیر شهید رجائی
لیتوگرافی	رجاء نقشینه
چاپ	شریف
طراح جلد	مهندس افسون ملکیان
ناظر چاپ	محمد معتمدی‌نژاد
کارشناس چاپ و صفحه‌آرا	نیره فیروزی
کارشناسان	طاہره کیا/ علی رضایی اهوآنوئی
شمارگان	۱۰۰۰ جلد
قیمت	۲۵۰,۰۰۰ ریال
شابک	۹۷۸-۶۰۰-۶۵۹۴-۸۴-۲
ISBN: 978-600-6594-84-2	

کلیه حقوق این اثر برای مؤلفان و مترجمان و دانشگاه تربیت دبیر شهید رجائی محفوظ است.

نشانی: تهران، لویزان - کد پستی ۱۵۸۱۱-۱۶۷۸۸ - صندوق پستی ۱۶۳ - ۱۶۷۸۵ - تلفن: (۲۶۳۲) ۹ - ۲۲۹۷۰۰۶۰.
 ۲۲۹۷۰۰۷۰، تلفکس: ۲۲۹۷۰۰۴۲، پست الکترونیکی: Publish@srutu.edu، وب سایت: http://Publish.srutu.edu

فهرست مطالب

صفحه	عنوان
خ	پیشگفتار
۱	فصل اول - مدل‌های اجزای محدود، در فرآیندهای شکل‌دهی ورق فلزی
۳	۱-۱- مقدمه
۴	۱-۲- اصول مکانیک محیط پیوسته
۴	۱-۲-۱- مقدمه
۶	۱-۲-۲- کرنش
۱۰	۱-۲-۳- تنش
۱۱	۱-۳- مدل‌های ماده
۱۴	۱-۴- معادلات اجزاء محدود برای تغییر شکل‌های کوچک
۱۶	۱-۵- معادلات اجزاء محدود برای تغییر شکل‌های محدود
۲۰	۱-۶- روش جریان - مختصات اجزاء محدود اویلر به منظور تحلیل ورق فاریج صلب- پلاستیک
۲۳	۱-۷- روش دینامیکی و صریح
۲۶	۱-۸- مروری بر پیشینه شبیه‌سازی شکل‌دهی ورق
۳۱	منابع

- ۳۷ ۱-۲- ناهمسانگردی ورق‌های فلزی
- ۳۷ ۱-۱-۲- ضرایب ناهمسانگردی تک‌محوره
- ۴۴ ۲-۱-۲- ضریب ناهمسانگردی دومحوره
- ۴۷ ۲-۲- معیارهای تسلیم برای مواد همسانگرد
- ۴۹ ۱-۲-۲- معیار تسلیم ترسکا
- ۵۰ ۲-۲-۲- معیار تسلیم هوپر - میرز - هنکی
- ۵۲ ۳-۱-۲- معیار تسلیم دراگر
- ۵۳ ۲-۲-۱- معیار تسلیم هرشی
- ۵۴ ۳-۲- معیارهای تسلیم برای مواد ناهمسانگرد
- ۵۴ ۱-۳-۲- معیارهای تسلیم خانواده هیل
- ۷۳ ۲-۳-۲- تابع تسلیم منی بر لاستیسیتته کریستالی (خانواده هرشی)
- ۸۹ ۳-۳-۲- معیارهای تسلیم اظهار شده در مختصات‌های قطبی
- ۹۱ ۴-۳-۲- سایر معیارهای تسلیم
- ۹۲ ۴-۲- معیارهای تسلیم پیشرفته ناهمسانگرد
- ۹۳ ۱-۴-۲- معیارهای تسلیم بارلات
- ۹۷ ۲-۴-۲- معیارهای تسلیم بانابیک - بالان - باناس (BBC)
- ۱۰۲ ۳-۴-۲- معیارهای تسلیم کازاکو - بارلات
- ۱۰۶ ۴-۴-۲- معیار تسلیم وگتر
- ۱۰۷ ۵-۴-۲- معیارهای تسلیم چندجمله‌ای
- ۱۱۰ ۵-۲- معیار تسلیم BBC 2005
- ۱۱۰ ۱-۵-۲- معادله سطح تسلیم
- ۱۱۱ ۲-۵-۲- قانون جریان وابسته به سطح تسلیم
- ۱۱۲ ۳-۵-۲- تنش معادل BBC 2005
- ۱۱۴ ۴-۵-۲- روش شناسایی
- ۱۲۵ ۵-۵-۲- روابط خاص معیار تسلیم BBC 2005
- ۱۲۷ ۶-۲- معیار تسلیم BBC 2008
- ۱۲۷ ۱-۶-۲- معادله سطح تسلیم

- ۱۲۸ ۲-۶-۲- تنش معادل BBC 2008
- ۱۲۹ ۲-۶-۳- روش شناسایی
- ۱۳۳ ۲-۷-۷- توصیه‌هایی در جهت انتخاب معیار تسلیم
- ۱۳۴ ۲-۷-۱- مقایسه معیارهای تسلیم
- ۱۳۸ ۲-۷-۲- ارزیابی عملکرد معیارهای تسلیم
- ۱۳۹ ۲-۷-۳- پارامترهای مکانیکی استفاده‌شده در روش شناسایی معیارهای تسلیم
- ۱۴۰ ۲-۷-۴- اجرای معیارهای تسلیم در نرم‌افزارهای شبیه‌سازی عددی
- ۱۴۱ ۲-۷-۵- مروری بر توسعه معیارهای تسلیم ناهمسانگرد
- ۱۴۳ ۲-۷-۶- شما، ازها
- ۱۴۴ ۲-۸-۸- مدل‌سازی اثر باوش: گگر
- ۱۴۴ ۲-۸-۱- بارگذاری متناوب بر فرآیندهای شکل‌دهی ورق فلزی
- ۱۴۵ ۲-۸-۲- مشاهدات تجربی
- ۱۴۷ ۲-۸-۳- ماهیت فیزیکی از ناچینگی
- ۱۴۸ ۲-۸-۴- مدل‌سازی پدیدارشناسی
- ۱۶۰ منابع

۱۶۹ فصل سوم - قابلیت شکل‌پذیری ورق‌های فلزی

- ۱۷۱ ۳-۱- مقدمه
- ۱۷۵ ۳-۲- ارزیابی قابلیت شکل‌پذیری ورق فلزی
- ۱۷۵ ۳-۲-۱- روش‌های مبنی بر آزمون شبیه‌سازی
- ۱۸۰ ۳-۲-۲- روش حد ارتفاع گنبدی شکل
- ۱۸۱ ۳-۳- نمودار حد شکل‌دهی
- ۱۸۱ ۳-۳-۱- تعریف: پیشینه
- ۱۸۶ ۳-۳-۲- تعیین تجربی نمودار حد شکل‌دهی
- ۱۹۲ ۳-۳-۳- روش‌های تعیین‌کننده حد کرنش
- ۱۹۶ ۳-۳-۴- عوامل مؤثر بر منحنی حد شکل‌دهی
- ۲۰۸ ۳-۳-۵- کاربرد نمودارهای حد شکل‌دهی در صنعت
- ۲۱۱ ۳-۴- پیش‌بینی تئوری منحنی‌های حد شکل‌دهی

- ۲۱۳ ۳-۴-۱- مدل سوئیت
- ۲۱۵ ۳-۴-۲- مدل هیل
- ۲۱۶ ۳-۴-۳- مدل‌های مارسینیاک- کاکزینسکی (M-K) و هاجینسون- نیل (H-N)
- ۲۱۹ ۳-۴-۴- فرمول‌بندی ضمنی مدل‌های M-K و H-N
- ۲۳۰ ۳-۴-۵- نظریه اغتشاش خطی
- ۲۳۱ ۳-۴-۶- معیار اصلاح یافته نیروی بیشینه (MMFC)
- ۲۳۴ ۳-۵- نرم‌افزارهای تجاری برای پیش‌بینی منحنی حد شکل‌دهی (FLC)
- ۲۳۵ ۳-۱- نرم‌افزار FORM-CERT
- ۲۴۱ ۳-۶- مدل‌های نیمه تجربی
- ۲۴۴ منابع

فصل چهارم- شبیه‌سازی عددی فرآیندهای شکل‌دهی ورق فلزی ۲۵۵

- ۲۵۶ ۴-۱- روش حل AutoForm
- ۲۵۶ ۴-۱-۱- نقش شبیه‌سازی در طراحی فرآیند
- ۲۵۸ ۴-۱-۲- داده‌های ماده در طراحی دیجیتال فرآیند
- ۲۶۰ ۴-۱-۳- امکان‌سنجی
- ۲۶۹ ۴-۱-۴- قابلیت ساخت (ارزیابی فرآیند)
- ۲۷۶ ۴-۱-۵- توانایی (ثبات)
- ۲۸۳ ۴-۱-۶- "کیفیت" نتیجه شبیه‌سازی
- ۲۸۳ ۴-۱-۷- طراحی جامع دیجیتالی فرآیند
- ۲۸۵ ۴-۲- شبیه‌سازی فرآیندهای اولیه شکل‌دهی
- ۲۸۵ ۴-۲-۱- شبیه‌سازی فرآیند شکل‌دهی تحذب (محدب کاری)
- ۲۸۹ ۴-۲-۲- شبیه‌سازی شکل‌دهی کششی با سنبه کروی
- ۲۹۳ ۴-۲-۳- شبیه‌سازی ماتریس صلیبی شکل
- ۳۰۱ ۴-۳- شبیه‌سازی فرآیندهای شکل‌دهی قطعات صنعتی
- ۳۰۲ ۴-۳-۱- شبیه‌سازی قسمت خارجی درب صندوق عقب
- ۳۰۵ ۴-۳-۲- شبیه‌سازی تقویت کف درگاه برای خودروی VOLVO C30

۳۰۷	۴-۴- طراحی باثبات فرآیندهای شکل‌دهی ورق فلزی
۳۰۷	۴-۴-۱- گوناگونی پارامترهای مواد
۳۰۹	۴-۴-۲- AutoForm-Sigma
۳۱۱	۴-۴-۳- طراحی باثبات: موارد پژوهشی
۳۲۰	۴-۴-۴- نتیجه‌گیری
۳۲۱	۴-۵- تحلیل برگشت فنری
۳۲۱	۴-۵-۱- مقدمه
۳۲۲	۴-۵-۲- شروع: مثال
۳۲۲	۴-۵-۳- واپس: مؤثر بر دقت شبیه‌سازی برگشت فنری
۳۳۱	۴-۵-۴- پارامترهای تعیین کننده بهینه شبیه‌سازی برگشت فنری: تنظیمات ارزیابی نهایی
۳۳۱	۴-۵-۵- شبیه‌سازی آزمون مقایسه گر #۱ نومیشتیت ۲۰۰۵: پانل داخلی درب صندوق عقب
۳۳۶	۴-۵-۶- نتیجه‌گیری
۳۳۶	۴-۶- جریان برگشت فنری به کمک رایانه
۳۳۶	۴-۶-۱- مقدمه
۳۳۷	۴-۶-۲- روش‌های اصلی جریان برگشت فنری به کمک رایانه
۳۳۹	۴-۶-۳- اثر کیفیت جریان برگشت فنری به کمک رایانه
۳۳۹	۴-۶-۴- جریان کاری پیشنهادشده در جریان برگشت فنری به کمک رایانه
۳۴۲	۴-۶-۵- جریان برگشت فنری آزمون مقایسه گر #۱ نومیشتیت ۲۰۰۵
۳۴۷	۴-۶-۶- نتیجه‌گیری
۳۴۹	منابع
۳۵۱	واژه‌نامه انگلیسی به فارسی
۳۶۳	واژه‌نامه فارسی به انگلیسی
۳۷۵	نمایه

پیشگفتار

مفهوم ساخت مجاری به منظور افزایش عملکردهای صنعتی توسعه داده شده است که یکی از مؤثرترین روش‌های کاهش زمان ساخت و بهبود کیفی محصولات می‌باشد. شبیه‌سازی عددی فرایندهای شکل‌دهی فلزی، به عنوان راه‌آلفه‌ای از فرآیند ساخت مجازی نقش بسیار مهمی در کاهش زمان عملکرد دارد. در حال حاضر روش اجزاء محدود پرکاربردترین روند عددی در شبیه‌سازی فرایندهای شکل‌دهی ورق فلزی می‌باشد. دقت برنامه‌های شبیه‌سازی به کار برده شده در صنعت توسط مدل‌های اصلی و مدل‌های منحنی حد شکل‌دهی موجود در ساخت آن‌ها تحت تأثیر قرار گرفته است. با توجه به بحث پیشین می‌توانیم از طریق مستحکم میان ساخت مجازی به عنوان مفهومی کلی، روش اجزاء محدود به عنوان ابزار تبدیل عددی و قواعد اصلی مانند منحنی‌های حد شکل‌دهی به عنوان خصیصه‌ای از فرایندهای شکل‌دهی فلزی را دریا بیم که در نتیجه آن، مدل‌سازی ماده به هنگام ساخت مدل‌های واقعی به صورت انیستاتریک، خواهد بود.

این کتاب شامل ارائه‌ای ترکیبی از پژوهش صورت گرفته در زمینه شبیه‌سازی شکل‌دهی فلز طی ۲۰ سال توسط اعضای سه تیم بین‌المللی می‌باشد: مرکز تحقیقات شکل‌دهی ورق فلزی^۱ - CERTETA (دانشکده فنی Cluj-Napoca - رومانی)؛ شرکت AutoForm^۲؛ از زوریخ^۳، سوئیس و کمپانی خودرو وولوو^۴ از سوئد.

فصل اول مروری بر رابطه اجزاء محدود (FE) به کار برده شده در شبیه‌سازی شکل‌دهی ورق فلزی را در حال حاضر و گذشته ارائه می‌دهد. هدف این فصل ارائه مفهومی جامع از مزایا و معایب

¹ Research Centre on Sheet Metal Forming

² Zürich

³ VOLVO

روش‌های متنوع استفاده شده می‌باشد. بخش اول به برخی از موارد لازم در رابطه با اصول مکانیک محیط پیوسته برای مسائل تغییر شکل بزرگ اختصاص داده شده است که به منظور درکی بهتر از روابط اجزاء محدود که در آینده ارائه خواهد شد مورد نیاز هستند.

در یکی از فصول به طور گسترده به ارائه معیارهای تسلیم پدیداری پرداختیم. به این علت که در این فصل معیارهای تسلیم به طور خلاصه بررسی شده‌اند، به منظور کسب اطلاعات بیشتر بایستی به مقالات مرجع که در بخش منابع به آن‌ها اشاره شده است مراجعه شود. ما تلاش کردیم به منظور تسهیل مطالعه مقالات مرجع از علائم اتخاذ شده توسط نویسندگان، به خصوص در روابط ریاضی، بین‌کننده تنش‌های تسلیم و ضرایب ناهمسانگردی پلاستیک، استفاده کنیم. البته، همدمی از دغدازی‌ها غیر قابل اجتناب خواهد بود. همان‌طور که در لیست نمادها قابل مشاهده است، تعدادی از شاخص‌ها معانی متفاوتی دارند که بایستی توسط خواننده در نظر گرفته شود. این فصل شامل معیارهای تسلیم موجود در نرم‌افزارهای تجاری برای شبیه‌سازی اجزاء محدود (با در نظرگیری معمولی ارائه شده توسط تیم CERTETA-مدل‌های BBC-اجرا شده در نرم‌افزار تجاری A to Form) معیارهای تسلیم با تأثیر زیاد بر پیشرفت تحقیقاتی می‌باشد. به منظور بهبود پیش‌بینی برش فکری¹، رویکردی خاص به منظور مدل‌سازی اثر باوشینگر¹ در نرم‌افزار تجاری AutoForm² توسعه داده و اجرا شده است. در نتیجه، بخش گسترده‌ای از این فصل به مدل‌سازی اثر باوشینگر، به خصوص در مدل AutoForm اختصاص داده شده است.

قابلیت شکل‌پذیری ورق فلزی در فصلی جداگانه شرح داده خواهد شد. پس از ارائه روش‌های به کار برده شده برای ارزیابی قابلیت شکل‌پذیری به بحث در رابطه با منحنی‌های حد شکل‌دهی (FLC) خواهیم پرداخت. روش‌های تجربی استفاده شده برای تعیین حد کشش و فاکتورهای اصلی مؤثر بر FLC به طور کامل ارائه خواهند شد. بخشی از این فصل به کاربرد نمودارهای حد شکل‌دهی در عمل و صنعت اختصاص داده است. پیش‌بینی تجربی منحنی حد شکل‌دهی در بخشی به طور کامل عرضه خواهد شد. بخش به خصوصی به ارائه یک مدل‌سازی جدید ضمنی توسعه یافته توسط نویسندگان این فصل از مدل‌های چینسون-نیل² اختصاص داده خواهد شد که برای محاسبه منحنی‌های حد شکل‌دهی ورق‌های فلزی نازک به کار برده می‌شود. نرم‌افزارهای تجاری (به خصوص برنامه FORM CERT) و مدل‌های نیمه تجربی برای پیش‌بینی منحنی حد شکل‌دهی در بخش‌های آخر این فصل ارائه شده‌اند.

¹ Bauschinger effect

² Hutchinson-Neale model

جوانب مربوط به شبیه‌سازی عددی فرایندهای شکل‌دهی ورق فلزی در فصل آخر این کتاب شرح داده شده‌اند. نقش شبیه‌سازی در طراحی فرآیند، امکان اجرا و کیفیت قطعه، ارزیابی و توانمندی فرآیند مبنی بر روش‌های حل AutoForm ارائه شده‌اند. عملکرد مدل‌های ماده توسط شبیه‌سازی عددی فرایندهای گوناگون شکل‌دهی ورق فلزی آزموده شده‌اند: شکل‌دهی تحذب و کششی، کشش عمیق و شکل‌دهی قطعات پیچیده. بخشی به طراحی ثبات فرایندهای شکل‌دهی ورق فلزی اختصاص یافته است. برگشت فنری مسئله اصلی کیفی در زمینه پرس‌کاری می‌باشد. در نتیجه، در دو بخش از این فصل بر تحلیل برگشت فنری و جبران برگشت فنری به کمک رایانه^۱ (CASP) خواهیم پرداخت.

این کتاب برای جامع پژوهشی و صنعتی در نظر گرفته شده و برای دانشجویان تحصیلات تکمیلی، دانشجویان دکترا، محققان و مهندسانی که اساساً علاقه‌مند به بحث مدل‌سازی ماده و شبیه‌سازی عددی فرایندهای شکل‌دهی ورق فلزی هستند مورد استفاده خواهد بود.

Cluj-Napoca, Romania
December 2009

Dorel Banabic

^۱ Computer Aided Springback Compensation