بسم الله الرحمن الرحيم

اقرأ باسم ربك

١٧٥/٣

باستایش از خدای حکیم و علیم

که به لطف او این پایان نامه به پایان رسید

و با تشکر از پدر و مادرم، که زحمت بسیار رشد مرا تحمل فرمودند

و همسرم، که سختیهای دوران تحصیل را با خوشحالی همراهی فرمود

و به یاد عزیزان فکور و نفیسی که از همراهان مسابقت گرفتند و به دیار عاشقان شتافتند

آنان که پایان نامه زندگی خود را با سلامت در حضور خدای عزوجل داشتند:

برادرم، شهید آذری، شهید ضیغ زاده، شهید اعتباری

شهید مجتبی، شهید پاسیار، شهید مقیمی زاده .....

ثواب این عمل مکتوب،

اگر به حساب آید،

نثار امام(ره) و شهدای راه حق، بویژه

مفقود الجسدها

باد.

بنام خدا

دانشگاه صنعتی اصفهان
دانشکده مکانیک

پایان نامه کارشناسی ارشد

گرایش طراحی جامدات

تحلیل آزمایش فشردن رینگ فلزی به روش اجزاء محدود

توسط:

بهزاد سلطانی

زیر نظر:

دکتر محمود فرزین

ع ٤/٨

مرکز اطلاعات و مدارک علمی ایران
تهیه مدارک

فروردین ۱۳۷۱

"بسم ا ..... الرحمن الرحیم"

پایان نامه آقای بهزاد سلطانی در جلسه مورخ ۱۳۷۱/۱/۳۰ کمیته پایان نامه متشکل از اساتید ذیل مورد بررسی و تایید قرار گرفت .

۱ ـ آقای دکتر محمود فرزین استاد راهنمای رساله

۲ ـ آقای دکتر فریبرز قهرمانی استاد کمیته تخصصی

۳ ـ آقای دکتر حسن خادمی زاده استادکمیته تخصصی

۴ ـ آقای دکتر محمود سلیمی مسئول کمیته کارشناسی ارشد دانشکده

قدر دانـــــی

به یاری خدا ،

با راهنمائی و نظارت آقای دکتر فرزین و با مشاورت آقایان دکتر قهرمانی ، دکترخادمی‌زاده و دکتر فرشچی‌ها ، این رساله به سرانجام رسید و امید آنستکه اثری هر چند ناچیز در جهت رشد علم جهت دار و نظام نوپای اسلامی داشته باشد ، و در تداوم راه شهیدان الهی قـــرار گیرد.

وظیفه است که به درگاه خداوند متعال ،

شکرگذاری،

و از اساتید فوق الذکر و نیز اساتیدی که در دوران تحصیل از آنان استفاده علمی نمـــوده‌ام، تشکر و قدردانی نمایم .

همچنین از زحمات موسسه اصفهان تکثیر و خانم عطائی (منشی دانشکده) در تایپ پایان‌نامه متشکرم.

به امید آنکه همگی ، همگام با رشد علم ،

به تعالی روح و روان خود نیز بپردازیم.

فهرست مطالب

عنوان	صفحه
چکیده	هشت
فهرست علائم بکار رفته	نه
فصل اول : شکل دادن فلزات و فشردن رینگ	۱
۱-۱- شکل دادن فلزات	۱
۱-۲- فشردن رینگ	۷
۱-۳- مروری بر تاریخچه تحلیل فشردن رینگ ونتایج آنها	۱۲
فصل دوم : پلاستیسیته	۲۶
۲ - ۱ - کرنش ، نرخ کرنش ، تنش	۲۶
۲ - ۲ - معیار تسلیم	۳۱
۲ - ۳ - پتانسیل پلاستیک و قانون جریان	۳۴
۲ - ۴ - کرنش سختی ، تنش و کرنش موثر	۳۶
۲ - ۵ - رفتار مواد و تنش جریان	۳۹
فصل سوم - روش اجزاء محدود در شکل دادن فلزات	۴۳
۳ - ۱ - کلیات	۴۳
۳ - ۲ - فرمولبندی الاستیک - پلاستیک (جامد)	۴۷
۳ - ۳ - فرمولبندی صلب - پلاستیک (جریان)	۵۱
۳ - ۴ - جمع‌بندی روشهای جامد و جریان در شکل دادن فلزات	۵۴
۳ - ۵ - فرمولبندی مسئله	۵۵
۳ - ۵ - ۱ - فرمولبندی به روش باقیمانده‌های وزن‌دار	۵۶
۳ - ۵ - ۲ - فرمولبندی بروش انرژی	۶۱
۳ - ۶ - تراکم ناپذیری	۶۳

۳ ـ ۶ ـ ۱ ـ روش تابع جریان ۶۳
۳ ـ ۶ ـ ۲ ـ روش ضریب لاگرانژ ۶۴
۳ ـ ۶ ـ ۳ ـ روش تابع پنالتی ۶۷
۳ ـ ۶ ـ ۴ ـ استفاده از نسبت پواسان نزدیک به ۰/۵ ..... ۶۷
۳ ـ ۷ ـ اصطکاک ۶۹
۳ ـ ۷ ـ ۱ ـ انواع اصطکاک ۶۹
۳ ـ ۷ ـ ۲ ـ قوانین محاسبه مقدار اصطکاک ۷۰
۳ ـ ۷ ـ ۳ ـ اعمال اصطکاک به فرمولبندی ۷۲
۳ ـ ۸ ـ روش حل مسئله ۷۴
۳ ـ ۹ ـ المان و توابع تقریب ۷۷
۳ ـ ۹ ـ ۱ ـ روشهای بدست آوردن توابع تقریب ۷۸
۳ ـ ۹ ـ ۲ ـ ویژگیهای تابع تقریب ۷۹
۳ ـ ۹ ـ ۳ ـ المان چهار وجهی ۸۷
۳ ـ ۱۰ ـ المانهای ایزوپارامتریک ۸۸
۳ ـ ۱۰ ـ ۱ ـ ویژگیهای المانهای ایزوپارامتریک ۸۸
۳ ـ ۱۰ ـ ۲ ـ المان چهار وجهی ایزوپارامتریک ۹۲
۳ ـ ۱۰ ـ ۳ ـ یک به یک بودن نگاشت ۹۴
۳ ـ ۱۱ ـ ماتریس نرخ کرنش المانی ۹۵
۳ ـ ۱۲ ـ ماتریسهای نرخ کرنش موثر و نرخ کرنش حجمی ۱۰۰
۳ ـ ۱۳ ـ معادله سختی المانی ۱۰۱
۳ ـ ۱۴ ـ انتگرالگیری عددی ۱۰۵
۳ ـ ۱۴ ـ ۱ ـ روش نیوتن ـ کتس ۱۰۵

۳ ـ ۱۴ ـ ۲ ـ روش گوس ۱۰۶
۳ ـ ۱۴ ـ ۳ ـ کاربرد فرمولهای انتگرالگیری ۱۱۰
۳ ـ ۱۴ ـ ۴ ـ منفردنشدن ماتریس سختی ۱۱۲
۳ ـ ۱۴ ـ ۵ ـ اعمال روشهای انتگرالگیری به معادله المان ۱۱۳
۳ ـ ۱۵ ـ ترکیب معادلات و شبکه بنـــدی ۱۱۴
۳ ـ ۱۵ ـ ۱ ـ ترکیب معادلات ۱۱۵
۳ ـ ۱۵ ـ ۲ ـ شبکه بندی ۱۱۶
۳ ـ ۱۶ ـ شرایط مرزی ۱۱۹
۳ ـ ۱۷ ـ حل دستگاه معادلات غیر خطی ۱۲۱
۳ ـ ۱۷ ـ ۱ ـ روش تکرار مستقیم ۱۲۱
۳ ـ ۱۷ ـ ۲ ـ روش نیوتن ـ رفسون ۱۲۳
۳ ـ ۱۷ ـ ۳ ـ روش نیوتن ـ رفسون اصلاح شده ۱۲۴
۳ ـ ۱۷ ـ ۴ ـ روشهای نموی ۱۲۵
۳ ـ ۱۷ ـ ۵ ـ نتیجه گیری ۱۲۷
۳ ـ ۱۸ ـ حل دستگاه معادلات خطی ۱۲۸
۳ ـ ۱۹ ـ نموزمانی و همزمانی هندسه جسم ۱۳۱
۳ ـ ۲۰ ـ مباحثی دیگر در شکل دادن فلزات ۱۳۴
۳ ـ ۲۰ ـ ۱ ـ رفتار منطقه صلب ۱۳۴
۳ ـ ۲۰ ـ ۲ ـ تبدیل مختصات ۱۳۵
۳ ـ ۲۰ ـ ۳ ـ تجدید شبکه ۱۳۶
۳ ـ ۲۰ ـ ۴ ـ تنشهای باقیمانده در فرمول‌بندی جریان ۱۳۸
۳ ـ ۲۰ ـ ۵ ـ طراحی شکل اولیه قطعه در شکل دادن فلزات ۱۳۹

فصل چهارم ـ برنامه کامپیوتری و بررسی نتایج ۱۴۲

۴ ـ ۱ ـ خصوصیات برنامه کامپیوتری ۱۴۲

۴ ـ ۲ ـ توضیح برنامه اصلی و برنامه‌های فرعی ۱۴۴

۴ ـ ۳ ـ روند نمای برنامه ۱۴۸

۴ ـ ۴ ـ توضیح فایل ورودی و فایلهای خروجی ۱۵۰

۴ ـ ۵ ـ اجرای برنامه ۱۵۲

۴ ـ ۶ ـ بررسی و تحلیل نتایج ۱۵۵

۴ ـ ۷ ـ پیشنهاد برای ادامه کار ۱۶۹

مجموعه شکلهای فصل چهارم ۱۷۲

ضمیمه اول ـ لیست علائم بکار رفته و برنامه اصلاح شده ۲۰۹

ضمیمه دوم ـ فایل ورودی نمونه ۲۳۳

ضمیمه سوم ـ اطلاعات فایل خروجی در یک نمو برای آلومینیوم درضریب اصطکاک ۰/۵= m ۲۳۶

مراجـــــع ۲۴۲

چکیده انگلیسی ۲۴۹

چکیـــــده

موضوع این پایان نامه ، بررسی و مطالعه روش اجزاء محدود در زمینه شکل دادن فلزات وسپـــــس حل مسئله تست فشردن[1] رینگ با استفاده ازآن می‌باشد . بوسیله این تست ضریب اصطکاک بین دوسطح مختلف اندازه‌گیری میشود .

در ابتدا توضیحاتی در زمینه شکل دادن فلزات و شرح خصوصیات تست فشردن رینگ و نیزتاریخچه حلهای مختلف اعم از تحلیلی و یا مطالعات تجربی و نتایج آنها در یک فصل مطرح شده‌اند . درفصلی دیگر مروری بر پلاستیسیته ، معادلات متشکله و روابط فیزیکی تنش جریان انجام شده است .

در فصل سوم که مربوط به تشریح روش اجزاء محدود در زمینه شکل دادن فلزات می‌باشد ، ابتـــدا دو طریقه کلی‌که تاکنون مورد استفاده بوده‌اند یعنی روشهای الاستیک‌پلاستیک‌و صلب ـ پلاستیک ، بررســـی شده‌اند . سپس فرمولبندی مسئله رینگ با استفاده از روش صلب ـ پلاستیک و با توجه به تراکـــــم ناپذیری ماده و اعمال مستقیم نیروی اصطکاک به آن بدست آمده استو با استفاده از المان چهاروجهی ایزوپارامتریک و بدست آوردن اجزاء کرنش برحسب آن ، مجزا سازی جسم در فرمولبندی وارد شـــــده است . در انتها نیز برروی روشهای حل دستگاه معادلات غیر خطی بحثهائی صورت‌گرفته است.

در فصل چهارم مسئله تست فشردن رینگ ، بااستفاده ازبرنامه‌ای‌به‌نام SPID و انجام تغییراتی برروی آن حل شده است ونتایج حل بصورت دسته منحنی های‌هندسی، ترسیم شبکه‌های‌تغییرشکل‌یافته‌و نیز منحنی‌های‌نیروی پرس در مقایسه با نتایج تجربی و تحلیلی موجود برای‌رینگ استاندارد بررسی وتحلیل شده‌اند .

1- Ring Compression test

لیست علائم بکار رفته

A : مساحت سطح مقطع

$\underset{\sim}{B}$: ماتریس نرخ کرنش

C : مقدار ثابت

C^r : توابعی با مشتقات پیوسته از تمامی مرتبه‌های کمتر یا برابربا r

$\underset{\sim}{C}$: بردار نرخ کرنش حجمی

D : قطر

$\underset{\sim}{D}$: ماتریس ضریب نرخ کرنش موثر

E : مدول یانگ

E_{ij} : کرنش لاگرانژی

F_i : نیروی سطحی

G : مدول برشی

H : ارتفاع

$H(\bar{\varepsilon})$: تابع کار سختی

$\dot{H}$: مشتق زمانی ارتفاع

ΔH : نمو ارتفاع

I_1 : نامتغیر اول تانسور تنش

I_2 : نامتغیر دوم تانسور تنش

I_3 : نامتغیر سوم تانسور تنش

J_1 : نامتغیر اول تانسور تنش کاهش یافته

J_2 : نامتغیر دوم تانسورتنش کاهش یافته

J_3 : نامتغیر سوم تانسور تنش کاهش یافته

$\underset{\sim}{J}$: ژاکوبین تبدیل مختصات

K: ثابت پنالتی

$\underset{\sim}{K}$: ماتریس سختی

$\underset{\sim}{K}_T$: ماتریس سختی مماسی

L_{ijkl}: مدول کرنش کوچک

$\mathcal{L}_{ijkl}$: مدول متشکله

$\underset{\sim}{N}, N$: ماتریس تابع شکل

P: بار

$\underset{\sim}{P}$: ماتریس نرخ کرنش موثر

Q : تبادل انرژی حرارتی

S : ساختمان ریز داخلی جسم

S : سطح

S_c : سطح تماس قطعه ـ قالب (پرس)

S_f : سطح اعمال نیروی سطحی

S_u : سطحی که سرعت بر آن اعمال می‌شود

T : درجه حرارت

T: ضخامت (ارتفاع)

T: افزایش انرژی جنبشی

$\underset{\sim}{T}$: ماتریس تبدیل مختصات

U: افزایش انرژی داخلی

V: حجم

ΔV: تغییر حجم

W_E: انرژی مکانیکی اعمال شده خارجی

W_P: کار پلاستیک کلی در واحد حجم

W: ضرائب وزنی انتگرال گیری در روش گوس

$\dot{W}_P$: نرخ کار پلاستیک در واحد حجم

Y_o: تنش تسلیم

a : شتاب

b : نیروی حجمی

$\underset{\sim}{e}$: بردار خطا در همگرائی حل

e : کرنش مهندسی

$\dot{e}$: نرخ کرنش مهندسی

f : ضریب اصطکاک در قانون جدید اصطکاکی

f_s : تنش اصطکاکی

$f(\sigma_{ij})$: تابع تسلیم

k: تنش تسلیم برشی

l: طول

m: ضریب اصطکاک در قانون تنش اصطکاکی ثابت

$\underset{\sim}{n}$: بردار یکه عمود بر سطح

P_{ij}: تنش پیولا-کیرشف نوع اول

r_i: شعاع داخلی رینگ

r_n: شعاع خنثی رینگ

r_o: شعاع خارجی رینگ

S_{ij}: تنش پیولا - کیرشف نوع دوم

t: زمان

Δt: نمو زمانی

u_i: جزء سرعت

u_i^I: جزء سرعت در گره I

u^D: سرعت قالب

u_s: سرعت لغزش نسبی بین قالب و قطعه

v_s: سرعت لغزش نسبی در نقطه گره‌ای

$\underset{\sim}{v}$: بردار سرعت در نقطه گره‌ای

$\Delta \underset{\sim}{v}$: بردار مقادیر اصلاحات سرعت

$\bar{\varepsilon}$: کرنش موثر

$\dot{\varepsilon}_{ij}$: نرخ کرنش

$d\varepsilon_{ij}$: کرنش بینهایت کوچک

$\dot{\varepsilon}_v$: نرخ کرنش حجمی

$\dot{\varepsilon}_{ij}^P$: نرخ کرنش پلاستیک

$\dot{\varepsilon}_{ij}^e$: نرخ کرنش الاستیک

$\dot{\bar{\varepsilon}}$: نرخ کرنش موثر

$\dot{\bar{\varepsilon}}_o$: حد نرخ کرنش

ξ: مختصات طبیعی

η: مختصات طبیعی

λ: ضریب لاگرانژ

$\dot{\lambda}$: ضریب تناسب در قوانین جریان (نرخ)

$d\lambda$: ضریب تناسب در قوانین جریان (بینهایت کوچک)

μ: ضریب اصطکاک در قانون کولمب

μ: ضریب ویسکوزیته در قانون جریان

ν: نسبت پواسان

π: صفحه تنش متوسط صفر در فضای تنش

π: تابعک انرژی

$\delta\pi$: تغییرات تابعک انرژی

$\delta\pi_D$: عبارت مربوط به نرخ انرژی تغییر شکل در تابعک انرژی

$\delta\pi_P$: عبارت مربوط به تراکم ناپذیری در تابعک انرژی

$\delta\pi_{s_f}$: عبارت مربوط به نیروی سطحی در تابعک انرژی

$\delta\pi_{s_c}$: عبارت مربوط به تنش اصطکاکی در تابعک انرژی

ρ: جرم حجمی

σ_{ij}: تنش کوشی

σ'_{ij}: تنش کاهش یافته

$\bar{\sigma}$: تنش موثر ، تنش جریان

σ_m: تنش متوسط

ζ_{ij}: تنش کیرشف و نیز تنش برشی

فصـــــــــل اول :

((شکل دادن فلزات و فشردن رینگ))

در چند دههء اخیر صنعت گران اهمیت زیادی به شکل دادن فلزات داده و آن را از پایه‌هـــای اصلی رشد تکنولوژی می‌شمارند . یکی ازعلل آن این است که فرآیندهای متعدد شکل دادن که بیـــش‌از پنجـــاه نوع‌مختلف را شامل می شود ، بسیاری از پروسه‌های صنعتی را در برمی‌گیـــــــــرد. دربخـــــــــش‌اول این فصل توضیحاتی در زمینهء خصوصیات کلی شکل دادن فلزات داده شده اســت. دربخـــــــــش‌دوم به تعریف فرآیند مورد نظر ، یعنی فشردن رینگ ، توجه شده و مسائل مهـــم آن تشریح شده‌اند. بخـــش‌سوم این فصل نیز دوره‌ای بر تاریخچهء تحلیلهای انجام شده بر روی ایـــن فرآیند می باشد که شامل انواع تحلیلهای تئوری وتجربی می‌گردد .

۱ ـ ۱ ـ شکـــــــل دادن فلـــزات

در شکل دادن فلزات[1] یک جسم بـصورت شمش[2]، یا به شکل صفحه‌ای[3] ، ما بین ابـــــزار و قالبها و به جهت بدست آوردن شکل نهایی مورد نظر ، تغییر شکل پلاستیک می‌یابد . بنابرایـــــن

---

1 - Metal Forming Processes

2 - Billet

3 - Sheet

هندسه جسم پس از نگه داشته شدن بوسیلهء قالبها وابزار با فشار اعمال شده از طریق سطوح ما بین ماده وقالب ، به یک شکل پیچیده تبدیل میگردد . معمولا" در فرآیندهای شکل دادن فلزات قطعهنهایی بدون ویا با قراضه و دور ریز کم ، در زمان خیلی کوتاه و با یک یا چند حرکت و ضربهء پرس[1] ویا چکش مکانیکی تولید میگردد . در نتیجه وقتی که تعداد محصول زیاد و یا متوسط باشد ، با این طریقه تولید در ماده ، انرژی و زمان مورد نیاز صرفهجویی قابل توجهی صورت میگیرد . علاوه بر اینها ، در یک قطعهء تولید شده با استفاده از روش شکل دادن فلزات نسبت به روشهای تولید ریختهگری یا ماشینکاری ، از تواناییها و خصوصیات مکانیکی و متالورژیکی[2] بهتری برخوردار میباشد .

شکل دادن فلزات نوعی تکنولوژی است که در طول سالها بوسیلهء تجربیات زیاد و عمدا" با روش سعی و خطا[3] بوجود آمده است با وجود این صنعت شکل دادن فلزات را میتوان بصورتیاستاندارد و حتی برای آلیاژهاییکه به سختی شکل میگیرند، بکار برد . بیان روابط کمی برای پدیدههای فیزیکی به گونهای که بتوانند عملیات شکل دادنرا تشریح کنند ، بسیار مشکل است . این پدیدهها عبارتند از جریان فلز ، اصطکاک بین ماده وابزار ، تولید وانتقال حرارت در طول جریان پلاستیک و روابط بین خصوصیات ساختمانی بسیار ریز[4] ماده که پیش بینی و تحلیل آنها در طول انجام فرآیند بسیار دشوار است . اغلب چندین عملیات شکل دادن که پیش شکلدادن نامیدهمیشوند، در طول تبدیل هندسه ساده اولیه به هندسهء پیچیده نهاییاعمال میگردد . مهمترین موضوع در هر روش تحلیل ، کمک به مهندس شکل دادن در طراحی شکل دادن نهایی و یا مقاطع پیش شکل دادن[5] میباشد. برای یک عملیات مشخص (پیش شکلدادنها و یا شکل دادن نهایی) این طراحی بر سه پایه اساسی استوار است : الف- برقرار ساختن روابط سینماتیکی (شکل، سرعتها ، کرنشها ، نرخ کرنشها) بین جسم تغییر شکل یافته و تغییر شکل نیافته یعنی پیش بینی جریان فلز ب - ایجاد وتعیین محدودههای قابل شکل دهی

---

1 - Press
2 - Metallurgical
3 - Trial and error
4 - Microstructure
5 - Preforming

یعنی تعیین این مسئله که ، شکل دادن یک قطعه بدون شکست داخلی و یا سطحی ممکن است یا نه.

ج - پیش بینی نیروها و تنشهای لازم برای اجرای عملیات شکل دادن بگونه‌ای که ابزار وسایل بتوانند طراحی و یا انتخاب گردند .

برای تحلیل، طراحی کیفی و بهینه‌سازی عملیات شکل دادن فلزات توجه به فرآیندهای شکل دادن فلزات بصورت یک مجموعه و سیستم[1] مفید است . در شکل دادن بعنوان یک سیستم متغیرهای ورودی سیستم عبارتند از : قطعه، نگاهدارنده قطعه، ابزار ، شرایط سطح بین ابزار وماده ، چگونگی تغییر شکل پلا ستیک ، خصوصیات وسایل مورد استفاده(همچون میزان انرژی ، نیرو و دقت پرس) خصوصیات محصول نهائی(همچون هندسه ، تلرانسها[2] و دقتها)و نیز خصوصیات مکانیکی ، متالوژیکی، و در نهایت خصوصیات محیط کار،و خروجی نیز همان محصول نهایی است . بدین ترتیب میتوان اثر تغییرات در ورودیها و یا بعضی از آنها را بر نتیجه نهایی مورد توجه قرار داد.تمامی موارد گفته شده بایستی در ابتدا بصورت مشخص برای سیستم تعیین گردند .

برای یک ماده مشخص ، ترکیب ، تاریخچه ساخت ، تنش جریان ، قابلیت شکلگیری در جهات مختلف (غیر ایزوتروپ بودن[3]) مهمترین متغیرهای ماده قطعه در تحلیل فر آیند شکل دادن فلز است .

برای یک ترکیب مشخص از ماده ، تنش جریان $\bar{\sigma}$ بصورت‌تابعی از کرنش موثر $\bar{\varepsilon}$ و نرخ کرنش موثر $\dot{\bar{\varepsilon}}$ ، درجه حرارت T و عوامل ساختمان ریز داخلی[4] S بیان می شود .

$$\bar{\sigma} = f\ (\bar{\varepsilon}\ ,\ \dot{\bar{\varepsilon}}, T, S\ ) \qquad (۱-۱)$$

این رابطه را رابطهء تنش جریان می‌نامند و در طی آزمایشهای پیچش ، فشار کرنش‌صفحه‌ای و فشار متقارن محوری یکنواخت و غیره مشخص می‌گردد . در طول هرکدام از این آزمایشها ، کار پلاستیک،افزایش درجهء حرارت را به میزان مشخص بدنبال خواهد داشت که در جمع بندی نتایج

---

1 - System

2 - Tolerances

3 - Anisotropy

4 - Microstructure