

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

أَفِيضْ بَرَكَاتِكَ

١٧٥١٣

بستایش از حدی حکیم و عظیم

که به لطف او این بابان نامه پیمان رسید

و بکشور پروردگارم، که زجنت بسیار شد و لا تجمر که از سر است
و همسر، که سخته و صلاست تصدیق و لا خود،

و به یغیر از فکرش گفت که همراه ما سبقت گرفت و به دیار عافیت رفت
آنان که پایش نامه زدند خود را به دست در حضور خوار و غرضه

بر ادم، شهید آذر، شهید ضعیف نلاد، شهید اعتبار
شهید محترم، شهید پارسا، شهید مقیمزاده

نواب این عمل مکروب،

اگر به حساب آید.

نثار امام و مهدای راه حق، بویره

مفقود الجسد ها

باد.

بناام خدا



دانشگاه صنعتی اصفهان
دانشکده مکانیک

پایان نامه کارشناسی ارشد

گرایش طراحی جامدات

تحلیل آزمایش فشردن رینگ فلزی به روش اجزاء محدود

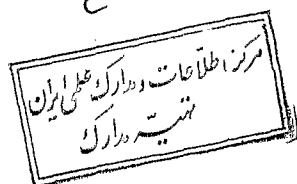
توسط:

بهزاد سلطانی

زیر نظر:

دکتر محمود فرزین

۴۴۸

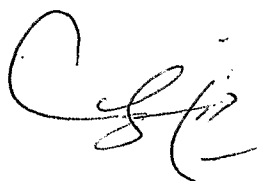


فروردین ۱۳۷۱

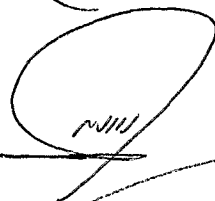
"بسم الله الرحمن الرحيم"

پایان نامه آقای بهزاد سلطانی در جلسه مورخ ۱۳۷۱/۱/۳۰ کمیته پایان نامه متشکل از

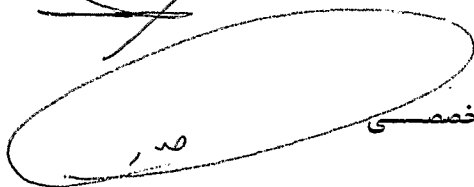
اساتید ذیل مورد بررسی و تایید قرار گرفت .



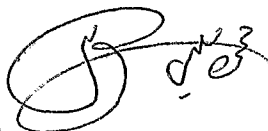
۱- آقای دکتر محمود فرزین استاد راهنمای رساله



۲- آقای دکتر فریبرز قهرمانی استاد کمیته تخصصی



۳- آقای دکتر حسن خادمی زاده استاد کمیته تخصصی



۴- آقای دکتر محمود سلیمی مسئول کمیته کارشناسی ارشد دانشکده

قدر دانسی

به یاری خدا ،

با راهنمایی و نظارت آقای دکتر فرزین و با مشاورت آقایان دکتر قهرمانی ، دکتر خادمی زاده و دکتر فرشچی ها ، 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 قسرار 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 نموده‌ام،

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

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

۶۳	..... ۳-۶-۱- روش تابع جریان
۶۴	..... ۳-۶-۲- روش ضریب لاگرانژ
۶۷	..... ۳-۶-۳- روش تابع پناالتي
۶۷	..... ۳-۶-۴- استفاده از نسبت پواسان نزديک به ۵/۵
۶۹	..... ۳-۷-۷- اصطکاک
۶۹	..... ۳-۷-۱- انواع اصطکاک
۷۵	..... ۳-۷-۲- قوانین محاسبه مقدار اصطکاک
۷۲	..... ۳-۷-۳- اعمال اصطکاک به فرمولبندی
۷۴	..... ۳-۸- روش حل مسئله
۷۷	..... ۳-۹- المان و توابع تقریب
۷۸	..... ۳-۹-۱- روشهای بدست آوردن توابع تقریب
۷۹	..... ۳-۹-۲- ویژگیهای تابع تقریب
۸۷	..... ۳-۹-۳- المان چهار وجهی
۸۸	..... ۳-۱۰- المانهای ایزوپارامتریک
۸۸	..... ۳-۱۰-۱- ویژگیهای المانهای ایزوپارامتریک
۹۲	..... ۳-۱۰-۲- المان چهار وجهی ایزوپارامتریک
۹۴	..... ۳-۱۰-۳- یک به یک بودن نگاشت
۹۵	..... ۳-۱۱- ماتریس نرخ کرنش المانی
۱۰۰	..... ۳-۱۲- ماتریسهای نرخ کرنش موثر و نرخ کرنش حجمی
۱۰۱	..... ۳-۱۳- معادله سختی المانی
۱۰۵	..... ۳-۱۴- انتگرالگیری عددی
۱۰۵	..... ۳-۱۴-۱- روش نیوتن-کتس

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

۱۴۲	..... فصل چهارم - برنامه کامپیوتری و بررسی نتایج
۱۴۲	..... ۴ - ۱ - خصوصیات برنامه کامپیوتری
۱۴۴	..... ۴ - ۲ - توضیح برنامه اصلی و برنامه‌های فرعی
۱۴۸	..... ۴ - ۳ - روند نمای برنامه
۱۵۰	..... ۴ - ۴ - توضیح فایل ورودی و فایل‌های خروجی
۱۵۲	..... ۴ - ۵ - اجرای برنامه
۱۵۵	..... ۴ - ۶ - بررسی و تحلیل نتایج
۱۶۹	..... ۴ - ۷ - پیشنهاد برای ادامه کار
۱۷۲	..... مجموعه شکل‌های فصل چهارم
۲۰۹	..... ضمیمه اول - لیست علائم بکار رفته و برنامه اصلاح شده
۲۲۳	..... ضمیمه دوم - فایل ورودی نمونه
۲۳۶	..... ضمیمه سوم - اطلاعات فایل خروجی در یک نمو برای آلومینیوم در ضریب اصطکاک $\mu = 0.5$ m
۲۴۲	..... مراجع
۲۴۹	..... چکیده انگلیسی

چکیده

موضوع این پایان نامه ، بررسی و مطالعه روش اجزاء محدود در زمینه شکل دادن فلزات و سپس حل مسئله تست فشردن¹ رینگ با استفاده از آن می‌باشد . بوسیله این تست ضریب اصطکاک بین دو سطح مختلف اندازه‌گیری میشود .

در ابتدا توضیحاتی در زمینه شکل دادن فلزات و شرح خصوصیات تست فشردن رینگ و نیز تاریخچه 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 ، ابتدا دو طریقه کلی که تاکنون مورد استفاده بوده‌اند یعنی روش‌های الاستیک-پلاستیک و صلب - پلاستیک ، بررسی شده‌اند . سپس فرمولبندی مسئله رینگ با استفاده از روش صلب - پلاستیک و با توجه به تراکم ناپذیری ماده و اعمال مستقیم نیروی اصطکاک به آن بدست آمده است و با استفاده از المان چهاروجهی ایزوپارامتریک و بدست آوردن اجزاء کرنش برحسب آن ، مجزا سازی جسم در فرمولبندی وارد شده است . در انتها نیز بر روی روش‌های حل دستگاه معادلات غیر خطی بحث‌هایی صورت گرفته است .

در فصل چهارم مسئله تست فشردن رینگ ، با استفاده از برنامه‌ای به نام SPID و انجام تغییراتی بر روی آن حل شده است و نتایج حل بصورت دسته منحنی های هندسی، ترسیم شبکه‌های تغییر شکل یافته و نیز منحنی‌های نیروی پرس در مقایسه با نتایج تجربی و تحلیلی موجود برای رینگ استاندارد بررسی و تحلیل شده‌اند .

لیست علائم بکار رفته

<p>\tilde{N}, \tilde{N} : ماتریس تابع شکل</p> <p>P : بار</p> <p>\tilde{P} : ماتریس نرخ کرنش موثر</p> <p>Q : تبادل انرژی حرارتی</p> <p>S : ساختمان ریز داخلی جسم</p> <p>S : سطح</p> <p>S_c : سطح تماس قطعه - قالب (پرس)</p> <p>S_f : سطح اعمال نیروی سطحی</p> <p>S_u : سطحی که سرعت بر آن اعمال می‌شود</p> <p>T : درجه حرارت</p> <p>T : ضخامت (ارتفاع)</p> <p>T : افزایش انرژی جنبشی</p> <p>\tilde{T} : ماتریس تبدیل مختصات</p> <p>U : افزایش انرژی داخلی</p> <p>V : حجم</p> <p>ΔV : تغییر حجم</p> <p>W_E : انرژی مکانیکی اعمال شده خارجی</p> <p>W_P : کار پلاستیک کلی در واحد حجم</p> <p>W : ضرائب وزنی انتگرال گیری در روش گوس</p> <p>\dot{W}_P : نرخ کار پلاستیک در واحد حجم</p> <p>γ_o : تنش تسلیم</p> <p>a : شتاب</p> <p>b : نیروی حجمی</p> <p>e : بردار خطا در همگرایی حل</p> <p>e : کرنش مهندسی</p> <p>\dot{e} : نرخ کرنش مهندسی</p> <p>f : ضریب اصطکاک در قانون جدید اصطکاکی</p> <p>f_s : تنش اصطکاکی</p>	<p>A : مساحت سطح مقطع</p> <p>\tilde{B} : ماتریس نرخ کرنش</p> <p>C : مقدار ثابت</p> <p>C^r : توابعی با مشتقات پیوسته از تمامی مرتبه‌های کمتر یا برابر با r</p> <p>\tilde{C} : بردار نرخ کرنش حجمی</p> <p>D : قطر</p> <p>\tilde{D} : ماتریس ضریب نرخ کرنش موثر</p> <p>E : مدول یانگ</p> <p>E_{ij} : کرنش لاگرانژی</p> <p>F_i : نیروی سطحی</p> <p>G : مدول برشی</p> <p>H : ارتفاع</p> <p>$H(\bar{\epsilon})$: تابع کار سختی</p> <p>\dot{H} : مشتق زمانی ارتفاع</p> <p>ΔH : نمو ارتفاع</p> <p>I_1 : نامتغیر اول تانسور تنش</p> <p>I_2 : نامتغیر دوم تانسور تنش</p> <p>I_3 : نامتغیر سوم تانسور تنش</p> <p>J_1 : نامتغیر اول تانسور تنش کاهش یافته</p> <p>J_2 : نامتغیر دوم تانسور تنش کاهش یافته</p> <p>J_3 : نامتغیر سوم تانسور تنش کاهش یافته</p> <p>\tilde{J} : ژاکوبین تبدیل مختصات</p> <p>K : ثابت پینالتی</p> <p>\tilde{K} : ماتریس سختی</p> <p>\tilde{K}_T : ماتریس سختی مماسی</p> <p>L_{ijkl} : مدول کرنش کوچک</p> <p>\tilde{L}_{ijkl} : مدول متشکله</p>
---	---

n : مختصات طبیعی	$f(\sigma_{ij})$: تابع تسلیم
λ : ضریب لاگرانژ	k : تنش تسلیم برشی
$\hat{\lambda}$: ضریب تناسب در قوانین جریان (نرخ)	l : طول
$d \lambda$: ضریب تناسب در قوانین جریان (بینهایت کوچک)	m : ضریب اصطکاک در قانون تنش اصطکاکی ثابت
μ : ضریب اصطکاک در قانون کولمب	n : بردار یکه عمود بر سطح
μ : ضریب ویسکوزیته در قانون جریان	P_{ij} : تنش پیولا-کیرشف نوع اول
ν : نسبت پواسان	r_i : شعاع داخلی رینگ
π : صفحه تنش متوسط صفر در فضای تنش	r_n : شعاع خنثی رینگ
π : تابع انرژی	r_o : شعاع خارجی رینگ
$\delta \pi$: تغییرات تابع انرژی	S_{ij} : تنش پیولا-کیرشف نوع دوم
$\delta \pi_D$: عبارت مربوط به نرخ انرژی تغییر شکل در تابع انرژی	t : زمان
$\delta \pi_P$: عبارت مربوط به تراکم ناپذیری در تابع انرژی	Δt : نمو زمانی
$\delta \pi_{S_f}$: عبارت مربوط به نیروی سطحی در تابع انرژی	u_i : جزء سرعت
$\delta \pi_{S_c}$: عبارت مربوط به تنش اصطکاکی در تابع انرژی	u_i^I : جزء سرعت در گره I
ρ : جرم حجمی	u^D : سرعت قالب
σ_{ij} : تنش کوشی	u_s : سرعت لغزش نسبی بین قالب و قطعه
σ'_{ij} : تنش کاهش یافته	v_s : سرعت لغزش نسبی در نقطه گره ای
$\bar{\sigma}$: تنش موثر ، تنش جریان	\tilde{v} : بردار سرعت در نقطه گره ای
σ_m : تنش متوسط	Δv : بردار مقادیر اصلاحات سرعت
ζ_{ij} : تنش کیرشف و نیز تنش برشی	$\bar{\epsilon}$: کرنش موثر
	$\dot{\epsilon}_{ij}$: نرخ کرنش
	$d\epsilon_{ij}$: کرنش بینهایت کوچک
	$\dot{\epsilon}_v$: نرخ کرنش حجمی
	$\dot{\epsilon}_{ij}^P$: نرخ کرنش پلاستیک
	$\dot{\epsilon}_{ij}^e$: نرخ کرنش الاستیک
	$\dot{\epsilon}$: نرخ کرنش موثر
	$\dot{\epsilon}_0$: حد نرخ کرنش
	$\bar{\epsilon}$: مختصات طبیعی

فصل اول :

((شکل دادن فلزات و فشردن رینگ))

در چند دهه اخیر صنعت گران اهمیت زیادی به شکل دادن فلزات داده و آن را از پایه‌های اصلی رشد تکنولوژی می‌شمارند . یکی از علل آن این است که فرآیندهای متعدد شکل دادن که پیش از پنجگانه نوع مختلف را شامل می‌شود ، بسیاری از پروسه‌های صنعتی را در برمی‌گیرد . در بخش اول این فصل توضیحاتی در زمینه خصوصیات کلی شکل دادن فلزات داده شده است . در بخش دوم به تعریف فرآیند مورد نظر ، یعنی فشردن رینگ ، توجه شده و مسائل مهم آن تشریح شده‌اند . بخش سوم این فصل نیز دوره‌ای بر تاریخچه تحلیل‌های انجام شده بر روی این فرآیند می‌باشد که شامل انواع تحلیل‌های تئوری و تجربی می‌گردد .

۱-۱ - شکل دادن فلزات

در شکل دادن فلزات^۱ یک جسم بصورت شمش^۲، یا به شکل صفحه‌ای^۳، ما بین ابزار و قالبها و به جهت بدست آوردن شکل نهایی مورد نظر، تغییر شکل پلاستیک می‌یابد. بنابراین

1 - Metal Forming Processes

2 - Billet

3 - Sheet

هندسه جسم پس از نگه داشته شدن بوسیله قالبها و ابزار با فشار اعمال شده از طریق سطوح ما بین ماده و قالب ، به یک شکل پیچیده تبدیل می‌گردد . معمولاً^۱ 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 ضربه پرس^۱ 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 قطعه تولید شده با استفاده از روش شکل دادن فلزات نسبت به روشهای تولید ریخته‌گری یا ماشین‌کاری ، از تواناییها و خصوصیات مکانیکی و متالورژیکی^۲ بهتری برخوردار می‌باشد .

شکل دادن فلزات نوعی تکنولوژی است که در طول سالها بوسیله تجربیات زیاد و عمداً^۳ با روش سعی و خطا^۳ بوجود آمده است با وجود این صنعت شکل دادن فلزات را می‌توان بصورتی استاندارد و حتی برای آلیاژهایی که به سختی شکل می‌گیرند، بکار برد . بیان روابط کمی برای پدیده‌های فیزیکی به گونه‌ای که بتوانند عملیات شکل دادن را تشریح کنند ، بسیار مشکل است . این پدیده‌ها عبارتند از جریان فلز ، اصطکاک بین ماده و ابزار ، تولید و انتقال حرارت در طول جریان پلاستیک و روابط بین خصوصیات ساختمانی بسیار ریز^۴ ماده که پیش بینی و تحلیل آنها در طول انجام فرآیند بسیار دشوار است . اغلب چندین عملیات شکل دادن که پیش شکل‌دادن نامیده می‌شوند، در طول تبدیل هندسه ساده اولیه به هندسه پیچیده نهایی اعمال می‌گردد . مهمترین موضوع در هر روش تحلیل ، کمک به مهندس شکل دادن در طراحی شکل دادن نهایی و یا مقاطع پیش شکل دادن^۵ 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 و تعیین 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^۱ مفید است . در شکل دادن بعنوان یک سیستم متغیرهای ورودی سیستم عبارتند از : قطعه، نگاهدارنده قطعه، ابزار ، شرایط سطح بین ابزار و ماده ، چگونگی تغییر شکل پلاستیک ، خصوصیات وسایل مورد استفاده (همچون میزان انرژی ، نیرو و دقت پرس)، خصوصیات محصول نهائی (همچون هندسه ، تلرانسها^۲ و دقتها) و نیز خصوصیات مکانیکی ، متالورژیکی، 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)^۳ مهمترین متغیرهای ماده قطعه در تحلیل فرآیند شکل دادن فلز است .

برای یک ترکیب مشخص از ماده ، تنش جریان $\bar{\sigma}$ بصورت تابعی از کرنش موثر $\bar{\epsilon}$ و نرخ کرنش موثر $\dot{\bar{\epsilon}}$ ، درجه حرارت T و عوامل ساختمان ریز داخلی^۴ S بیان می شود .

$$\bar{\sigma} = f(\bar{\epsilon}, \dot{\bar{\epsilon}}, T, S) \quad (1-1)$$

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

- 1 - System
- 2 - Tolerances
- 3 - Anisotropy
- 4 - Microstructure