اول دفتر به نام ایزد دانا

صانع و پروردگار حی توانا

۳۰۳۹۶

مرکز اطلاعات ... ایران

۱۳۷۹ /۷/ ۲۶

دانشگاه شهید باهنر کرمان

دانشکده فنی -بخش مهندسی مکانیک

پایان نامه برای تکمیل دوره کارشناسی ارشد
مکانیک (طراحی کاربردی)

با عنوان :

تحلیل دیسک ویسکوالاستیک
به روش مستقیم

8111

نگارنده:
افشین میرزاآقایی

استاد راهنما :
دکتر فرزاد آریانا

آبان ۷۷

ب ۳۰۳۹۶

بسمه تعالی

این پایان نامه

به عنوان یکی از شرایط احراز درجه کارشناسی ارشد

به

بخش مکانیک

دانشکده فنی دانشگاه شهید باهنر کرمان

تسلیم شده است و هیچ گونه مدرکی به عنوان فراغت از تحصیل دوره مزبور شناخته نمی شود.

دانشجو : آقای افشین میرزاآقایی **امضاء**

استاد راهنما: آقای دکتر فرزاد آریانا

داور ۱ : آقای دکتر علی سینائی

داور ۲ : آقای دکتر حمید موسوی راد

داور ۳ :

دانشگاه شهید باهنر
کرمان
اداره تحصیلات تکمیلی

حق چاپ محفوظ و مخصوص به مولف است

سپاس:

خدا را سپاسگزارم که همیشه همراه من بوده و در به ثمر رسیدن کوششهایم مرا یاری داده است.از خانواده ام تشکر و قدردانی می کنم که پشتیبان و حامی من بوده اند و پایان نامهٔ حاضر را به ایشان تقدیم می نمایم.از آقای دکتر آریانا که راهنمایی مرا به عهده داشتند و نیز سایر استادانم که در آموزش من کوشیدند قدر دانی می نمایم.ضمنا" از همکاریهای مرکز بین المللی علوم و تکنولوژی پیشرفته و علوم محیطی که مساعدتهای ممکن را به انجام رسانیدند تشکر می کنم.

چکیده:

درمواردی که اجزاء مکانیکی در دماهای نسبتا" بالا کار میکنند دچار خزش شده و تنشها و کرنشهای موجود در آنها در طول زمان تغییر خواهند کرد و لازم است تحلیل ویسکوالاستیک بروی آنها انجام شود.از جملهٔ این موارد دیسکهای گردانی است که در توربوماشینها کاربرد دارند و چگونگی رفتار آنها در این پایان نامه بررسی خواهد شد.در ابتدا معادلات متشکلهٔ مواد ویسکوالاستیک بشکل انتگرالی و دیفرانسیلهای جزئی که توابعی از متغیرهای مستقل زمان و شعاع هستند مطابق با مدل برگر ارائه میگردد. در صورت حل همزمان معادلات متشکله، کرنش - تغییرمکان وتعادل، پاسخها در اختیار قرار می گیرند. روشهای معمول در حل این معادلات عبارتند از روشهای عددی و تبدیل لاپلاس؛ ولی یک روش مناسب که در اینجا ارائه خواهد شد ، حل مستقیم این معادلات است که به شیوهٔ خاصی انجام میشود و نتیجهٔ آن پاسخهای دقیق ، صریح و کامل برای دیسک است.برای این منظور ابتدا هر یک از متغیرهای معلوم و مجهول به شکل سری توانی خود بر حسب توانهای زمان نوشته شده وسپس عامل زمان از معادلات حذف میگردد و معادلات مکانی باقیمانده به تنهایی حل می شوند.در نهایت با بازگردانیدن زمان پاسخهای کامل و مطلوب بدست خواهد آمد.بررسی پاسخهای بدست آمده اهمیت و لزوم تحلیل ویسکوالاستیک را نشان میدهد و همچنین تفاوت اثر خزش کلی و خزش پایدار مشخص خواهد شد.

فهرست مطالب

	عنوان	صفحه
	فهرست علائم	
فصل اول	مقدمه	۱
۱-۱	تعریف ویسکوالاستیسیتی	۳
۱-۲	آزمایشهای خزش و رهایی تنش	۴
۱-۳	تشریح و تعریف دیسک گردان	۷
فصل دوم	معادلات متشکله	۱۱
۲-۱	مدل ویسکوالاستیک	۱۲
۲-۲	فرم دیفرانسیلی	۱۶
۲-۳	فرم انتگرالی	۲۲
۲-۴	معادلات دیفرانسیلی و انتگرالی در سه بعد	۲۵
۲-۵	معادلات متشکلهٔ مورد استفاده در پایان نامه در یک و سه بعد	۲۸
۲-۶	اثر دما بر خواص ویسکوالاستیک	۳۰
فصل سوم	حل معادلات از روش شبه الاستیک	۳۶
۳-۱	روش شبه الاستیک	۳۷
۳-۲	تحلیل دیسک گردان	۴۲

عنوان		صفحه
فصل چهارم	روش تحلیل مستقیم دیسک	۴۹
۴-۱	تنشها و تغییر مکان در مخزن کروی	۵۰
۴-۲	معادلات اساسی دیسک	۵۳
۴-۳	تشکیل معادله دیفرانسیل تغییر مکان	۵۵
۴-۴	محاسبهٔ تنشها در دیسک دوار	۶۳
۴-۵	محاسبهٔ تغییر مکان در دیسک دوار	۶۵
۴-۶	محاسبهٔ تنشها در دیسک با گرادیان دمایی	۶۸
۴-۷	محاسبهٔ تغییر مکان در دیسک با گرادیان دمایی	۷۰
۴-۸	تشکیل معادلات ϕ,Ψ	۷۱
۴-۹	حالات خاص	۷۳
۴-۱۰	تعمیم مدل ویسکوالاستیک و شرایط مرزی	۷۵
فصل پنجم	نتایج و توضیحات	۷۷
۵-۱	حل یک مسئلهٔ خاص و نتیجه گیریهای کلی	۷۸
۵-۲	توضیحات کلی	۹۴
۵-۳	پیشنهادهایی برای ادامه و یا توسعه پایان نامه	۹۵
	مراجع	۹۶

فهرست علائم

شعاع داخلی	a
شعاع خارجی	b
ضریب خزش	C
کرنش انحرافی	d_{ij}
مدول یانگ، مدول افت تنش	E
نیروی حجمی	F_i
مدول افت تنش، مدول برشی	G
تابع نرمی خزش	J
مدول بالک	K
اپراتور مشتق‌گیری	P
فشار داخلی	P
اپراتور مشتق‌گیری	Q
فشار خارجی	q
ضریب فنر	R
شعاع متغیر	r
متغیر تبدیل لاپلاس	s
تنش انحرافی	S_{ij}
دما، مشتق زمانی دما	T

بردار تنش مرزی	T_i
دمای ذوب فلز	T_m
زمان	t
زمان تأخیر	t_c
زمان کاهش تنش	t_R
تغییر مکان	u
بردار تغییر مکان مرزی	U_i
ضریب انتقال	X
بردار مکان	x_i
ضریب انبساط طولی	α
نسبت پواسون خزشی	γ
کرنش	ε
کرنش الاستیک	ε_e
کرنش پلاستیک	ε_p
خزش دائمی	ε_{pc}
خزش بازیابی	ε_{rc}
کرنش خزشی	ε_c
ضریب ویسکوزیتی	η
دما	θ

ضریب پواسون الاستیک	ν
چگالی جرمی	ρ
تنش	σ
زمان کاهیده، متغیر مجازی	ξ
سرعت چرخشی	ω

زیرنویس

اولیه	$\circ$
میانگین	m
شعاعی	r
مماسی	t

بالانویس

تبدیل لاپلاس تابع	$-$
مشتق زمانی	$\cdot$

فصل اول

مقدمه

بسیاری از ماشینهای مکانیکی ناگزیر از کار در دمای بالا هستند. بعنوان مثالی از این ماشینها می‌توان از روتور و پره‌های توربین، لوله‌های بخار در بویلرها، مخازن تحت فشار و قطعات موتور درون سوز نام برد. و البته بدیهی است که قطعات این ماشینها باید بتوانند بخوبی در شرایط موجود به کار خود ادامه دهند و به سرعت فرسوده نگردند، ضمن آنکه دمای بالا معمولاً بر خواص مکانیکی مواد تأثیر زیادی می‌گذارد. از اینرو تحلیل ویسکوالاستیک این قطعات که بررسی رفتار آنها در دمای بالا است دارای اهمیت زیادی می‌باشد.

دیسک دوار یکی از قطعات مهم مکانیکی است که‌کاربردهای متعددی از جمله چرخهای گوناگون موجود در توربینهای گازی و بخاری دارد و در مباحث مکانیک مواد جامد تحلیلهای کاملی از آن ارائه شده است. اکنون در این پایان‌نامه با استفاده از یک روش تحلیلی جدید در ویسکوالاستیک سعی شده، در این زمینه پاسخهای کاملتری از تحلیلهای گذشته برای آن یافت شود. شرح کامل این روش در فصل چهارم که آخرین فصل می‌باشد آورده شده است ولی قبل از آن در فصل یک، تعاریف و توضیحات مقدماتی لازم و ضروری تشریح گردیده و در فصل دوم معادلات متشکلهٔ مواد ویسکوالاستیک که بیان کنندهٔ ذات و خصوصیات این مواد می‌باشد معرفی شده است. برای آنکه بتوان مقایسه‌ای بین روشهای پیشین و جدید بعمل آورد در فصل سوم، روش متداول قدیمی که مربوط به دههٔ ۱۹۵۰ است نیز ارائه گردیده است و البته با چنین مقایسه‌ای برتری‌های روش استفاده شده مشخص می‌شود. به همین دلیل مطلوبتر آنستکه چنین تحلیلی در صورت امکان در موارد مشابه دیگری نیز بکار گرفته شود.

۱-۱ تعریف ویسکوالاستیسیتی

تفاوت مادهٔ جامد و سیال در آنستکه اگر بر جامد نیروی برشی ثابتی وارد شود یک تغییر فرم معین، آنی و مستقل از زمان را از خود بروز می‌دهد که مجموعه‌ای از کرنشهای الاستیک (خطی برگشت‌پذیر) و پلاستیک (غیرخطی برگشت‌ناپذیر) است ولی سیال در اثر تنش برشی ثابت یک کرنش دائمی متناسب با زمان را نشان می‌دهد که به تغییر فرم ویسکوز موسوم است. گاهی مواد جامد دارای یک رفتار ویسکوز بخصوص نیز می‌شوند که در اینصورت اگر فرض شود کرنش پلاستیک وجود نداشته باشد به آن ،جامد ویسکوالاستیک می‌گویند.

فلزات به دو دلیل ممکن است که خاصیت ویسکوالاستیک پیدا کنند که در هر دو مورد واکنش فلز تقریباً یکسان می‌باشد. دلیل اول تابش اشعهٔ نوترونی بر فلز است و این مورد در رآکتورهای اتمی اتفاق می‌افتد. دلیل دوم بالا بودن نسبی دمای فلز است. در واقع با وجود آنکه فلز در هر دمایی خاصیت ویسکوالاستیک دارد ولی تنها در محدودهٔ بالاتر از $0.3T_m$ این خاصیت اهمیت پیدا می‌کند (T_m دمای ذوب فلز است). [۱]

تغییر فرم ویسکوالاستیک شباهتهای زیادی با تغییر فرم الاستوپلاستیک، بخصوص از لحاظ مکانیزم عمل در ریز ساختار دارد. تفاوت عمدهٔ ماکروسکوپیک ایندو همان عامل زمان است. از لحاظ میکروسکوپیک نیز، لغزش پلاستیک تنها به علت حرکت نابجایی‌ها در درون دانه‌ها اتفاق می‌افتد ولی در لغزش ویسکوز علاوه بر آن در مرز دانه‌ها حرکت نسبی، هم بصورت مماسی و هم عمودی وجود دارد [۲]. از شباهتهای ویسکوالاستیک و الاستوپلاستیک در برخی از مراحل تحلیلهای ویسکوالاستیک کمک گرفته می‌شود.

۱-۲ آزمایشهای خزش[۱] و رهایی تنش[۲]

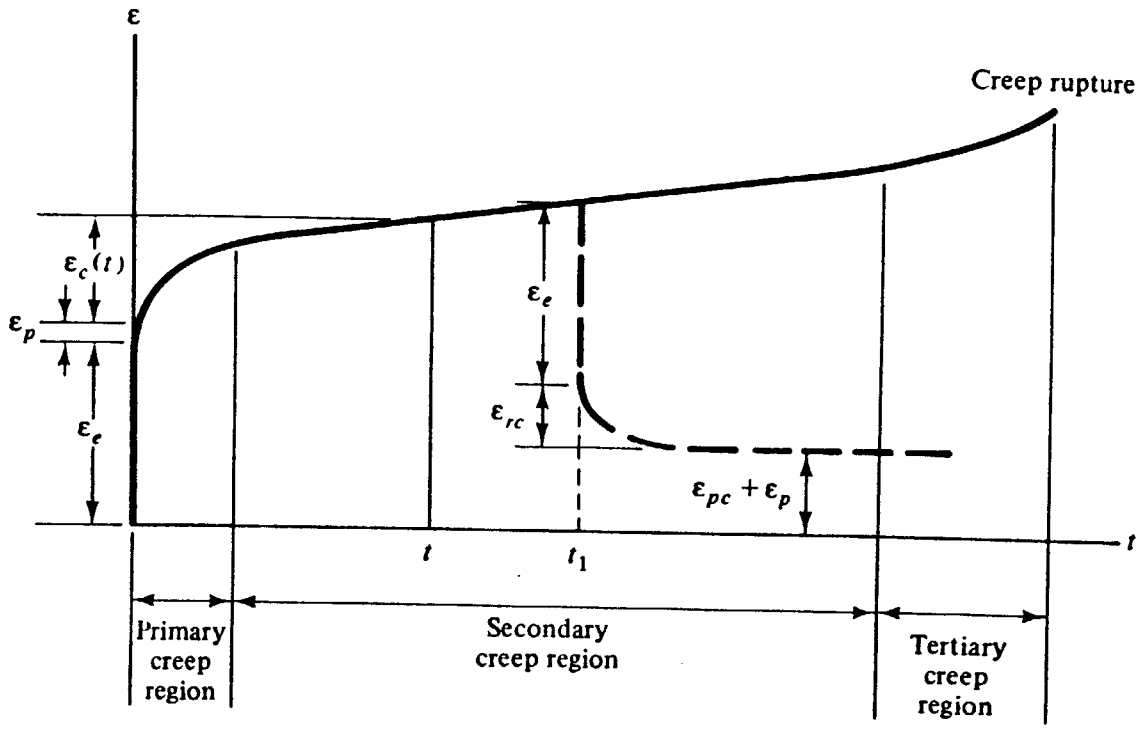
بیشتر اطلاعات تجربی که از رفتار و خواص مواد ویسکوالاستیک وجود دارد از دو آزمایش خزش و رهایی تنش بدست می‌آید. در آزمایش خزش، نمونهٔ آزمایش شونده که یک میله است در دما و تنش ثابت تحت کشش قرار می‌گیرد. در این شرایط طول میله افزایش می‌یابد و می‌توان منحنی کرنش طولی نمونه را در مقابل زمان رسم کرد (شکل(۱-۱)). آزمایش رهایی تنش بصورت معکوسی انجام می‌شود. به این ترتیب که میله را تحت یک کرنش مشخص و ثابت و تنش اولیه قرار می‌دهند. در این آزمایش تنش در طول زمان کاهش می‌یابد که منحنی آن در مقابل زمان رسم می‌شود(شکل (۱-۲)). لازم است منحنی‌های هر دو آزمایش خزش و رهایی تنش در دماهای گوناگونی رسم شوند زیرا دما بر وضعیت هر دوی آنها تأثیر مشخصی دارد. به این ترتیب می‌توان منحنی‌های کرنش - دما را نیز در زمانهای ثابت رسم کرد که در عمل مورد نیاز هستند.

بررسی منحنی‌های خزش در فلزات نشاندهندهٔ سه تحول اساسی در طول مدت خزش تا شکست نهایی است (شکل (۱-۱)). و در واقع می‌توان تمام طول خزش را به سه مرحله تقسیم کرد. این سه مرحله طبق [۱] و [۲] در زیر شرح داده می‌شوند. ضمناً بر نمونهٔ آزمایش شونده یک نیروی ثابت وارد می‌آید که از مقدار تغییر سطح نمونه در طی خزش صرفنظر شده و تنش نیز ثابت فرض می‌شود.

ابتدا کرنشهای آنی که مجموعهٔ کرنش الاستیک است ایجاد می‌گردند. سپس نخستین مرحلهٔ خزش شروع خواهد شد که عبارت است از یک خزش ناپایدار و گذرا و با آهنگ کند شونده که معمولاً نسبت به کل زمان خزش مدت بسیار کمی ادامه می‌یابد. اگر آزمایش

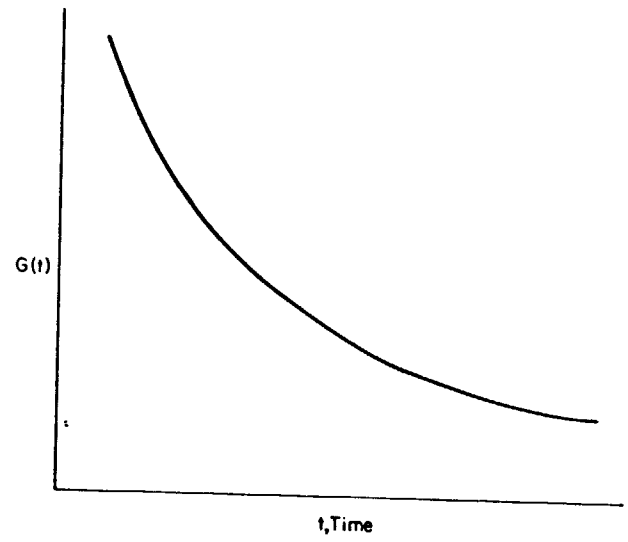
1- creep

2- relaxation



Typical creep curve.

شکل (۱-۱).منحنی خزش - زمان [۱]



شکل (۱-۲).منحنی افت تنش - زمان [۳]