

۸۱۰۶۷۰۱۲۷

دانشگاه تهران  
دانشکده فنی

۱۳۸۱ / ۲ / ۲۰

رئیس هیات مدیره  
انجمن علمی ایران

ع ۰ ۲ ۲ ۹

پایان نامه :

برای دریافت درجه کارشناسی ارشد

رشته مهندسی مکانیک - طراحی کاربردی

موضوع :

طراحی و تحلیل محور ساخته شده از مواد مرکب

COMPOSITE DRIVE SHAFT DESIGNS

استاد راهنما :

دکتر سید اسداله قاضی

توسط

مهران فخرائی لاهیجی

شهریور سال ۱۳۷۲

ع ۰ ۲ ۲ ۹

016817

تقديم به :

پدر و مادر بزرگوارم

که همواره مشوق اينجانب بوده‌اند

ع. ۲۲۹

## سپاسگزاری :

ابتدا از استاد راهنمای خود ، جناب آقای دکتر قاضوی کمال تشکر و قدردانی را به لحاظ راهنمایی و مساعدتهای بسیار ایشان در ضمن انجام رساله مذکور ابراز می دارم .

همچنین از اساتید ارجمند جناب آقای دکتر محمود موسوی و جناب آقای دکتر ناصر سلطانی که محبت فرموده و مسئولیت داوری و ارزشیابی این رساله را بعهده گرفته اند .

همچنین از دیگر اساتید ، دانشجویان و کارکنان دانشکده که به هر طریق اینجانب را یاری فرموده اند کمال تشکر را دارم .

## خلاصه :

امروزه مواد مرکب بعنوان یک ماده جایگزین شونده مواد معمولی در موارد مختلف مهندسی مطرح می باشد اما جواب این سؤال که آیا مواد مرکب انتخابی مناسب برای ساخت اعضای پیچشی هستند یا خیر احتیاج به بررسی و تحقیق دارد . در این رساله سعی شده است پارامترهای لازم برای طراحی یک محور از مواد مرکب و تاثیر خواص مکانیکی مواد مرکب بر پارامترهای طراحی بررسی شود . بدین منظور ابتدا فرکانس های طبیعی عرضی و پیچشی با استفاده از روش المان های محدود محاسبه شده و سپس کوچکترین گشتاور برای ایجاد کمانش به روش عددی تعیین می گردد . در انتها مقادیر تنش ایجاد شده در هر لایه در اثر کوئیل کاری وارد محاسبه و با مقدار تنش مجاز در هر لایه مقایسه می شود .

پس از آن تاثیر تغییر زاویه الیاف و نحوه روی هم گذاری لایه ها، تغییر قطر و طول بر فرکانس طبیعی و گشتاور بحرانی مورد بررسی قرار می گیرد . برای صحت و درستی روابط بدست آمده و صحت کارآئی نرم افزار تهیه شده به اجرائی چند مثال می پردازیم و نتایج حاصله را با مراجع مقایسه می کنیم . در انتها طرحی برای ساخت محوری از مواد مرکب لایه ای ارائه می شود و نیز پیشنهادات لازم برای رسیدن به یک طرح بهینه داده خواهد شد .

## فهرست مطالب :

۶	..... فصل اول : مقدمه
	..... فصل دوم : تحلیل پارامترهای طراحی
۸	..... ۲-۱- بررسی و تحلیل پارامترهای طراحی
۱۲	..... ۲-۲- بررسی و تحلیل استحکام پیچشی
۱۴	..... ۲-۳- بررسی و تحلیل ارتعاش عرضی
۲۱	..... ۲-۴- بررسی و تحلیل ارتعاش پیچشی
۲۷	..... ۲-۵- آنالیز گمانش محور ساخته شده از مواد مرکب
	..... فصل سوم : طراحی و تحلیل نتایج
۳۵	..... ۳-۱- طراحی
۴۱	..... ۳-۲- بررسی تغییرات جهت الیاف در پارامترهای طراحی
۴۵	..... ۳-۳- نتیجه گیری و پیشنهادات
۵۰	..... مراجع :

## نمادهای رساله

	دانسیته ( جرم در واحد حجم )
$I_1, I_2$	ممان اینرسی جرمی
$T_{cr}$	گشتاور بحرانی
$L$	طول موثر
$N$	تعداد لایه ها
$T$	گشتاور اعمالی
$W_t$	فرکانس طبیعی ارتعاش پیچشی
$W$	فرکانس طبیعی ارتعاش عرضی
$X$	بیانگر راستای محور استوانه
$1, 2$	بیانگر امتداد الیاف و عمود بر الیاف
$X_t, X_c$	استحکام پوسته در کشش و یا فشار در جهت الیاف
$Y_t, Y_c$	استحکام پوسته در کشش و فشار در جهت عمود بر الیاف
$s$	استحکام در مقابل برش
$\tilde{I}_J$	تنش در راستای الیاف و عمود بر الیاف
$X, Y, Z$	مختصات کارتزین
$r, z$	مختصات استوانه‌ای
$\tilde{i}$	تنش‌های عمودی
$T_{ij}$	تنش‌های برشی
$E_i$	گرانش‌های عمودی
$Y_{ij}$	گرانش‌های برشی
$Q_{ij}$	اجزاء ماتریس سختی
$Q_{ij}$	اجزاء ماتریس سختی تبدیل یافته
$S_{ij}$	اجزاء ماتریس زاحتی (نرمی)
$E_i$	مدول الاستیسیته محوری
$G_{ij}$	مدول الاستیسیته برشی
$v$	نسبت پواسان

زاویه الیاف ( نسبت به محور استوانه )

ضخامت لایه K ام

ضخامت کل لایه ها

tk

tk

t

## فصل اول :

### مقدمه :

در این رساله با اشاره به اهمیت و کاربرد محورهای ساخته شده از مواد مرکب در صنایع مختلف به بررسی خواص مکانیکی و پارامترهای تاثیر گذار در طراحی محور مذکور می پردازیم . مواد مرکب ( Composite material ) برای ساخت محورها در زمانی که صرفه جویی در وزن مد نظر باشد و یا اینکه نتوان از مواد معمولی استفاده نمود ، بکار گرفته می شوند . محورهای ساخته شده از مواد مرکب در چند دهه اخیر در صنایع هوانی ، هلیکوپترسازی و وسایل حمل و نقل مورد استفاده زیادی پیدا کرده اند .

محورهای پیچشی علی رغم ظاهر ساده شان ، یک قطعه پیچیده جهت طراحی بحساب می آیند ، چرا که باید بطور همزمان تعدادی از محدودیت های طراحی را اقلان نمایند که با یکدیگر متناقض می باشند ، یعنی باید فرکانس های طبیعی خمشی آن خارج از محدوده سرعت های کاری بوده و نیز بایستی گشتاورهای اعمال شده را بدون کسختگی و کماتش پیچشی تحمل نمایند . این اعمال همگی باید تحت حداقل وزن و پائین بودن هزینه تامین گردند . با در دست داشتن مواد معمول مثل فولاد و آلومینیوم ، قطر و ضخامت دیواره محور می تواند بمنظور بهینه سازی طراحی تغییر نماید ، ولی در مواد مرکب نه تنها می توان دو عامل بالا را تغییر داد بلکه با تغییر نوع الیاف ، ماتریس و تغییر جهت زوایای الیاف و تعداد لایه ها و نحوه قرار گیری آنها روی هم به طرحی مطلوب دست یافت ، اما نباید فراموش کرد که این عوامل خود نیز می توانند باعث پیچیده تر شدن طراحی گردند . (۱)

نحوه برخورد با مسئله طراحی محورهای ساخته شده از مواد مرکب تحت بار پیچشی توسط Plumber Bery بررسی شده است . (۲)

مقاله فوق برای تشریح مراحل طراحی خود مشابه روش Abrate (۱) رفتار کرده که در آن پوسته سیلندری را به عنوان یک ماده اورتوتروپیک فرض نموده و مدول های ظاهری برای آن تعیین می نماید . همچنین یک فاکتور سختی تعریف کرده که توانایی برآورده ساختن نیازهای طراحی بوسیله این مواد را مشخص می کند .



در این رساله ابتدا ابعاد محور را با استفاده از روابط تقریبی مرجع (1) حدس می زنیم ، سپس مقادیر فرکانس های طبیعی عرض ، پیچشی محور بوسیله روش المان محدود تعیین گشته و با محدوده سرعت کاری محور مقایسه می شود . پس از تعیین فرکانس های طبیعی ، مقدار گشتاور بحرانی محاسبه میشود، برای طراحی قابل اجراء این گشتاور می بایست بزرگتر از گشتاور کاری وارد بر محور باشد .

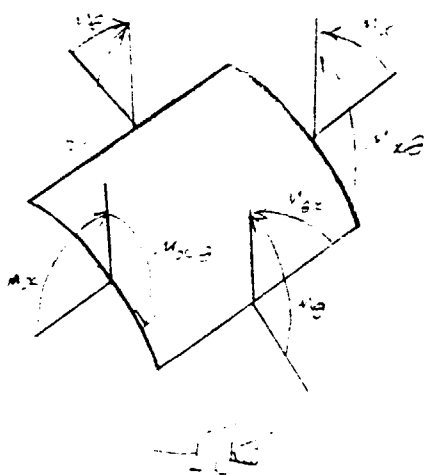
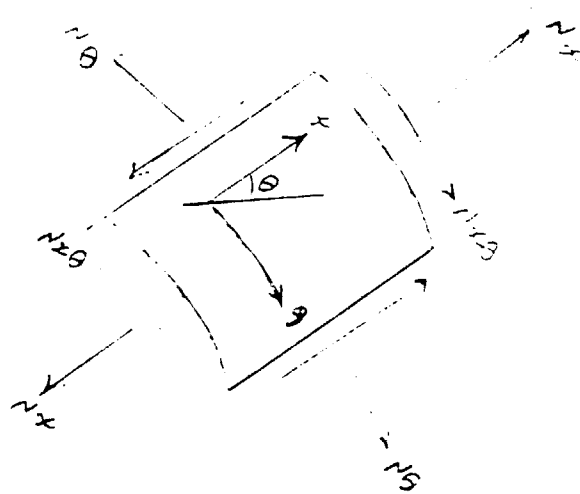
پس از تعیین قطر شافت و بار بحرانی به تعیین تنش در هر لایه می پردازیم ، تحلیل تنش با توجه به معیارهای Tsui-Hill و ماکزیمم تنش نرمال انجام می شود و با استفاده از تئوری شکست اولین لایه ، شکست محور را مورد بررسی قرار می دهیم .

در انتها نمونه کاربردی از محور ساخته شده از مواد مرکب با استفاده از از نرم افزار تهیه شده بر مبنای معادلات بدست آمده محاسبه شده و نتایج آن با مراجع مقایسه می گردد .

## فصل دوم

تحلیل پارامتر های طراحی

در این بخش روشهای بکار رفته جهت بررسی محور های چرخان تشریح شده است . ابتدا استحکام پیچشی مورد تجزیه و تحلیل قرار می گیرد که در آن محور را به عنوان یک پوسته سیلندری جدار نازک بلند مدل سازی می کنیم سپس فرکانسهای طبیعی برای ارتعاش عرضی و پیچشی یک محور بررسی می گردد و نیز تنشها در هر لایه تعیین گشته و با معیار شکست مقایسه می گردد .



روزانه‌هاست در آن هم ایران  
تجربیه مرکز

## رفتار کلی محور

المانی از یک محور ساخته شده از ماده مرکب در شکل (۱) نشان داده شده است . نیروهای داخلی شامل نیروهای غشائی ، نیروهای برشی عرضی و ممان های خمشی و ممان های پیچشی در آن مشخص شده است .

برای یک المان سلندری ، کرنشهای  $\epsilon_x$  و  $\epsilon_{x\theta}$  را بر حسب

مؤلفه های تغییر مکان سطح میانی پوسته گوندز بر می توان نوشت :

$$\epsilon_x = \epsilon'_x + z k_x$$

$$\epsilon_{x\theta} = \epsilon'_{x\theta} + z k_{x\theta}$$

۲-۱-۱ ا

$$\epsilon_{x\theta} = \epsilon'_{x\theta} + z k_{x\theta}$$

که در آن کرنشهای سطح میانی و انحنا ی بصورت ذیل تعریف می شود :

$$\epsilon'_x = u, x$$

$$\epsilon'_{x\theta} = \frac{1}{a} (v, \theta + w)$$

۲-۱-۱ ب

$$\epsilon'_{x\theta} = \frac{u, \theta}{a} + v, x$$

و

$$k_x = -u, xx$$

$$k_{x\theta} = -\frac{1}{a^2} u, \theta\theta$$

۲-۱-۱ ج

$$k_{x\theta} = -\frac{2}{a} u, x\theta$$

سطح مقطع نشان داده شده در شکل (۱) از  $n$  لایه ماده مرکب تشکیل شده است که رابطه بین تنش - منتهجه تنش برای المانی از پوسته سیلندری به قرار زیر می باشد. (۳ و ۴)

$$U_x = \sum_{k=1}^n \frac{h_k}{h_{k-1}} \left( 1 + \frac{Z}{a} \right) dz$$

$$U_\theta = \sum_{k=1}^n \frac{h_k}{h_{k-1}} \sigma_\theta \left( 1 + \frac{Z}{a} \right) dz$$

$$U_{x\theta} = \sum_{k=1}^n \frac{h_k}{h_{k-1}} \sigma_{x\theta} \left( 1 + \frac{Z}{a} \right) dz$$

$$U_{\theta x} = \sum_{k=1}^n \frac{h_k}{h_{k-1}} \sigma_{\theta x} dz$$

۲-۱-۲

$$M_x = \sum_{k=1}^n \frac{h_k}{h_{k-1}} \sigma_x \left( 1 + \frac{Z}{a} \right) Z dz$$

$$M_\theta = \sum_{k=1}^n \frac{h_k}{h_{k-1}} \sigma_\theta Z dz$$

$$M_{x\theta} = \sum_{k=1}^n \frac{h_k}{h_{k-1}} \sigma_{x\theta} \left( 1 + \frac{Z}{a} \right) Z dz$$

$$M_{\theta x} = \sum_{k=1}^n \frac{h_k}{h_{k-1}} \sigma_{\theta x} Z dz$$

$N_x$	$A_{11}+B_{11}/a$	$A_{12}+B_{12}/a$	$A_{16}+E_{16}/a$	$B_{11}+D_{11}/a$	$B_{12}+D_{12}/a$	$B_{16}+D_{16}/a$	$\epsilon_x$
$N_\theta$	$A_{21}$	$A_{22}$	$A_{26}$	$B_{21}$	$D_{22}$	$E_{26}$	$\epsilon_\theta$
$N_{x\theta}$	$A_{66}+B_{66}/a$	$A_{62}+B_{62}/a$	$A_{66}+B_{66}/a$	$B_{61}+D_{61}/a$	$B_{62}+D_{62}/a$	$B_{66}+D_{66}/a$	$\epsilon_{x\theta}$
$M_x$	$A_{61}$	$A_{62}$	$A_{66}$	$B_{61}$	$B_{62}$	$B_{66}$	$\epsilon_{\theta x}$
$M_\theta$	$B_{11}+D_{11}/a$	$B_{12}+D_{12}/a$	$B_{16}+D_{16}/a$	$D_{11}+F_{11}/a$	$D_{12}+F_{12}/a$	$D_{16}+F_{16}/a$	$K_x$
$M_{x\theta}$	$E_{21}$	$E_{22}$	$E_{26}$	$D_{21}$	$D_{22}$	$D_{26}$	$K_\theta$
$M_{\theta x}$	$B_{61}+D_{61}/a$	$B_{62}+D_{62}/a$	$B_{66}+D_{66}/a$	$D_{61}+F_{61}/a$	$D_{62}+F_{62}/a$	$D_{66}+F_{66}/a$	$K_{x\theta}$
	$B_{66}$	$B_{62}$	$B_{66}$	$D_{61}$	$D_{62}$	$D_{66}$	$K_{\theta x}$

۲-۱-۳

$$A_{ij} = \sum_{k=1}^n \bar{Q}_{ij}^{(k)} (h_{(k)} - h_{(k-1)})$$

$$B_{ij} = \sum_{k=1}^n \bar{Q}_{ij}^{(k)} (h_{(k)} - h_{(k-1)})$$

$$D_{ij} = \sum_{k=1}^n \bar{Q}_{ij}^{(k)} (h_{(k)} - h_{(k-1)})$$

$$F_{ij} = \sum_{k=1}^n \bar{Q}_{ij}^{(k)} (h_{(k)} - h_{(k-1)})$$

۲-۱-۳

کد  $\bar{\sigma}_{ij}$ ،  $\bar{\epsilon}_{ij}$  تخی گس و خسر می باشد و  $\bar{\sigma}_{ij}$  ضراب رابطی گس - خسر در لامنت (Laminate) اصعدای نامنتارن و  $\bar{\epsilon}_{ij}$  ضراب رابطی گس - خسر در لامنت پوسته ای نامنتارن می باشد.

ماتریس های توی همگی منتارن می باشند زیرا ماتریس  $\bar{\sigma}_{ij}$  منتارن است و در صورتی کد لامنت منتارن باشد حاصل ماتریس های  $\bar{\epsilon}_{ij}$  و  $\bar{\sigma}_{ij}$  مبرمی گردد (۶).

### ۲-۲- استخکا مپیچی

حال تنر های موجود در لاید  $\kappa$  توسط معادل دز برداده می شود :

$$\begin{matrix} \bar{\sigma}_{11} & \bar{\sigma}_{12} & \bar{\sigma}_{13} \\ \bar{\sigma}_{21} & \bar{\sigma}_{22} & \bar{\sigma}_{23} \\ \bar{\sigma}_{31} & \bar{\sigma}_{32} & \bar{\sigma}_{33} \end{matrix} = \begin{matrix} \bar{\epsilon}_{11} & \bar{\epsilon}_{12} & \bar{\epsilon}_{13} \\ \bar{\epsilon}_{21} & \bar{\epsilon}_{22} & \bar{\epsilon}_{23} \\ \bar{\epsilon}_{31} & \bar{\epsilon}_{32} & \bar{\epsilon}_{33} \end{matrix} \quad 2-2-1$$

که در آن  $\bar{\sigma}_{ij}$  ماتریس تبدیل یا تبدختی می باشد. حال تنر های اصلی

وابعر روی محورهای اصلی ساده‌تبار را داریم:

$$\begin{aligned} \frac{1}{\sqrt{2}} \begin{pmatrix} x_1 \\ x_2 \end{pmatrix} &= \frac{1}{\sqrt{2}} \begin{pmatrix} \cos^2 \theta & \sin^2 \theta \\ \sin^2 \theta & \cos^2 \theta \end{pmatrix} \begin{pmatrix} x_1 \\ x_2 \end{pmatrix} + \frac{1}{\sqrt{2}} \begin{pmatrix} 2\sin\theta\cos\theta \\ -2\sin\theta\cos\theta \end{pmatrix} \begin{pmatrix} x_1 \\ x_2 \end{pmatrix} \\ &= \frac{1}{\sqrt{2}} \begin{pmatrix} \cos^2 \theta & \sin^2 \theta \\ \sin^2 \theta & \cos^2 \theta \end{pmatrix} \begin{pmatrix} x_1 \\ x_2 \end{pmatrix} + \frac{1}{\sqrt{2}} \begin{pmatrix} \sin 2\theta \\ -\sin 2\theta \end{pmatrix} \begin{pmatrix} x_1 \\ x_2 \end{pmatrix} \\ &= \frac{1}{\sqrt{2}} \begin{pmatrix} \cos^2 \theta & \sin^2 \theta \\ \sin^2 \theta & \cos^2 \theta \end{pmatrix} \begin{pmatrix} x_1 \\ x_2 \end{pmatrix} + \frac{1}{\sqrt{2}} \begin{pmatrix} \sin 2\theta \\ -\sin 2\theta \end{pmatrix} \begin{pmatrix} x_1 \\ x_2 \end{pmatrix} \end{aligned}$$

با دانستن مقدار رتس در هر کدام از لابدها، گسختی بود  
 استفاده از معیار اولسن شکت لابدهست می آید. بدین ترتیب گسختی  
 می شود. پوستد زمانی به حالت شکت می رسد که اولسن لابده آن گسختند  
 گردد. تشخیص شکت هر لابده با استفاده از هر معیار مناسبی از شکت انجام  
 می شود.

با استفاده از تئوری ماکزیمم تنش، لابده وقتی بد شکت می رسد که

هر کدام از حالات زیر اتفاق افتد: (۳)

برای تنش های کششی داریم:

$$\sigma_1 = \frac{\sigma}{2} + \tau$$

$$\sigma_2 = \frac{\sigma}{2} - \tau$$

۲-۲-۳

$$\sigma_3 = \frac{\sigma}{2} - 5$$