دانشکده فنی مهندسی مکانیک
گروه مهندسی ساخت و تولید

پایان نامه

برای دریافت درجه کارشناسی ارشد در رشته مهندسی مکانیک – ساخت و تولید

عنوان

بررسی تجربی و تحلیلی تاثیر نیروی ورق گیر پالسی در فرآیند کشش عمیق قطعات چهارگوش

استاد راهنما

دکتر امیر مصطفی پور اصل

استاد مشاور

دکتر محمد زهساز

پژوهشگر

ستار آهنگر دیبازر

شهریور ۱۳۸۹

بسم الله الرحمن الرحيم

به پاس تعبیر عظیم و انسانی شان از کلمه ایثار و از خودگذشتگی

به پاس عاطفه سرشار و گرمای امید بخش وجودشان که در این سردترین روزگاران بهترین پشتیبان است

به پاس قلب های بزرگشان که فریادرس است و سرگردانی و ترس در پناهشان به شجاعت می گراید

و به پاس محبت های بی دریغشان که هرگز فروکش نمی کند

تقدیم به:

پدر دلسوزم

و

مادر مهربانم

و برادر عزیزم

تقدیر و تشکر

شکر و سپاس بیکران خداوند رحمان را که توفیق انجام و تکمیل این پایاننامه را به بنده حقیر بخشود. در اینجا لازم می دانم از زحمات پدر و مادر گرامی ام و برادر عزیزم که در دوران تحصیل همواره مشوق و پشتیبان اینجانب بوده انده و بدون دلگرمی و پشتیبانی آنان رسیدن بنده حقیر به این مرحله میسر نمی بود، کمال تشکر و سپاسگزاری را بنمایم. همچنین از زحمات بی‌دریغ، تلاش‌های بی‌وقفه و راهنمایی‌های ارزشمند استاد ارجمند جناب آقای دکتر امیر مصطفی پور اصل که در طول یک سال گذشته با راهنمایی های خود در راستای انجام این پروژه راهگشای اینجانب بوده اند کمال تشکر و سپاسگزاری را دارم. در ادامه لازم می دانم از زحمات استاد گرامی جناب آقای دکترمحمد زهساز که در انجام این تحقیق از کمکها و ایده های شایان و ارزشمند ایشان بهره بردم، تشکر و قدردانی نمایم. همچنین از دوستان عزیزم، آقای مهندس کریمانی و آقای مهندس امیر اکبری که در انجام آزمایشات تجربی این تحقیق بنده را یاری نمودند، کمال تشکر را بنمایم. در پایان از خداوند منان طول عمر با عزت و پر برکت برای عزیزان نام برده در بالا و کلیه کسانیکه در دوران تحصیل همواره مشوق و پشتیبان اینجانب بوده اند، را خواهانم.

با تشکر

ستار آهنگردیبازر

شهریور ماه ۱۳۸۹

نام خانوادگی دانشجو : آهنگر دیبازر **نام :** ستار

عنوان پایان نامه: بررسی تجربی و تحلیلی تاثیر نیروی ورق گیر پالسی در فرآیند کشش عمیق قطعات چهارگوش

استاد راهنما : دکتر امیر مصطفی پور

استاد مشاور : دکتر محمد زهساز

مقطع تحصیلی : کارشناسی ارشد **رشته :** مهندسی مکانیک **گرایش :** ساخت و تولید

دانشگاه : تبریز **دانشکده :** فنی و مهندسی مکانیک

تاریخ فارغ التحصیلی : شهریورماه ۱۳۸۹ تعداد صفحه : ۱۴۱

چکیده

امروزه در شکل دهی ورق های فلزی افزایش نیاز و تقاضا برای کشش عمیق قطعات و اجزاء سبک وزن با ضخامت بسیار کم و اشکال پیچیده دیده می شود، این در حالی است که آلیاژهای سبک فلزی مانند آلومینیوم و منیزیم که علیرغم سبک وزن بودن و استحکام بالا دارای قابلیت ضعیف شکل دهی هستند، مشکلاتی را در استفاده از فرآیند کشش عمیق در جهت شکل دهی این دسته از مواد بوجود می آورند. تحقیقات انجام یافته در این پایان نامه نشان می دهد که استفاده از مکانیزم ورقگیر ارتعاشی که باعث ایجاد حرکت رفت و برگشتی ورقگیر در حین فرآیند کشش عمیق می شود، می تواند در افزایش قابلیت شکل پذیری ورق آلومینیومی نوع ۱۰۵۰ مفید باشد. بوسیله این ورقگیر، در هر سیکل ابتدا نیروی ورقگیر با بلند شدن ورقگیر از روی ورق حذف می شود که اجازه ی سیلان راحت ماده به داخل حفره را می دهد. سپس با اعمال نیروی فنرها و پایین آمدن ورقگیر و اعمال دوباره نیروی ورقگیر، از سیلان بیش از حد ورق به داخل حفره ی قالب و چروکیدگی قطعه جلوگیری می کند. در این پایان نامه به بررسی تأثیر استفاده از مکانیزم ورقگیر ارتعاشی برروی قابلیت شکل پذیری ورق آلومینیومی به ضخامت یک میلی متر با کمک روش اجزاء محدود و با استفاده از کد ABAQUS پرداخته شده است. برای معتبر سازی نتایج حاصل از شبیه سازی المان محدود، آزمایشات تجربی فرآیند کشش عمیق، نیز صورت گرفته است. تحقیقات انجام شده در این راستا نشان می دهد که با استفاده از یک چنین سیستمی می توان عمق و حد نسبت کشش را افزایش داد، که نقش پارامترهایی چون دامنه نوسان و فرکانس نوسانی در نتایج حاصله انکار ناپذیر است. بررسی های انجام یافته، نشان دهنده تطابق خوب نتایج حاصل از شبیه سازی المان محدود فرآیند کشش عمیق و آزمایشات تجربی است.

کلید واژه : *فرآیند کشش عمیق، قطعات چهارگوش، روش اجزاء محدود، مکانیزم ورقگیر ارتعاشی، کد ABAQUS*

فهرست مطالب

عنوان صفحه

بخش اول – مقدمه و بررسی منابع

فصل اول – مقدمه ای بر پایان نامه و پیشینه ی تحقیق

۱-۱ مقدمه ۲

۱-۲ شکل دهی فلزات ۵

۱-۲-۱ فرآیند کشش عمیق ۶

۱-۳ پژوهش های انجام شده پیرامون کشش عمیق ۸

۱-۳-۱ مرور پژوهش های مبتنی بر روش های تجربی در فرآیند کشش عمیق رایج ۸

۱-۳-۲ مرور پژوهش های مبتنی بر روش های عددی در فرآیند کشش عمیق رایج ۹

۱-۳-۳ پژوهش های انجام شده در زمینه بهینه سازی سیستم ورقگیر و کاربرد ارتعاشات ۱۲

۱-۴ آنالیز مودال ۱۹

فصل دوم – فرآیند کشش عمیق و روابط حاکم بر آن

۲-۱ مقدمه ۲۲

۲-۲ تحلیلی بر رفتار ورق در فرآیند کشش عمیق ۲۴

۲-۲-۱ بررسی تنش های ایجاد شده در حین فرآیند کشش عمیق ۲۶

۲-۲-۲ بررسی کرنش های ایجاد شده در حین فرآیند کشش عمیق ۳۴

۲-۲-۳ بررسی نیروی کششی مورد نیاز در حین فرآیند کشش عمیق ۳۷

۲-۲-۴ فشار ورقگیر ۴۱

۲-۲-۵ نیروی کششی مجاز ۴۱

۲-۲-۶ نمودار کورس سنبه- نیرو و کار کششی ۴۲

۲-۲-۷ راندمان تغییر شکل ۴۳

۲-۲-۸ ترک و حد نسبت کشش ۴۴

۲-۲-۹ تأثیر ناهمسانگردی برروی کشش عمیق ۴۷

۲-۲-۱۰ چروکیدگی ورق در فرآیند کشش عمیق ۵۱

بخش دوم – مواد و روشها

فصل سوم - مواد، تجهیزات و روشهای انجام آزمایشات تجربی

۳-۱ مقدمه ۵۳
۳-۲ آزمایشات تجربی ۵۳
۳-۲-۱ معرفی دستگاه ها و تجهیزات استفاده شده در فرآیند کشش عمیق ۵۳
۳-۲-۱-۱ دستگاه پرس ۵۳
۳-۲-۱-۲ قالب کشش عمیق و مکانیزم لازم جهت ایجاد حرکت نوسانی ورقگیر ۵۵
۳-۲-۱-۲-۱ نحوه تنظیم اولیه دامنه ارتعاش برای انجام آزمایشات ارتعاشی ۵۸
۳-۲-۲ مشخصات ورق مورد استفاده ۶۲
۳-۲-۳ طراحی قالب کشش عمیق ۶۵
۳-۲-۳-۱ تعیین شعاع لبه ها و کف سنبه ۶۵
۳-۲-۳-۲ تعیین شعاع لبه ها و کف ماتریس ۶۷
۳-۲-۳-۳ محاسبه ی ماکزیمم طول بلانک اولیه برای حالت ورقگیر استاتیکی ۶۷
۳-۲-۳-۴ محاسبه ی ماکزیمم عمق تئوری برای بلانک ۵۰ میلیمتر ۶۸
۳-۲-۳-۵ محاسبه ی ماکزیمم نیروی مجاز ورقگیر ۶۹
۳-۲-۳-۶ محاسبه ی ضریب سختی فنر برای انتخاب فنر مناسب ۷۱
۳-۲-۳-۷ محاسبه ی نیروی کششی مورد نیاز در حین فرآیند کشش عمیق ۷۲
۳-۲-۴ انجام تستهای تجربی کشش عمیق ۷۴
۳-۲-۴-۱ آزمایشات کشش عمیق با کمک ورقگیر استاتیکی ۷۴
۳-۲-۴-۲ آزمایشات کشش عمیق با کمک ورقگیر ارتعاشی ۷۷
۳-۲-۴-۳ آماده سازی نمونه ها جهت بررسی توزیع ضخامت ۸۱
۳-۲-۵ آنالیز پاسخ عملکردی سازه ۸۴

فصل چهارم – شبیه سازی فرآیند کشش عمیق به روش عددی

۴-۱ مقدمه ۸۸
۴-۲ روش اجزاء محدود ۹۰

۴-۲-۱ تقریب های هندسی ۹۰
۴-۲-۲ ساده سازی از طریق تقارن ۹۱
۴-۲-۳ انتخاب نوع، اندازه و تعداد المان ها ۹۲
۴-۲-۴ شکل و اعوجاج المان ها ۹۳
۴-۲-۵ طراحی و ریز نمودن نمونه ۹۳
۴-۳ روش اجزاء محدود غیرخطی در حل عددی فرآیندهای شکل دهی فلزات ۹۴
۴-۴ بررسی روش های حل صریح و ضمنی ۹۵
۴-۴-۱ حل صریح ۹۶
۴-۴-۲ حل ضمنی ۹۷
۴-۴-۳ مقایسه حل های صریح و ضمنی ۹۸
۴-۵ کاربرد روش صریح ۹۹
۴-۵-۱ شرط پایداری در حل صریح ۹۹
۴-۵-۲ مفاهیم زمان در روش اجزای محدود صریح دینامیکی ۱۰۰
۴-۶ تعادل انرژی ۱۰۱
۴-۷ شبیه سازی فرآیند کشش عمیق با ورقگیر استاتیکی و نوسانی ۱۰۲
۴-۷-۱ مدلسازی سه بعدی اجزاء قالب و ورق و تعریف خصوصیات آنها ۱۰۲
۴-۷-۲ تعریف تعداد مراحل و نوع حل مسئله ۱۰۳
۴-۷-۳ تعریف ضریب اصطکاک سطوح تماس اجزاء ۱۰۳
۴-۷-۴ تعریف شرایط مرزی ۱۰۴
۴-۷-۵ مش بندی مدل ۱۰۵
۴-۷-۶ حل مسئله ۱۰۶
۴-۷-۶-۱ تحلیل عددی فرآیند کشش عمیق با ورقگیر استاتیکی ۱۰۶
۴-۷-۶-۲ تحلیل عددی فرآیند کشش عمیق با ورقگیر ارتعاشی ۱۰۸

بخش سوم – بحث و نتایج

فصل پنجم - بحث و نتیجه گیری

۵-۱ مقدمه ۱۱۴
۵-۲ نتایج اولیه آزمایشات تجربی و شبیه سازی فرآیند کشش عمیق قطعات چهارگوش ۱۱۴
۵-۲-۱ مقایسه نتایج حاصل از فرآیند کشش عمیق با ورقگیر استاتیکی ۱۱۴
۵-۲-۲ مقایسه نتایج حاصل از فرآیند کشش عمیق با ورقگیر ارتعاشی ۱۱۶
۵-۲-۳ مقایسه نتایج حاصل از فرآیند کشش عمیق با ورقگیر استاتیکی و ارتعاشی ۱۱۸
۵-۳ تاریخچه زمانی تغییر ضخامت بحرانی ترین المانها ۱۲۰
۵-۴ توزیع ضخامت ۱۲۴
۵-۵ فرکانس بهینه ۱۲۷
۵-۶ ماکزیمم حد نسبت کشش ۱۲۹
۵-۷ دامنه نوسان ورقگیر نوسانی ۱۳۲
۵-۸ تأثیر استفاده از ورقگیر نوسانی بر نیروی وارده از طرف سنبه ۱۳۳
۵-۹ نتایج حاصل از آنالیز پاسخ عملکردی سازه ۱۳۴
۵-۱۰ نتیجه گیری ۱۳۷
۵-۱۱ پیشنهادات ۱۳۸
منابع مورد استفاده ۱۳۹
پیوست

فهرست جداول

شماره جدول صفحه

جدول ۱-۱. تقسیم بندی روشهای شکل دهی مختلف در استاندارد DIN 8580 ..... ۵

جدول ۲-۱. مقادیر تقریبی ماکزیمم حد نسبت کشش برای شماری از مواد ۴۵

جدول ۳-۱. ابعاد هندسی اجزاء قالب و ورق مورد استفاده ۶۰

جدول ۳-۲. مشخصات مکانیکی ورق آلیاژ آلومینیوم ۶۴

جدول ۳-۳. درصد وزنی عناصر تشکیل دهنده ورق آلومینیومی ۶۴

جدول ۳-۴. مقادیر تقریبی ماکزیمم حد نسبت کشش برای شماری از مواد ۶۷

جدول ۳-۵. ارتفاع پیش بینی شده برای هر کدام از بلانکهای اولیه ۷۵

فهرست شکلها و نمودارها

شماره شکل صفحه

شکل ۱-۱. شماتیک فرآیند کشش عمیق ۷

شکل ۱-۲. چگونگی قرار گیری بلانک اولیه روی ماتریس در جهات کریستالی مختلف ۱۱

شکل ۱-۳. اولین نمونه از ترمز طراحی شده بر روی ورقگیر..... ۱۲

شکل ۱-۴. تأثیر ارتعاش ۲۸ هرتز بروی حد نسبت کشش..... ۱۳

شکل ۱-۵. شماتیکی از سنبه با دو لبه منحنی وار..... ۱۴

شکل ۱-۶. مشخات ابعاد ترمز طراحی شده توسط آقای کومار و همکارانش ۱۴

شکل ۱-۷. شماتیکی از قالب با ورقگیر چند نقطه ای ۱۵

شکل ۱-۸. شماتیکی از روش کنترل نیروی ورقگیر متغیر ۱۷

شکل ۱-۹. قالب و سیستم پالسی مورد استفاده توسط هیندوجا و شیراز علی ۱۸

شکل ۱-۱۰. مدل شبیه سازی شده توسط مصطفی پور و دادخواه ۱۸

شکل ۱-۱۱. مجموعه اندازه گیری با تحریک چکش ۱۹

شکل ۱-۱۲. مجموعه اندازه گیری با تحریک ارتعاشی ۲۰

شکل ۲-۱. شماتیکی از نحوه ی تشکیل قطعه تو خالی ۲۲

شکل ۲-۲. شماتیک ساده از سیستم سنبه، قالب و ورقگیر ۲۳

شکل ۲-۳. جهات تنشهای ایجاد شده در فرآیند کشش عمیق ۲۴

شکل ۲-۴. نمونه ای از رفتار ماده ی شکل پذیر در مقابل نیروهای فشاری و کششی ۲۶

شکل ۲-۵. شماتیکی از یک فرآیند کشش عمیق تک مرحله ای ۲۶

شکل ۲-۶. موقعیت پارامترهای مورد استفاده در روابط بر روی قطعات را نشان می دهد ۲۸

شکل۲-۷. مراحل مختلف کشش در فرآیند کشش عمیق ۲۸
شکل ۲-۸. شرایط اصطکاک در شعاع قالب ۳۱
شکل ۲-۹. خمش و بازخمش در شعاع قالب ۳۲
شکل۲-۱۰. توزیع کرنش در امتداد مسیر معین ۳۴
شکل ۲-۱۱. محدوده بیشترین کرنش و نازک شدگی ایجاد شده در فرآیند کشش عمیق ۳۵
شکل ۲-۱۲. حکاکی شبکه برای تعیین مقدار کرنش در قسمتهای مختلف قطعه ۳۶
شکل ۲-۱۳. جداول محاسبه فشار ورقگیر مورد نیاز برای کشش ۴۱
شکل ۲-۱۴. نمودار نیرو- کورس سنبه طی یک مرحله فرآیند کشش ۴۲
شکل۲-۱۵. تأثیر ضریب ناهمسانگردی نرمال برروی حد نسبت کشش ۴۷
شکل ۲-۱۶. رابطه سطح تسلیم با ضریب ناهمسانگردی ۴۸
شکل ۲-۱۷. شماتیکی از وضعیت تنش در طول فرآیند کشش عمیق ۴۹
شکل ۲-۱۸. توزیع مقدار r نسبت به زاویه نورد ۵۰
شکل ۲-۱۹. تأثیر ناهمسانگردی صفحه ای ۵۰
شکل ۳-۱. دستگاه کشش- فشار مورد استفاده جهت انجام آزمایشات کشش عمیق ۵۴
شکل ۳-۲. واحد ترسیم نمودارهای نیرو- جابجایی دستگاه کشش- فشار ۵۴
شکل ۳-۳. فرم بادامک مورد استفاده جهت ایجاد حرکت خطی رفت و برگشتی ۵۶
شکل ۳-۴. جزئیات هندسی بادامک ۵۶
شکل ۳-۵. منحنی بادامک به ازای یک دور چرخش شافت ۵۷
شکل ۳-۶. تنظیم اولیه موقعیت ورقگیر ۵۹
شکل ۳-۷. موقعیت ورقگیر پس از ۱۸۰ درجه چرخش شافت ۵۹
شکل ۳-۸. جزئیات قالب و سیستم بادامک و پیرو ۶۰
شکل ۳-۹. اشکال شماتیکی از سنبه و ماتریس ۶۱

شکل ۳-۱۰. قالب کشش عمیق به همراه سیستم بادامک، موتور الکتریکی و اینورتر ۶۱
شکل ۳-۱۱. قالب کشش عمیق و دیگر تجهیزات سوار شده برروی پرس ۶۲
شکل ۳-۱۲. نمونه های تهیه شده جهت انجام تست کشش ۶۲
شکل ۳-۱۳. دستگاه تست کشش و متعلقات آن در حین انجام تست ۶۳
شکل ۳-۱۴. نمونه کشیده شده در دستگاه تست کشش ۶۳
شکل ۳-۱۵. نمودار تنش-کرنش حقیقی ورق آلیاژ آلومینیومی ۱۰۵۰ ..... ۶۳
شکل ۳-۱۶. نمای شماتیکی از ابعاد سنبه و بلانک اولیه در کشش قطعات مستطیلی ۶۵
شکل ۳-۱۷. طراحی شعاع سنبه با نسبت ۶ و ۲ ..... ۶۶
شکل ۳-۱۸. بلانکهای اولیه آماده شده ۶۸
شکل ۳-۱۹. نمایش شماتیکی منطقه تحت فشار در بلانک ۵۰ × ۵۰ میلیمتر ۷۰
شکل ۳-۲۰. فنر های سبز انتخاب شده برای استفاده در ساخت قالب ۷۱
شکل ۳-۲۱. ساعت اندازه گیری مورد استفاده در آزمایشات ۷۵
شکل ۳-۲۲. تصاویر کشش بلانک ۵۰ × ۵۰ میلیمتر تا عمقهای مختلف ۷۶
شکل ۳-۲۳. نمونه های تحت کشش با ورقگیر استاتیکی ۷۶
شکل ۳-۲۴. واحد ترسیم و نمایش مقدار نیرو بر روی دستگاه ۷۷
شکل ۳-۲۵. تصویر دور سنج ساخت شرکت *DEUMO* ۷۸
شکل ۳-۲۶. عیب قرارگیری نامناسب ورق در اثر ارتعاش ورقگیر ۷۸
شکل ۳-۲۷. نمونه های تحت کشش با ورقگیر ارتعاشی ۷۹
شکل ۳-۲۸. بلانک ۵۵ ×۵۵ میلیمتر در دو حالت استاتیکی و ارتعاشی ۸۰
شکل ۳-۲۹. بلانک ۶۰ ×۶۰ میلیمتر در دو حالت استاتیکی و ارتعاشی ۸۰
شکل ۳-۳۰. مقایسه کشش بلانک ۵۵ ×۵۵ میلیمتر در فرکانسهای مختلف ۸۱
شکل ۳-۳۱. مقایسه کشش بلانک ۶۰ ×۶۰ میلیمتر در فرکانسهای مختلف ۸۱

شکل ۳-۳۲. نمونه های تهیه شده جهت بررسی توزیع ضخامت ۸۲
شکل ۳-۳۳. نمونه ها در حال برش توسط دستگاه وایرکات..... ۸۲
شکل ۳-۳۴. شکل نهایی نمونه ها بعد از برش توسط دستگاه وایرکات ۸۲
شکل ۳-۳۵. دستگاه اندازه گیری پروژکتور نوری ساخت شرکت *AROS* ۸۳
شکل ۳-۳۶. تعدادی از قطعات حاصل از آزمایشات تجربی بدون پارگی ۸۳
شکل ۳-۳۷. تعدادی از قطعات حاصل از آزمایشات تجربی ۸۳
شکل ۳-۳۸. تصاویر سنسور و سیستم تحلیل پالس ساخت شرکت *B. & K.* ۸۵
شکل ۳-۳۹. موقعیتهای مکانی سنسور ۸۶
شکل ۳-۴۰. نمودار فرکانس-دامنه در حوزه فرکانسی در فرکانس کاری ۱۰ هرتز ۸۶
شکل ۴-۱. نمونه ای از مسئله که در حالت تقارن دو محوری است ۹۱
شکل ۴-۲. نشان دهنده رابطه اندازه المانها با دقت جواب بدست آمده است ۹۲
شکل ۴-۳. روش های محاسبه ضرایب ظاهر برای المان های مثلثی و چهار ضلعی ۹۳
شکل ۴-۴. تعیین المانهای ریز در اطراف نتاط بحرانی ۹۴
شکل ۴-۵. مقایسه هزینه محاسبات در حل ضمنی و صریح ۹۹
شکل ۴-۶. نمودار انرژی بر حسب زمان در یک مسئله شبه استاتیکی ۱۰۱
شکل ۴-۷. سرهم سازی اجزاء قالب..... ۱۰۲
شکل ۴-۸. تعریف فنر معادل بین نقاط مرجع سنبه و ورقگیر ۱۰۴
شکل ۴-۹. مدل های مش بندی اجزاء قالب با المانهای صلب ۱۰۵
شکل ۴-۱۰. مدل مش بندی ورق با المانهای پوسته ای ۱۰۶
شکل ۴-۱۱. نتایج شبیه سازی ورقگیر استاتیکی با بلانک به طول ۵۰ میلیمتر ۱۰۷
شکل ۴-۱۲. نتایج شبیه سازی ورقگیر استاتیکی با بلانک به طول ۵۵ میلیمتر ۱۰۷
شکل ۴-۱۳. نتایج شبیه سازی ورقگیر استاتیکی با بلانک به طول ۶۰ میلیمتر ۱۰۷

شکل ۴-۱۴. تحلیل عددی با ورقگیر ارتعاشی برای بلانک ۵۵ میلیمتر در فرکانس ۱ هرتز.....۱۰۸

شکل ۴-۱۵. تحلیل عددی با ورقگیر ارتعاشی برای بلانک ۵۵ میلیمتر در فرکانس ۵ هرتز.....۱۰۸

شکل ۴-۱۶. تحلیل عددی با ورقگیر ارتعاشی برای بلانک ۵۵ میلیمتر در فرکانس ۹ هرتز.....۱۰۹

شکل ۴-۱۷. تحلیل عددی با ورقگیر ارتعاشی برای بلانک ۵۵ میلیمتر در فرکانس ۱۴ هرتز.....۱۰۹

شکل ۴-۱۸. تحلیل عددی با ورقگیر ارتعاشی برای بلانک ۵۵ میلیمتر در فرکانس ۱۸ هرتز.....۱۰۹

شکل ۴-۱۹. عمق های بدست آمده در تحلیلهای عددی برای بلانک ۵۵ میلیمتر.....۱۱۰

شکل ۴-۲۰. شبیه سازی ورقگیر ارتعاشی با بلانک ۵۰ میلیمتر در فرکانس ۱۰ هرتز.....۱۱۰

شکل ۴-۲۱. شبیه سازی ورقگیر ارتعاشی با بلانک ۵۵ میلیمتر در فرکانس ۱۰ هرتز.....۱۱۱

شکل ۴-۲۲. شبیه سازی ورقگیر ارتعاشی با بلانک ۶۰ میلیمتر در فرکانس ۱۰ هرتز.....۱۱۱

شکل ۴-۲۳. بلانک ۵۰ ×۵۰ میلیمتر در دو حالت استاتیکی و ارتعاشی.....۱۱۱

شکل ۴-۲۴. بلانک ۵۵ ×۵۵ میلیمتر در دو حالت استاتیکی و ارتعاشی.....۱۱۲

شکل ۴-۲۵. بلانک ۶۰ ×۶۰ میلیمتر در دو حالت استاتیکی و ارتعاشی.....۱۱۲

شکل ۵-۱. نتایج تجربی و شبیه سازی ورقگیر استاتیکی با بلانک به طول ۵۰ میلیمتر ۱۱۵

شکل ۵-۲. نتایج تجربی و شبیه سازی ورقگیر استاتیکی با بلانک به طول ۵۵ میلیمتر ۱۱۵

شکل ۵-۳. نتایج تجربی و شبیه سازی ورقگیر استاتیکی با بلانک به طول ۶۰ میلیمتر ۱۱۵

شکل ۵-۴. بلانک ۵۰ میلیمتر در فرکانس ۱۰ هرتز با عمق کامل و بدون پارگی ۱۱۶

شکل ۵-۵. بلانک ۵۵ میلیمتر در فرکانس ۱۰ هرتز با عمق کامل و بدون پارگی ۱۱۷

شکل ۵-۶. بلانک به طول ۶۰ میلیمتر در فرکانس ۱۰ هرتز ۱۱۷

شکل ۵-۷. نتایج بلانک به طول ۵۰ میلیمتر با ورقگیر استاتیکی و ارتعاشی ۱۱۸

شکل ۵-۸. نمودار تاریخچه زمانی بحرانی ترین المان با ورقگیر استاتیکی ۱۲۱

شکل ۵-۹. نمودار تاریخچه زمانی بحرانی ترین المان با ورقگیر ارتعاشی ۱۲۲

شکل ۵-۱۰. مقایسه تاریخچه زمانی بحرانی ترین المان با ورقگیر استاتیکی و ارتعاشی ۱۲۳

شکل ۵-۱۱. نمونه های تهیه شده جهت بررسی توزیع ضخامت ۱۲۴
شکل ۵-۱۲. مسیرهای اندازه گیری ضخامت ۱۲۵
شکل ۵-۱۳. نمودار توزیع ضخامت ۱۲۵
شکل ۵-۱۴. قطعات برش داده شده جهت اندازه گیری ضخامت در طول دیواره ۱۲۶
شکل ۵-۱۵. عمق قطعات بدست آمده به ازای فرکانسهای مختلف ارتعاش ۱۲۷
شکل ۵-۱۶. شبیه سازی بلانک ۵۲ × ۵۲ میلیمتر با استفاده از ورقگیر استاتیکی ۱۲۹
شکل ۵-۱۷. شبیه سازی بلانک ۵۳ × ۵۳ میلیمتر با استفاده از ورقگیر استاتیکی ۱۳۰
شکل ۵-۱۸. شبیه سازی بلانک ۵۸ × ۵۸ میلیمتر با استفاده از ورقگیر ارتعاشی ۱۳۰
شکل ۵-۱۹. شبیه سازی بلانک ۵۹ × ۵۹ میلیمتر با استفاده از ورقگیر ارتعاشی..... ۱۳۰
شکل ۵-۲۰. ماکزیمم حد نسبت کشش با ورقگیر استاتیکی و ورقگیر ارتعاشی ۱۳۱
شکل ۵-۲۱. تاثیر دامنه های مختلف نوسان ۱۳۲
شکل ۵-۲۲. منحنی جابجایی سنبه - نیروی سنبه ۱۳۴
شکل ۵-۲۳. شماتیک چگونگی تحلیل نمودارهای حاصل از آنالیز پاسخ عملکردی دستگاه ۱۳۴
شکل ۵-۲۴. نمودار فرکانس-دامنه در حوزه فرکانسی در فرکانس ۱۰ هرتز ۱۳۵
شکل ۵-۲۵. فرکانسهای ۱۱ و ۱۲ هرتز در آنالیز پاسخ عملکردی سازه ۱۳۶
شکل ۵-۲۶. فرکانسهای ۸ و ۹ هرتز در آنالیز پاسخ عملکردی سازه ۱۳۶

فهرست علائم و نشانه ها

A : مساحت سطح مقطع

A_{BH} : سطح تماس

C_d : سرعت موج انبساطی ماده

E : مدول الاستیسیته

E_I : انرژی داخلی (انرژی کرنش پلاستیک و الاستیک)

E_V : انرژی جذب شده بواسطه اتلاف گرانروی

E_{KE} : انرژی جنبشی

E_{FD} : انرژی جذب شده بواسطه اتلاف اصطکاکی

E_W : کار نیروهای خارجی

E_{total} : انرژی کل موجود در سیستم

F : نیروی کشش شعاعی در ورق

F^a : بردار نیروی اعمال شده به مدل

F_b : نیروی کل مورد نیاز برای خمکاری

F_{BH} : نیروی اعمالی توسط ورقگیر

F_{cr} : نیروی بحرانی

$F_{d,id}$: نیروی لازم جهت تغییر شکل ایده آل

$F_{d,tot}$: نیروی حقیقی لازم

$F_{d,max}$: نیروی ماکزیمم کششی

F_N : نیروی مماسی بین قالب و فلنج

H : ارتفاع ظرف بدون فلانچ و بدون شعاع تحتانی ظرف

$[K]$: ماتریس سختی

L : طول بلانک اولیه مستطیلی و کوتاهترین طول لبه المان در شبکه اجزای محدود

L_0 : طول ضلع بلانک اولیه چهارگوش

L_1 : طول ضلع سنبه ی قطعه چهارگوش

L_m : متوسط طول ضلع دیواره ظرف

$L_{F,max}$: طول اضلاع خارجی فلانج در زمانی است که نیروی کششی ماکزیمم است

M_b : ممان خمشی

N : نیروی نرمال بین ورق و شعاع قالب

P_{BH} : فشار ورقگیر

P_t : بردار شامل ترم های جابجایی، سرعت، شتاب، ماتریس جرمی و میرایی در مرحله زمانی قبل

R : شعاع خارجی لحظه ای فلانج

R_{ij} : نسبتهای تنشهای تسلیم ناهمسانگردی

S_u : استحکام تسلیم نهایی

W : عرض بلانک اولیه مستطیلی

W_d : کار مورد نیاز برای کشش عمیق ظرف

X : ضریب بزرگی چگالی

b : عرض المان

c_j : ضرایب نامعین

$[c]$: ماتریس استهلاک

d_0 : قطر بلانک اولیه

d_1 و d_i : قطر داخلی ظرف

d_m : قطر متوسط ظرف

$d_{F.max}$: قطر خارجی فلانج در زمانی است که نیروی کششی ماکزیمم است

$\{\dot{d}\}$: مشتق اول تابع تقریب نسبت به زمان

$\{\ddot{d}\}$: مشتق دوم تابع تقریب نسبت به زمان

f : بارگذاری عرضی

h_c : ارتفاع ظرف بدون فلانچ و با شعاع تحتانی ظرف

h'_c : ارتفاع ظرف با فلانچ و با شعاع تحتانی ظرف

k : فاکتور اصلاحی

$[m]$: ماتریس سختی

n : ضریب سختی کرنشی

q : بار گسترده محوری

r : شعاع لبه سنبه و مقدار ضریب ناهمسانگردی ورق

r_m : شعاع ورودی ماتریس

$\{r^{int}\}$: نیروی داخلی المان

$\{r^{ent}\}$: نیروی خارجی وارد بر المان

s : ضخامت لحظه ای

s_0 : ضخامت اولیه ورق

s_u : تنش مهندسی

u : تغییر مکان طولی

w : خیز عرضی

α : زاویه خم

β : حد نسبت کشش

β_{max} : حد نسبت کشش ماکزیمم

ε_s : کرنش در لایه های خارجی ورق

$\bar{\varepsilon}$: کرنش خمشی متوسط

η_{def} : راندمان تغییر شکل

μ : ضریب اصطکاک

ρ : چگالی ماده

σ_{cr} : تنش ترک

σ_f : تنش معادل

$\sigma_{f.m.I}$: تنش جاری متوسط در ناحیه فلانج

$\sigma_{f.m.II}$: تنش جاری متوسط در دیواره ظرف

σ_r : تنش شعاعی

σ_t : تنش مماسی

σ_x و σ_y : تنش های اصلی

σ_z : تنش محوری

$\sigma_{z.max}$: بزرگترین تنش کششی

φ_1 و φ_2 : کرنش های مماسی در نقاط ۱و۲

φ_r : کرنش در جهت شعاعی

φ_t : کرنش در جهت مماسی

φ_z : کرنش در جهت ضخامت

$\emptyset_j$: توابع تقریبی انتخابی مناسب

Δt : گام زمانی یا فاصله ما بین آزمایشات

Δt_{cr} : گام زمانی بحرانی

Δx : طول کوچکترین المان