دانشکده مهندسی

گروه مکانیک

پایان‌نامه

برای دریافت درجه کارشناسی ارشد در رشته مهندسی مکانیک

گرایش طراحی کاربردی

تحقیقی در زمینه فرآیند اکستروژن غیرمستقیم کرنش صفحه ای

استاد راهنما:

دکتر فرامرز فرشته صنیعی

پژوهشگر:

ماریتا کریمی

مهر ۱۳۸۸

Engineering College

Bu- Ali Sina University

AThesis

**Submitted to the Faculty of Engineering of Bu- Ali Sina University
in Partial Fulfillment of the Requirements
for the Degree of Master of Science
in Mechanical Engineering
in the Department of Mechanical Engineering**

An investigation on backward plane-strain extrusion process

Supervisor:

Dr. Faramarz Fereshteh-Saniee

Research By:

Marita Karimi

October 2009

This document was created with Win2PDF available at http://www.daneprairie.com.
The unregistered version of Win2PDF is for evaluation or non-commercial use only.

نام خانوادگی: کریمی نام: ماریتا

عنوان پایان نامه:

تحقیقی در زمینه فرآیند اکستروژن غیرمستقیم کرنش صفحه ای

استادراهنما: دکتر فرامرز فرشته صنیعی

مقطع تحصیلی: کارشناسی ارشد رشته: مهندسی مکانیک گرایش: طراحی کاربردی

دانشگاه: بوعلی سینا همدان دانشکده: مهندسی تاریخ دفاعیه: ۱۳۸۸/۷/۴

تعدادصفحه: ۱۵۰صفحه

واژه های کلیدی: اکستروژن غیرمستقیم، کرنش صفحه ای، پروفیل بهینه قالب، روش المان محدود، روش قاچی

چکیده:

با گسترش کاربرد فلزات در صنایع مختلف، فرآیندهای شکل دهی فلز اهمیت بسیاری یافته اند. فرآیندهای شکل دهی بسیاری وجود دارد. انتخاب هرکدام برای رسیدن به محصول مطلوب وابسته به عوامل متعددی می‌باشد. اکستروژن به عنوان یک فرآیند حجمی که در آن قطعه کار از یک روزنه با سطح مقطع کوچکتر عبور داده شده و به شکل دلخواه در می‌آید، جهت کاهش سطح مقطع قطعه کار استفاده می‌گردد.

در این تحقیق تأثیر چهار پارامتر پروفیل قالب، نسبت اکستروژن، طول بیلت و شرایط اصطکاکی بر نیرو و جریان مواد در فرآیند اکستروژن غیرمستقیم کرنش صفحه ای با استفاده از روش های تحلیلی، عددی و تجربی مورد بررسی قرار گرفته است. با روش تحلیلی تعادل نیروها (قاچی) پروفیل های خطی، نمایی و مرتبه دوم به صورت پارامتری به دست آمدند که هدف از انتخاب این سه پروفیل، نشان دادن تأثیر تقعر پروفیل ها بر نیرو و جریان مواد در فرآیند اکستروژن بود. سپس پارامترهای طراحی قالب برای حداقل سازی نیروی اکستروژن با الگوریتم ژنتیک بهینه گردیدند. در مرحله بعدی، قالب ها، نگهدارنده و نمونه ها ساخته شدند و با انجام آزمایش های مدل مجموعه ای از نتایج تجربی به دست آمد که در نهایت با نتایج حاصل از شبیه سازی همین فرآیندها و نتایج به دست آمده از روش تحلیلی تعادل نیروها مقایسه گردیدند. مشاهده شد که آزمایش ها از نظر مقدار نیروی شکل‌دهی در قالب های مختلف در حالت اصطکاک بالا تطابق خوبی با نتایج عددی و تحلیلی داشتند.

برای بررسی توزیع کرنش در محصول از نتایج حاصل از شبیه سازی استفاده شده است و تغییرات کرنش مؤثرکه مشخصه‌ای از یکنواختی تغییرشکل خمیری و کیفیت محصول هستند تعیین شده است.

This document was created with Win2PDF available at http://www.daneprairie.com.
The unregistered version of Win2PDF is for evaluation or non-commercial use only.

فهرست مطالب

عنوان **صفحه**

فهرست جداول ج
فهرست اشکال ح

فصل اول: مقدمه

۱-۱ مقدمه ۲
۱-۲ فرآیندهای شکل دهی فلز ۳
۱-۳ فرآیند اکستروژن ۳
۱-۴ انواع فرآیندهای اکستروژن ۴
۱-۴-۱ از لحاظ تغییر شکل ۴
۱-۴-۲ از لحاظ درجه حرارت ۶
۱-۵ بررسی نیروی اکستروژن ۶
۱-۶ انرژی لازم در تغییر شکل پلاستیک ۸
۱-۷ بررسی تنش مؤثر و کرنش مؤثر ۹
۱-۸ متغیرهای فرآیند اکستروژن ۹
۱-۸-۱ متغیرهای هندسی ۹
۱-۸-۲ متغیرهای غیرهندسی ۱۰
۱-۹ جریان فلز در فرآیند اکستروژن ۱۲
۱-۱۰ عیوب فرآیند ۱۴
۱-۱۱ معرفی پایان نامه حاضر ۱۶

فصل دوم: بررسی روش های تحلیلی

۲-۱ مقدمه ۱۸
۲-۲ انواع روش های تحلیلی ۱۸
۲-۳ بررسی روش های تحلیلی نوین جهت تعیین پروفیل بهینه ۱۹
۲-۴ بررسی روش قاچی در تحلیل اکستروژن کرنش صفحه ای ۲۲

فصل سوم: بهینه سازی پروفیل قالب

۳-۱ مقدمه ۲۶
۳-۲ تعاریف کلی اجزای الگوریتم ژنتیک ۲۷
۳-۲-۱ نمایش جمعیت و کروموزوم ۲۷
۳-۲-۲ تابع هدف و تابع برازش ۲۷
۳-۲-۳ انتخاب ۲۷
۳-۲-۴ تقاطع ۲۸
۳-۲-۵ جهش ۲۸
۳-۳ بهینه سازی و انواع مختلف آن ۲۸
۳-۳-۱ روش تحلیلی ۲۹
۳-۳-۲ روش عددی ۲۹
۳-۳-۲-۱ روش بهینه سازی قطعی ۲۹
۳-۳-۲-۲ روش بهینه سازی تصادفی ۳۰
۳-۴ مقایسه الگوریتم ژنتیک با دیگر شیوه‌های بهینه سازی ۳۰
۳-۵ روش بهینه سازی در تحقیق حاضر ۳۱
۳-۶ الگوریتم ژنتیک در Matlab ۳۲
۳-۷ تعیین پروفیل بهینه قالب ۳۴
۳-۷-۱ تحلیل تنش در قالب با پروفیل خطی ۳۵
۳-۷-۲ تحلیل تنش در قالب با پروفیل مرتبه دو ۳۷
۳-۷-۳ تحلیل تنش در قالب با پروفیل نمایی ۳۸

فصل چهارم: آزمایش های عملی و بررسی نتایج تجربی

۴-۱ مقدمه ۴۱
۴-۲ تجهیزات لازم ۴۱
۴-۳ تهیه نمونه ها ۴۲
۴-۴ محاسبه سرعت کوبه ۴۳
۴-۵ آزمایش فشار ۴۴
۴-۵-۱ تعیین منحنی تنش-کرنش ۴۵
۴-۵-۲ مراحل آزمایش فشار ۴۸

۴-۵-۳ نتایج آزمایش فشار ۴۸
۴-۶ آزمایش حلقه ۵۲
۴-۶-۱ مراحل آزمایش حلقه ۵۳
۴-۶-۲ نتایج آزمایش حلقه ۵۳
۴-۷ آزمایش های اکستروژن ۵۷
۴-۷-۱ بررسی طرح آزمایش ها ۵۸
۴-۷-۲ بررسی نتایج تجربی ۵۸
۴-۷-۲-۱ بررسی تأثیر پروفیل قالب ۵۹
۴-۷-۲-۲ بررسی تأثیر نسبت اکستروژن ۶۷
۴-۷-۲-۳ بررسی تأثیر طول نمونه ۷۴
۴-۷-۲-۴ بررسی تأثیر روانکار ۸۳

فصل پنجم: شبیه سازی المان محدود فرآیند اکستروژن غیرمستقیم

۵-۱ مقدمه ۹۰
۵-۲ مراحل شبیه سازی ۹۱
۵-۲-۱ کنترل شبیه سازی ۹۱
۵-۲-۲ مدل سازی قطعه کار ۹۴
۵-۲-۳ مدل سازی قالب ها ۹۷
۵-۲-۴ تعریف سطح تماس بین قطعات ۹۸
۵-۳ حل مسئله ۹۹
۵-۴ بررسی نتایج حاصل از شبیه سازی ۹۹
۵-۴-۱ بررسی تغییرات کرنش مؤثر ۹۹
۵-۴-۲ بررسی تغییرات نیرو ۱۰۱
۵-۴-۲-۱ بررسی تأثیر پروفیل قالب ۱۰۱
۵-۴-۲-۲ بررسی تأثیر نسبت اکستروژن ۱۰۹
۵-۴-۲-۳ بررسی تأثیر روانکار ۱۱۶
۵-۴-۲-۴ بررسی تأثیر طول نمونه ۱۲۱

فصل ششم: مقایسه نتایج روش های مختلف و پیشنهادها

۶-۱ مقایسه نتایج ۱۲۳
۶-۲ نتیجه گیری ۱۴۵
۶-۳ پیشنهادها ۱۴۶

فهرست مرا جع ۱۴۳

This document was created with Win2PDF available at http://www.daneprairie.com.
The unregistered version of Win2PDF is for evaluation or non-commercial use only.

فهرست اشکال

عنوان **صفحه**

شکل۱-۱: فرآیند اکستروژن مستقیم ۵
شکل۱-۲: فرآیند اکستروژن غیرمستقیم ۵
شکل۱-۳: فرآیند اکستروژن جانبی ۶
شکل۱-۴: نمودار تغییرات نیرو بر حسب جابجایی سنبه ۷
شکل۱-۵: انواع مختلف جریان فلز در اکستروژن با قالب های 90° .(الف) الگوی مربوط به اصطکاک بالا و یا سرد شدن نواحی خارجی قطعه در محفظه. (ب) الگوی جریان برای اصطکاک زیاد بین نمونه و محفظه. (پ) الگوی جریان برای اصطکاک کم یا در اکستروژن غیر مستقیم ۱۳
شکل۱-۶: ترک چورن یا حفره مرکزی در میله های فولادی دوار اکسترود شده ۱۵
شکل۲-۱: المان بندی روش قاچی برای قالب های منحنی ۲۰
شکل۲-۲: نمایش تنش در المان مورد استفاده برای تحلیل قاچی طی فرآیند اکستروژن کرنش صفحه ای غیرمستقیم ۲۳
شکل۲-۳: نمایی از پروفیل های بهینه قالب ۲۴
شکل۳-۱: نمایی از جعبه ابزار الگوریتم ژنتیک در Matlab ۳۳
شکل۴-۱: قالب های ریخته گری نمونه های سربی برای (الف) آزمایش حلقه و فشار و (ب) آزمایش اکستروژن ۴۲
شکل۴-۲: نمایی از آزمایش فشار تحت شرایط اصطکاک غیر صفر ۴۶
شکل۴-۳: نمودار مقایسه‌ی ضرایب اصلاح عددی و تحدب ۴۷
شکل۴-۴: نمایی از نمونه سربی قبل و بعد از انجام آزمایش فشار ۴۹
شکل۴-۵: منحنی تنش-کرنش سرب پس از اعمال روش ضریب اصلاح تحدب ۵۰
شکل۴-۶: مقایسه منحنی های نیرو- جابجایی تصحیح شده با منحنی تجربی مربوط به آزمایش فشار. ۵۱
شکل۴-۷: منحنی تنش-کرنش تصحیح شده نهایی آزمایش فشار ۵۲
شکل۴-۸: نتایج آزمایش حلقه برای شرایط اصطکاکی مختلف بر روی منحنی کالیبراسیون ۵۵
شکل۴-۹: نمای پلان حلقه های تغییر شکل یافته با یک تکرار برای هر روانکار ۵۶
شکل۴-۱۰: نمایی ایزومتریک از مجموعه قالب، نمونه و محفظه ۵۷
شکل۴-۱۱: منحنی های نیرو- جابجایی درحالت استفاده از نمونه A، نسبت اکستروژن۲ و بدون روانکار برای پروفیل های مختلف ۶۱

شکل۴-۱۲: منحنی های نیرو- جابجایی درحالت استفاده از نمونه B، نسبت اکستروژن۲ و بدون روانکار برای پروفیل های مختلف ۶۱
شکل۴-۱۳: منحنی های نیرو- جابجایی درحالت استفاده از نمونه A، نسبت اکستروژن۲ و روانکار(تیتانیا + وازلین) برای پروفیل های مختلف ۶۲
شکل۴-۱۴: منحنی های نیرو- جابجایی در حالت استفاده از نمونه B، نسبت اکستروژن۲ و روانکار(تیتانیا + وازلین) برای پروفیل های مختلف ۶۲
شکل۴-۱۵: منحنی های نیرو- جابجایی درحالت استفاده از نمونه A، نسبت اکستروژن ۲/۵ و بدون روانکار برای پروفیل های مختلف ۶۳
شکل۴-۱۶: منحنی های نیرو- جابجایی درحالت استفاده از نمونه B، نسبت اکستروژن ۲/۵ و بدون روانکار برای پروفیل های مختلف ۶۳
شکل۴-۱۷: منحنی های نیرو- جابجایی درحالت استفاده از نمونه A، نسبت اکستروژن ۲/۵ و روانکار (تیتانیا + وازلین) برای پروفیل های مختلف ۶۴
شکل۴-۱۸: منحنی های نیرو- جابجایی درحالت استفاده از نمونه B، نسبت اکستروژن ۲/۵ و روانکار (تیتانیا + وازلین) برای پروفیل های مختلف ۶۴
شکل۴-۱۹: منحنی های نیرو- جابجایی درحالت استفاده از نمونه A، نسبت اکستروژن ۳ و بدون روانکار برای پروفیل های مختلف ۶۵
شکل۴-۲۰: منحنی های نیرو- جابجایی در حالت استفاده از نمونه B، نسبت اکستروژن ۳ و بدون روانکار برای پروفیل های مختلف ۶۵
شکل۴-۲۱: منحنی های نیرو- جابجایی در حالت استفاده از نمونه A، نسبت اکستروژن ۳ و روانکار(تیتانیا + وازلین) برای پروفیل های مختلف ۶۶
شکل۴-۲۲: منحنی های نیرو- جابجایی در حالت استفاده از نمونه B، نسبت اکستروژن ۳ و روانکار (تیتانیا + وازلین) برای پروفیل های مختلف ۶۶
شکل۴-۲۳: منحنی‌های نیرو-جابجایی در حالت استفاده از نمونه A، پروفیل نمایی و بدون روانکار برای نسبت های مختلف اکستروژن. ۶۸
شکل۴-۲۴: منحنی‌های نیرو-جابجایی در حالت استفاده از نمونه B، پروفیل نمایی و بدون روانکار برای نسبت های مختلف اکستروژن. ۶۸
شکل۴-۲۵: منحنی های نیرو- جابجایی در حالت استفاده از نمونه A، پروفیل نمایی و روانکار (تیتانیا + وازلین) برای نسبت های مختلف اکستروژن ۶۹
شکل۴-۲۶: منحنی های نیرو- جابجایی در حالت استفاده از نمونه B، پروفیل نمایی و روانکار (تیتانیا + وازلین) برای نسبت های مختلف اکستروژن ۶۹

شکل۴-۲۷: منحنی‌های نیرو-جابجایی در حالت استفاده از نمونه A، پروفیل خطی و بدون روانکار برای نسبت های مختلف اکستروژن..... ۷۰
شکل۴-۲۸: منحنی‌های نیرو-جابجایی درحالت استفاده از نمونه B، پروفیل خطی و بدون روانکار برای نسبت های مختلف اکستروژن..... ۷۰
شکل۴-۲۹: منحنی‌های نیرو- جابجایی در حالت استفاده از نمونه A، پروفیل خطی و روانکار (تیتانیا + وازلین) برای نسبت های مختلف اکستروژن..... ۷۱
شکل۴-۳۰: منحنی‌های نیرو- جابجایی در حالت استفاده از نمونه B، پروفیل خطی و روانکار (تیتانیا + وازلین) برای نسبت های مختلف اکستروژن..... ۷۱
شکل۴-۳۱: منحنی های نیرو- جابجایی در حالت استفاده از نمونه A، پروفیل مرتبه دو و بدون روانکار برای نسبت های مختلف اکستروژن..... ۷۲
شکل۴-۳۲: منحنی های نیرو- جابجایی در حالت استفاده از نمونه B، پروفیل مرتبه دو و بدون روانکار برای نسبت های مختلف اکستروژن ۷۲
شکل۴-۳۳: منحنی های نیرو- جابجایی در حالت استفاده از نمونه A، پروفیل مرتبه دو و روانکار (تیتانیا + وازلین) برای نسبت های مختلف اکستروژن ۷۳
شکل۴-۳۴: منحنی های نیرو- جابجایی در حالت استفاده از نمونه B، پروفیل مرتبه دو و روانکار (تیتانیا + وازلین) برای نسبت های مختلف اکستروژن..... ۷۳
شکل۴-۳۵: منحنی های نیرو- جابجایی در حالت استفاده از پروفیل نمایی، نسبت اکستروژن۲ و بدون روانکار برای نمونه های با طول های مختلف ۷۴
شکل۴-۳۶: منحنی های نیرو- جابجایی در حالت استفاده از پروفیل نمایی، نسبت اکستروژن ۲ و روانکار (تیتانیا + وازلین) برای نمونه های با طول های مختلف ۷۵
شکل۴-۳۷: منحنی های نیرو- جابجایی در حالت استفاده از پروفیل خطی، نسبت اکستروژن۲ و بدون روانکار برای نمونه های با طول های مختلف..... ۷۵
شکل۴-۳۸: منحنی های نیرو-جابجایی در حالت استفاده از پروفیل خطی، نسبت اکستروژن ۲ و روانکار (تیتانیا + وازلین) برای نمونه های با طول های مختلف ۷۶
شکل۴-۳۹: منحنی های نیرو- جابجایی در حالت استفاده از پروفیل مرتبه دو، نسبت اکستروژن ۲ و بدون روانکار برای نمونه های با طول های مختلف ۷۶
شکل۴-۴۰: منحنی های نیرو- جابجایی درحالت استفاده از پروفیل مرتبه دو، نسبت اکستروژن ۲ و روانکار (تیتانیا + وازلین) برای نمونه های با طول های مختلف..... ۷۷
شکل۴-۴۱: منحنی های نیرو- جابجایی در حالت استفاده از پروفیل نمایی، نسبت اکستروژن ۲/۵ و بدون روانکار برای نمونه های با طول های مختلف ۷۷

شکل۴-۴۲: منحنی های نیرو- جابجایی در حالت استفاده از پروفیل نمایی، نسبت اکستروژن ۲/۵ و روانکار (تیتانیا + وازلین) برای نمونه های با طول های مختلف.....۷۸
شکل۴-۴۳: منحنی های نیرو- جابجایی در حالت استفاده از پروفیل خطی، نسبت اکستروژن ۲/۵ و بدون روانکار برای نمونه های با طول های مختلف.....۷۸
شکل۴-۴۴: منحنی های نیرو- جابجایی در حالت استفاده از پروفیل خطی، نسبت اکستروژن ۲/۵ و روانکار (تیتانیا + وازلین) برای نمونه های با طول های مختلف.....۷۹
شکل۴-۴۵: منحنی های نیرو- جابجایی در حالت استفاده از پروفیل مرتبه دو، نسبت اکستروژن ۲/۵ و بدون روانکار برای نمونه های با طول های مختلف.....۷۹
شکل۴-۴۶: منحنی های نیرو-جابجایی در حالت استفاده از پروفیل مرتبه دو، نسبت اکستروژن ۲/۵ و روانکار (تیتانیا + وازلین) برای نمونه های با طول های مختلف.....۸۰
شکل۴-۴۷: منحنی های نیرو- جابجایی در حالت استفاده از پروفیل نمایی، نسبت اکستروژن ۳ و بدون روانکار برای نمونه های با طول های مختلف.....۸۰
شکل۴-۴۸: منحنی های نیرو- جابجایی در حالت استفاده از پروفیل نمایی، نسبت اکستروژن ۳ و روانکار (تیتانیا + وازلین) برای نمونه های با طول های مختلف.....۸۱
شکل۴-۴۹: منحنی های نیرو- جابجایی در حالت استفاده از پروفیل خطی، نسبت اکستروژن۳ و بدون روانکار برای نمونه های با طول های مختلف.....۸۱
شکل۴-۵۰: منحنی های نیرو- جابجایی در حالت استفاده از پروفیل خطی، نسبت اکستروژن ۳ و روانکار (تیتانیا + وازلین) برای نمونه های با طول های مختلف.....۸۲
شکل۴-۵۱: منحنی های نیرو- جابجایی در حالت استفاده از پروفیل مرتبه دو، نسبت اکستروژن ۳ و بدون روانکار برای نمونه های با طول های مختلف.....۸۲
شکل۴-۵۲: منحنی های نیرو- جابجایی در حالت استفاده از پروفیل مرتبه دو، نسبت اکستروژن ۳ و روانکار (تیتانیا + وازلین) برای نمونه های با طول های مختلف.....۸۳
شکل۴-۵۳: منحنی های نیرو- جابجایی در حالت استفاده از نمونه B، پروفیل نمایی و نسبت اکستروژن ۲ برای شرایط اصطکاکی مختلف.....۸۴
شکل۴-۵۴: منحنی های نیرو- جابجایی در حالت استفاده از نمونه B، پروفیل خطی و نسبت اکستروژن ۲ برای شرایط اصطکاکی مختلف.....۸۵
شکل۴-۵۵: منحنی های نیرو- جابجایی در حالت استفاده از نمونه B، پروفیل مرتبه دو و نسبت اکستروژن ۲ برای شرایط اصطکاکی مختلف.....۸۵
شکل۴-۵۶: منحنی های نیرو- جابجایی در حالت استفاده از نمونه B، پروفیل نمایی و نسبت اکستروژن ۲/۵ برای شرایط اصطکاکی مختلف.....۸۶

شکل۴-۵۷: منحنی های نیرو- جابجایی در حالت استفاده از نمونه B، پروفیل خطی و نسبت اکستروژن ۲/۵ برای شرایط اصطکاکی مختلف ۸۶
شکل۴-۵۸: منحنی های نیرو- جابجایی در حالت استفاده از نمونه B، پروفیل مرتبه دو و نسبت اکستروژن ۲/۵ برای شرایط اصطکاکی مختلف ۸۷
شکل۴-۵۹: منحنی های نیرو- جابجایی در حالت استفاده از نمونه B، پروفیل نمایی و نسبت اکستروژن ۳ برای شرایط اصطکاکی مختلف ۸۷
شکل۴-۶۰: منحنی های نیرو- جابجایی در حالت استفاده از نمونه B، پروفیل خطی و نسبت اکستروژن ۳ برای شرایط اصطکاکی مختلف ۸۸
شکل۴-۶۱: منحنی های نیرو- جابجایی درحالت استفاده از نمونه B، پروفیل مرتبه دو و نسبت اکستروژن ۳ برای شرایط اصطکاکی مختلف ۸۸
شکل۵-۱: تنظیمات مربوط به کنترل اصلی ۹۲
شکل۵-۲: تنظیمات مربوط به کنترل مراحل حل ۹۳
شکل۵-۳: تنظیمات مربوط به توقف حل ۹۳
شکل۵-۴: تنظیمات کلی ۹۴
شکل ۵-۵: تنظیم ضرایب وزنی ۹۵
شکل۵-۶: نمایی از نمونه‌ی تغییر شکل یافته با استفاده از قالب با پروفیل نمایی (الف) قبل، (ب) بعد از شبکه بندی مجدد ۹۶
شکل۵-۷: منحنی تنش- کرنش حقیقی سرب مورد استفاده در آزمایش های مدل و معرفی شده جهت انجام شبیه سازی های عددی ۹۷
شکل۵-۸: نمایش تغییرات کرنش مؤثر در محصول برای نسبت های متفاوت اکستروژن با قالب خطی و حالت روانکاری شده. ۹۹
شکل۵-۹: نمایش تغییرات کرنش مؤثر درمحصول برای پروفیل های مختلف و نسبت اکستروژن۲/۵ ۱۰۰
شکل۵-۱۰: نمایش تغییرات کرنش مؤثر در محصول برای پروفیل خطی، نسبت اکستروژن ۲، نمونه A و شرایط اصطکاکی مختلف (راست: خشک و چپ: روانکاری شده) ۱۰۱
شکل۵-۱۱: منحنی های نیرو- جابجایی در حالت استفاده از نمونه A، نسبت اکستروژن۲ و بدون روانکار برای پروفیل های مختلف ۱۰۳
شکل۵-۱۲: منحنی های نیرو- جابجایی در حالت استفاده از نمونه B، نسبت اکستروژن۲ و بدون روانکار برای پروفیل های مختلف ۱۰۳
شکل۵-۱۳: منحنی های نیرو- جابجایی در حالت استفاده از نمونه A، نسبت اکستروژن۲ و روانکار(تیتانیا + وازلین) برای پروفیل های مختلف ۱۰۴

شکل۵-۱۴: منحنی های نیرو- جابجایی در حالت استفاده از نمونه A، نسبت اکستروژن۲ و روانکار(تیتانیا + وازلین) برای پروفیل های مختلف.....۱۰۴
شکل۵-۱۵: منحنی های نیرو- جابجایی در حالت استفاده از نمونه A، نسبت اکستروژن ۲/۵ و بدون روانکار برای پروفیل های مختلف ۱۰۵
شکل۵-۱۶: منحنی های نیرو- جابجایی در حالت استفاده از نمونه B، نسبت اکستروژن ۲/۵ و بدون روانکار برای پروفیل های مختلف ۱۰۵
شکل۵-۱۷: منحنی های نیرو- جابجایی در حالت استفاده از نمونه A، نسبت اکستروژن ۲/۵ و روانکار (تیتانیا + وازلین) برای پروفیل های مختلف.....۱۰۶
شکل۵-۱۸: منحنی های نیرو- جابجایی در حالت استفاده از نمونه B، نسبت اکستروژن ۲/۵ و روانکار (تیتانیا + وازلین) برای پروفیل های مختلف.....۱۰۶
شکل۵-۱۹: منحنی های نیرو- جابجایی در حالت استفاده از نمونه A، نسبت اکستروژن ۳ و بدون روانکار برای پروفیل های مختلف ۱۰۷
شکل۵-۲۰: منحنی های نیرو- جابجایی در حالت استفاده از نمونه B، نسبت اکستروژن ۳ و بدون روانکار برای پروفیل های مختلف ۱۰۷
شکل۵-۲۱: منحنی های نیرو- جابجایی در حالت استفاده از نمونه A، نسبت اکستروژن ۳ و روانکار(تیتانیا + وازلین) برای پروفیل های مختلف.....۱۰۸
شکل۵-۲۲: منحنی های نیرو- جابجایی در حالت استفاده از نمونه B، نسبت اکستروژن ۳ و روانکار (تیتانیا + وازلین) برای پروفیل های مختلف.....۱۰۸
شکل۵-۲۳: منحنی‌های نیرو-جابجایی در حالت استفاده از نمونه A، پروفیل نمایی و بدون روانکار برای نسبت های مختلف اکستروژن.....۱۱۰
شکل۵-۲۴: منحنی‌های نیرو-جابجایی در حالت استفاده از نمونه B، پروفیل نمایی و بدون روانکار برای نسبت های مختلف اکستروژن.....۱۱۰
شکل۵-۲۵: منحنی های نیرو- جابجایی درحالت استفاده از نمونه A، پروفیل نمایی و روانکار (تیتانیا + وازلین) برای نسبت های مختلف اکستروژن.....۱۱۱
شکل۵-۲۶: منحنی های نیرو- جابجایی درحالت استفاده از نمونه B، پروفیل نمایی و روانکار (تیتانیا + وازلین) برای نسبت های مختلف اکستروژن.....۱۱۱
شکل۵-۲۷: منحنی‌های نیرو-جابجایی در حالت استفاده از نمونه A، پروفیل خطی و بدون روانکار برای نسبت های مختلف اکستروژن.....۱۱۲
شکل۵-۲۸: منحنی‌های نیرو-جابجایی در حالت استفاده از نمونه B، پروفیل خطی و بدون روانکار برای نسبت های مختلف اکستروژن.....۱۱۲

شکل۵-۲۹: منحنی های نیرو- جابجایی در حالت استفاده از نمونه A، پروفیل خطی و روانکار(تیتانیا + وازلین) برای نسبت های مختلف اکستروژن.....۱۱۳
شکل۵-۳۰: منحنی های نیرو- جابجایی در حالت استفاده از نمونه B، پروفیل خطی و روانکار (تیتانیا + وازلین) برای نسبت های مختلف اکستروژن.....۱۱۳
شکل۵-۳۱: منحنی های نیرو- جابجایی در حالت استفاده از نمونه A، پروفیل مرتبه دو و بدون روانکار برای نسبت های مختلف اکستروژن ۱۱۴
شکل۵-۳۲: منحنی های نیرو- جابجایی در حالت استفاده از نمونه B، پروفیل مرتبه دو و بدون روانکار برای نسبت های مختلف اکستروژن ۱۱۴
شکل۵-۳۳: منحنی های نیرو- جابجایی در حالت استفاده از نمونه A، پروفیل مرتبه دو و روانکار (تیتانیا + وازلین) برای نسبت های مختلف اکستروژن.....۱۱۵
شکل۵-۳۴: منحنی های نیرو- جابجایی در حالت استفاده از نمونه B، پروفیل مرتبه دو و روانکار (تیتانیا + وازلین) برای نسبت های مختلف اکستروژن.....۱۱۵
شکل۵-۳۵: منحنی های نیرو- جابجایی درحالت استفاده از نمونه B، پروفیل نمایی و نسبت اکستروژن ۲ برای شرایط اصطکاکی مختلف ۱۱۶
شکل۵-۳۶: منحنی های نیرو- جابجایی در حالت استفاده از نمونه B، پروفیل خطی و نسبت اکستروژن ۲ برای شرایط اصطکاکی مختلف ۱۱۷
شکل۵-۳۷: منحنی های نیرو- جابجایی در حالت استفاده از نمونه B، پروفیل مرتبه دو و نسبت اکستروژن ۲ برای شرایط اصطکاکی مختلف ۱۱۷
شکل۵-۳۸: منحنی های نیرو- جابجایی در حالت استفاده از نمونه B، پروفیل نمایی و نسبت اکستروژن ۲/۵ برای شرایط اصطکاکی مختلف ۱۱۸
شکل۵-۳۹: منحنی های نیرو- جابجایی در حالت استفاده از نمونه B، پروفیل خطی و نسبت اکستروژن ۲/۵ برای شرایط اصطکاکی مختلف ۱۱۸
شکل۵-۴۰: منحنی های نیرو- جابجایی در حالت استفاده از نمونه B، پروفیل مرتبه دو و نسبت اکستروژن ۲/۵ برای شرایط اصطکاکی مختلف ۱۱۹
شکل۵-۴۱: منحنی های نیرو- جابجایی در حالت استفاده از نمونه B، پروفیل نمایی و نسبت اکستروژن ۳ برای شرایط اصطکاکی مختلف ۱۱۹
شکل۵-۴۲: منحنی های نیرو- جابجایی در حالت استفاده از نمونه B، پروفیل خطی و نسبت اکستروژن ۳ برای شرایط اصطکاکی مختلف ۱۲۰
شکل۵-۴۳: منحنی های نیرو- جابجایی در حالت استفاده از نمونه B، پروفیل مرتبه دو و نسبت اکستروژن ۳ برای شرایط اصطکاکی مختلف ۱۲۰

شکل۵-۴۴: منحنی های نیرو- جابجایی در حالت استفاده از پروفیل خطی، نسبت اکستروژن ۲ و بدون روانکار برای نمونه های با طول های مختلف ۱۲۱
شکل۶-۱: مقایسه نتایج تجربی و شبیه سازی در حالت استفاده از قالب با پروفیل نمایی، نسبت اکستروژن ۲ و شرایط بدون روانکار برای نمونه A ۱۲۳
شکل۶-۲: مقایسه نتایج تجربی و شبیه سازی در حالت استفاده از قالب با پروفیل نمایی، نسبت اکستروژن ۲ و شرایط بدون روانکار برای نمونه B ۱۲۴
شکل۶-۳: مقایسه نتایج تجربی و شبیه سازی در حالت استفاده از قالب با پروفیل نمایی، نسبت اکستروژن ۲ و روانکار (تیتانیا + وازلین) برای نمونه A ۱۲۴
شکل۶-۴: مقایسه نتایج تجربی و شبیه سازی در حالت استفاده از قالب با پروفیل نمایی، نسبت اکستروژن ۲ و روانکار (تیتانیا + وازلین) برای نمونه B..... ۱۲۵
شکل۶-۵: مقایسه نتایج تجربی و شبیه سازی در حالت استفاده از قالب با پروفیل خطی، نسبت اکستروژن ۲ و شرایط بدون روانکار برای نمونه A ۱۲۵
شکل۶-۶: مقایسه نتایج تجربی و شبیه سازی در حالت استفاده از قالب با پروفیل خطی، نسبت اکستروژن ۲ و شرایط بدون روانکار برای نمونه B ۱۲۶
شکل۶-۷: مقایسه نتایج تجربی و شبیه سازی در حالت استفاده از قالب با پروفیل خطی، نسبت اکستروژن ۲ و روانکار (تیتانیا + وازلین) برای نمونه A..... ۱۲۶
شکل۶-۸: مقایسه نتایج تجربی و شبیه سازی در حالت استفاده از قالب با پروفیل خطی، نسبت اکستروژن ۲ و روانکار (تیتانیا + وازلین) برای نمونه B..... ۱۲۷
شکل۶-۹: مقایسه نتایج تجربی و شبیه سازی در حالت استفاده از قالب با پروفیل مرتبه دو، نسبت اکستروژن ۲ و شرایط بدون روانکار برای نمونه A ۱۲۷
شکل۶-۱۰: مقایسه نتایج تجربی و شبیه سازی در حالت استفاده از قالب با پروفیل مرتبه دو، نسبت اکستروژن ۲ و شرایط بدون روانکار برای نمونه B ۱۲۸
شکل۶-۱۱: مقایسه نتایج تجربی و شبیه سازی در حالت استفاده از قالب با پروفیل مرتبه دو، نسبت اکستروژن ۲ و روانکار (تیتانیا + وازلین) برای نمونه A..... ۱۲۸
شکل۶-۱۲: مقایسه نتایج تجربی و شبیه سازی در حالت استفاده از قالب با پروفیل مرتبه دو، نسبت اکستروژن ۲ و روانکار (تیتانیا + وازلین) برای نمونه B..... ۱۲۹
شکل۶-۱۳: مقایسه نتایج تجربی و شبیه سازی در حالت استفاده از قالب با پروفیل نمایی، نسبت اکستروژن ۲/۵ و شرایط بدون روانکار برای نمونه A. ۱۲۹
شکل۶-۱۴: مقایسه نتایج تجربی و شبیه سازی در حالت استفاده از قالب با پروفیل نمایی، نسبت اکستروژن ۲/۵ و شرایط بدون روانکار برای نمونه B ۱۳۰

شکل۶-۱۵: مقایسه نتایج تجربی و شبیه سازی در حالت استفاده از قالب با پروفیل نمایی، نسبت اکستروژن ۲/۵ و روانکار (تیتانیا + وازلین) برای نمونه A ۱۳۰
شکل۶-۱۶: مقایسه نتایج تجربی و شبیه سازی در حالت استفاده از قالب با پروفیل نمایی، نسبت اکستروژن ۲/۵ و روانکار (تیتانیا + وازلین) برای نمونه B..... ۱۳۱
شکل۶-۱۷: مقایسه نتایج تجربی و شبیه سازی در حالت استفاده از قالب با پروفیل خطی، نسبت اکستروژن ۲/۵ و شرایط بدون روانکار برای نمونه A..... ۱۳۱
شکل۶-۱۸: مقایسه نتایج تجربی و شبیه سازی در حالت استفاده از قالب با پروفیل خطی، نسبت اکستروژن ۲/۵ و شرایط بدون روانکار برای نمونه B ۱۳۲
شکل۶-۱۹: مقایسه نتایج تجربی و شبیه سازی در حالت استفاده از قالب با پروفیل خطی، نسبت اکستروژن ۲/۵ و روانکار (تیتانیا + وازلین) برای نمونه A ۱۳۲
شکل۶-۲۰: مقایسه نتایج تجربی و شبیه سازی در حالت استفاده از قالب با پروفیل خطی، نسبت اکستروژن ۲/۵ و روانکار (تیتانیا + وازلین) برای نمونه B..... ۱۳۳
شکل۶-۲۱: مقایسه نتایج تجربی و شبیه سازی در حالت استفاده از قالب با پروفیل مرتبه دو، نسبت اکستروژن ۲/۵ و شرایط بدون روانکار برای نمونه A..... ۱۳۳
شکل۶-۲۲: مقایسه نتایج تجربی و شبیه سازی در حالت استفاده از قالب با پروفیل مرتبه دو، نسبت اکستروژن ۲/۵ و شرایط بدون روانکار برای نمونه B ۱۳۴
شکل۶-۲۳: مقایسه نتایج تجربی و شبیه سازی در حالت استفاده از قالب با پروفیل مرتبه دو، نسبت اکستروژن ۲/۵ و روانکار (تیتانیا + وازلین) برای نمونه A ۱۳۴
شکل۶-۲۴: مقایسه نتایج تجربی و شبیه سازی در حالت استفاده از قالب با پروفیل مرتبه دو، نسبت اکستروژن ۲/۵ و روانکار (تیتانیا + وازلین) برای نمونه B..... ۱۳۵
شکل۶-۲۵: مقایسه نتایج تجربی و شبیه سازی در حالت استفاده از قالب با پروفیل نمایی، نسبت اکستروژن ۳ و شرایط بدون روانکار برای نمونه A..... ۱۳۵
شکل۶-۲۶: مقایسه نتایج تجربی و شبیه سازی در حالت استفاده از قالب با پروفیل نمایی، نسبت اکستروژن ۳ و شرایط بدون روانکار برای نمونه B ۱۳۶
شکل۶-۲۷: مقایسه نتایج تجربی و شبیه سازی در حالت استفاده از قالب با پروفیل نمایی، نسبت اکستروژن ۳ و روانکار (تیتانیا + وازلین) برای نمونه A..... ۱۳۶
شکل۶-۲۸: مقایسه نتایج تجربی و شبیه سازی در حالت استفاده از قالب با پروفیل نمایی، نسبت اکستروژن ۳ و روانکار (تیتانیا + وازلین) برای نمونه B..... ۱۳۷
شکل۶-۲۹: مقایسه نتایج تجربی و شبیه سازی در حالت استفاده از قالب با پروفیل خطی، نسبت اکستروژن ۳ و شرایط بدون روانکار برای نمونه A..... ۱۳۷

شکل۶-۳۰: مقایسه نتایج تجربی و شبیه سازی در حالت استفاده از قالب با پروفیل خطی، نسبت اکستروژن ۳ و شرایط بدون روانکار برای نمونه B ۱۳۸
شکل۶-۳۱: مقایسه نتایج تجربی و شبیه سازی در حالت استفاده از قالب با پروفیل خطی، نسبت اکستروژن ۳ و روانکار (تیتانیا + وازلین) برای نمونه A..... ۱۳۸
شکل۶-۳۲: مقایسه نتایج تجربی و شبیه سازی در حالت استفاده از قالب با پروفیل خطی، نسبت اکستروژن ۳ و روانکار (تیتانیا + وازلین) برای نمونه B..... ۱۳۹
شکل۶-۳۳: مقایسه نتایج تجربی و شبیه سازی در حالت استفاده از قالب با پروفیل مرتبه دو، نسبت اکستروژن ۳ و شرایط بدون روانکار برای نمونه A ۱۳۹
شکل۶-۳۴: مقایسه نتایج تجربی و شبیه سازی در حالت استفاده از قالب با پروفیل مرتبه دو، نسبت اکستروژن ۳ و شرایط بدون روانکار برای نمونه B ۱۴۰
شکل۶-۳۵: مقایسه نتایج تجربی و شبیه سازی در حالت استفاده از قالب با پروفیل مرتبه دو، نسبت اکستروژن ۳ و روانکار (تیتانیا + وازلین) برای نمونه A..... ۱۴۰
شکل۶-۳۶: مقایسه نتایج تجربی و شبیه سازی در حالت استفاده از قالب با پروفیل مرتبه دو، نسبت اکستروژن ۳ و روانکار (تیتانیا + وازلین) برای نمونه B..... ۱۴۱