

صفحه	فهرست شکل‌ها
۱	۱ معرفی پژوهش
۲	شکل ۱-۱ نمایی شماتیک از فرآیند تراشکاری داخلی
۳	شکل ۲-۱ هندسه و زوایای لبه‌برشی اینسرت
۶	شکل ۳-۱ بروز ناپایداری دینامیکی در فرآیند تراشکاری داخلی با استفاده از ابزار انعطاف‌پذیر
۱	۲ مروری بر پژوهش‌های پیشین
۲۸	۳ بستر آزمایشگاهی تحقیق
۳۱	شکل ۱-۳ ساختار ارتباطی اجزاء تشکیل‌دهنده بستر آزمایشگاهی تحقیق
۳۴	شکل ۲-۳ مجموعه مونتاژی عملگر شیکر الکترو دینامیک به همراه میز متحرک آن
۳۵	شکل ۳-۳ مجموعه مونتاژی ابزار داخل تراش ساخته شده در آزمایشگاه CAD/CAM
۳۶	شکل ۴-۳ نمایش تصویری مراحل ساخت قطعات ریخته‌گری شده پایه تکیه‌گاه
۳۷	شکل ۵-۳ نمایش تصویری مراحل ساخت فلنج‌های شکاف‌دار
۳۹	شکل ۶-۳ نمایش تصویری مراحل ساخت قطعه رابط اتصال سربرشی به بدنه ابزار
۴۱	۴ شناسایی دینامیک ابزار و عملگر
۴۳	شکل ۱-۴ مجموعه مونتاژی ابزار داخل تراش به همراه تجهیزات آزمون مودال تجربی
۴۷	شکل ۲-۴ برازش منحنی بر روی توابع پاسخ فرکانسی تجربی (a) نقطه‌ای و (b-c) ضربی به روش کسرگویای چندجمله‌ای (چنددرجه آزادی) و روش انتخاب قله‌ها (یکدرجه آزادی)
۴۹	شکل ۳-۴ نمایش یک سیستم دینامیکی با ورودی u ، اغتشاش اندازه‌گیری شده w ، خروجی y و اغتشاش اندازه‌گیری نشده v
۵۰	شکل ۴-۴ مجموعه مونتاژی عملگر شیکر الکترومغناطیس و ابزار داخل تراش در آزمون‌های شناسایی
۵۲	شکل ۵-۴ ترسیمه سیگنال تحریک chirp با دامنه واحد در حوزه زمان و فرکانس
۵۳	شکل ۶-۴ نمایش زیرسیستم‌های تشکیل‌دهنده مسیر مستقیم
۵۸	شکل ۷-۴ سیگنال جریان خروجی از تقویت‌کننده توان خطی برای تحریک ولتاژ ورودی با دامنه واحد
۶۰	شکل ۸-۴ سیگنال نیروی خروجی از شیکر الکترو دینامیک برای تحریک جریان ورودی متناظر با ولتاژ واحد
۶۲	شکل ۹-۴ سیگنال شتاب خروجی از ابزار داخل تراش برای تحریک نیروی ورودی متناظر با ولتاژ واحد
۶۷	شکل ۱۰-۴ نمایش رابطه خطی بین بخش‌های حقیقی و موهومی قطب‌های حساس تابع تبدیل پارامتر متغیر و دامنه ولتاژ تحریک ورودی
۶۸	شکل ۱۱-۴ نحوه جابجایی موقعیت قطب‌های حساس مسیر مستقیم در مدل دینامیکی پارامتر متغیر
۶۹	شکل ۱۲-۴ نمایش تغییر شکل منحنی تابع پاسخ فرکانسی مسیر مستقیم برحسب دامنه تحریک ورودی
۷۱	شکل ۱۳-۴ سیگنال شتاب خروجی از ابزار داخل تراش برای تحریک ولتاژ نویز سفید گوسی فیلترشده
۷۲	شکل ۱۴-۴ سیگنال نیروی خروجی از شیکر الکترو دینامیک برای تحریک ولتاژ نویز سفید گوسی فیلترشده
۷۳	۵ دینامیک فرآیند تراشکاری داخلی
۷۵	شکل ۱-۵ نمایش سه بعدی فرآیند تراشکاری داخلی با لحاظ کردن مکانیک برش و دینامیک ابزار

- شکل ۵-۲ نمایش پارامترهای ضخامت براده استاتیکی و عرض برش در فرآیند تراشکاری داخلی ۷۶
- شکل ۵-۳ برهمکنش متقابل ارتعاشات نوک ابزار و موج باقیمانده روی سطح قطعه کار ۷۷
- شکل ۵-۴ تخمین دالان‌های پایداری برای ابزار داخل‌تراش با نسبت طول به قطر ۸ ۸۱
- شکل ۵-۵ تحریک نوک ابزار در دو راستای ارتعاشی متعامد: مماسی (راست) و شعاعی (چپ) ۸۳
- شکل ۵-۶ کاهش فرکانس طبیعی اول ابزار داخل‌تراش در دو راستای ارتعاشی متعامد با افزایش نسبت طول به قطر ۸۴
- شکل ۵-۷ کاهش فرکانس طبیعی دوم ابزار داخل‌تراش در دو راستای ارتعاشی متعامد با افزایش نسبت طول به قطر ۸۴
- شکل ۵-۸ نمایی از ابزار داخل‌تراش در آزمون‌های تراشکاری داخلی ۸۶
- شکل ۵-۹ ترسیمه سیگنال شتاب نوک ابزار در فرآیند تراشکاری داخلی برای نسبت‌های مختلف طول به قطر ابزار و شرایط برشی یکسان: راستای مماسی (راست) و راستای شعاعی (چپ) ۸۷
- شکل ۵-۱۰ ترسیمه تبدیل سریع فوری سیگنال شتاب نوک ابزار در فرآیند تراشکاری داخلی برای نسبت‌های مختلف طول به قطر ابزار و شرایط برشی یکسان: راستای مماسی (راست) و راستای شعاعی (چپ) ۸۸
- شکل ۵-۱۱ مقایسه سطح قطعه کار آلومینیومی در نسبت‌های طول به قطر مختلف و شرایط برشی یکسان ۸۹
- ۶ طراحی، تحلیل و پیاده‌سازی کنترلر PID بهینه ۹۱**
- شکل ۶-۱ بخش‌های اصلی تشکیل‌دهنده ساختار کنترلر پس‌خور ۹۲
- شکل ۶-۲ نمایش توابع تبدیل در ساختار کنترلر پس‌خور به همراه سیگنال‌های ورودی، میانی و خروجی ۹۵
- شکل ۶-۳ دیاگرام بلوکی ساختار کنترلر پس‌خور با کنترلر PID دیجیتال ۹۷
- شکل ۶-۴ تحلیل مکان‌هندسی ریشه‌های سیستم کنترلی حلقه بسته (در فضای z) با لحاظ کردن عبارت (a) تناسبی، (b) انتگرالی یا (c) مشتقی در تابع تبدیل کنترلر ۱۰۰
- شکل ۶-۵ ترسیمه دسته منحنی‌های تابع تبدیل حلقه بسته به ازای مقادیر مختلف ضریب بهره K_i ۱۰۲
- شکل ۶-۶ نمایش کارایی تئوری سیستم کنترل حلقه بسته در حوزه‌های زمان و فرکانس ۱۰۷
- شکل ۶-۷ نمایش پایداری تئوری سیستم کنترل حلقه بسته در حوزه فرکانس ۱۰۸
- شکل ۶-۸ نحوه تحریک سازه ابزار داخل‌تراش دارای کنترل فعال ارتعاشات در آزمون‌های کنترل ضربه ۱۰۹
- شکل ۶-۹ منحنی پاسخ فرکانسی ابزار داخل‌تراش در حالت بدون کنترل و با کنترلر PID بهینه ۱۱۰
- شکل ۶-۱۰ نمایی از ابزار داخل‌تراش دارای کنترل فعال ارتعاشات در آزمون‌های برش تجربی ۱۱۲
- شکل ۶-۱۱ پاسخ حوزه زمان و فرکانس آزمون‌های برشی در حالت بدون کنترل ۱۱۴
- شکل ۶-۱۲ پاسخ حوزه زمان و فرکانس آزمون‌های برشی در حضور کنترلر PID بهینه ۱۱۵
- شکل ۶-۱۳ چگالی طیفی توان ارتعاشات ابزار داخل‌تراش در حالت بدون کنترل و در حضور کنترلر PID بهینه برای مقادیر مختلف عمق برش (a) ۰/۵ میلی‌متر، (b) ۱ میلی‌متر و (c) ۲ میلی‌متر ۱۱۶
- شکل ۶-۱۴ مقایسه بافت سطح قطعه کارهای آلومینیومی در حالت بدون کنترل با حالت دارای کنترلر PID بهینه برای مقادیر مختلف عمق برش (a) ۰/۵ میلی‌متر، (b) ۱ میلی‌متر و (c) ۲ میلی‌متر ۱۱۷
- شکل ۶-۱۵ مقایسه پروفیل سطح قطعه کار آلومینیومی در حالت بدون کنترل با حالت دارای کنترلر PID بهینه در عمق برش ۱ میلی‌متر، نرخ پیشروی ۰/۲۲ میلی‌متر و سرعت اسپیندل ۵۰۰ دور بر دقیقه ۱۱۹

- شکل ۶-۱۶ نمایش هندسه پروفیل سطح قطعه کار آلومینیومی برای کنترلر PID برحسب پارامتر ضریب بهره K_i در عمق برش ۰/۵ میلی‌متر، نرخ پیشروی ۰/۲۲ میلی‌متر و سرعت اسپیندل ۵۰۰ دور بر دقیقه ۱۱۹
- ۷ طراحی، تحلیل و پیاده‌سازی کنترلر PID تطبیقی** ۱۲۲
- شکل ۷-۱ نحوه تغییر منحنی پاسخ فرکانسی ابزار داخل تراش دارای کنترلر PID بهره ثابت با افزایش تدریجی مقدار ضریب بهره کنترلر K_i ۱۲۳
- شکل ۷-۲ تغییر مقدار فرکانس طبیعی مود اصلی ابزار داخل تراش برحسب مقدار ضریب بهره کنترلر K_i ۱۲۴
- شکل ۷-۳ تغییر نسبت میرایی مود اصلی ابزار داخل تراش برحسب مقدار ضریب بهره کنترلر K_i ۱۲۴
- شکل ۷-۴ تغییر مقدار جرم مودال ابزار داخل تراش برحسب مقدار ضریب بهره کنترلر K_i ۱۲۵
- شکل ۷-۵ تغییر مقدار سفتی مودال ابزار داخل تراش برحسب مقدار ضریب بهره کنترلر K_i ۱۲۵
- شکل ۷-۶ نحوه تغییر منحنی نسبت انتقال برای شیکر الکترو دینامیک با افزایش تدریجی مقدار ضریب بهره کنترلر K_i ۱۲۶
- شکل ۷-۷ تغییر هزینه عملگر بدون بُعد برحسب مقدار ضریب بهره کنترلر K_i ۱۲۷
- شکل ۷-۸ روند تغییر مقدار سفتی دینامیکی مود اصلی ابزار برحسب ضریب بهره کنترلر K_i ۱۲۸
- شکل ۷-۹ روند تغییر مقدار هزینه عملگر بدون بُعد برحسب ضریب بهره کنترلر K_i ۱۲۸
- شکل ۷-۱۰ حالت‌های ممکن برای توصیف برهمکنش متقابل دینامیک فرآیند برش و سیستم کنترل از دیدگاه انرژی ۱۳۰
- شکل ۷-۱۱ مقایسه دیاگرام بود توابع پاسخ فرکانسی تجربی جریان (ولتاژ) ورودی به عملگر با توابع تبدیل ریاضی زمان-گسسته (فضای Z) شناسایی شده ۱۳۴
- شکل ۷-۱۲ دیاگرام بود تابع تبدیل نقطه‌ای انتهای آزاد ابزار داخل تراش در نسبت طول به قطر ۸ ۱۳۶
- شکل ۷-۱۳ دیاگرام بلوکی ساختار کنترل پس‌خور با کنترلر PID تطبیقی دیجیتال ۱۳۹
- شکل ۷-۱۴ نمایش تغییرات حد بهره و حد فاز برای سیستم کنترل حلقه بسته خطی ۱۴۲
- شکل ۷-۱۵ تاثیر پارامتر حذب‌الای ضریب بهره $K_{i_{max}}$ بر کارایی کنترلر PID تطبیقی ۱۴۴
- شکل ۷-۱۶ تاثیر پارامتر طول پنجره لغزشی N بر کارایی کنترلر PID تطبیقی ۱۴۵
- شکل ۷-۱۷ تاثیر پارامتر ضریب فراموشی λ بر کارایی کنترلر PID تطبیقی ۱۴۵
- شکل ۷-۱۸ پاسخ حوزه زمان و فرکانس آزمون‌های برشی در حضور کنترلر PID تطبیقی ۱۴۸
- شکل ۷-۱۹ چگالی طیفی توان ارتعاشات ابزار داخل تراش در حالت بدون کنترل و در حضور کنترلر PID تطبیقی برای مقادیر مختلف عمق برش (a) ۰/۵ میلی‌متر، (b) ۱ میلی‌متر و (c) ۲ میلی‌متر ۱۴۹
- شکل ۷-۲۰ مقایسه بافت سطح قطعه کارهای آلومینیومی در حالت بدون کنترل با حالت دارای کنترلر PID تطبیقی برای مقادیر مختلف عمق برش (a) ۰/۵ میلی‌متر، (b) ۱ میلی‌متر و (c) ۲ میلی‌متر ۱۵۰
- شکل ۷-۲۱ مقایسه پروفیل سطح قطعه کار آلومینیومی در حالت بدون کنترل با حالت دارای کنترلر PID تطبیقی در عمق برش ۱ میلی‌متر، نرخ پیشروی ۰/۲۲ میلی‌متر و سرعت اسپیندل ۵۰۰ دور بر دقیقه ۱۵۱
- شکل ۷-۲۲ مقایسه تاریخچه زمانی ولتاژ ارسالی به شیکر الکترو دینامیک در حضور (a) کنترلر PID بهینه و (b) کنترلر PID تطبیقی برای آزمون‌های برشی با مقادیر مختلف عمق برش ۱۵۲
- ۸ طراحی، تحلیل و پیاده‌سازی کنترلر FIR تطبیقی** ۱۵۴

- شکل ۸-۱ نمایش گرافیکی فیلتر تطبیقی FIR با ساختار متقاطع ۱۵۷
- شکل ۸-۲ کاربرد رایج یک فیلتر تطبیقی ۱۵۹
- شکل ۸-۳ کاربرد فیلتر تطبیقی برای شناسایی دینامیک سیستم ناشناخته ۱۶۵
- شکل ۸-۴ کاربرد فیلتر تطبیقی برای مدلسازی معکوس دینامیک یک سیستم ناشناخته ۱۶۶
- شکل ۸-۵ کاربرد فیلتر تطبیقی برای پیش‌بینی مقدار لحظه‌ای یک سیگنال تصادفی ۱۶۶
- شکل ۸-۶ کاربرد فیلتر تطبیقی برای حذف اغتشاش (سیگنال مرجع) از سیگنال اصلی ۱۶۷
- شکل ۸-۷ سیستم کنترل فعال نویز صوتی در داخل یک کانال هوا ۱۶۸
- شکل ۸-۸ نمایش ساختار کنترل فعال نویز صوتی از دیدگاه شناسایی سیستم تطبیقی ۱۶۸
- شکل ۸-۹ دیاگرام بلوکی ساده‌سازی شده برای کنترل فعال نویز صوتی ۱۶۹
- شکل ۸-۱۰ دیاگرام بلوکی کنترل فعال نویز صوتی با الگوریتم FxLMS ۱۷۰
- شکل ۸-۱۱ دیاگرام بلوکی ساختار کنترل پس‌خور با کنترلر FIR تطبیقی دیجیتال ۱۷۱
- شکل ۸-۱۲ دیاگرام بلوکی ساختار کنترل پس‌خور با الگوریتم FxNLMS ۱۷۳
- شکل ۸-۱۳ دیاگرام بلوکی ساختار کنترل پس‌خور با الگوریتم FxNLMS-IMC ۱۷۴
- شکل ۸-۱۴ نمایش تابع ضربه واحد (دیراک-دلتا) و تابع ضربه دیجیتال در فضای زمان-گسسته ۱۷۵
- شکل ۸-۱۵ محاسبه ضرایب فیلتر مدل از روی پاسخ دینامیکی مسیر مستقیم به تحریک ضربه دیجیتال ۱۷۶
- شکل ۸-۱۶ مقایسه پاسخ فرکانسی فیلتر FIR تخمین‌گر مدل دینامیکی با تابع تبدیل شناسایی شده برای مسیر مستقیم ۱۷۷
- شکل ۸-۱۷ دیاگرام بلوکی مدلسازی معکوس دینامیک مسیر مستقیم با ساختار پیش‌خور ۱۸۰
- شکل ۸-۱۸ هندسه رویه خطا بر حسب پارامترهای کنترلر تطبیقی FxNLMS-IMC ۱۸۱
- شکل ۸-۱۹ مقایسه سیگنال شتاب ورودی به کنترلر (سیگنال اصلی) و سیگنال شتاب خروجی ناشی از عملکرد کنترلر (سیگنال FxNLMS-IMC) با پارامترهای $\lambda = 0.999$ ، $L = 46$ و $\bar{\mu} = 0.00055$ ۱۸۲
- شکل ۸-۲۰ دیاگرام بلوکی مدلسازی معکوس دینامیک مسیر مستقیم با ساختار پس‌خور ۱۸۲
- شکل ۸-۲۱ بررسی تاثیر طول فیلتر مدل L_m بر بهبود کارایی کنترلر FxNLMS-IMC ۱۸۳
- شکل ۸-۲۲ بررسی تاثیر ضریب فراموشی γ بر بهبود کارایی کنترلر FxNLMS-IMC ۱۸۴
- شکل ۸-۲۳ مقایسه شتاب خروجی از ابزار در حالت بدون کنترل و دارای کنترلر FIR تطبیقی با پارامترهای بهینه ۱۸۵
- شکل ۸-۲۴ تاثیر پارامتر ضریب فراموشی γ بر کارایی کنترلر FIR تطبیقی با ساختار FxNLMS-IMC ۱۸۷
- شکل ۸-۲۵ تاثیر طول فیلتر مدل L_m بر کارایی کنترلر FIR تطبیقی با ساختار FxNLMS-IMC ۱۸۸
- شکل ۸-۲۶ تاثیر نرخ یادگیری بدون بُعد $\bar{\mu}$ بر کارایی کنترلر FIR تطبیقی با ساختار FxNLMS-IMC ۱۸۹
- شکل ۸-۲۷ تاثیر طول فیلتر کنترلر L بر کارایی کنترلر FIR تطبیقی با ساختار FxNLMS-IMC ۱۹۰
- شکل ۸-۲۸ پاسخ حوزه زمان و فرکانس آزمون‌های برشی در حضور کنترلر FIR تطبیقی ۱۹۲
- شکل ۸-۲۹ چگالی طیفی توان ارتعاشات ابزار داخل تراش در حالت بدون کنترل و در حضور کنترلر FIR تطبیقی برای مقادیر مختلف عمق برش (a) ۰/۵ میلی‌متر، (b) ۱ میلی‌متر و (c) ۲ میلی‌متر ۱۹۲

- شکل ۸-۳۰ مقایسه بافت سطح قطعه کارهای آلومینیومی در حالت بدون کنترل با حالت دارای کنترلر FIR تطبیقی برای مقادیر مختلف عمق برش (a) ۰/۵ میلی‌متر، (b) ۱ میلی‌متر و (c) ۲ میلی‌متر ۱۹۴
- شکل ۸-۳۱ مقایسه پروفیل سطح قطعه کار آلومینیومی در حالت بدون کنترل با حالت دارای کنترلر FIR تطبیقی در عمق برش ۱ میلی‌متر، نرخ پیشروی ۰/۲۲ میلی‌متر و سرعت اسپیندل ۵۰۰ دور بر دقیقه ۱۹۵
- شکل ۸-۳۲ مقایسه تاریخچه زمانی ولتاژ ارسالی به شیکرالکترو دینامیک در حضور (a) کنترلر PID بهینه و (b) کنترلر FIR تطبیقی برای آزمون‌های برشی با مقادیر مختلف عمق برش ۱۹۶
- ۹ نتیجه‌گیری و پیشنهادها**