





دانشگاه صنعتی امیرکبیر

(پلی تکنیک تهران)

دانشکده مهندسی پلیمر

پایان نامه جهت اخذ درجه

کارشناسی ارشد مهندسی پلیمر - صنایع رنگ

عنوان

سنتز و بررسی سینتیکی رزین های اپوکسی آکریلات
پخت شونده با UV

ارائه دهنده :

پونه کاردر

اساتید راهنما:

دکتر مرتضی ابراهیمی

دکتر سعید باستانی

مهر ۱۳۸۶

بسمه تعالی



دانشگاه صنعتی امیر کبیر
(پلی تکنیک تهران)

فرم اطلاعات پایان نامه
کارشناسی ارشد و دکترا

شماره -----

تاریخ -----

معاونت پژوهشی
فرم پروژه تحصیلات تکمیلی ۲

مشخصات دانشجو

نام و نام خانوادگی: پونه کاردر

شماره دانشجویی: ۸۴۱۳۲۰۳۶

دانشکده: مهندسی پلیمر رشته تحصیلی: صنایع رنگ

نام و نام خانوادگی استاد راهنما: دکتر مرتضی ابراهیمی - دکتر سعید باستانی

عنوان به فارسی:

سنتر و بررسی سینتیکی رزین‌های اپوکسی‌اکریلات پخت شونده با UV

عنوان به انگلیسی:

Synthetic and kinetic study of UV-curable epoxy acrylate resins

کارشناسی ارشد ×

نوع پروژه

دکترا

نظری

توسعه ای

بنیادی

کاربردی

تعداد واحد: ۹

تاریخ خاتمه: مهر ۱۳۸۶

تاریخ شروع: مهر ۱۳۸۵

سازمان تامین کننده اعتبار: دانشگاه صنعتی امیرکبیر-پژوهشکده صنایع رنگ ایران

واژه های کلیدی به فارسی: پوشش‌های پخت شونده با UV-رزینهای اپوکسی اکریلات.

واژه های کلیدی به انگلیسی:

UV-curable, epoxy acrylate, synthesis

نظر ها و پیشنهاد ها به منظور بهبود فعالیت های پژوهشی دانشگاه:

استاد راهنما:

دانشجو: ----

امضا استاد راهنما: تاریخ:

نسخه ۱: معاونت پژوهشی

نسخه ۲: کتابخانه و به انضمام دو جلد پایان نامه به منظور تسویه حساب با کتابخانه و مرکز اسناد و مدارک علمی

تقدیم به همسر م که با صبوریهایش همواره همراه و یاریگر من در پیمودن مسیر دانش و اندیشه بوده است.

تقدیم به زحمتهای و خستگیهای پدرم و تقدیم به فداکاریها و شبزنده‌داریهای مادرم که خود چون شمع سوختند تا سبب پیشرفت من شوند.

تقدیم به خواهر و برادر بسیار مهربانم که در تمام سختیها، حامی و پشتیبان من بوده‌اند.

قدر استاد نگو دانستن

هیف استاد به من یاد نداد

با تقدیر و امتنان ویژه از اساتید بزرگوارم :

جناب آقای دکتر مرتضی ابراهیمی

و

جناب آقای دکتر سعید باستانی

که سایه حضور پربار و بی دریغشان، در لحظه لحظه‌های این
مسیر، محسوس بوده است.

سپاسگزاری

اکنون که نگارش این پایان نامه به اتمام رسیده است بر خود فرض می دانم که از تمامی کسانی که در این راه مرا یاری رسانیده اند تشکر و قدردانی نمایم.

از تمام همکارانم در پژوهشکده صنایع رنگ، سرکار خانم دکتر رنجبر، آقای مهندس جلیلی، خانم مهندس منتظری، خانم مهندس اشهری، آقای دکتر نجفی و آقای اعتمادی، که در هموار کردن مسیر پرفرازو نشیب این پروژه نقش بسزایی داشتند، بینهایت سپاسگزارم.

از اساتید و دوستان خوبم در دانشکده پلیمر دانشگاه صنعتی امیرکبیر، جناب آقای دکتر محسنی، خانم مهندس سمعی، آقای مهندس والا، آقای مهندس امینی، آقای مهندس گنجایی، آقای مهندس مافی، آقای مهندس رمضانزاده، خانم مهندس فیلسوف، خانم مهندس جعفرزاده و خانم مهندس حیدری، به خاطر تمامی کمکهایشان قدردان و ممنونم.

از همکاری آقای مهندس مرادی از شرکت فرابنفش، آقای آذرانی و آقای مهندس حسینی از شرکت رنگسازی باژاک، آقای مهندس جبروتی و خانم مهندس امیریان از شرکت فراتابش یزد، در تهیه مواد و تجهیزات این پروژه سپاسگزارم.

همچنین از دوستان بسیار خوبم خانم کشتکار و آقای مهندس صابری نیا که همیشه یاریگر و پشتیبان من بوده اند، بسیار متشکرم.

پونه کاردر

مهر ۱۳۸۶

چکیده

استفاده از پوشش‌های تابش‌پز به دلیل سرعت فرآیند بالا، سازگاری با محیط زیست (درصد مواد فرار^۱ نزدیک به صفر و نیز کاهش مصرف انرژی) و خواص فیزیکی- مکانیکی بسیار خوب مانند مقاومت به خراش، به طور قابل توجهی افزایش یافته است. پوشش‌های اپوکسی-اکریلات به دلیل خواص عالی، در سیستم‌های تابش‌پز بسیار مورد توجه قرار گرفته‌اند. به دلیل ویسکوزیته بالای این رزین‌ها، از رقیق‌کننده‌های فعال برای کاهش ویسکوزیته و همچنین بهبود واکنش‌های تشکیل اتصالات عرضی استفاده می‌شود.

از طرف دیگر، در سال‌های اخیر، ذرات نانو، جهت بهبود خواص فیزیکی مکانیکی (بخصوص مقاومت خراش)، در سیستم‌های پلیمری و نیز اینگونه رزین‌ها، مد نظر محققین دانشگاهی و صنعتی قرار گرفته است.

در این پروژه، ابتدا رزین اپوکسی-اکریلات با استفاده از رزین اپوکسی بیس فنول A (EEW=190) و اکریلیک‌اسید در حضور تری‌اتیل‌آمین، به عنوان کاتالیزور، در محدوده دمایی 60°C تا 90°C سنتز و سینیتیک آن بررسی شده است. برای مطالعه سینیتیک، از نسبت‌های مولی برابر گروه اپوکسی و کربوکسیلی استفاده شده است. سپس برای تعیین درجه واکنش نسبت به هر یک از واکنش‌دهنده‌ها، از روش فزونی (excess) استفاده شده است. سپس رزین سنتز شده، با مونومرهای تری‌متیلول‌پروپان‌تری‌اکریلات (TMPTA)، تری‌پروپیلین‌گلیکول‌دی‌اکریلات (TPGDA) و ۶۱-هگزان‌دی‌ال‌دی‌اکریلات در فرمولاسیون‌های متفاوت فرموله شده است. میزان مونومرهای HDDA، TPGDA، TMPTA و رزین اپوکسی-اکریلات در محدوده‌های ۱۰-۳۰، ۳۰-۵، ۳۰-۵ و ۴۰-۸۰ درصد وزنی انتخاب شده‌اند و به کمک طراحی آزمایش به روش مخلوط^۲، تاثیر نوع و میزان این رقیق‌کننده‌های فعال بر ویسکوزیته رزین و خواص فیزیکی- مکانیکی فیلم پخت‌شده، مورد بررسی قرار گرفته است. برای بررسی چگونگی تاثیر ذرات نانوالومینا

۱. VOC

۲. Mixture method

بر برخی خواص فیزیکی-مکانیکی مانند سختی، خراش و براقیت، ۴٪ سوسپانسیون حاوی ۳۰٪ نانوالومینا در TPGDA (۱٪ جامد)، به دو فرمولاسیون افزوده شد. کلیه فرمولاسیون‌ها حاوی ۳٪ وزنی بنزوفنون به عنوان آغازگر و ۱۰phr تری‌اتانول‌آمین به عنوان کمک‌آغازگر بوده و به مدت ۵ ثانیه در حضور اشعه ماورای بنفش (UV) پخت شدند.

نتایج بدست آمده از مطالعات سینتیکی نشان داده که واکنش گروه اپوکسی و گروه کربوکسیل در حضور کاتالیزور تری‌اتیل‌آمین، از درجه یک بوده و انرژی اکتیواسیون حدود 46 kJmol^{-1} و ضریب برخورد حدود $10^5 \text{ min}^{-1} * 9/2$ می‌باشد. همچنین درجه جزئی واکنش نسبت به گروه‌های اپوکسی و اسیدی به ترتیب صفر و یک بدست آمد. ویسکوزیته فرمولاسیون‌های تهیه‌شده، با افزودن مونومرهای اکریلاتی بخصوص HDDA و TPGDA به شدت کاهش یافت. نتایج نشان داد که با افزایش میزان TMPTA سختی فیلم تشکیل‌شده افزایش می‌یابد. همچنین مشاهده شد که با افزودن ذرات نانوالومینا، رویت خراش کاهش یافته و مقاومت پوشش‌ها در برابر خراش افزایش می‌یابد. در ضمن افزودن ذرات نانوالومینا تاثیر چندانی بر خواص نوری نمونه‌ها اعم از براقیت و شفافیت نداشت.

واژه‌های کلیدی: پوشش‌های پخت‌شونده با UV- رزین‌های اپوکسی‌اکریلات - سنتز و بررسی سینتیکی- فرمولاسیون - نانوالومینا

پیشگفتار

در سال‌های اخیر، استفاده از پوشش‌های پخت‌شونده با UV به طور قابل توجهی افزایش یافته است. درصد مواد آلی فرار^۱ این پوشش‌ها بسیار پایین (تقریباً صفر) بوده و مصرف انرژی بسیار کمی دارند. بنابراین به عنوان یکی از پوشش‌های زیست‌سازگار شناخته شده‌اند. برای رقیق کردن این مواد پوششی، از مونومرهای فعال استفاده می‌شود به همین دلیل این پوشش‌ها دارای دانسیته شبکه‌ای شدن بسیار بالا بوده و به این ترتیب خواص مکانیکی مطلوبی از جمله، مقاومت خراش و مقاومت سایشی بالا از خود نشان دادند.

الیگومرهای اپوکسی‌آکریلات، به دلیل ویژگی‌های مطلوب رزین‌های اپوکسی و آکریلیک، در بین سیستم‌های پخت‌شونده با UV بسیار مورد توجه قرار گرفته‌اند. این الیگومر، یک رزین ویسکوز با حلالیت بالا در مونومرهای آکریلاتی بوده که فیلم‌هایی سخت با مقاومت شیمیایی بالا می‌دهد. از این رو سنتز و تهیه فرمولاسیون بهینه این الیگومر، بسیار حائز اهمیت می‌باشد. .

از سال ۱۹۹۲ به بعد تحقیقات عمده‌ای برای گسترش زمینه کاربردی پوشش‌های پخت‌شونده با UV انجام گرفته است و عمدتاً سعی در رفع موانع جهت توسعه کاربردی این نوع پوشش‌ها بوده است. در سال ۱۹۹۸، Zwanenburg [۴۴] و همکارانش تاثیر مونومرهای مختلف را روی رزین اپوکسی-آکریلات تابش‌پز بررسی کرده و فرمولاسیون‌های مختلفی را با ۲۵ نوع مونومر ارائه داده و خواص فیزیکی مکانیکی آنها را بررسی کردند. در سال ۲۰۰۲، M.Bajpai و همکارانش [۱۴] رزین اپوکسی-آکریلات پخت‌شونده با UV را بر پایه رزین‌های اپوکسی بیس فنل A و اپوکسی نوولاک سنتز کرده و با TMPTA (تری متیلول پروپان تری اکریلات)، PETA (پنتا اریتریتول تری اکریلات)، NVP (N-وینیل پیرولیدل) و آغازگر α و α دی‌اتوکسی‌استوفنون پخت کردند. این محققین تاثیر میزان آغازگر، شدت تابش و زمان تابش را بر خواص مکانیکی و شیمیایی این پوشش‌ها بررسی کردند. در تحقیقاتی

۱. VOC

دیگر در سال ۲۰۰۵ توسط D.k.Chattopadhyay [۴۶]، رزین اپوکسی-اکریلات سنتز شده با درصد‌های متفاوتی از TMPTA پخت شده و خواص فیزیکی مکانیکی کلیه فرمولاسیون‌ها از جمله سایش، انعطاف‌پذیری، سختی مدادی، Tg، Tensile بررسی شدند.

با رشد و توسعه فن‌آوری استفاده از ذرات نانو در پوشش‌های سطح، استفاده از این ذرات در پوشش‌های تابش‌پز نیز مورد توجه قرار گرفت. از جمله دلایل این توجه ویژه می‌توان به بهبود خواصی مانند مقاومت در برابر خش و خراش، مقاومت سایشی بالا، مقاومت در برابر خوردگی و همچنین خواص مکانیکی که به کمک این فن‌آوری در پوشش‌ها حاصل می‌شود، اشاره کرد. در سال ۲۰۰۵، J. Hajas و همکارانش [۴۷]، اثرات نانو آلومینا و نانو سیلیکا را در پوشش‌های چوب پخت‌شونده با UV بررسی کردند. اما کارهای منتشر شده اعم از مقالات و ثبت اختراعات بیشتر جنبه تجاری داشته و بطور علمی کمتر مورد بررسی واقع شده است.

در این پروژه سعی شده است تا با امکانات و مواد قابل دسترسی در داخل، رزین اپوکسی-اکریلات پخت‌شونده با UV سنتز و سینتیک واکنش شیمیایی آن نیز بررسی شود. رزین سنتز شده با مونومرهای چندعاملی با ساختارهای شیمیایی متفاوت با استفاده از طراحی آزمایش روش مخلوط با استفاده از نرم‌افزارهای آماری، فرموله شده است. در روش مخلوط، بر خلاف روش‌های کلاسیک گذشته، نه تنها تاثیر تک تک پارامترها بر خواص نهایی رزین قابل بررسی است، بلکه می‌توان تاثیر دو یا چند پارامتر را همزمان نیز بررسی نمود، به این ترتیب می‌توان ترکیبات مناسب جهت کاربردهای نهایی مختلف پوشش‌های تابش‌پز را پیش‌بینی، و مناطق اپتیمم خواص را بدست آورد.

از آنجا که یکی از ویژگی‌های شاخص پوشش‌های تابش‌پز، مقاومت خراش بالای آنهاست، در این پروژه روی این ویژگی پوشش‌ها مطالعاتی انجام شده و با افزودن نانوآلومینا در فرمولاسیون نهایی، مقاومت به خراش این پوشش‌ها با آزمون‌های ماکرو و نانومورد بررسی و تحلیل قرار گرفته است.

فهرست مطالب

صفحه	عنوان
	۱- مطالعات کتابخانه‌ای
۱	۱-۱- سنتز رزین اپوکسی اکریلات.....
۲	۱-۱-۱- واکنشگرها.....
۲	۱-۱-۱-۱- ترکیبات اپوکسی.....
۳	۱-۱-۱-۲- اسیدهای کربوکسیلیک.....
۳	۱-۱-۱-۳- نسبت واکنشگرها.....
۴	۱-۱-۱-۴- کاتالیست.....
۴	۱-۱-۱-۵- بازدارنده.....
۵	۱-۱-۱-۶- حلال و رقیق کننده.....
۵	۱-۱-۱-۷- دمای واکنش.....
۵	۱-۱-۱-۸- فشار واکنش.....
۵	۱-۱-۱-۹- اتمسفر واکنش.....
۶	۱-۱-۱-۱۰- زمان اختتام واکنش.....
۶	۱-۱-۱-۱۱- انحلال و نگهداری رزین اپوکسی اکریلات سنتز شده.....
۸	۱-۲- واکنش رزین اپوکسی و اسید.....
۹	۱-۲-۱- انتخاب پذیری و تنظیم شرایط واکنش رزین اپوکسی و اسید در حضور کاتالیست.....
۱۱	۱-۲-۲- رزین های وینیل استر اپوکسی متاکریلات و اپوکسی اکریلات.....
۱۲	۱-۳- شناسایی رزین اپوکسی اکریلات.....
۱۳	۱-۳-۱- طیف سنجی مادون قرمز (Infrared Spectroscopy).....
۱۴	۱-۳-۱-۱- استفاده از طیف مادون قرمز در شناسایی رزین اپوکسی اکریلات.....
۱۴	۱-۴- سینتیک واکنش های شیمیایی.....
۱۵	۱-۴-۱- مشخص کردن سرعت واکنشهای متجانس.....
۱۶	۱-۴-۲- واکنشهای ابتدایی و غیرابتدایی.....
۱۶	۱-۴-۳- مولکولاریته و درجه واکنش.....
۱۷	۱-۴-۴- تأثیر کاتالیزور بر سرعت واکنش.....
۱۷	۱-۴-۵- تعیین معادله سرعت واکنش از داده های تجربی.....
۱۸	۱-۴-۶- وابستگی سرعت واکنش به غلظت.....
۱۸	۱-۴-۶-۱- روش انتگرال.....
۱۸	۱-۴-۶-۲- روش دیفرانسیل.....
۱۹	۱-۴-۶-۳- روش فزونی (excess).....
۲۰	۱-۴-۷- وابستگی سرعت واکنش به دما.....
۲۰	۱-۵- مروری بر تحقیقات انجام شده پیرامون سینتیک واکنش های گروه های کربوکسیلی و اپوکسی.....
۲۵	۲-۱- پخت و فرمولاسیون رزین های اپوکسی اکریلات.....

فهرست مطالب

صفحه	عنوان
۲۵	۱-۲-۱- سیستم‌های شیمیایی مورد استفاده در تابش‌پزها.....
۲۵	۱-۱-۲-۱- سیستم‌های آکریلاتی و متاکریلاتی.....
۲۹	۱-۱-۱-۲-۱- شروع پخت تابش‌پز با رادیکال‌های آزاد.....
۳۳	۲-۱-۲-۱- سیستم‌های کاتیونی.....
۳۴	۲-۲-۱- کاربردهای صنعتی سیستم‌های تابش‌پز.....
۳۴	۱-۲-۲-۱- پوشش‌های تابش‌پز.....
۳۵	۲-۲-۲-۱- جوهرهای تابش‌پز.....
۳۵	۳-۲-۲-۱- چسب‌های تابش‌پز.....
۳۵	۳-۲-۱- فرمولاسیون پوشش‌های تابش‌پز.....
۳۶	۱-۳-۲-۱- رقیق‌کننده‌های فعال.....
۳۷	۱-۱-۳-۲-۱- عاملیت مونومرهای آکریلاتی.....
۳۷	۲-۱-۳-۲-۱- فاکتورهای موثر در انتخاب مونومرها.....
۳۹	۲-۳-۲-۱- شروع‌کننده‌ها، سینرژیست‌ها و واکنش‌های فتوشیمیایی.....
۴۰	۳-۳-۲-۱- نوع لامپ.....
۴۰	۴-۳-۲-۱- انتخاب پیگمنت.....
۴۱	۵-۳-۲-۱- افزودنی‌ها.....
۴۱	۴-۲-۱- تاثیر ذرات نانوالومینا بر روی پوشش‌های اپوکسی‌اکریلات تابش‌پز.....
۴۲	۱-۴-۲-۱- بررسی فرآیندهای خراش.....
۴۳	۱-۱-۴-۲-۱- تست‌های خراش تک نقطه‌ای.....
۴۵	۲-۴-۲-۱- Nano Indentation.....
۴۸	۵-۲-۱- مروری بر تحقیقات انجام‌شده.....
۲- کارهای آزمایشگاهی	
۵۱	۱-۲- سنتز رزین.....
۵۱	۱-۱-۲- مواد مورد استفاده در سنتز رزین.....
۵۱	۱-۱-۱-۲- رزین اپوکسی.....
۵۲	۲-۱-۱-۲- اسید کربوکسیلیک غیر اشباع.....
۵۲	۳-۱-۱-۲- کاتالیست.....
۵۳	۴-۱-۱-۲- بازدارنده.....
۵۳	۵-۱-۱-۲- مواد مورد استفاده در آزمون‌ها.....
۵۳	۱-۵-۱-۱-۲- آزمون تعیین EEW رزین اپوکسی.....
۵۴	۲-۵-۱-۱-۲- آزمون تعیین ارزش اسیدی.....
۵۴	۲-۱-۲- تجهیزات مورد استفاده در سنتز رزین.....
۵۵	۳-۱-۲- تجهیزات مورد استفاده در آزمون‌ها.....

فهرست مطالب

صفحه	عنوان
۵۵	..... ۱-۳-۱-۲-آزمون های تیترومتری
۵۵	..... ۲-۳-۱-۲-آزمون شناسایی رزین به روش طیف سنجی FTIR
۵۵	..... ۳-۳-۱-۲-آزمون تعیین ویسکوزیته رزین
۵۵	..... ۴-۳-۱-۲-آزمون تعیین دانسیته رزین
۵۶	..... ۴-۱-۲-Set up تجهیزات و روش انجام واکنش سنتز رزین اپوکسی اکریلات
۵۸	..... ۵-۱-۲-روش شناسایی رزین اپوکسی اکریلات سنتز شده به کمک طیف سنجی FTIR
۵۹	..... ۶-۱-۲-روش بررسی سینتیک واکنش سنتز رزین اپوکسی اکریلات
۶۰	..... ۷-۱-۲-روش انجام آزمون های تیتراسیون و تعیین خواص رزین
۶۰	..... ۱-۷-۱-۲-روش آزمون تعیین EEW رزین اپوکسی
۶۱	..... ۲-۷-۱-۲-روش آزمون تعیین ارزش اسیدی
۶۲	..... ۱-۲-۷-۱-۲-روش تعیین درصد جامد
۶۲	..... ۲-۲-۷-۱-۲-آزمون تعیین ارزش اسیدی
۶۴	..... ۲-۲-فرمولاسیون و پخت رزین
۶۴	..... ۱-۲-۲-مواد مورد استفاده در فرمولاسیون و پخت رزین
۶۴	..... ۱-۱-۲-۲-رقیق کننده های فعال
۶۵	..... ۲-۱-۲-۲-آغازگر
۶۵	..... ۳-۱-۲-۲-کمک آغازگر
۶۵	..... ۴-۱-۲-۲-افزودنی نانوالومینا
۶۶	..... ۲-۲-۲-تجهیزات مورد استفاده در تهیه فرمولاسیون
۶۶	..... ۳-۲-۲-تجهیزات مورد استفاده در تهیه فیلم
۶۶	..... ۴-۲-۲-تجهیزات مورد استفاده در پخت فیلم
۶۶	..... ۵-۲-۲-آزمون های تعیین خواص فیزیکی - مکانیکی پوشش نهایی
۶۷	..... ۶-۲-۲-روش پخت رزین اپوکسی اکریلات
۶۸	..... ۷-۲-۲-روش بررسی پارامترهای مؤثر در فیلم
۶۹	..... ۸-۲-۲-روش تهیه فیلم
۷۰	..... ۹-۲-۲-روش انجام آزمون های کنترل کیفی فیلم پخت شده
۷۰	..... ۱-۹-۲-۲-آزمون ماده پوششی تر
۷۰	..... ۱-۱-۹-۲-۲-ویسکوزیته
۷۱	..... ۲-۹-۲-۲-آزمون های فیلم خشک
۷۱	..... ۱-۲-۹-۲-۲-آزمون ارزیابی سختی
۷۲	..... ۲-۲-۹-۲-۲-آزمون ارزیابی میزان مقاومت در برابر خراش توسط مداد
۷۲	..... ۳-۲-۹-۲-۲-آزمون گرماسنجی روبشی تفاضلی
۷۳	..... ۴-۲-۹-۲-۲-آزمون nano indentation

فهرست مطالب

صفحه	عنوان
۷۳	۲-۲-۹-۵-آزمون ارزیابی براقیت.....
	۳- نتایج و بحث
۷۴	۳-۱- نتایج مربوط به بخش سنتز و بررسی سینتیکی رزین اپوکسی اکریلات.....
۷۴	۳-۱-۱- نتایج آزمون تعیین EEW رزین اپوکسی.....
۷۴	۳-۱-۲- نتایج شناسایی رزین اپوکسی اکریلات سنتز شده به روش طیف سنجی FTIR.....
۷۵	۳-۱-۲-۱- نتایج طیف رزین اپوکسی EPICOTE 828.....
۷۶	۳-۱-۲-۲- نتایج طیف اکریلیک اسید.....
۷۸	۳-۱-۲-۳- نتایج طیف رزین اپوکسی اکریلات سنتز شده.....
۸۰	۳-۱-۳- دانسیته رزین اپوکسی اکریلات.....
۸۰	۳-۱-۴- ویسکوزیته رزین اپوکسی اکریلات.....
۸۱	۳-۱-۵- نتایج بررسی سینتیکی واکنش سنتز رزین اپوکسی اکریلات.....
۸۱	۳-۱-۵-۱- نتایج تغییرات ارزش اسیدی (AV) در خلال واکنش سنتز رزین.....
۸۷	۳-۱-۶- نتایج تعیین پارامترهای سینتیکی واکنش سنتز.....
۸۸	۳-۱-۶-۱- نتایج شرایط استوکیومتری.....
۸۸	۳-۱-۶-۱-۱- نتایج روش دیفرانسیلی.....
۹۲	۳-۱-۶-۱-۲- نتایج روش انتگرالی.....
۹۴	۳-۱-۶-۲- نتایج شرایط غیر استوکیومتری (روش فزونی).....
۹۵	۳-۱-۶-۳- نتایج تعیین انرژی اکتیواسیون.....
۹۷	۳-۲- نتایج مربوط به پخت رزین اپوکسی اکریلات.....
۹۷	۳-۲-۱- بررسی خواص مکانیکی با استفاده از طراحی آزمایش به روش مخلوط.....
۹۹	۳-۲-۱-۱- مطالعه و بررسی پاسخ ویسکوزیته.....
۱۰۳	۳-۲-۱-۲- بررسی و مطالعه پاسخ مقاومت در برابر خراش.....
۱۰۷	۳-۲-۱-۳- مطالعه و بررسی پاسخ Tg و سختی Indentation.....
۱۱۳	۳-۲-۲- بررسی تاثیر ذرات نانوالومینا بر خواص فیزیکی-مکانیکی فیلم پخت شده.....
۱۱۳	۳-۲-۲-۱- تاثیر ذرات نانوالومینا بر مقاومت خراش.....
۱۱۴	۳-۲-۲-۱-۱- تاثیر ذرات نانو آلومینا بر مقاومت خراش توسط مداد.....
	۳ ۴ ۴ ۴ - تاثیر ذرات نانو آلومینا بر مقاومت خراش با استفاده از
۱۱۴	Nano scratch tester.....
۱۱۷	۳-۲-۲-۲- تاثیر حضور ذرات نانوالومینا بر سختی.....
۱۱۸	۳-۲-۲-۲-۱- بررسی تاثیر ذرات نانو آلومینا بر سختی کونینگ.....
	۳-۲-۲-۲-۲- بررسی تاثیر حضور ذرات نانو بر سختی indentation با استفاده از دستگاه
۱۱۸	nano indentation hardness.....
۱۲۱	۳-۲-۲-۳- تاثیر ذرات نانو آلومینا بر خواص نوری.....

فهرست مطالب

صفحه	عنوان
	۴- نتیجه‌گیری و پیشنهادات
۱۲۳	۴-۱- نتیجه‌گیری.....
۱۲۵	۴-۲- پیشنهادات.....
	۵- مراجع
	۶- ضمیمه

فهرست جداول

صفحه	عنوان
۲۷	جدول ۱-۱- آکریلاتهای دوعاملی و چند عاملی.....
۲۸	جدول ۲-۱- ساختار شیمیایی الیگومرهای اکریلاتی.....
۵۱	جدول ۱-۲- مشخصات رزین اپوکسی EPICOTE 828.....
۵۲	جدول ۲-۲- مشخصات اکریلیک اسید.....
۵۲	جدول ۳-۲- مشخصات کاتالیزور تری اتیل آمین.....
۵۳	جدول ۴-۲- مشخصات بازدارنده هیدروکینون.....
۵۹	جدول ۵-۲- شرایط واکنش سنتز الیگومر اپوکسی آکریلات.....
۶۴	جدول ۶-۲- وزن نمونه لازم جهت اندازه گیری عدد اسیدی با توجه به محدوده عدد اسیدی.....
۶۵	جدول ۷-۲- مشخصات ماده افزودنی NANOBYK3601.....
۶۶	جدول ۸-۲- مشخصات تجهیزات مورد استفاده در تهیه فیلم.....
۶۷	جدول ۹-۲- تجهیزات تعیین خواص فیزیکی- مکانیکی.....
۶۹	جدول ۱۰-۲- سطوح غلظت مواد بر حسب درصد وزنی.....
۷۶	جدول ۱-۳- نتایج طیف رزین اپوکسی EPICOTE 828.....
۷۷	جدول ۲-۳- نتایج طیف اکریلیک اسید.....
۷۹	جدول ۳-۳- نتایج طیف رزین اپوکسی اکریلات.....
۸۱	جدول ۴-۳- نتایج ویسکوزیته رزین اپوکسی اکریلات.....
۸۳	جدول ۵-۳- نتایج مقادیر ارزش اسیدی و میزان تبدیل (دمای واکنش: ۶۰ °C).....
۸۴	جدول ۶-۳- نتایج مقادیر ارزش اسیدی و میزان تبدیل (دمای واکنش: ۷۰ °C).....
۸۵	جدول ۷-۳- نتایج مقادیر ارزش اسیدی و میزان تبدیل (دمای واکنش: ۸۰ °C).....
۸۶	جدول ۸-۳- نتایج مقادیر ارزش اسیدی و میزان تبدیل (دمای واکنش: ۹۰ °C).....
۹۲	جدول ۹-۳- نتایج رگرسیون خطی نمودارهای روش دیفرانسیلی.....
۹۳	جدول ۱۰-۳- نتایج رگرسیون خطی نمودارهای روش انتگرالی.....
۹۶	جدول ۱۱-۳- مقادیر انرژی اکتیواسیون و ضریب برخورد واکنش.....
۹۷	جدول ۱۲-۳- خواص فیزیکی- مکانیکی فیلمهای پخت شده فرمولاسیونهای مختلف رزین اپوکسی اکریلات.....
۹۸	جدول ۱۳-۳- نمایی از پارامترهای اساسی و نوع پاسخهای بدست آمده در طراحی آزمایش مخلوط.....
۹۹	جدول ۱۴-۳- آنالیز ANOVA برای پاسخ ویسکوزیته.....
۱۰۰	جدول ۱۵-۳- مدل کاهش حاصل از آنالیز ANOVA به روش backward برای پاسخ ویسکوزیته.....
۱۰۳	جدول ۱۶-۳- آنالیز ANOVA برای پاسخ خراش.....
۱۰۴	جدول ۱۷-۳- مدل کاهش حاصل از آنالیز ANOVA به روش backward برای پاسخ خراش.....
۱۰۷	جدول ۱۸-۳- آنالیز ANOVA برای پاسخ سختی Indentation.....
۱۰۸	جدول ۱۹-۳- آنالیز ANOVA برای پاسخ Tg.....
۱۱۳	جدول ۲۰-۳- مقاومت خراش نمونهها با ذرات نانوالومینا و بدون آن.....

فهرست جداول

صفحه	عنوان
	جدول ۳-۲۱- نتایج سختی کونینگ و سختی indentation نمونه‌ها پس از افزودن ذرات نانو
۱۱۸	آلومینا و بدون آن.....
	جدول ۳-۲۲- داده‌های مربوط به سختی indentation، پلاستیسیته، الاستیسیته، مدول کاهشی
۱۲۰	و Tg.....
۱۲۲	جدول ۳-۲۲- نتایج براقیت و مهنمایی نمونه‌ها پس از افزودن ذرات نانو آلومینا و بدون آن.....

فهرست شکل‌ها

صفحه	عنوان
۱	شکل ۱-۱-۱- رزین اپوکسی اکریلات
۱۰	شکل ۱-۲-۱- مکانیزم عملکرد کاتالیست بازی و تشکیل آنیون‌های آلکوکسید و کربوکسیلات
۱۲	شکل ۱-۳-۱- واکنش تهیه اپوکسی اکریلات
۱۴	شکل ۱-۴-۱- نواحی جذب پیوندهای مختلف
۲۲	شکل ۱-۵-۱: مکانیزم استریفیکاسیون رزین اپوکسی از طریق آغاز با کمپلکس اسید - کاتالیست
۲۳	شکل ۱-۶-۱: مکانیزم استریفیکاسیون رزین اپوکسی از طریق آغاز با کمپلکس دیمر اسید - کاتالیست
۲۶	شکل ۱-۷-۱- فرایند پخت با UV
۳۰	شکل ۱-۸-۱- پلیمریزاسیون رادیکالی و یونی و شبکه‌ای شدن در اکریلاتها
۳۱	شکل ۱-۹-۱- چگونگی تشکیل رادیکال آزاد از یک شروع کننده نوری
۳۲	شکل ۱۰-۱a- مثال‌هایی از شروع کننده نوع I
۳۲	شکل ۱۰-۱b- مثال‌هایی از شروع کننده نوع II
۳۳	شکل ۱-۱۱-۱- مراحل پلیمریزاسیون رادیکالی
۴۳	شکل ۱-۱۲-۱- بازگشت خراش ductile با دما و زمان
۴۳	شکل ۱-۱۳-۱- تصویر شماتیکی ابزار خراش و Indentation
۴۴	شکل ۱-۱۴-۱- نمایش نیروهای مختلف خراش
۴۵	شکل ۱-۱۵-۱- نمایش شماتیکی پروفایل خراش
۴۶	شکل ۱-۱۶-۱- نمایش شماتیک نیروی اعمال شده بر حسب جابجایی
۴۷	شکل ۱-۱۷-۱- ژنومتری تماس در ماکزیمم نیرو
۵۶	شکل ۱-۲-۱- نمایشی از set up سنتز رزین اپوکسی اکریلات
۷۶	شکل ۱-۳-۱- طیف FTIR رزین اپوکسی EPICOTE 828، درصد انتقال بر حسب عدد موجی (cm-1)
۷۷	شکل ۲-۳-۱- طیف FTIR اکریلیک اسید، درصد انتقال بر حسب عدد موجی (cm-1)
۷۸	شکل ۳-۳-۱- طیف FTIR رزین اپوکسی اکریلات، درصد انتقال بر حسب عدد موجی (cm-1)
۸۶	شکل ۳-۴-۱- نمودار تغییرات ارزش اسیدی بر حسب زمان واکنش در دماهای مختلف
۹۰	شکل ۳-۵-۱- نمودار روش دیفرانسیلی (دمای واکنش: ۶۰ oC)
۹۱	شکل ۳-۶-۱- نمودار روش دیفرانسیلی (دمای واکنش: ۷۰ oC)
۹۱	شکل ۳-۷-۱- نمودار روش دیفرانسیلی (دمای واکنش: ۸۰ oC)
۹۱	شکل ۳-۸-۱- نمودار روش دیفرانسیلی (دمای واکنش: ۹۰ oC)
۹۳	شکل ۳-۹-۱- نمودار روش انتگرالی
۹۴	شکل ۳-۱۰-۱- نمودار روش انتگرالی در شرایط غیر استوکیومتری (E/A= 10)
۹۴	شکل ۳-۱۱-۱- نمودار روش انتگرالی در شرایط غیر استوکیومتری (E/A= 0.1)
۹۶	شکل ۳-۱۲-۱- نمودار رابطه آرنیوسی
۱۰۰	شکل ۳-۱۳-۱- تصویر دو بعدی چگونگی تاثیر غلظت مونومرهای آکریلاتی بر ویسکوزیته

فهرست شکل‌ها

صفحه	عنوان
۱۰۱	شکل ۳-۱۴- تصویر سه بعدی چگونگی تاثیر غلظت مونومرهای آکریلاتی بر ویسکوزیته.....
۱۰۲	شکل ۳-۱۵- نمودار Trace هر یک از پارامترهای موثر بر ویسکوزیته رزین اپوکسی آکریلات.....
۱۰۴	شکل ۳-۱۶- تصویر سه بعدی تاثیر غلظت مونومرهای آکریلاتی بر مقاومت به خراش.....
۱۰۶	شکل ۳-۱۷- یک مثال از مقدار اجزای فرمولاسیون در منطقه ماکزیمم مقاومت خراش.....
۱۰۶	شکل ۳-۱۸- نمودار Trace هر یک از پارامترهای موثر بر مقاومت به خراش رزین اپوکسی آکریلات.....
۱۰۹	شکل ۳-۱۹- تصویر سه بعدی چگونگی تاثیر غلظت مونومرهای آکریلاتی بر سختی.....
۱۰۹	شکل ۳-۲۰- تصویر سه بعدی چگونگی تاثیر غلظت مونومرهای آکریلاتی بر Tg.....
۱۱۱	شکل ۳-۲۱- مقدار اجزای فرمولاسیون در منطقه ماکزیمم سختی.....
۱۱۱	شکل ۳-۲۲- مقدار اجزای فرمولاسیون در منطقه ماکزیمم Tg.....
۱۱۲	شکل ۳-۲۳- نمودار Trace هر یک از پارامترهای موثر بر سختی رزین اپوکسی آکریلات.....
۱۱۲	شکل ۳-۲۴- نمودار Trace هر یک از پارامترهای موثر بر Tg رزین اپوکسی آکریلات.....
۱۱۴	شکل ۳-۲۵- تصویر خراش نمونه بدون ذرات نانو آلومینا.....
۱۱۴	شکل ۳-۲۶- تصویر خراش نمونه حاوی ذرات نانو آلومینا.....
۱۱۵	شکل ۳-۲۷- تصویر شماتیک مسیر خراش با وجود ذرات نانو آلومینا.....
۱۱۵	شکل ۳-۲۸- تصویر پروفایل کف خراش نمونه بدون ذرات نانو آلومینا.....
۱۱۵	شکل ۳-۲۹- تصویر پروفایل کف خراش نمونه حاوی ذرات نانو آلومینا.....
۱۱۷	شکل ۳-۳۰- نمودار نیروی افقی خراش بر حسب زمان برای نمونه حاوی ذرات نانو آلومینا.....
۱۱۷	شکل ۳-۳۱- نمودار نیروی افقی خراش بر حسب زمان برای نمونه بدون ذرات نانو آلومینا.....
۱۱۹	شکل ۳-۳۲- نمودار نیرو-جابجایی نمونه بدون ذرات نانو آلومینا.....
۱۱۹	شکل ۳-۳۳- نمودار نیرو-جابجایی نمونه با ذرات نانو آلومینا.....
۱۲۱	شکل ۳-۳۴: نمودار شفافیت نمونه حاوی ذرات نانو آلومینا و بدون آن.....

مطالعات کتابخانه‌ای



فصل اول