



دانشگاه مازندران

دانشکده شیمی، گروه شیمی آلی

موضوع:

مطالعه سینتیک و مکانیزم پخت و تخریب حرارتی رزین اپوکسی توسط دی آمین
آروماتیک و ترکیبات نانوالومینا با استفاده از روشهای DSC و TGA

استاد راهنما:

دکتر موسی قائمی

استاد مشاور:

دکتر رحمان حسین زاده

اساتید مدعو:

دکتر محمود تاجبخش دکتر حشمت ال.. علینژاد

دانشجو:

معصومه قربانی

شهریور ۸۸

تقدیم به :

پدر و مادر گرامی ام

که در تمامی مراحل زندگی

یار و پشتیبان من بودند.

«سپاس آن یگانه ذات متعالی را که درهای بینش و دانش رابه روی انسان گشود.»

اکنون که به لطف حق مراحل تحقیق به پایان رسیده، شایسته است مراتب سپاسگذاری خویش را حضور:

- جناب آقای دکتر موسی قائمی به پاس آموخته‌هایم از ایشان و راهنمایی‌های ارزشمندشان درحین انجام پروژه

- استاد بزرگوار آقای دکتر رحمان حسین زاده که با مشاوره عالمانه و نکته‌سنجی‌های مشفقانه خود صمیمانه مرا در این راه یاری نمودند.

- اساتید مدعو، آقایان دکتر حشمت الله علینژاد و دکتر محمود تاجبخش که زحمت مطالعه پایان‌نامه را برعهده داشتند،

- جناب آقای دکتر رضا اوجانی نماینده تحصیلات تکمیلی در جلسه دفاع،

- کلیه دوستان عزیزم که همواره با محبت‌های صادقانه خویش مرا مورد لطف قرار دادند،

- کلیه همکارانم در آزمایشگاه تحقیقاتی پلیمر که در این مدت نهایت همکاری و همراهی صمیمانه را با من داشتند،

- و کلیه کارکنان واحدهای مختلف دانشکده شیمی، به ویژه انبار مواد شیمیایی، شیشه گری، کتابخانه شیمی و مرکز رایانه تقدیم نمایم.

در نهایت سپاسی بی‌شائبه دارم از خانواده عزیزم که همواره مشوق اصلی من در تمامی دوران تحصیل بودند و موفقیت خود را از آغاز دوره تحصیل تا کنون مرهون زحمات بی‌دریغ آنها هستم.

معصومه قربانی

شهریور ۸۸

علايم اختصاري

علامت اختصاري	نام كامل
BAPP	3,3-Bis[4-(4 aminophenoxy) phenyl]phthalide
BNPP	3,3-Bis[4-(4 nitrophenoxy) phenyl]phthalide
DMF	Dimethylformamide
DDMSO	Dimethyl sulfoxide
DGEBA	Diglycidyl ether of bisphenol-A
DSC	Differential scanning calorimetry
DTA	Differential thermal analysis
Phr	Per hundred ratio
TA	Thermal analysis
TGA	Thermogravimetric analysis
TLC	Thin layer chromatography

راهنمای نشانه ها

حروف انگلیسی

A	ضریب پیش نمایی (s^{-1})
d	نماد دیفرانسیل
Ea	انرژی اکتیواسیون (Kj/mol)
K	ثابت سرعت واکنش
m	جرم (gr)
M	وزن مولکولی
R	ثابت گازها
t	زمان (s)
T	دما (K)

حروف یونانی

α	درصد تبدیل
β	سرعت گرمادهی ($^{\circ}C/min$)
θ	اختلاف بین T و T_{max}
f	نماد تابع

پائین نوشت‌ها

a

اكتيواسيون

f

كميت نهايي

n

متوسط عددي

0

كميت اوليه

چکیده:

رزین‌های اپوکسی یک دسته مهمی از پلیمرها با کاربردهای متنوعی مانند پوشش‌های محافظ، مواد اولیه خودروسازی، تخته‌های مدار چاپ، کپسول‌های نیمه هادی، چسب و کامپوزیت‌های ساختمانی می‌باشند.

در این تحقیق، پخت و تخریب حرارتی رزین اپوکسی با ۳،۳-بیس [۴- (۴-آمینوفنوکسی) فنیل] فتالید (BAPP) به عنوان عامل پخت و همچنین ترکیب آنها با نانو آلومینا (NAL) و بوهمیت نانو آلومینا (NAL(OH)) بررسی شد.

سینتیک پخت این سیستم‌ها با استفاده از روش آنالیز حرارتی DSC به طریقه دینامیک بررسی شد. پارامترهای سینتیکی مانند انرژی اکتیواسیون (Ea) و ثابت سرعت (K) با استفاده از روش‌های کیسینجر و ازوا-فلین-وال محاسبه شد. رفتار کاهش جرم (شامل دماهای کاهش جرم و Ea) و پایداری حرارتی با روش آنالیز گرما وزن سنجی (TGA) مشخص شد. انرژی اکتیواسیون و باقیمانده تخریب سیستم‌های دارای NAL و NAL(OH) در ۶۵۰ درجه سانتیگراد در جو نیتروژن به مقدار زیادتری از سیستم‌های بدون NAL و NAL(OH) بالاتر است. افزایش NAL و NAL(OH) پایداری حرارتی رزین اپوکسی پخت شده را بالا می‌برد و تشکیل ذغال را افزایش می‌دهد. میزان جذب آب پلیمرهای بدست آمده نیز اندازه گیری شد. تأثیر اضافه کردن ترکیبات نانو به پلیمر ترموست سنتز شده نیز مورد بررسی قرار گرفت.

واژگان کلیدی:

رزین اپوکسی، پایداری حرارتی، DSC، TGA، سینتیک، بازده ذغال

فهرست مطالب

صفحه	عنوان
۱-۴۱	فصل اول: مقدمه و تئوری
۱	۱-۱- رزین‌های اپوکسی
۱	۱-۱-۱- مفاهیم اساسی
۳	۲-۱- رزین‌های اپوکسی
۳	۱-۲-۱- تاریخچه
۴	۲-۲-۱- روش‌های سنتزی رزین‌های اپوکسی
۷	۳-۲-۱- خصوصیات مهم رزین‌های اپوکسی
۱۰	۴-۲-۱- کاربردهای رزین اپوکسی
۱۱	۵-۲-۱- شاخص‌های اساسی رزین‌های اپوکسی
۱۲	۳-۱- پخت رزین‌های اپوکسی
۱۳	۱-۳-۱- عوامل سخت کننده
۲۰	۴-۱- رزین‌های اپوکسی مقاوم در برابر حرارت
۲۰	۱-۴-۱- تخریب حرارتی
۲۰	۵-۱- مکانیسم تخریب حرارتی رزین اپوکسی پخت شده
۲۲	۶-۱- سینتیک پخت و تخریب حرارتی رزین‌های اپوکسی
۲۲	۱-۶-۱- تعیین پارامترهای سینتیکی
۲۴	۷-۱- تکنیک DSC
۲۴	۱-۷-۱- دستگاهوری DSC
۲۶	۲-۱-۷- کاربرد های DSC
۲۶	۳-۷-۱- کاربرد DSC در بررسی سینتیک پخت رزین‌های اپوکسی
۲۷	۱-۳-۷-۱- روش‌ها برای تعیین پارامترهای سینتیکی رزین‌های ترموست شونده با استفاده از داده‌های دینامیک
۲۹	۸-۱- تکنیک TGA
۲۹	۱-۸-۱- کاربرد TGA در بررسی سینتیک تخریب حرارتی رزین‌های اپوکسی

عنوان

صفحه

۳۰	۹-۱- کامپوزیت
۳۲	۱-۹-۱ انواع ترکیبات نانو
۳۴	۱-۱۰- به کارگیری نانوآلومینا در رزین اپوکسی
۳۶	۱-۱۱- نانو کامپوزیت های آلومینا
۳۷	۱-۱۱-۱ ویژگی های نانو کامپوزیت های آلومینا
۳۸	۱-۱۱-۲ فناوری ساخت نانو کامپوزیت های آلومینا- پلیمر
۴۲-۵۱	فصل دوم: بخش تجربی
۴۲	۱-۲- دستگاه های مورد استفاده
۴۲	۲-۲- مواد شیمیایی مورد استفاده
۴۳	۳-۲- سنتز عوامل پخت مورد نظر
۴۵	۴-۲- شناسایی ترکیبات نانو به وسیله دستگاه IR
۴۵	۵-۲- تست حلالیت نانوذرات
۴۵	۶-۲- بررسی تجربی پخت رزین اپوکسی (Epidian 5) توسط عوامل پخت مورد نظر
۴۵	۱-۶-۲ تعیین اپوکسی اکی والانت رزین اپوکسی
۴۷	۲-۶-۲- خواص ظاهری رزین پخت شده توسط آمین های مورد نظر
۴۷	۷-۲- اندازه گیری دمای سخت شدن مخلوط رزین با عامل سخت کننده
۴۸	۸-۲- تهیه ترموگرام های دینامیک DSC از مخلوط رزین با آمین مورد نظر
۴۹	۹-۲- تهیه ترموگرام های TGA از مخلوط رزین و عامل پخت مورد نظر
۵۰	۱۰-۲- اندازه گیری میزان جذب آب توسط رزین پخت شده آمین مورد نظر و تأثیر اضافه شدن ترکیبات نانو بر روی میزان جذب
۵۲-۸۳	فصل سوم: بحث و نتیجه گیری
۵۲	۱-۳- شناسایی عوامل پخت
۵۴	۲-۳- خواص سیستم های رزین اپوکسی پخت شده
۵۴	۱-۲-۳- گرمای پلیمریزاسیون
۵۴	۲-۲-۳- ریخت شناسی

صفحه

عنوان

۵۵	۳-۲-۳- درجه سخت شدن
۵۶	۳-۲-۴- پایداری حرارتی
۵۷	۳-۲-۵- مقاومت شیمیایی
۵۷	۳-۳- مدل‌های سینتیکی جهت مطالعات آنالیز حرارتی
۵۹	۳-۴- ترموگرامهای DSC
۵۹	۳-۴-۱- بحث کلی پیرامون ترموگرام‌های تهیه شده
۶۳	۳-۵- نحوه محاسبه و دستیابی به پارامترهای سینتیکی
۷۰	۳-۶- بحث پیرامون نتایج بدست آمده
۷۱	۳-۷- بررسی تخریب حرارتی رزین‌های اپوکسی پخت شده
۷۱	۳-۷-۱- تخریب حرارتی
۷۲	۳-۷-۲- سینتیک تخریب حرارتی رزین اپوکسی
۷۳	۳-۷-۳- روش‌های تعیین پارامترهای سینتیکی تخریب حرارتی رزین‌های اپوکسی با استفاده از اطلاعات TGA
۷۴	۳-۷-۴- بحث کلی پیرامون ترموگرام‌های تهیه شده
۷۵	۳-۷-۵- نحوه محاسبه و دستیابی به پارامترهای سینتیکی
۷۵	۳-۷-۵-۱- محاسبه انرژی اکتیواسیون
۷۸	۳-۷-۶- نتیجه گیری
۷۹	۳-۸- تست های جذب آب پلیمرهای ترموست تهیه شده
۸۳	۳-۹- نتایج و بحث درمورد میزان جذب آب رزین پخت شده

فهرست شکل‌ها

صفحه	عنوان
۱۹	شکل ۱-۱- تأثیر عمل کاتالیستی نمک فلزی در تسریع باز کردن حلقه اپوکسید
۲۴	شکل ۱-۲- طرحی از کالریمتر جبرانی توان جهت کاربرد در DSC
۳۶	شکل ۱-۳- طرح کلی فرایند سل - ژل
۵۹	شکل ۱-۳- ترموگرامهای دینامیک DSC از سیستم DGEBA/ BAPP با سرعت گرمادهی مختلف
۶۰	شکل ۲-۳- مکانیسم واکنش پخت رزین اپوکسی در حضور آمین BAPP
۶۴	شکل ۳-۳- نمودار Kissinger برای سیستم DGEBA/BAPP
۶۴	شکل ۳-۴- نمودار Ozawa برای سیستم DGEBA/BAPP
۶۶	شکل ۳-۵- نمودارهای درجه تبدیل بر حسب دما برای سیستم BAPP در سرعتهای گرمادهی مختلف
۶۸	شکل ۳-۶- نمودارهای هم وارونگی در درجه تبدیل های مختلف برای BAPP
۷۴	شکل ۳-۷- ترموگرام TGA رزین اپوکسی پخت شده با BAPP و BAPP/NAL و BAPP/NAL(OH)
۷۷	شکل ۳-۸- نمودار هارویتز- متزگر برای رزین اپوکسی پخت شده با BAPP
۷۷	شکل ۳-۹- نمودار برویدو برای رزین اپوکسی پخت شده با BAPP
۸۲	شکل ۳-۱۰- منحنی جذب آب در دمای ۲۵°C برای دو سری مختلف از پخت DGEBA/ BAPP و BAPP/10%NAL
۸۲	شکل ۳-۱۱- نواحی خطی از نمودار ضریب نفوذ در دمای ۲۵°C برای دو سری مختلف از پخت BAPP/NAL و DGEBA/ BAPP

فهرست جدول‌ها

صفحه	عنوان
۷	جدول ۱-۱- مقادیر تئوری برای تعیین خواص رزین‌ها
۱۴	جدول ۱-۲- عوامل پخت از گروه‌های مختلف به همراه برخی از ویژگی‌های آنها
۴۶	جدول ۱-۲- مشخصات آمین و غلظت مورد نیاز آن
۴۷	جدول ۲-۲- زمان لازم برای پخت و دمای مربوطه و رنگ ظاهری پلیمر سنتز شده
۶۱	جدول ۱-۳- داده‌های DSC برای DGEBA/BAPP و تأثیر حضور NAL در سرعت‌های گرمادهی مختلف
۶۱	جدول ۲-۳- داده‌های DSC برای رزین اپوکسی پخت شده با و تأثیر حضور NAL(OH) در سرعت‌های گرمادهی مختلف BAPP
۶۲	جدول ۳-۳- گرمای پلیمریزاسیون برای رزین اپوکسی پخت شده با BAPP و تأثیر حضور ترکیب نانو در سرعت‌های گرمادهی مختلف
۶۵	جدول ۳-۴- مقادیر پارامترهای سینتیکی حاصل از نتایج DSC از دو سیستم DGEBA/ BAPP و BAPP/NAL
۶۵	جدول ۳-۵- مقادیر پارامترهای سینتیکی حاصل از نتایج DSC از سیستم BAPP/NAL (OH)
۶۷	جدول ۳-۶- داده‌های $\ln(\beta)$ و T^{-1} بدست آمده از روش آنالیز هم‌وارونگی برای سیستم BAPP تهیه شده
۶۹	جدول ۳-۷- انرژی اکتیواسیون محاسبه شده برای آلیاژهای BAPP/epoxy، با استفاده از معادله هم‌وارونگی
۷۰	جدول ۳-۸- مقادیر انرژی اکتیواسیون محاسبه شده با استفاده از روش‌های مختلف آنالیز سینتیکی داده‌های DSC
۷۵	جدول ۳-۹- اطلاعات استخراج شده از ترموگرام‌های دینامیک TGA
۷۸	جدول ۳-۱۰- مقادیر انرژی اکتیواسیون برای سیستم‌های رزین اپوکسی پخت شده
۸۳	جدول ۳-۱۱- ضریب نفوذ برای دو سیستم رزین اپوکسی پخت شده با غلظت ۶۳phr از BAPP

فصل اول: مقدمه و تئوری

۱-۱- رزین های اپوکسی

۱-۱-۱ مفاهیم اساسی :

رزین های اپوکسی عموماً ترکیباتی با بیش از یک گروه α -اپوکسی^۱ (صورت داخلی، انتهایی، یا در ساختمان حلقوی) هستند که معمولاً حالت ترموپلاستیک دارند و قادرند به کمک عوامل پخت^۲ مختلف به صورت ترموست^۳ درآیند. این عوامل در حین عمل پخت (واکنش) با رزین اپوکسی باعث ایجاد اتصالات عرضی^۴ و یک شبکه سه بعدی^۵ شده و بدین ترتیب رزین سخت و در بعضی موارد سخت و شکننده می شود. در لحظه شروع پخت با شروع تشکیل پیوندهای عرضی ویسکوزیته پلیمر شدیداً افزایش می یابد. در حقیقت پلیمر به صورت ژل در میآید. بدین علت لحظه افزایش شدید ویسکوزیته را که مصادف با تشکیل ژل است نقطه ژل شدن^۶ گویند.

رزین های اصلی را می توان به پنج دسته (بر مبنای گروه های شیمیایی) تقسیم بندی کرد :

^۱ Oxiran

^۴ Cross – linking

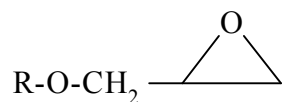
^۲ Curing agentes

^۵ Network

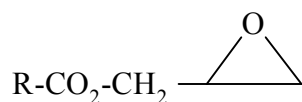
^۳ Cured

^۶ Gel Point

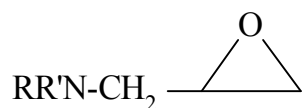
الف- گلیسیدیل اترها:



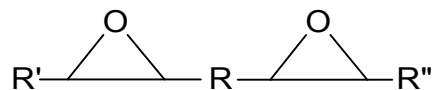
ب- گلیسیدیل استرها:



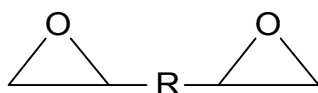
ج- گلیسیدیل آمینها:



د- آلیفاتیک خطی:



ه- سیکلو آلیفاتیک:

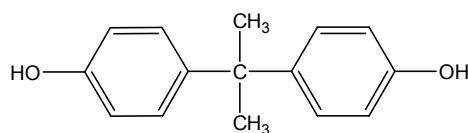


اپوکسیدهای گروههای الف تا ج معمولاً به وسیله واکنشهای تراکمی بین دی الها و اسیدهای دوبنایی یا دی آمینها و اپی کلروهیدرین ، با حذف مولکول ساده HCl تهیه می شوند . در صورتی که اپوکسیدهای گروههای (د) و (ه) بوسیله واکنش افزایشی و پیش اکسیداسیون¹ یک پیوند دوگانه اولفینی به وسیله یک پراسید نظیر پراستیک اسید تهیه می گردند .

مهمترین گروه رزین های تجاری ، شامل ترکیبات دی هیدروکسیل گلیسیدیل اترها می باشد و ۹۵٪

رزینهای اپوکسی به وسیله بر هم کنش اپی کلروهیدرین و دی فنیل پروپان (بیس فنل A) به دست می آیند .

¹ Peroxidation



بیس فنل A

اکثر واکنش های پخت رزین های اپوکسی گرمازا هستند و گرمای آزاد شده در طی فرایند پخت ، اساس مطالعات سینتیکی با استفاده از روشهای آنالیز حرارتی DSC^۱ و DTA^۲ می باشند .

۱-۲ رزین های اپوکسی

۱-۲-۱ تاریخچه :

واکنش الفینها با اسیدها و همچنین هیپوکلرو اسیدها و دهیدروهاالوژناسیون بعدی آنها که منجر به تشکیل گروههای اپوکسی شد در ۱۹۰۹ به انجام رسید ، که این خود گامی مؤثر در جهت پیشرفت و توسعه گروههای اپوکسی بود . نخستین رزین اپوکسی توسط شرادا^۳ آمریکایی در سال ۱۹۲۷ با استفاده از اپی کلروهیدرین ساخته شد، هرچندکه ساخت موادی تحت عنوان رزین های اپوکسی که از واکنش اپی کلروهیدرین با بیس فنل به دست می آمدند ، به پیر کاستان^۴ سوئسی و گرینلی^۵ آمریکایی نسبت داده می شود . واکنشهای رزین اپوکسی با ترکیبات حاوی هیدروژن فعال ، به عنوان نخستین تکنولوژی در مورد رزین های اپوکسی مورد توجه قرار گرفت . شلاک^۶ در سال ۱۹۳۴ واکنش ترکیبات دی اپوکسی با اسیدهای آلی و معدنی ، آمین ها و مرکاپتان ها را گزارش داد . کارهای تحقیقاتی انجام گرفته توسط دانیل سورن^۷ آمریکایی طی سال های ۱۹۴۴ تا ۱۹۴۸ توجه دست اندرکاران ساخت رزین های اپوکسی را به خود معطوف نمود و با آغاز

^۱ Differential Scanning calorimetry

^۲ Differential Thermal Analysis

^۳ Schrada

^۴ Pierre Castsn

^۵ S. O. Greenlee

^۶ Schlack

^۷ Danial Swern

سال ۱۹۵۰ واکنش مورد نظراهمیت تجاری پیدا کرد و اغلب این ترکیبات در مقابل عوامل پخت دارای هیدروژن فعال ، فعالیت چندانی از خود نشان نمی دهند و تقریباً جهت تبدیل به پلاستیک های ترموست مناسب نمی باشند .

در اواخر ۱۹۵۰ و اوایل ۱۹۶۰ تعدادی رزین گلیسیدیل اتر جدید توسط شرکت هایی نظیر سیبا، شل^۱ و داو^۲ به صورت تجاری عرضه گردید که این خود آغازی در ساخت رزین های مورد نظر از اپی کلروهیدرین و موادی نظیر بیس فنل A بود . تلاش های به عمل آمده ، توسط پیشگامان دیگر در این زمینه بنجامین فیلیپس^۳ از شرکت آنیون کاربید^۴ و فرانک گریسپان^۵ از شرکت فوود ماشینری^۶ و در اروپا کارهای اولیه در این زمینه توسط ارنست باترز، فیسچ و پورت^۷ از شرکت سیبا صورت پذیرفت [۱] .

۱-۲-۲ روش های سنتزی رزین های اپوکسی :

الف : اولین روش مربوط به واکنش تراکمی بین اپی کلروهیدرین با ماده ای مناسب از نوع دی یا پلی هیدروکسیل یا مولکولی دیگر که دارای هیدروژن فعال است، در این روش به همراه رزین اپوکسی آب و نمک نیز تشکیل می گردد [۱ و ۲]. یک مثال در این مورد عبارتست از تهیه دی گلیسیدیل اتر بیس فنل A (DGEBA)^۸ از اپی کلروهیدرین و بیس فنل A:

¹ Shell

² Dow

³ Benjamin Philips

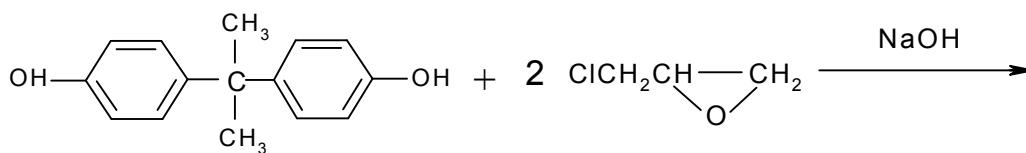
⁴ Union Carbide

⁵ Frank Greespan

⁶ Food Machinery

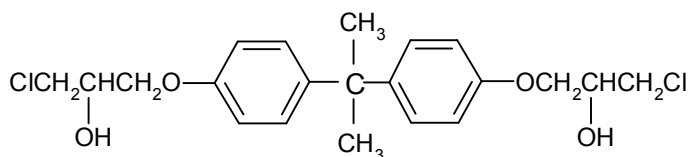
⁷ Ernest Bazetr, Fisch, Porret

⁸ Diglycidyl Ethey Bisphenole A

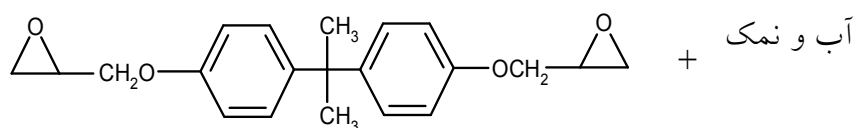


بیس فنل A

اپی کلرو هیدرین

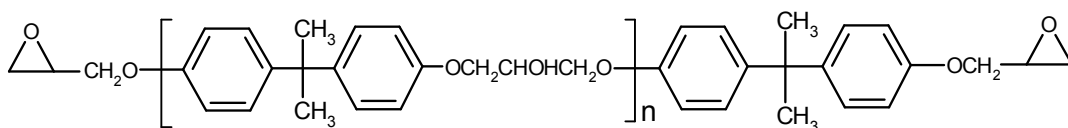


حد واسط کلرو هیدرین



(DGEBA)

با توجه به احتمال وقوع واکنش زنجیری، در طی واکنشهای تهیه DGEBA عملاً فرمول ساختاری زیر برای این ترکیب مطرح است .



DGEBA عمدتاً مرکب از دو همولوگ n=0,1

همان طور که ملاحظه می شود این مولکول از یک پلی اتر خطی با گروه های اپوکسید انتهایی و گروه های هیدروکسیل نوع دوم که به طور منظم در امتداد طول ماکرومولکول قرار گرفته اند ، تشکیل شده است . قسمت اعظم استخوان بندی زنجیر را حلقه های آروماتیک تشکیل می دهند . تعداد واحدهای تکرار شونده (n) ضرورتاً بستگی به نسبت مولی اپی کلرو هیدرین / بیس فنل A در حین سنتز رزین دارد . در نتیجه یک سری از رزین ها

که مخلوطی از مولکول های مختلف در طول زنجیر و وزن مولکولی (M) مختلف باشد ، به دست می آید .

رزین های زنجیر کوتاه با جرم مولکولی پایین ، مایعاتی شربتی شکل هستند ، در صورتیکه رزین های با طول

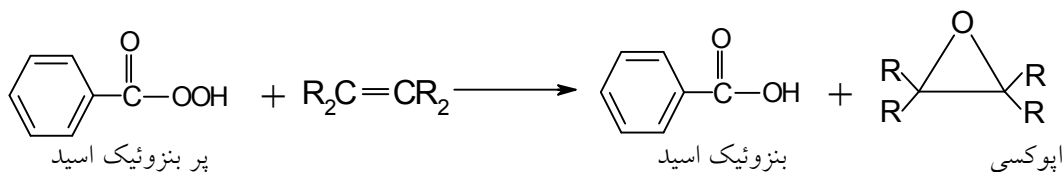
زنجیر طویل و وزن مولکولی بالا، جامدات سخت و شکننده با رنگ کهربایی در دمای اتاق می باشند . معمولاً

رزین ها توسط نقطه ذوب ، ویسکوزیته و اکی والان وزنی برای هر گروه اپوکسید (WPE) شناخته و از هم

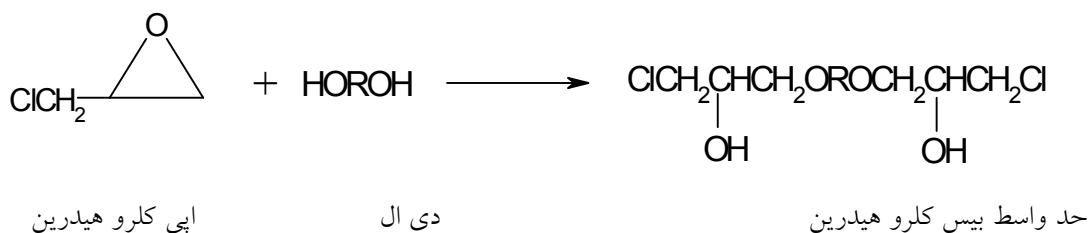
متمایز می شوند . این خواص توسط طول زنجیر و متوسط عددی وزن مولکولی (M_n) مشخص می شود .

مقادیر تئوریک این خواص برای گسترده ای از رزین ها از n = ۰ تا n = ۷ در جدول ۱-۱ آمده است [۳].

ب: از واکنش الفین ها با ترکیبات حاوی اکسیژن مانند پراسیدها رزین اپوکسی به دست می آید [۱,۲]

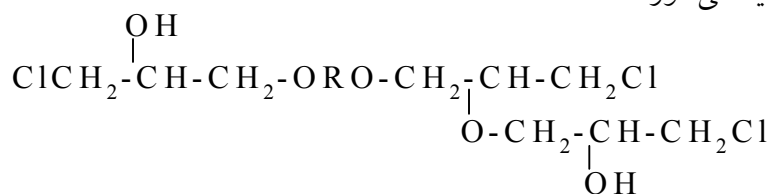


ج: دهیدروهاالوژناسیون کلرو هیدرین های که روش تهیه آن ها غیر از مورد الف است [۱,۲]

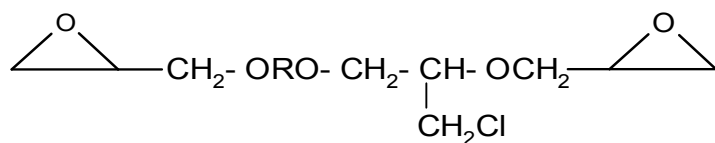


حد واسط فوق قبل از دهیدروهاالوژناسیون با مولکول ابی کلرو هیدرین وارد واکنش شده و محصولی

با جرم مولکولی بالاتر پدید می آورد :



وقتی محصول اخیر تحت دهیدروهاالوژناسیون قرار گیرد ترکیب دی اپوکسی کلردار خواهد بود.



دی اپوکسی کلردار

جدول ۱-۱- مقادیر تئوری برای تعیین خواص رزین ها

مقادیر n	نسبت مولی بیس فنل A/اپی کلرو هیدرین	Mn	تعداد گروه های اپوکسید	تعداد گروه های هیدروکسیل	اکی والان وزنی اپوکسید
۰	۲:۱	۳۴۰	۲	۰	۱۷۰
۱	۳:۲	۶۲۴	۲	۱	۳۱۲
۲	۴:۳	۹۰۸	۲	۲	۴۵۲
۲	۵:۴	۱۱۹۲	۲	۳	۵۹۶
۴	۶:۵	۱۴۸۶	۲	۴	۷۳۸
۵	۷:۶	۱۷۶۰	۲	۵	۸۸۰
۶	۸:۷	۲۰۴۴	۲	۶	۱۰۲۲
۷	۹:۸	۲۳۲۸	۲	۷	۱۱۶۴

۱-۲-۳ خصوصیات مهم رزین های اپوکسی

رزین های اپوکسی عموماً به دو شکل جامد و مایع که هر کدام از آن ها کاربردهای ویژه خود را دارند

[۱] تقسیم می شوند .

الف: رزین های مایع :

این ترکیبات مایعاتی با ویسکوزیته پایین هستند ، که بر اثر مخلوط کردن آن ها با عوامل پخت مناسب

به آسانی به صورت ترموست در می آید .

به چند مورد از خصوصیات این رزین ها در زیر اشاره می شود :

1- ویسکوزیته پایین :

ویسکوزیته پایین این رزین ها باعث می شود در مراحل بعدی (مخلوط کردن با عوامل پخت ، عمل پخت ، و ...) مشکلات زیادی که برای سیستمهای با ویسکوزیته بالا وجود دارد را نداشته، از اینرو به آسانی قابل فرایند هستند.

۲- پخت آسان :

رزین های اپوکسی بسته به نوع عامل پخت به آسانی و به سرعت پخت می شوند . محدوده دمایی پخت رزین های اپوکسی از ۵ تا ۲۰۰ °C متفاوت است به طوری که با افزایش دمای پخت ، سرعت پخت افزایش می یابد .

۳- انقباض و چروک شدن پایین :

یکی از خصوصیات فوق العاده خوب رزین های اپوکسی که از سایر رزین ها آن ها را متمایز می کنند این است که در حین عمل پخت جمع نشده و در نتیجه محصول پخت بدون چین و چروک خواهد بود .

۴- چسبندگی بالا :

رزین های اپوکسی عموماً چسب های بی نظیر هستند که دلیل آن به خاطر وجود گروه های قطبی نظیر هیدروکسیل و گروه های اتری در ساختمان رزین می باشد . از طرفی عدم چروک خوردن رزین اپوکسی در حین پخت ، در چسبیدن کامل سطوح به همدیگر هیچگونه مشکلی به وجود نمی آورد . قدرت چسبندگی بسیار بالا بدون نیاز به زمان زیاد و فشار بالا موفقیتی در خور توجه تکنولوژی پلاستیک ها می باشد .

۵- خواص مکانیکی بالا :

مقاومت مکانیکی بسیار بالا ، به خصوص در حالت هایی که از آمین های آروماتیک به عنوان عامل پخت استفاده می شود .