

مشخصات پایه محصول طبق دیتاشیت

مشخصه	مقدار اعلام شده
Technology	Acrylic
Chemical Type	Acrylated Urethane
ظاهر قبل از پخت	مایع شفاف با رنگ کهربایی (Transparent Amber Liquid)
تعداد اجزا	تک جزئی (One Component – بدون نیاز به اختلاط)
ویسکوزیته	Medium
مکانیزم پخت اصلی	Ultraviolet (UV) Light
پخت ثانویه	Heating, Activator
کاربرد اعلام شده	Bonding, Sealing or Coating
دانسیته ویژه در ۲۵°C	۱.۰۹
محدوده دمای کاری اعلام شده	۵۴- تا ۱۵۰°C
شرایط نگهداری	۸ تا ۲۱°C
عمر نگهداری	۲۴ ماه در شرایط بسته بندی اولیه

تحلیل مهندسی بخش معرفی محصول

اولین نکته مهم در MXBON® 41352، تفاوت آن با چسب های سریع سیانوآکریلاتی معمولی است. طبق دیتاشیت، فناوری این محصول **Acrylic** و نوع شیمیایی آن **Acrylated Urethane** اعلام شده است. بنابراین تحلیل عملکرد آن باید بر اساس رفتار یک سیستم آکریلیک اصلاح شده انجام شود و نباید آن را صرفاً در گروه چسب های CA سریع قرار داد.

همچنین وجود عبارت **Multiple Curing Mechanism** در معرفی محصول یک ویژگی کلیدی فرآیندی است. سازنده سه روش پخت را برای این محصول اعلام کرده است:

- پخت با UV
- پخت با فعال کننده
- پخت حرارتی

اما در این مرحله فقط می‌توان گفت این محصول دارای انعطاف فرآیندی در روش پخت است. میزان تأثیر هر روش بر مقاومت نهایی اتصال، سرعت پخت و خواص مکانیکی باید در بخش‌های مربوط به Cure Performance و Adhesive Performance بررسی شود.

عبارت **One Component** نیز یک ویژگی مهم در فرآیند استفاده است. برخلاف چسب‌های دوجزئی که نیاز به اندازه‌گیری، اختلاط و کنترل نسبت اجزا دارند، این محصول به صورت آماده مصرف ارائه می‌شود. با این حال، به دلیل حساسیت سیستم‌های پخت نوری، شرایط اعمال، ضخامت لایه چسب و انرژی تابش باید در مراحل بعدی بررسی شود.

۲- بررسی شیمی محصول و مکانیزم پخت Chemistry & Multiple Curing Mechanism

۲,۱ شیمی و مکانیزم کیورینگ (پخت)

MXBON® 41352 یک محصول تک‌جزئی بر پایه آکریلیک است که با استفاده از نور UV پخت می‌شود. نوع شیمیایی این محصول در دیتاشیت به صورت **Acrylated Urethane** اعلام شده است.

چسب پخت‌شده حاصل از این محصول برای اتصال، آب‌بندی یا پوشش‌دهی قطعات فلزی و شیشه‌ای مورد استفاده قرار می‌گیرد. این محصول علاوه بر چسبندگی مناسب به طیف گسترده‌ای از زیرلایه‌ها، مقاومت مناسبی در برابر شرایط مرطوب و بارهای ضربه‌ای ارائه می‌دهد.

MXBON® 41352 قابلیت پخت از طریق روش‌های مختلف را دارد. این محصول می‌تواند با استفاده از تابش نور UV، فعال‌کننده شیمیایی (Activator) و همچنین حرارت پخت شود.

۲,۲- مکانیزم پخت با نور (UV Light Cure)

طبق دیتاشیت، MXBON® 41352 قابلیت پخت توسط نور UV را دارد. محدوده طول موج اعلام‌شده برای پخت اولیه برابر با **۳۶۵ nm** است. برای دستیابی به پخت کامل در سطوحی که در معرض هوا قرار دارند، علاوه بر این محدوده، تابش در محدوده **۲۲۰ تا ۲۶۰ نانومتر** نیز مورد نیاز است. سرعت پخت و زمان گیرش اولیه (Fixture Time) به عوامل مختلفی وابسته است که شامل موارد زیر است:

- جنس زیرلایه (Substrate)

- فاصله یا ضخامت لایه چسب (Bonding Gap)

- شدت نور UV

- زمان تابش

- توزیع طیف نوری منبع تابش

۲/۳- مکانیزم پخت با فعال‌کننده (Activator Cure)

MXBON® 41352 قابلیت پخت با استفاده از فعال‌کننده MXBON® 037387 را دارد. طبق اطلاعات سازنده، اکتیواتور MXBON® 037387 برای آغاز فرآیند پخت در محصولات MXBON طراحی شده است. روش استفاده به این صورت است که فعال‌کننده روی یک سطح و چسب روی سطح دیگر اعمال شده، سپس قطعات روی هم قرار گرفته و تحت فشار نگه داشته می‌شوند. زمان گیرش و سرعت پخت در این روش به نوع چسب و جنس زیرلایه‌های اتصال یافته بستگی دارد.

۲، ۴- مکانیزم پخت حرارتی (Heating Cure)

MXBON® 41352 همچنین قابلیت پخت توسط حرارت را دارد. طبق دستورالعمل دیتاشیت، برای این روش لازم است قطعات بتوانند دمای بالا را تحمل کنند. شرایط اعلام شده برای پخت حرارتی دمای اتصال 121°C و زمان نگهداری **30 دقیقه**

تحلیل مهندسی

مهم‌ترین ویژگی شیمیایی MXBON® 41352، استفاده از سیستم **Acrylated Urethane** است. این اطلاعات نشان می‌دهد که محصول در خانواده رزین‌های آکریلاتی اصلاح شده قرار می‌گیرد و سازنده برای آن یک مکانیزم پخت چندگانه تعریف کرده است. وجود گروه **Urethane** در ساختار شیمیایی معمولاً در طراحی چسب‌های آکریلاتی با هدف ایجاد تعادل بین سختی، انعطاف پذیری و مقاومت مکانیکی مورد توجه قرار می‌گیرد، اما در این گزارش تنها بر اساس اطلاعات دیتاشیت می‌توان نتیجه گرفت که سازنده این محصول را با شیمی **Acrylated Urethane** معرفی کرده است. بررسی دقیق اثر ساختار مولکولی بر خواص نهایی باید با اطلاعات فرمولاسیون یا آزمون‌های تکمیلی انجام شود.

نکته مهندسی مهم در این محصول، وجود سه مسیر پخت مختلف است. در بسیاری از چسب‌های UV، پخت کامل تنها در مناطقی اتفاق می‌افتد که نور بتواند به خط اتصال برسد. وجود مسیرهای جایگزین مانند **Activator** و **Heating** می‌تواند امکان استفاده در شرایطی را فراهم کند که بخشی از اتصال در سایه یا داخل قطعه قرار دارد. با این حال، دیتاشیت تأکید می‌کند که سرعت و میزان پخت وابسته به ضخامت لایه چسب، شدت انرژی تابشی و نوع زیرلایه است. بنابراین نمی‌توان صرفاً بر اساس زمان‌های اعلام شده در شرایط آزمایشگاهی، عملکرد یکسانی را در تمام کاربردهای صنعتی انتظار داشت.

۳- بررسی خواص فیزیکی و مشخصات فرآیندی

Physical Properties & Processing Characteristics

۳، ۱- توضیح محصول

MXBON® 41352 یک چسب آکرلیک تک‌جزئی با ظاهر مایع شفاف کهربایی (**Transparent Amber Liquid**) است. این محصول به دلیل ساختار تک‌جزئی خود، بدون نیاز به اختلاط قبل از مصرف قابل استفاده است. بر اساس اطلاعات فنی سازنده، دانسیته ویژه محصول در دمای 25°C برابر با 1.09 g/cm^3 اعلام شده است. ویسکوزیته محصول در دمای 25°C و با استفاده از ویسکومتر Brookfield RVT، با اسپیندل شماره ۶ و سرعت 20 rpm ، در محدوده $14,000$ تا $25,000 \text{ mPa}\cdot\text{s}$ (cP) اندازه‌گیری

شده است و محدوده دمای کاری محصول از 54°C تا 150°C اعلام شده است و شرایط پیشنهادی نگهداری محصول ۸۰۰ تا 21°C است و عمر نگهداری محصول در شرایط مناسب و در بسته بندی اولیه باز نشده ۲۴ ماه اعلام شده است.

۲-۳- جدول مشخصات فنی پایه

Property	Result
Appearance (Uncured)	Transparent amber liquid
Components	One component
Specific Gravity @25°C	۱.۰۹
Viscosity @25°C	۱۴,۰۰۰ – ۲۵,۰۰۰ mPa.s
Measurement Method	Brookfield RVT, Spindle 6, 20 rpm
Maximum Operating Temperature	-54°C to 150°C
Storage Temperature	8°C to 21°C
Shelf Life	۲۴ months (unopened condition)

۳,۳- تحلیل مهندسی خواص فیزیکی

ویسکوزیته (Viscosity)

مهم ترین پارامتر فرآیندی در این بخش، ویسکوزیته بالای MXBON® 41352 است که ۱۴۰۰۰ تا 25000 mPa.s نشان می دهد که این محصول در مقایسه با چسب های آکرلیک یا سیانوآکریلات با ویسکوزیته پایین، رفتار روان شونده کمتری دارد. این ویژگی از دیدگاه فرآیندی چند اثر دارد. ویسکوزیته بالاتر باعث می شود چسب پس از اعمال روی سطح، کنترل بهتری داشته باشد و احتمال جاری شدن (Run-off) در سطوح عمودی یا قطعاتی که نیاز به نگهداری موقعیت دارند کاهش یابد. همچنین این محدوده ویسکوزیته با قابلیت استفاده محصول برای کاربردهایی که نیاز به پر کردن فاصله بیشتری دارند مرتبط است. البته میزان واقعی قابلیت پر کردن فاصله باید بر اساس اطلاعات بخش Cure Performance و تأثیر ضخامت لایه چسب بررسی شود، زیرا دیتاشیت تأکید کرده است که سرعت پخت و دستیابی به استحکام نهایی به ضخامت لایه چسب وابسته است. بنابراین در این مرحله فقط می توان نتیجه گرفت که ویسکوزیته بالا یک ویژگی فرآیندی برای کنترل بهتر اعمال چسب است، نه اینکه به تنهایی نشان دهنده قابلیت تحمل همه انواع Gap باشد.

دانسیته (Specific Gravity)

دانسیته اعلام شده: ۱.۰۹ در دمای 25°C که نشان دهنده جرم مخصوص سیستم چسب قبل از پخت است. این مقدار در فرآیندهای مصرف صنعتی برای محاسبه میزان مصرف ماده، کنترل مقدار تزریق و تخمین حجم مورد نیاز اتصال اهمیت دارد. برای مثال در

فرآیندهای اتوماتیک Dispensing ، دانسیته یکی از پارامترهایی است که همراه با ویسکوزیته و فشار تزریق برای تنظیم سیستم اعمال بررسی می شود.

محدوده دمای کاری (Operating Temperature Range)

سازنده محدوده دمای کاری 54°C تا 150°C را اعلام کرده است. این بازه نشان می دهد محصول برای شرایط دمایی گسترده طراحی شده است. با این حال، این مقدار باید با سایر داده های عملکردی مانند Glass Transition Temperature (Tg) ، افت مقاومت در دمای بالا ، مقاومت شیمیایی که در بخش های بعدی دیتاشیت ارائه شده اند، تحلیل شود. به عبارت دیگر، دمای کاری اعلام شده یک محدوده عملکردی کلی است و به تنهایی بیان کننده حفظ تمام خواص مکانیکی در کل این بازه نیست.

شرایط نگهداری (Storage Condition)

از آنجا که MXBON® 41352 یک سیستم آکرلیک حساس به فرآیند پخت است، کنترل شرایط نگهداری برای حفظ عملکرد اولیه اهمیت دارد. بنابراین محصول باید تا زمان مصرف در شرایط توصیه شده نگهداری شود و قرار گرفتن طولانی مدت خارج از محدوده دمایی اعلام شده می تواند بر خواص محصول اثر بگذارد.

۴- تحلیل مکانیزم های پخت و عملکرد

یکی از ویژگی های اصلی MXBON® 41352 که در معرفی محصول توسط سازنده نیز مورد تأکید قرار گرفته، قابلیت پخت از طریق چند مکانیزم مختلف است. بر اساس اطلاعات دیتاشیت، این محصول یک چسب آکرلیک تک جزئی با شیمی **Acrylated Urethane** است که علاوه بر پخت اصلی توسط نور UV ، امکان پخت ثانویه با استفاده از فعال کننده و همچنین پخت حرارتی را نیز دارد. این ویژگی باعث می شود فرآیند انتخاب روش پخت بتواند بر اساس شرایط واقعی مونتاژ، نوع زیرلایه، ضخامت لایه چسب و امکان دسترسی به منبع نور انجام شود.

۴, ۱- مکانیزم پخت با نور UV

طبق دیتاشیت، MXBON® 41352 قابلیت پخت توسط تابش نور UV را دارد و محدوده طول موج اصلی اعلام شده برای این فرآیند برابر با 365 nm است. سازنده همچنین اشاره کرده است که برای دستیابی به پخت کامل در سطوحی که در معرض هوا قرار دارند، تابش در محدوده 220 nm تا 260 nm نیز مورد نیاز است. سرعت پخت در سیستم های UV تنها به زمان تابش وابسته نیست، بلکه مجموعه ای از عوامل شامل جنس زیرلایه، فاصله اتصال، ضخامت لایه چسب، شدت تابش و توزیع طیفی منبع نور بر عملکرد نهایی اثر می گذارند. به همین دلیل، زمان های اعلام شده در دیتاشیت مربوط به شرایط مشخص آزمایشگاهی بوده و در کاربرد صنعتی باید انرژی واقعی دریافت شده توسط چسب در محل اتصال بررسی شود. در آزمون سازنده، زمان گیرش اولیه (Fixture Time) بر اساس رسیدن اتصال به مقاومت برشی 0.1 N/mm^2 تعریف شده است. نتایج اعلام شده نشان می دهد که با افزایش شدت تابش UV ، زمان مورد نیاز برای رسیدن به گیرش اولیه کاهش می یابد.

شدت نور UV	طول موج	زمان گیرش اولیه
۶ mW/cm ²	۳۶۵ nm	12 ثانیه
۳۰ mW/cm ²	۳۶۵ nm	10 ثانیه
۱۰۰ mW/cm ²	۳۶۵ nm	6 ثانیه

همچنین در شرایط شدت نور ۱۰۰ mW/cm² در طول موج ۳۶۵ nm، زمان ایجاد سطح بدون چسبندگی (Tack Free Time) کمتر از ۱۵ ثانیه اعلام شده است. یکی از نکات قابل توجه در دیتاشیت، اشاره به قابلیت ایجاد گیرش اولیه در لایه‌های عمیق‌تر است. سازنده برای ضخامت‌های ۱ تا ۳ میلی‌متر، زمان Deep Fixture Time کمتر از ۶۰ ثانیه را در شرایط تابش ۱۰۰ mW/cm² و طول موج ۳۶۵ nm اعلام کرده است. با این حال، خود دیتاشیت تأکید می‌کند که سرعت پخت عمیق به نوع منبع نور، محدوده طول موج، شدت انرژی تابشی و مدت زمان تابش وابسته است؛ بنابراین این مقدار نباید به عنوان یک زمان ثابت برای تمام شرایط کاری در نظر گرفته شود.

از دیدگاه مهندسی، مزیت اصلی سیستم UV در این محصول، امکان دستیابی سریع به گیرش اولیه در فرآیندهای مونتاژ است، اما موفقیت آن به طراحی صحیح فرآیند تابش وابسته است. عواملی مانند سایه‌افتادگی قطعه، ضخامت اتصال و شفافیت مسیر عبور نور می‌توانند بر میزان پخت واقعی تأثیرگذار باشند.

۲، ۴- مکانیزم پخت با فعال‌کننده (Activator Cure)

MXBON® 41352 علاوه بر پخت UV، قابلیت پخت با استفاده از فعال‌کننده MXBON® 037387 را نیز دارد. طبق توضیح سازنده، این فعال‌کننده برای آغاز فرآیند پخت در محصولات MXBON طراحی شده است. در این روش، فعال‌کننده روی یک سطح اعمال شده و چسب روی سطح مقابل قرار می‌گیرد. سپس قطعات مونتاژ شده و تحت فشار نگه داشته می‌شوند تا فرآیند گیرش آغاز شود. بر اساس دیتاشیت، زمان گیرش اولیه در این روش بین ۲ تا ۶ دقیقه اعلام شده است. با این حال، رسیدن به مقاومت کامل اتصال نیازمند زمان بیشتری است و سازنده اعلام کرده است که Full Strength پس از ۷۲ ساعت حاصل می‌شود.

از نظر مهندسی، مکانیزم Activator Cure یک مسیر جایگزین برای شرایطی است که تمام ناحیه اتصال در معرض نور UV قرار نمی‌گیرد. با این روش امکان استفاده از محصول در نواحی دارای محدودیت تابش فراهم می‌شود. با این وجود، زمان دستیابی به مقاومت نهایی باید در طراحی فرآیند مونتاژ لحاظ شود، زیرا گیرش اولیه چند دقیقه‌ای به معنی رسیدن فوری به حداکثر مقاومت مکانیکی نیست.

۳، ۴- مکانیزم پخت حرارتی (Heating Cure)

روش سوم پخت MXBON® 41352، پخت حرارتی است. طبق دیتاشیت، این محصول می‌تواند با اعمال حرارت پخت شود، مشروط بر اینکه زیرلایه‌ها توانایی تحمل دمای فرآیند را داشته باشند. شرایط اعلام‌شده برای این روش شامل گرم کردن ناحیه اتصال تا دمای ۱۲۱°C و نگهداری در این دما به مدت ۳۰ دقیقه است.

از دیدگاه مهندسی، استفاده از روش حرارتی وابسته به محدودیت‌های قطعه و فرآیند تولید است. در قطعاتی که حساسیت حرارتی دارند یا تغییر ابعاد ناشی از افزایش دما می‌تواند مشکل ایجاد کند، این روش باید با توجه به شرایط واقعی مونتاژ ارزیابی شود.

۴، ۴- تأثیر ضخامت لایه چسب و نوع زیرلایه بر سرعت پخت

دیتاشیت MXBON® 41352 تأکید می‌کند که سرعت پخت تابع مقدار چسب، ضخامت لایه چسب و عمق اتصال است. لایه‌های نازک‌تر معمولاً سرعت پخت بیشتری دارند، در حالی که افزایش ضخامت لایه چسب می‌تواند باعث کاهش سرعت پخت شود. همچنین سازنده اعلام کرده است که سرعت پخت به جنس زیرلایه وابسته بوده و این محصول برای مواد نرم مانند **Rubber** و **Silicone** مناسب نیست. بنابراین، انتخاب این محصول باید بر اساس تطابق بین شیمی چسب، جنس قطعات، ضخامت اتصال و روش پخت انتخاب‌شده انجام شود.

۵- بررسی خواص مکانیکی چسب پخت‌شده

پس از بررسی مکانیزم‌های پخت، مرحله بعدی ارزیابی رفتار مکانیکی MXBON® 41352 پس از تشکیل شبکه پلیمری است. در یک چسب صنعتی، تنها سرعت گیرش اولیه اهمیت ندارد، بلکه توانایی ماده پخت‌شده در تحمل تغییر شکل، تنش‌های مکانیکی، اختلاف انبساط حرارتی و بارهای واردشده در طول عمر کاری، تعیین‌کننده عملکرد واقعی اتصال خواهد بود.

طبق دیتاشیت سازنده، آزمون‌های خواص مکانیکی MXBON® 41352 بر روی نمونه‌هایی انجام شده که با تابش نور UV با شدت 100 mW/cm^2 در طول موج 365 nm و به مدت 30 ثانیه پخت شده‌اند. خواص اندازه‌گیری‌شده شامل سختی، ازدیاد طول، جذب آب، ضریب شکست، دمای انتقال شیشه‌ای و مقاومت برشی اتصال است.

خواص فیزیکی ماده پس از پخت

مشخصه	روش آزمون	مقدار
سختی	ISO 868	Shore D = 55
ازدیاد طول تا شکست	ISO 527-3	۲۵۰٪
جذب آب	—	۸.۸٪
ضریب شکست	ASTM D542	۱.۵
دمای انتقال شیشه‌ای	ISO 11357-2	۵۰°C

سختی MXBON® 41352 پس از پخت طبق استاندارد ISO 868 برابر با Shore D 55 گزارش شده است. این مقدار نشان‌دهنده تشکیل یک ساختار پلیمری نسبتاً سخت پس از پخت است، اما برای ارزیابی کامل رفتار مکانیکی باید همراه با سایر پارامترها، به خصوص ازدیاد طول، بررسی شود. در چسب‌های مهندسی، سختی بالا به تنهایی همیشه مزیت محسوب نمی‌شود، زیرا یک ماده بسیار سخت ممکن است در برابر تنش‌های ناشی از اختلاف انبساط حرارتی یا ارتعاش، رفتار شکننده‌تری داشته باشد.

در مقابل، مقدار ازدیاد طول تا شکست که طبق استاندارد **ISO 527-3** برابر با **۲۵۰ درصد** اعلام شده است، نشان می‌دهد ماده پخت‌شده قبل از شکست توانایی تغییر شکل قابل توجهی دارد. ترکیب این مقدار ازدیاد طول با سختی **Shore D 55** نشان می‌دهد که سازنده تلاش کرده است بین سختی و انعطاف‌پذیری تعادل ایجاد کند. البته این ویژگی مربوط به خود ماده چسب پس از پخت است و عملکرد واقعی اتصال باید بر اساس آزمون‌های مقاومت برشی و شرایط سرویس بررسی شود.

دمای انتقال شیشه‌ای (**Glass Transition Temperature**) یکی از پارامترهای مهم برای بررسی رفتار حرارتی پلیمرها است. طبق دیتاشیت، **Tg** این محصول بر اساس استاندارد **ISO 11357-2** برابر با **۵۰°C** گزارش شده است. در دماهای نزدیک به **Tg**، خواص مکانیکی پلیمرها می‌تواند تغییر کند و کاهش مدول و افزایش انعطاف‌پذیری رخ دهد. با این حال، **Tg** به تنهایی محدوده مجاز کارکرد محصول را تعیین نمی‌کند، زیرا سازنده برای **MXBON® 41352** محدوده دمای کاری **-۵۴°C تا ۱۵۰°C** را اعلام کرده است و ارزیابی عملکرد در این محدوده باید با استفاده از داده‌های **Aging** و مقاومت حرارتی انجام شود.

مقدار جذب آب اعلام‌شده برای ماده پخت‌شده برابر با **۸.۸ درصد** است. این پارامتر در کاربردهایی که اتصال در معرض رطوبت یا محیط‌های مرطوب قرار دارد اهمیت دارد، زیرا جذب رطوبت می‌تواند در طول زمان بر خواص مکانیکی و چسبندگی اثر بگذارد. با این حال، اثر واقعی محیط مرطوب بر اتصال باید بر اساس نتایج آزمون‌های مقاومت محیطی و **Aging** بررسی شود که در بخش بعدی دیتاشیت ارائه شده است.

مقاومت برشی اتصال

مهم‌ترین داده مکانیکی برای ارزیابی عملکرد یک چسب ساختاری، مقاومت اتصال ایجادشده بین چسب و زیرلایه است **MXBON® 41352** در دیتاشیت خود نتایج مقاومت برشی را برای ترکیب‌های مختلف زیرلایه و روش‌های مختلف پخت ارائه کرده است.

در روش پخت با فعال‌کننده **MXBON® 037387**، آزمون مقاومت برشی طبق استاندارد **ISO 13445** و پس از ۲۴ ساعت در دمای ۲۲ درجه سانتی‌گراد انجام شده است. نتایج نشان می‌دهد که اتصال **Steel/Glass** دارای مقاومت برشی **۱۶.۵ N/mm²**، اتصال **Aluminum/Glass** برابر **۱۰.۲ N/mm²**، اتصال **PC/Glass** برابر **۸.۲ N/mm²** و اتصال **PVC/Glass** برابر **۸.۸ N/mm²** بوده است.

مقاومت برشی	استاندارد	روش پخت	ترکیب زیرلایه
۱۶.۵ N/mm ²	ISO ۱۳۴۴۵	Activator MXBON 037387	Steel / Glass
۱۰.۲ N/mm ²	ISO ۱۳۴۴۵	Activator MXBON 037387	Aluminum / Glass
۸.۲ N/mm ²	ISO ۱۳۴۴۵	Activator MXBON 037387	PC / Glass
۸.۸ N/mm ²	ISO ۱۳۴۴۵	Activator MXBON 037387	PVC / Glass

در روش پخت حرارتی، سازنده نتایج متفاوتی را گزارش کرده است. برای اتصال Steel/Steel طبق استاندارد **ISO 4587** پس از پخت در دمای **۱۲۱°C** به مدت **۴۵ دقیقه**، مقاومت برشی برابر **۱۵.۲ N/mm²** اندازه‌گیری شده است.

همچنین در آزمون‌های طبق استاندارد **ISO 13445**، اتصال Steel/Glass پس از پخت در دمای **۱۲۱°C** به مدت **۳۰ دقیقه** دارای مقاومت برشی **۲۰.۶ N/mm²** و اتصال Aluminum/Glass دارای مقاومت **۱۸.۶ N/mm²** گزارش شده است.

برای اتصالات فلز به فلز نیز نتایج اعلام‌شده شامل مقاومت **۱۳.۱ N/mm²** برای Steel/Steel و **۱۰.۶ N/mm²** برای Aluminum/Aluminum است.

تحلیل مهندسی مقاومت اتصال

نتایج مقاومت برشی نشان می‌دهد که عملکرد MXBON® 41352 تنها تابع شیمی چسب نیست، بلکه روش پخت و نوع زیرلایه تأثیر قابل توجهی بر مقاومت نهایی دارند. بالاترین مقدار ثبت‌شده در دیتاشیت مربوط به اتصال Steel/Glass با پخت حرارتی است که مقدار **۲۰.۶ N/mm²** را نشان می‌دهد.

تفاوت بین نتایج Activator Cure و Heating Cure نشان می‌دهد که شرایط توسعه شبکه پلیمری در چسب، نقش مهمی در رسیدن به استحکام نهایی دارد. بنابراین در کاربرد صنعتی، انتخاب روش پخت باید بر اساس طراحی اتصال، جنس قطعات و شرایط فرآیند تولید انجام شود. همچنین باید توجه داشت که مقاومت برشی گزارش‌شده مربوط به آزمون‌های آزمایشگاهی طبق استانداردهای مشخص است و برای طراحی اتصال واقعی، عواملی مانند سطح تماس، آماده‌سازی سطح، ضخامت لایه چسب، بارگذاری دینامیکی و شرایط محیطی باید در نظر گرفته شوند.

۶- مقاومت حرارتی و شیمیایی

پس از بررسی خواص مکانیکی اولیه، مرحله بعدی ارزیابی توانایی MXBON® 41352 در حفظ عملکرد خود در شرایط محیطی و حرارتی است. در کاربردهای صنعتی، یک چسب ساختاری تنها در شرایط آزمایشگاهی اولیه مورد استفاده قرار نمی‌گیرد، بلکه ممکن

است در معرض افزایش دما، روغن‌ها، سوخت‌ها، رطوبت و سایر عوامل محیطی قرار گیرد. بنابراین بررسی میزان حفظ مقاومت اتصال پس از Aging یکی از معیارهای مهم برای ارزیابی قابلیت اطمینان محصول است.

طبق دیتاشیت MXBON® 41352، آزمون مقاومت محیطی بر روی نمونه‌های پخت‌شده انجام شده و پس از قرارگیری در محیط‌های مختلف، مقاومت اتصال در دمای ۲۲°C اندازه‌گیری شده است. نتایج به صورت درصدی از مقاومت اولیه اتصال گزارش شده‌اند.

۶,۱-مقاومت حرارتی و Aging در هوا

Heat Aging in Air پیرشدگی در هوا

سازنده عملکرد محصول را پس از قرارگیری طولانی‌مدت در هوای گرم بررسی کرده است. نتایج نشان می‌دهد که افزایش دما باعث کاهش تدریجی مقاومت اتصال می‌شود. جدول نتایج:

درصد باقی‌ماندن	زمان	دما	محیط Aging
۷۰٪	۳۰۰ساعت	۱۲۱°C	Air
۷۵٪	۵۰۰ساعت	۱۲۱°C	Air
۴۵٪	۳۰۰ساعت	۱۵۰°C	Air
۵۰٪	۵۰۰ساعت	۱۵۰°C	Air

تحلیل مهندسی مقاومت حرارتی

نتایج Aging حرارتی نشان می‌دهد که MXBON® 41352 در دمای ۱۲۱ °C توانایی حفظ بخش قابل توجهی از مقاومت اولیه اتصال را دارد. پس از ۵۰۰ ساعت قرارگیری در این دما، حدود ۷۵ درصد از مقاومت اولیه باقی مانده است. با افزایش دما تا ۱۵۰ °C، میزان افت مقاومت بیشتر می‌شود و پس از ۵۰۰ ساعت، مقدار مقاومت باقی‌مانده به ۵۰ درصد مقدار اولیه کاهش می‌یابد.

این رفتار از نظر مهندسی قابل انتظار است، زیرا در سیستم‌های پلیمری، افزایش دما باعث افزایش حرکت زنجیره‌های مولکولی و کاهش تدریجی خواص مکانیکی می‌شود. بنابراین مقدار ۱۵۰°C که توسط سازنده به عنوان حداکثر دمای کاری اعلام شده است، نباید به معنی حفظ کامل خواص مکانیکی اولیه در تمام مدت سرویس تلقی شود. داده‌های Aging نشان می‌دهند که برای کاربردهای دمای بالا، علاوه بر دمای لحظه‌ای سرویس، مدت زمان تماس با دما نیز باید در طراحی اتصال در نظر گرفته شود.

۶,۲-مقاومت در برابر روغن موتور

طبق دیتاشیت، نمونه‌های اتصال در معرض روغن موتور Motor Oil (10W30) قرار گرفته‌اند و نتایج زیر حاصل شده است

محیط	دما	زمان	درصد باقی ماندن مقاومت اولیه
Motor Oil 10W30	۲۲°C	۳۰۰ ساعت	۹۰٪
Motor Oil 10W30	۲۲°C	۵۰۰ ساعت	۸۵٪

نتایج نشان می‌دهد که MXBON® 41352 در تماس با روغن موتور ۱۰W۳۰ در دمای محیط، حفظ مقاومت نسبتاً بالایی داشته است. پس از ۵۰۰ ساعت، ۸۵ درصد مقاومت اولیه باقی مانده است این داده نشان‌دهنده سازگاری مناسب چسب با این محیط مشخص است، اما نباید بدون انجام آزمون اختصاصی به سایر روغن‌ها، سیالات هیدرولیک یا مواد نفتی تعمیم داده شود، زیرا ترکیب شیمیایی افزودنی‌های موجود در روغن‌ها می‌تواند بر عملکرد پلیمر اثر متفاوتی داشته باشد.

۶, ۳- مقاومت در برابر بنزین بدون سرب

دیتاشیت عملکرد محصول را در برابر بنزین بدون سرب نیز بررسی کرده است. و نتایج زیر حاصل شده است

محیط	دما	زمان	درصد باقی ماندن مقاومت اولیه
Unleaded Gasoline	۲۲°C	۳۰۰ ساعت	۷۰٪
Unleaded Gasoline	۲۲°C	۵۰۰ ساعت	۸۰٪

رفتار محصول در برابر بنزین بدون سرب نشان می‌دهد که اتصال پس از تماس طولانی مدت همچنان بخشی از مقاومت اولیه خود را حفظ می‌کند. مقدار باقی ماندن مقاومت پس از ۵۰۰ ساعت برابر ۸۰ درصد گزارش شده است. با این حال، تغییرات مقاومت در چنین محیط‌هایی وابسته به نوع سوخت، افزودنی‌ها، دما و شرایط واقعی سرویس است. بنابراین این داده فقط برای شرایط آزمایش شده توسط سازنده قابل استناد است.

۶, ۴- مقاومت در برابر رطوبت و حرارت

یکی از مهم‌ترین آزمون‌های محیطی ارائه شده در دیتاشیت، شرایط **Relative Humidity at ۵۰°C ۹۰٪** است. که نتایج زیر را داشته

محیط	دما	رطوبت نسبی	زمان	درصد باقی ماندن مقاومت اولیه
Heat / Humidity	۵۰°C	۹۰٪ RH	۳۰۰ ساعت	۴۵٪
Heat / Humidity	۵۰°C	۹۰٪ RH	۵۰۰ ساعت	۳۵٪

این بخش یکی از مهم‌ترین داده‌های دیتاشیت است، زیرا نشان می‌دهد رطوبت همراه با حرارت اثر بیشتری بر کاهش عملکرد اتصال دارد. پس از ۵۰۰ ساعت قرارگیری در شرایط ۵۰ °C و ۹۰٪ رطوبت نسبی، تنها ۳۵ درصد از مقاومت اولیه باقی مانده است. این نتیجه نشان می‌دهد که اگرچه MXBON® 41352 در برابر برخی محیط‌های شیمیایی مانند روغن موتور عملکرد مناسبی نشان داده است، اما محیط‌های مرطوب و گرم می‌توانند تأثیر قابل توجهی بر دوام اتصال داشته باشند.

بنابراین در کاربردهایی که اتصال به صورت دائمی در معرض رطوبت بالا، بخار آب یا محیط‌های گرم و مرطوب قرار دارد، انجام آزمون تأییدیه اختصاصی روی قطعه واقعی ضروری است.

۶،۵- جمع‌بندی مهندسی بخش مقاومت محیطی

داده‌های دیتاشیت نشان می‌دهد MXBON® 41352 در برابر شرایط مختلف رفتار متفاوتی دارد. این محصول در محیط روغن موتور W30 و دمای محیط، حفظ مقاومت بالایی نشان داده است، در حالی که افزایش دما و به‌خصوص ترکیب دما و رطوبت باعث کاهش قابل توجه مقاومت اتصال می‌شود. از نظر مهندسی، این رفتار با ماهیت چسب‌های آکریلیک ساختاری سازگار است؛ زیرا عملکرد آن‌ها به ساختار شبکه پلیمری، میزان جذب رطوبت و شرایط Aging وابسته است. بنابراین ارزیابی نهایی کاربرد محصول باید بر اساس ترکیب سه عامل نوع زیرلایه، روش پخت انتخاب‌شده و شرایط واقعی محیط سرویس انجام شود.

۷- بررسی خواص الکتریکی چسب پخت‌شده

با توجه به اینکه MXBON® 41352 در دیتاشیت سازنده به عنوان یک چسب آکریلیک پایه **Acrylated Urethane** برای اتصال، آب‌بندی و پوشش‌دهی قطعات فلزی و شیشه‌ای معرفی شده است، بررسی رفتار الکتریکی ماده پس از پخت اهمیت ویژه‌ای دارد. در بسیاری از کاربردهای صنعتی، به‌خصوص در قطعات الکتریکی، الکترونیکی و مجموعه‌هایی که در آن‌ها چسب در مجاورت مسیرهای جریان یا اجزای حساس قرار می‌گیرد، چسب علاوه بر ایجاد اتصال مکانیکی باید بتواند خواص عایقی قابل قبولی نیز ارائه دهد.

بر اساس دیتاشیت MXBON® 41352، آزمون‌های الکتریکی روی نمونه‌های پخت‌شده انجام شده و چهار پارامتر اصلی شامل استحکام دی‌الکتریک، مقاومت حجمی، ثابت دی‌الکتریک و ضریب اتلاف دی‌الکتریک اندازه‌گیری شده‌اند. نتایج اعلام‌شده توسط سازنده به شرح زیر است.

مقدار گزارش‌شده	استاندارد آزمون	مشخصه الکتریکی
۲۲ kV/mm	IEC 60243-1	Dielectric Strength
$8 \times 10^{12} \Omega \cdot \text{cm}$	IEC 60093	Volume Resistivity
۵.۰	IEC 60250	Dielectric Constant (1 kHz)
۰.۰۲	IEC 60250	Dielectric Dissipation Factor (1 kHz)

استحکام دی الکتریک MXBON® 41352 طبق استاندارد IEC 60243-1 برابر با 22 kV/mm گزارش شده است. این پارامتر نشان دهنده حداکثر شدت میدان الکتریکی قابل تحمل توسط ماده قبل از وقوع شکست الکتریکی است. مقدار اعلام شده نشان می دهد ساختار پلیمری ایجاد شده پس از پخت، دارای قابلیت مقاومت در برابر اعمال میدان الکتریکی است. با این حال، در یک اتصال واقعی، این مقدار تنها مربوط به خود ماده پلیمری است و عوامل دیگری مانند ضخامت واقعی لایه چسب، یکنواختی پوشش، وجود حفره های داخلی، کیفیت پخت و شرایط محیطی می توانند بر عملکرد نهایی تأثیر بگذارند.

مقاومت حجمی الکتریکی محصول طبق استاندارد IEC 60093 برابر با $10^{12} \Omega \cdot \text{cm}$ اعلام شده است. این مقدار بیان کننده مقاومت ماده در برابر عبور جریان الکتریکی از داخل ساختار حجمی آن است. مقدار بالای مقاومت حجمی نشان می دهد که چسب پخت شده رفتار عایقی دارد و می تواند در کاربردهایی که نیاز به جلوگیری از عبور جریان ناخواسته وجود دارد، عملکرد مناسبی داشته باشد. البته مانند بسیاری از پلیمرهای عایق، این ویژگی می تواند تحت تأثیر شرایط محیطی مانند افزایش دما یا جذب رطوبت تغییر کند و برای کاربردهای حساس باید شرایط واقعی سرویس بررسی شود.

ثابت دی الکتریک MXBON® 41352 در فرکانس 1 kHz طبق استاندارد IEC 60250 برابر با 5.0 اندازه گیری شده است. ثابت دی الکتریک نشان دهنده توانایی ماده در قطبی شدن و ذخیره انرژی الکتریکی در حضور میدان الکتریکی است. این پارامتر در طراحی قطعات الکترونیکی، سنسورها و مجموعه هایی که رفتار الکتریکی ماده در آن ها اهمیت دارد، مورد توجه قرار می گیرد. مقدار گزارش شده نشان می دهد این چسب دارای رفتار دی الکتریک مشخصی است، اما استفاده از آن در طراحی های دقیق الکترونیکی نیازمند بررسی سازگاری با شرایط فرکانسی و حرارتی واقعی خواهد بود.

ضریب اتلاف دی الکتریک یا **Dielectric Dissipation Factor** نیز طبق استاندارد IEC 60250 در فرکانس 1 kHz برابر با 0.02 گزارش شده است. این پارامتر میزان انرژی تلف شده در ماده هنگام قرارگیری در میدان الکتریکی متناوب را نشان می دهد. مقدار پایین تر این ضریب معمولاً بیانگر تلفات کمتر و رفتار عایقی بهتر ماده است. مقدار 0.02 نشان می دهد که MXBON® 41352 در شرایط آزمون دارای تلفات دی الکتریک محدود بوده است.

از دیدگاه مهندسی، مجموعه این داده ها نشان می دهد که MXBON® 41352 علاوه بر عملکرد مکانیکی به عنوان یک چسب ساختاری، دارای ویژگی های عایقی قابل توجهی نیز هست. ترکیب مقاومت حجمی بالا، استحکام دی الکتریک 22 kV/mm و ضریب اتلاف پایین، این محصول را برای کاربردهایی که در آن ها چسب در کنار قطعات الکتریکی یا الکترونیکی استفاده می شود، قابل بررسی می کند. با این وجود، باید توجه داشت که این اطلاعات تنها بیان کننده خواص ذاتی ماده پخت شده در شرایط آزمون آزمایشگاهی است و به معنی تأیید محصول برای تمام کاربردهای الکتریکی نیست. در تجهیزاتی که دارای الزامات ایمنی ویژه، ولتاژهای بالا، شرایط حرارتی شدید یا استانداردهای اختصاصی صنعتی هستند، لازم است آزمون های تأیید عملکرد روی مجموعه واقعی انجام شود.

همچنین دیتاشیت MXBON® 41352 هیچ اشاره ای به استانداردهای ایمنی الکتریکی مانند UL، VDE یا الزامات مربوط به کلاس بندی مواد عایقی ندارد؛ بنابراین نباید بدون دریافت تأییدیه مستقل، محصول را دارای این گواهی ها دانست.