



## مطالعه اثرات فرآیند سنباده‌زنی بر استحکام اتصالات چسبی

امیر صفری، محمدرضا فراهانی\*

دانشکده مهندسی مکانیک، پردیس دانشکده‌های فنی، دانشگاه تهران، تهران، ایران

### تاریخچه داوری:

دریافت: ۱۳ خرداد ۱۳۹۶  
بازنگری: ۱۴ تیر ۱۳۹۶  
پذیرش: ۲۵ تیر ۱۳۹۶  
ارائه آنلاین: ۲۷ تیر ۱۳۹۶

### کلمات کلیدی:

زبری سطح  
سنباده‌زنی  
آماده‌سازی سطح  
اتصالات تک‌لبه  
چسب‌ها

**چکیده:** در این مقاله، زبری سطح حاصل از فرآیند سنباده‌زنی مورد مطالعه قرار گرفته و تأثیر آن بر استحکام برشی اتصالات چسبی بررسی شده است. به این منظور، ابتدا قطعاتی از ورق آلیاژ آلومینیوم 2024-T3 بریده شده و فرآیند سنباده‌زنی توسط کاغذهای سنباده با طیف وسیعی از زبری شامل هفت شماره دانه‌ی متفاوت انجام شده است. سپس سطوح آماده‌سازی شده دو به دو و به صورت تک‌لبه توسط چسب آرالدیت ۲۰۱۵ با ویسکوزیته‌ی بالا و چسب اپوکسی HPL1012/HPH112 با ویسکوزیته‌ی پایین متصل گردیده‌اند. نتایج نشان می‌دهند که با افزایش زبری سطح، استحکام برشی نهایی ابتدا افزایش و سپس به طور پیوسته کاهش یافته است. زبری و پرداخت سطح بهینه برای چسب‌های با ویسکوزیته‌ی بالا و پایین یکسان نبوده است که وابستگی فرآیند آماده‌سازی سطح به نوع چسب را نشان می‌دهد. بیشترین استحکام برشی نهایی اتصالات چسب دوجزئی آرالدیت ۲۰۱۵ مربوط به نمونه‌ی سنباده‌زنی شده توسط کاغذ سنباده شماره ۴۰۰ با زبری سطح ۰/۳ میکرومتر و برابر ۱۲/۹۸ مگاپاسکال می‌باشد. بیشترین استحکام برشی نهایی اتصالات چسب اپوکسی HPL1012/HPH112 مربوط به نمونه‌ی سنباده‌زنی شده توسط کاغذ سنباده شماره ۱۲۰ با زبری سطح ۰/۳۵ میکرومتر و برابر ۵/۰۲ مگاپاسکال بوده است.

### ۱- مقدمه

یکی از مهم‌ترین مسائل در ساخت قطعات توانایی اتصال و مونتاژ آن‌ها می‌باشد [۱]. زبری سطح از عوامل مهم و تأثیرگذار در خواص مکانیکی اتصال می‌باشد. از این رو آماده‌سازی و اصلاح سطح و تأثیر آن در استحکام اتصال مورد توجه قرار گرفته است. سنباده‌زنی یکی از روش‌های موجود برای آماده‌سازی سطح می‌باشد [۲].

روش‌های متعددی برای اتصال ساختارهای مشابه و غیرمشابه وجود دارد. روش‌های مکانیکی مرسوم همچون پرچ و پیچ علی‌رغم سادگی و توانایی دمونتاز کردن، سبب ایجاد تمرکز تنش و توزیع بار غیریکنواخت بر روی قطعات می‌شوند، ولی در اتصالات چسبی توزیع تنش کاملاً یکنواختی را اعمال می‌کنند. از این رو استفاده از اتصالات چسبی در سازه‌ها در حال افزایش می‌باشد [۱]. این اتصالات در مقایسه با اتصالات مکانیکی دارای مزیت‌های زیادی می‌باشند. مقاومت مناسب در برابر خستگی، مقاومت بالا در برابر نیروهای برشی، مقاومت در برابر خوردگی، کاهش ضریب تمرکز تنش، کاهش وزن سازه، بازدهی بالاتر و قابلیت پخش نمودن نیرو در سرتاسر اتصال از جمله‌ی این مزایا می‌باشند [۳].

عوامل فوق باعث مورد توجه قرار گرفتن استفاده از تکنیک ایجاد اتصالات چسبی به‌عنوان یکی از روش‌های پرکاربرد در صنایع مختلف شده و امروزه از اهمیت بالایی برخوردار است. توزیع یکنواخت تنش، باربری بالا و وزن

پایین این اتصالات باعث شده است که کاربرد اتصالات چسبی به ویژه در صنایع هوایی، فضایی و اتمبیل‌سازی مدرن رشد روزافزونی را داشته باشد. همین مسأله لزوم تحقیق و پژوهش در راستای ارتقاء کیفی و افزایش میزان باربری این اتصالات را بیشتر آشکار نموده است. محل اتصال در سازه‌ها معمولاً ضعیف‌ترین نقطه از لحاظ استحکام می‌باشد و بیشتر گسیختگی‌ها از این محل صورت می‌گیرد [۲]. اتصالات چسبی دارای محدودیت‌هایی نیز می‌باشند که وابسته بودن استحکام چسب به کیفیت سطح مورد اتصال از جمله‌ی این اشکالات است. استحکام اتصال چسبی به شرایط محیطی، آماده‌سازی سطح مورد اتصال، طراحی اتصال و بارگذاری بستگی دارد [۴]. تاکنون راه‌حل‌های زیادی برای استحکام‌بخشی اتصالات چسبی مطرح شده است. آماده‌سازی مکانیکی سطح از جمله روش‌های استحکام‌بخشی اتصالات چسبی فلزات و کامپوزیت‌ها می‌باشد. استحکام این اتصالات تحت تأثیر آماده‌سازی سطح اجزای اتصال می‌باشد. استفاده مطلوب از انواع مختلف فرآیندهای آماده‌سازی در بهبود استحکام اتصالات چسبی مؤثر می‌باشد [۵]. شاکرچی‌اوغلو و همکاران در سال ۲۰۰۳ به بررسی تأثیر زبری سطح بر استحکام اتصالات چسبی قطعات استوانه‌ای تحت بارگذاری استاتیکی و دینامیکی پرداختند. قطعات اتصال شامل شفت و لوله‌ی توخالی و از جنس فولاد بودند. آن‌ها از کاغذهای سنباده برای دستیابی به زبری سطح‌های مختلف استفاده کردند. نتایج نشان داد که برای زبری سطح یکسان، بارگذاری‌های استاتیکی و دینامیکی بیانگر خواص یکسانی می‌باشند.

همچنین برای سطوح بسیار صاف و بسیار زبر تنش‌های برشی کمتری به‌دست آمده بود [۶].

سینان و همکاران در سال ۲۰۱۲ توسط روش سنباده‌زنی به بررسی اثرات زبری سطح و ضخامت چسب و فاصله‌ی همپوشانی روی استحکام اتصالات چسبی پرداختند. آن‌ها نمونه‌های تولیدشده در سه نوع مختلف از زبری سطح و سه نوع مختلف از ضخامت چسب و سه نوع مختلف از فاصله‌ی همپوشانی را که با سه چسب پایه اپوکسی رایج و پر استفاده متصل شده بررسی کرده‌اند. مقادیر زبری مختلف با سنباده‌زنی سطوح اتصال به‌دست آمده و استحکام هر اتصال توسط آزمایش کشش محوری تعیین شد. تصاویر به‌دست‌آمده از سطح شکست اتصالات چسبی نشان داد که روی سطوح زبر و خشن خرابی به شکل شکست رخ می‌دهد و روی سطوح با زبری کم، خرابی به شکل پوسته‌پوسته شدن رخ می‌دهد. بیشترین مقادیر استحکام برشی به‌دست‌آمده در محل اتصال، در فاصله‌ی همپوشانی و ضخامت چسب کمتر بود. نتایج نشان داد که با افزایش فاصله‌ی همپوشانی، استحکام برشی کاهش یافته است [۷].

جوهویچ و همکاران در سال ۲۰۱۳ از فرآیند سنبلاست اکسیدآلومینیوم برای آماده‌سازی سطح استفاده کرده‌اند. زمان انفجار، فاصله‌ی نازل و شدت انفجار پارامترهای تأثیرگذار در زبری سطح می‌باشند. آن‌ها گزارش دادند که افزایش شدت انفجار باعث افزایش قابل‌توجه زبری سطح شده است. همچنین زبری عمده‌تاً تحت تأثیر زمان انفجار بوده و کمتر تحت تأثیر فاصله‌ی نازل می‌باشد. استحکام نمونه‌های سنبلاست شده بالاتر از نمونه‌های سنبلاست نشده بود [۸].

اتیکاه و همکاران در سال ۲۰۱۴ زبری سطح ماکروسکوپی در اتصال چسبی را مطالعه کرده و از چسب انعطاف‌پذیر با ضخامت اتصال یکسان و از چند نوع سنباده برای تولید زبری سطح متفاوت در اتصالات لب‌به‌لب استفاده کرده‌اند. استحکام اتصال چسب‌ها تحت تأثیر زبری سطح قطعات اتصال می‌باشد. با این حال میزان این تأثیر به دلیل پیچیدگی پدیده‌ها هنوز روشن نیست. با افزایش شماره درجه‌ی سنباده زبری آن کاهش می‌یابد. برای چسبنده‌های غیرهم‌جنس مناسب‌ترین زبری سطح با بالاترین استحکام اتصال با استفاده از سنباده با شماره دانه‌ی بین ۳۶۰ تا ۵۰۰ بود [۹].

بوده و همکاران در سال ۲۰۱۵ به بررسی تأثیر زبری سطح بر استحکام اتصال چسبی چسبنده‌های متفاوت پرداختند و از فلز آلومینیوم، چوب و چسب اپوکسی برای اتصال چسبی استفاده کردند. در این مطالعه از سنباده‌زنی به‌عنوان روش آماده‌سازی سطح برای دستیابی به زبری سطح‌های مختلف استفاده گردیده بود. نتایج نشان داد که به‌وضوح بین استحکام اتصال و زبری سطح وابستگی وجود دارد و زبری سطح بهینه برای فلز آلومینیوم و چوب به‌ترتیب ۱/۶۸ و ۱/۶۴ میکرومتر به‌دست آمده بود. برای نمونه‌های آلومینیومی با افزایش زبری سطح، مد شکست ترکیبی به مد شکست درون چسبی تغییر کرده است. ولی برای نمونه‌های چوبی با افزایش زبری سطح، استحکام اتصال کاهش یافته است [۱۰].

فراهانی و صفری در سال ۲۰۱۶ بررسی مقدماتی بر روی تعدادی از نمونه‌های سنباده‌زنی شده انجام دادند. برای اتصال سطوح سنباده‌زنی شده فقط از یک نوع چسب نرم استفاده شده بود. تغییرات استحکام نسبت به زبری سطح این نمونه‌ها ارائه گردید، لیکن به دلیل کمبود داده‌ها تحلیل کافی در مورد روند این تغییرات بیان نشده است [۱۱].

فراهانی و صفری در سال ۲۰۱۷ اثرات آماده‌سازی سطح به روش سنبلاست و شات‌بلاست بر روی استحکام اتصالات چسبی بررسی کردند. نتایج نشان داد که با افزایش زبری سطح نمونه‌های شات‌بلاست و سنبلاست شده، استحکام برشی نهایی به‌طور پیوسته افزایش یافته است. زبری و پرداخت سطح بهینه برای چسب‌های نرم و ترد یکسان بوده است که عدم وابستگی زبری سطح بهینه به نوع چسب در نمونه‌های آماده‌شده به روش سنبلاست و شات‌بلاست را نشان داده است [۱۲].

در این مقاله از فرآیند آماده‌سازی به‌روش سنباده‌زنی و از کاغذهای سنباده در محدوده‌ی وسیعی از شماره دانه‌ی سنباده استفاده شده است. به‌منظور بررسی اثر روش سنباده‌زنی بر زبری سطح و استحکام برشی نهایی اتصالات چسبی تک‌لبه از روش‌های طراحی آزمایش استفاده گردیده است. برای ارزیابی پارامترهای سطح کلیه‌ی نمونه‌ها، زبری سطح نمونه‌ها توسط آزمایش‌های زبری‌سنجی تعیین و به صورت مقایسه‌ای ارائه شده است. در ادامه برای بررسی‌های استحکامی آزمون کشش بر مبنای استاندارد مربوطه انجام گرفته و نتایج جمع‌بندی شده است.

## ۲- نمونه‌سازی تجربی

در این مقاله از آلیاژ آلومینیوم ۲۰۲۴، چسب نرم دوجزئی آرالدیت ۲۰۱۵ با ویسکوزیته‌ی بالا و چسب ترد اپوکسی ۱۰۱۲ با ویسکوزیته‌ی پایین استفاده‌شده و خواص و مشخصات آن‌ها به‌ترتیب در جداول ۱ تا ۳ بیان شده است. آلیاژهای سری دو هزار آلومینیوم نسبت استحکام به وزن خوبی دارند و امروزه در بیشتر صنایع موردتوجه قرار گرفته‌اند.

ابتدا مطابق با استاندارد قطعاتی به ابعاد ۱۰۲ میلی‌متر در ۲۵ میلی‌متر از ورق آلومینیومی به ضخامت دو میلی‌متر بریده‌شده‌اند. سطح همپوشانی برابر ۳۰ میلی‌متر از یک انتهای قطعات و ضخامت چسب ۰/۷۵ میلی‌متر می‌باشد. شکل ۱ ابعاد نمونه‌ها مطابق با استاندارد ای‌اس‌تی‌ام ۵۸۶۸ را نشان می‌دهد [۸]. برای آماده‌سازی مکانیکی سطح به روش سنباده‌زنی از کاغذهای سنباده با رنج زبری گسترده شامل هفت شماره دانه‌ی مختلف ۴۰، ۸۰، ۱۰۰، ۱۲۰، ۲۲۰، ۴۰۰ و ۱۰۰۰ استفاده گردیده است. سنباده‌زنی در طول ۳۰ میلی‌متر از انتهای قطعات انجام شده است. برای کنترل فرآیند سنباده‌زنی سعی گردید تا دستورالعمل کاملاً یکسانی برای این فرآیند در نظر گرفته شود. سنباده‌زنی در جهت عرضی قطعات و عمود بر راستای اعمال نیرو (راستای طولی)، به صورت طولانی به مدت ۱۰ دقیقه انجام گرفته است. جهت ارزیابی تکرارپذیری این فرآیند، نمونه‌های مشابه به صورت جداگانه تحت تست زبری سنجی قرار گرفتند که نتایج حاکی از تکرارپذیری فرآیند بود.

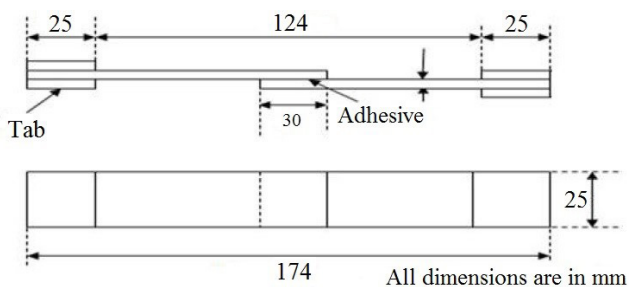


Fig. 1. Sample dimensions in accordance with ASTM 5868

شکل ۱: ابعاد نمونه‌ها مطابق استاندارد ای‌اس‌تی‌ام ۵۸۶۸



Fig. 2. Roughness measurement of Samples

شکل ۲: زبری سنجی قطعات

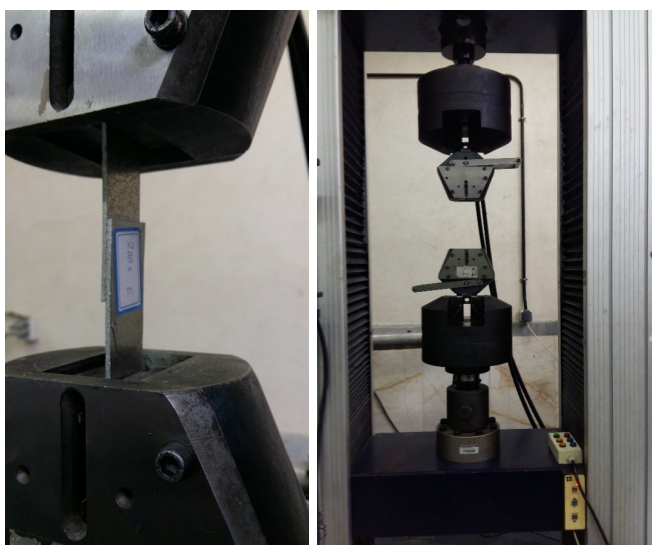


Fig. 3. Tensile test

شکل ۳: آزمون کشش

۱۶ نمونه ساخته شده است. به‌منظور بررسی استحکام نمونه‌ها از آزمون کشش محوری با سرعت ۰/۵ میلی‌متر بر ثانیه استفاده شده و نتایج مربوطه به‌دست آمده است. دستگاه کشش و نمونه تحت آزمون در شکل ۳ نشان داده شده است.

جدول ۱: خواص آلیاژ آلومینیوم ۲۰۲۴

Table 1. Aluminum alloy 2024-T3 properties

مقدار	ویژگی (واحد)
۷۸/۲	چگالی (گرم بر سانتی‌متر مکعب)
۵۱۰	نقطه ذوب (سانتی‌گراد)
۷۰-۸۰	مدول الاستیک (گیگاپاسکال)
۳۳۰	ضریب پواسون
۲۸	مدول برشی (گیگاپاسکال)
۴۸۰	استحکام کششی (مگاپاسکال)
۴۳۰	تنش تسلیم (مگاپاسکال)

جدول ۲: مشخصات چسب آرالدیت ۲۰۱۵ [۱۳].

Table 2. Araldite 2015 specifications

مقدار	ویژگی (واحد)
۸۵/۱	مدول الاستیک (گیگاپاسکال)
۳۳/۰	ضریب پواسون
۲۲	استحکام کششی (مگاپاسکال)
۵۶/۰	مدول برشی (گیگاپاسکال)
۱۸	استحکام برشی (مگاپاسکال)

جدول ۳: مشخصات چسب اپوکسی ۱۰۱۲ [۱۳].

Table 3. Epoxy 1012 specifications

مقدار	ویژگی (واحد)
۷۳/۲	مدول الاستیک (گیگاپاسکال)
۳۳/۰	ضریب پواسون
۱۹	استحکام کششی (مگاپاسکال)
۹۴/۰	مدول برشی (گیگاپاسکال)
۱۰	استحکام برشی (مگاپاسکال)

پس از انجام فرآیندهای آماده‌سازی سطح، سطوح قطعات توسط دستگاه Hommelwerke مدل TK300 با رزولوشن ۱/۰ میکرومتر زبری‌سنجی شده‌اند و مقادیر زبری سطح میانگین  $Ra$  مربوط به هر یک از فرآیندها برحسب میکرومتر به دست آمده است. زبری‌سنجی در خطی به طول ۱۰ میلی‌متر از قطعات، با سرعت ۰/۱۵ میلی‌متر بر ثانیه و با حرکت اتوماتیک بر روی تعداد هفت سطح مختلف انجام پذیرفته است. این خط در وسط عرض قطعه‌کار و در ناحیه همپوشانی اتصال بوده است. شکل ۲ نحوه زبری‌سنجی قطعات را نشان می‌دهد. سپس قطعات دوبه‌دو مطابق با استاندارد، توسط چسب‌های آرالدیت ۲۰۱۵ و اپوکسی ۱۰۱۲ متصل گردیده و در مجموع تعداد

### ۳- نتایج و بحث بر روی نتایج

نتایج مربوط به زبری سطوح در جدول ۴ نشان داده شده است. روش مورد استفاده برای تعیین زبری سطح، معدل ارتفاع ناهمواری‌ها نسبت به خط مرکزی می‌باشد و زبری سطح میانگین  $Ra$  نامیده می‌شود. زبری سنباده توسط میانگین قطر ذرات موجود در آن تعیین می‌شود. همان‌طور که نتایج نشان می‌دهند مطابق انتظار با افزایش شماره دانه‌ی سنباده، زبری سطح کاهش می‌یابد زیرا عمق و ارتفاع پستی و بلندی‌های ایجاد شده توسط دانه‌ها در سطح کاهش می‌یابد و سطح پرداخت تر می‌شود. در محدوده‌ی وسیع بررسی شده، بیش‌ترین زبری سطح متعلق به سنباده با شماره دانه ۴۰ و برابر ۵۳/۰ میکرومتر و کمترین زبری سطح متعلق به سنباده با شماره دانه ۱۰۰۰ و برابر ۲/۰ میکرومتر می‌باشد. روند کاهش زبری نسبت به افزایش شماره دانه‌ی کاغذ سنباده‌ها چندان منظم نیست و در ابتدای محدوده‌ی مورد بررسی (بین دو سنباده شماره ۴۰ و ۸۰) این روند کاهشی دارای شدت بیشتری است. شکل ۴ نمودار مقایسه‌ی مقادیر زبری سطح به دست آمده را نشان می‌دهد. به منظور بررسی‌های استحکامی، نمونه‌ها پس از فرآیند سنباده‌زنی و آماده‌سازی مکانیکی سطح اتصال، طبق استاندارد ذکر شده به صورت تک‌لیه متصل گردیده و تحت آزمون کشش قرار گرفته و نتایج مربوطه به دست آمده‌اند. نتایج تنش برشی نهایی نمونه‌های متصل شده توسط چسب آرالدیت ۲۰۱۵ در جدول ۵ و نتایج تنش برشی نمونه‌های متصل شده توسط چسب اپوکسی ۱۰۱۲ در جدول ۶ نشان داده شده است.

جدول ۴: زبری سطوح سنباده‌زنی شده

Table 4. Surfaces roughness of sanding

شماره دانه سنباده	مقدار زبری سطح (میکرومتر)
۴۰	۵۳/۰
۸۰	۴۲/۰
۱۰۰	۴۰/۰
۱۲۰	۳۵/۰
۲۲۰	۳۳/۰
۴۰۰	۳۰/۰
۱۰۰۰	۲۰/۰

جدول ۵: تنش برشی نهایی نمونه‌های چسب آرالدیت ۲۰۱۵

Table 5. Ultimate shear stress of araldite 2015 adhesive samples

شماره دانه سنباده	تنش برشی نهایی (مگاپاسکال)
۴۰	۶۷/۷
۸۰	۷۶/۷
۱۰۰	۴۲/۹
۱۲۰	۲۲/۱۰
۲۲۰	۴۶/۱۰
۴۰۰	۹۸/۱۲
۱۰۰۰	۸/۴

جدول ۶: تنش برشی نهایی نمونه‌های چسب اپوکسی ۱۰۱۲

Table 6. Ultimate shear stress of epoxy 1012 adhesive samples

شماره دانه سنباده	تنش برشی نهایی (مگاپاسکال)
۴۰	۲/۲
۸۰	۲/۳
۱۰۰	۶۲/۴
۱۲۰	۲/۵
۲۲۰	۹۱/۳
۴۰۰	۸/۳
۱۰۰۰	۹۴/۱

استحکام و تنش برشی نهایی روند ثابتی ندارد به طوری که در محدوده زبری به دست آمده، تنش برشی نهایی تا نقطه مشخصی افزایش و سپس کاهش می‌یابد که این نقطه‌ی ماکزیمم نمودار، بیشترین استحکام برشی نهایی مربوط به این روش آماده‌سازی سطح را برای محدوده‌ی وسیع بررسی شده

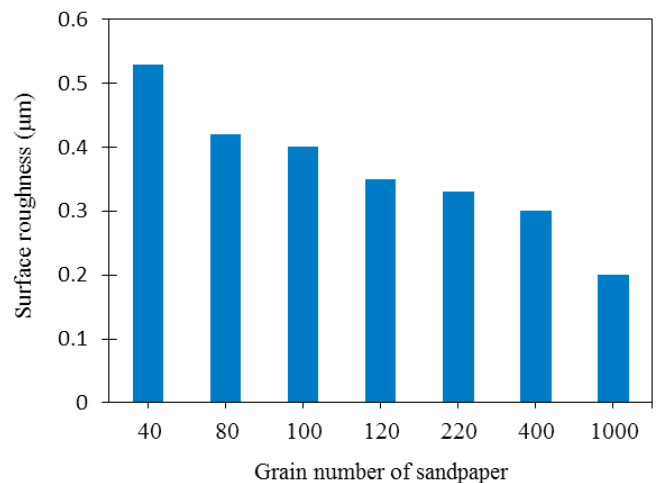


Fig. 4. Column chart of comparing the values of surface roughness

شکل ۴: نمودار ستونی مقایسه‌ی مقادیر زبری سطح

آماده‌سازی سطح در یک فرآیند اتصال با هدف حذف آلاینده‌هایی نظیر گردوغبار، چربی، رطوبت و محصولات ناشی از خوردگی انجام می‌گردد و موجب بهبود و اصلاح ترشوندگی چسبنده می‌شود. هدف بعدی افزایش سطح تماس بین اعضای اتصال و چسب می‌باشد که با ایجاد یک به هم پیوستگی مکانیکی، چسبندگی را به حداکثر می‌رساند [۱۱ و ۱۲]. با افزایش زبری سطح در نمونه‌هایی که سطح اتصال آن‌ها سنباده‌زنی شده، تغییرات



به دست می دهد.

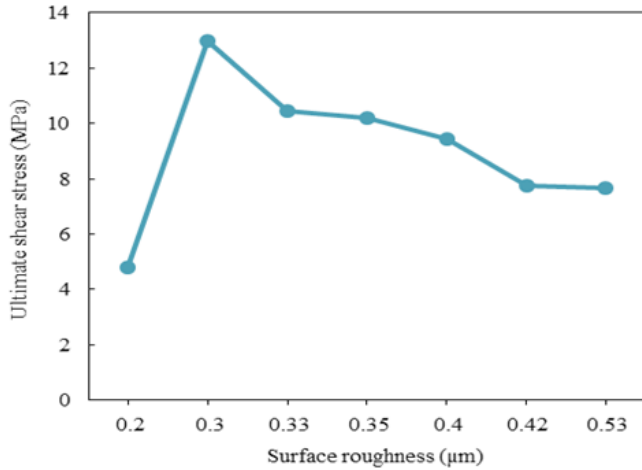


Fig. 5. Ultimate shear stress-surface roughness of araldite 2015 samples  
 شکل ۵: نمودار تنش برشی نهایی- زبری سطح نمونه های چسب آرادیت ۲۰۱۵

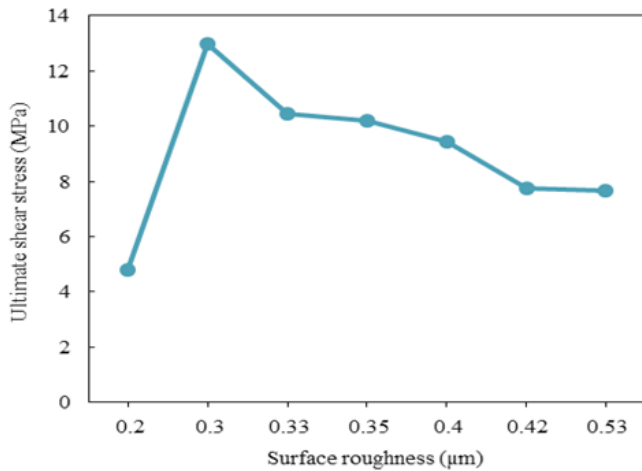


Fig. 6. Ultimate shear stress-surface roughness of epoxy 1012 samples  
 شکل ۶: نمودار تنش برشی نهایی- زبری سطح نمونه های چسب اپوکسی ۱۰۱۲

۲۰۱۵ بیشترین استحکام مربوط به نمونه ی سنباده زنی شده با کاغذ سنباده شماره ۴۰۰ و برابر ۹۸/۱۲ مگاپاسکال است و کمترین استحکام مربوط به نمونه ی سنباده زنی شده با کاغذ سنباده شماره ۱۰۰۰ و برابر ۸/۴ مگاپاسکال می باشد. برای نمونه های چسب اپوکسی ۱۰۱۲ بیشترین استحکام مربوط به نمونه ی سنباده زنی شده با کاغذ سنباده شماره ۱۲۰ و برابر ۲/۵ مگاپاسکال است و کمترین استحکام مربوط به نمونه ی سنباده زنی شده با کاغذ سنباده شماره ۱۰۰۰ و برابر ۹۴/۱ مگاپاسکال می باشد.

می توان گفت برای هر دو نوع چسب، استفاده از سنباده های بسیار خشن و بسیار نرم توصیه نمی شود. مقدار بهینه ی زبری سطح حاصل از فرآیند سنباده زنی برای چسب آرادیت با ویسکوزیته ی بالا برابر ۳/۰ میکرومتر و برای چسب اپوکسی با ویسکوزیته ی پایین برابر ۳۵/۰ میکرومتر می باشد.

شکل های ۵ و ۶ به ترتیب نمودارهای مربوط به تغییرات تنش برشی نهایی نسبت به زبری سطح را برای نمونه های اتصال یافته با چسب غلیظ آرادیت ۲۰۱۵ و چسب رقیق اپوکسی ۱۰۱۲ نشان می دهند. همان طور که مشاهده می شود، با افزایش زبری سطح در این نمونه ها، تغییرات استحکام و تنش برشی نهایی روند ثابتی ندارد، به طوری که در محدوده ی زبری به دست آمده، تنش برشی نهایی تا نقطه مشخصی افزایش و سپس کاهش می یابد. برای نمونه هایی که سطح اتصالشان توسط روش سنباده زنی آماده شده و با چسب نرم آرادیت ۲۰۱۵ چسبانده شده اند، با افزایش زبری سطح، تنش برشی نهایی ابتدا افزایش یافته و سپس به طور پیوسته کاهش یافته است. بیشترین تنش نهایی در بین این نمونه ها مربوط به نمونه ی با زبری سطح ۳/۰ میکرومتر می باشد. همچنین برای نمونه هایی که با چسب ترد اپوکسی ۱۰۱۲ چسبانده شده اند، با افزایش زبری سطح، تنش برشی نهایی به طور پیوسته افزایش می یابد و سپس به طور پیوسته کاهش می یابد. بیشترین تنش نهایی در بین این نمونه ها مربوط به نمونه ی سنباده زنی شده با زبری سطح ۳۵/۰ میکرومتر می باشد.

به علت نفوذ ناکافی چسب بر روی سطوح خیلی صاف، چسبندگی بین سطوح و چسب از بین می رود و استحکام اتصال کاهش می یابد. با افزایش زبری عضوهای اتصال، سطوح بیشتری برای نفوذ چسب در دسترس خواهد بود و در نتیجه سبب افزایش تماس بین چسب و عضو اتصال می شود. برای مؤثر بودن این عامل، چسب باید خاصیت ترکنندگی بالایی داشته باشد تا چسب به طور یکنواخت در ضمن کلیه ی سطوح چسبنده پخش شود، به نحوی که تمامی سطوح چسبنده در مقیاس میکرو و ماکرو برگردد [۱۰ و ۱۴]. با ایجاد ترشوندگی بیشتر، تماس بیشتری بین چسب و عضوها حاصل می گردد و در نتیجه سبب افزایش استحکام اتصال می شود. تفاوت در ویسکوزیته و میزان خاصیت ترکنندگی چسب ها را می توان عامل تفاوت در مقادیر زبری بهینه برای نمونه های چسب نرم آرادیت ۲۰۱۵ و چسب ترد اپوکسی ۱۰۱۲ بیان نمود. در نمونه های سنباده زنی شده با افزایش بیش از حد زبری سطح مقادیر استحکام کاهش می یابد زیرا از یک طرف ضخامت چسب به صورت موضعی اندکی افزایش می باشد و از طرف دیگر به دلیل زبری زیاد، چسب نمی تواند به سادگی بر روی سطح چسبنده پخش شود و ترشوندگی ناکافی و نامناسب رخ می دهد. هم برای سطوح بسیار صاف و هم برای سطوح بسیار خشن استحکام برشی کمتری به دست آمده است. پس برای دستیابی به ترشوندگی بهینه در این اتصالات باید زبری بهینه سطح چسبنده در نظر گرفته شود.

شکل ۷ نمودار مقایسه ی مقادیر تنش برشی نهایی به دست آمده برای نمونه های چسب با ویسکوزیته ی بالا و پایین که سطح اتصالشان سنباده زنی شده را بر حسب زبری سطوح اتصال نشان می دهد. همان طور که در نمودار ستونی مشاهده می شود، زبری و پرداخت سطح بهینه برای چسب های با ویسکوزیته ی بالا و پایین یکسان نبوده است. برای نمونه های چسب آرادیت

## منابع

- [1] R.M. Jones, *Mechanics of Composite Materials*, Scripta Book Company, Washington DC, 1975.
- [2] P.M. Lonardo, A.A.G. Bruzzone, Influence of Surface Roughness Parameters on the Mechanical Strength in Metal Gluing, *CIRP Annals*, 38(1) (1989) 571-574.
- [3] M. Banea, L.F. da Silva, Adhesively bonded joints in composite materials: an overview, *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part L: Journal of Materials: Design and Applications*, 223(1) (2009) 1-18.
- [4] S.-Y. Fu, X.-Q. Feng, B. Lauke, Y.-W. Mai, Effects of particle size, particle/matrix interface adhesion and particle loading on mechanical properties of particulate-polymer composites, *Composites Part B: Engineering*, 39(6) (2008) 933-961.
- [5] A. Rudawska, Selected aspects of the effect of mechanical treatment on surface roughness and adhesive joint strength of steel sheets, *International Journal of Adhesion and Adhesives*, 50 (2014) 235-243.
- [6] T. Şekerciöglü, H. Rende, A. Gülsöz, C. Meran, The effects of surface roughness on the strength of adhesively bonded cylindrical components, *Journal of Materials Processing Technology*, 142(1) (2003) 82-86.
- [7] S. AYDIN, M.Y. SOLMAZ, A. TURGUT, The effects of adhesive thickness, surface roughness and overlap distance on joint strength in prismatic plug-in joints attached with adhesive, *International Journal of Physical Sciences*, 7(17) (2012) 2580-2586.
- [8] E. Njuhovic, A. Witt, M. Kempf, F. Wolff-Fabris, S. Glöde, V. Altstädt, Influence of the composite surface structure on the peel strength of metallized carbon fibre-reinforced epoxy, *Surface and Coatings Technology*, 232 (2013) 319-325.
- [9] N. Atikah, M. Afendi, S. Hirmaliza, M. Majid, N. Amira, M.N. Mazlee, Strength of Ductile Adhesive Butt Joint Bonded with Dissimilar Adherents: Effect of Surface Roughness, *Applied Mechanics & Materials*, (554) (2014).
- [10] S. Budhe, A. Ghumatkar, N. Birajdar, M. Banea, Effect of surface roughness using different adherend materials on the adhesive bond strength, *Applied Adhesion Science*, 3(1) (2015) 20.
- [11] A. Safari, M.R. Farahani, Experimental investigation on the effect of surface roughness of sanding process on the strength of aluminium single lap adhesive joints, in: *The 13th Conference of Metallurgical and Materials Engineering of Iran*, 2016. (In Persian)
- [12] A. Safari, M.R. Farahani, Comparison of the effects of shotblasting and sandblasting processes on the strength of

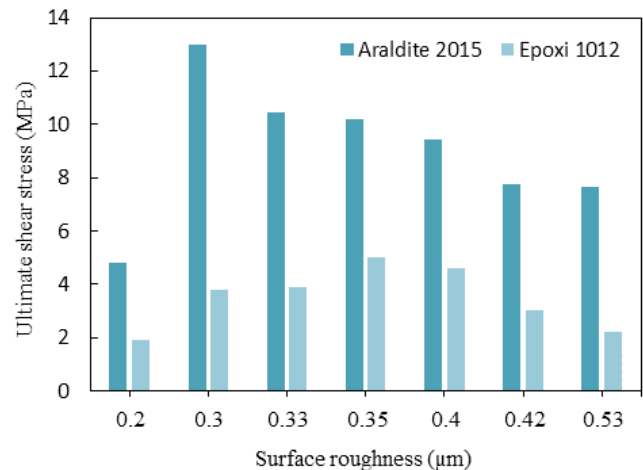


Fig. 7. Column chart of comparing the values of ultimate shear stress according to surface roughness

شکل ۷: نمودار ستونی مقایسه مقادیر تنش برشی نهایی بر حسب زبری سطح.

## ۴- نتیجه گیری

در این مقاله، سنباده‌زنی یکی از روش‌های آماده‌سازی مکانیکی سطح، بررسی شده و زبری سطوح حاصل از این فرآیند مورد مطالعه قرار گرفته است. تأثیر پارامترهای این روش بر زبری سطح و تأثیر این زبری بر تنش برشی نهایی اتصالات چسبی تک‌لبه آلایز آلومینیوم ۲۰۲۴ بررسی گردیده و نتایج آزمون‌های زبری‌سنجی و کشش محوری مقایسه شده‌اند. نتایج به‌دست‌آمده به‌وضوح اثبات می‌کنند که تعیین دقیق زبری سطح چسبنده باید به‌عنوان یک عامل اثرگذار، در فرآیند طراحی و ساخت اتصالات چسبی مورد توجه قرار گیرد. خلاصه نتایج تحقیق عبارت‌اند از:

- با کاهش شماره دانه‌ی سنباده، زبری سطح با روندی غیرخطی افزایش می‌یابد. این تغییرات برای سنباده با شماره دانه‌ی پایین شدیدتر است.
- در نمونه‌هایی که سطح اتصالات سنباده‌زنی شده، با افزایش زبری سطح، استحکام برشی نهایی ابتدا افزایش یافته و سپس به‌طور پیوسته کاهش می‌یابد.
- زبری و پرداخت سطح بهینه در فرآیند سنباده‌زنی برای چسب‌های غلیظ و رقیق یکسان نبوده است. میزان زبری سطح بهینه برای چسب غلیظ آرال‌دیت ۲۰۱۵ برابر ۳/۰ میکرومتر و برای چسب رقیق اپوکسی ۱۰۱۲ برابر ۳۵/۰ میکرومتر می‌باشد.
- تفاوت در میزان خاصیت تر کنندگی چسب را می‌توان عامل تفاوت در مقادیر زبری بهینه برای نمونه‌های چسب دوجزئی آرال‌دیت ۲۰۱۵ با ویسکوزیته‌ی بالا و چسب ترد اپوکسی ۱۰۱۲ با ویسکوزیته‌ی پایین بیان نمود.

models: effect of the cohesive law shape of the adhesive layer, *International Journal of Adhesion and Adhesives*, 44 (2013) 48-56.

[14] E.M. Petrie, *Handbook of Adhesive and Sealants*, Second Edition, McGraw-Hill, New York, 2007.

the aluminum adhesive bonded joints, *Amirkabir Journal of Science & Research (Mechanical Engineering)*, (2017). (In Persian)

[13] R.D.S.G. Campilho, M.D. Banea, J.A.B.P. Neto, L.F.M. da Silva, Modelling adhesive joints with cohesive zone

Please cite this article using:

A. Safari, M. Farahani, Study on the Effects of Sanding on the Strength of the Adhesive Joints, *Amirkabir J. Mech. Eng.*,

50(3) (2018) 619-626.

DOI: 10.22060/mej.2017.12965.5484

برای ارجاع به این مقاله از عبارت زیر استفاده کنید:



