



مقایسه اثرات فرآیندهای شات‌بلاست و سندبلاست بر استحکام اتصالات چسبی آلومینیوم

امیر صفری، محمدرضا فراهانی*

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

تاریخچه داوری:

دریافت: ۲۷ دی ۱۳۹۵
بازنگری: ۲۰ اردیبهشت ۱۳۹۶
پذیرش: ۳۱ اردیبهشت ۱۳۹۶
ارائه آنلاین: ۱۷ خرداد ۱۳۹۶

کلمات کلیدی:

زبری سطح
آماده‌سازی سطح
شات‌بلاست
سندبلاست
اتصالات چسبی

چکیده: در این مقاله، تأثیر زبری سطح حاصل از فرآیندهای آماده‌سازی سطح شات‌بلاست و سندبلاست بر استحکام برشی اتصالات چسبی تک لبه مورد مطالعه قرار گرفت. به‌منظور مطالعه تجربی، قطعات از ورق آلیاژ آلومینیوم ۲۰۲۴ بریده شده و فرآیند شات‌بلاست در چهار مدت زمان مختلف و فرآیند سندبلاست در چهار فشار متفاوت روی قطعات انجام شد. سطوح آماده‌سازی شده دو به دو و به‌صورت تک لبه توسط چسب دوجزئی آرالدیت ۲۰۱۵ با ویسکوزیته بالا و چسب اپوکسی ۱۰۱۲ با ویسکوزیته پایین متصل گردیده‌اند. با طراحی آزمایش‌های تجربی، اثر پارامترهای این فرآیندها بر زبری سطح و استحکام نهایی نمونه‌ها بررسی شد. به‌منظور تعیین استحکام اتصالات از آزمون کشش استفاده شده و نتایج به‌صورت مقایسه‌ای ارائه گردید. نتایج نشان می‌دهند که با افزایش زبری سطح نمونه‌های شات‌بلاست و سندبلاست 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 آماده شده به روش سندبلاست و شات‌بلاست را نشان می‌دهد. بیشترین استحکام برشی نهایی این اتصالات مربوط به فرآیند آماده‌سازی سندبلاست در حداکثر فشار ۶ بار با زبری سطح ۰/۶ میکرومتر 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. فرآیندهای مختلفی برای آماده‌سازی سطح موجود می‌باشد. از این‌رو آماده‌سازی و اصلاح سطح و تأثیر آن در استحکام اتصال مورد توجه قرار گرفته است [۲]. روش‌های زیادی برای اتصال ساختارهای مشابه و غیرمشابه وجود دارد. روش‌های مکانیکی مرسوم همچون پرچ و پیچ علی‌رغم سادگی و توانایی مونتاژ کردن، سبب ایجاد تمرکز تنش و توزیع بار غیریکنواخت بر روی قطعات می‌شوند؛ ولی اتصالات چسبی توزیع تنش کاملاً یکنواختی را اعمال می‌کنند. از این‌رو استفاده از اتصالات چسبی در سازه‌ها در حال افزایش می‌باشد [۱]. این اتصالات در مقایسه با اتصالات مکانیکی دارای مزیت‌های زیادی از جمله 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 می‌باشند [۳]. عوامل فوق موجب توجه بیشتر به استفاده از تکنیک ایجاد اتصالات چسبی به‌عنوان یکی از روش‌های پرکاربرد در صنایع هوایی، دریایی و اتومبیل‌سازی شده و امروزه از اهمیت بالایی برخوردار 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 جمله این اشکالات است. استحکام اتصال چسبی به شرایط محیطی، آماده‌سازی سطح مورد اتصال، طراحی اتصال و بارگذاری بستگی دارد [۴]. تا کنون راه‌حل‌های زیادی برای استحکام‌بخشی اتصالات چسبی مطرح شده است. آماده‌سازی مکانیکی سطح از جمله روش‌های استحکام‌بخشی اتصالات چسبی فلزات و کامپوزیت‌ها 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 شافت و لوله 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 به دست آمده بود [۶].

آیدین و همکاران در سال ۲۰۱۲ به بررسی اثرات زبری سطح، ضخامت چسب و فاصله همپوشانی بر استحکام اتصالات چسبی پرداختند. آن‌ها

وابستگی وجود دارد و زبری سطح بهینه برای فلز آلومینیوم و چوب به ترتیب $1/68$ و $1/64$ میکرومتر به دست آمده بود. برای نمونه‌های آلومینیومی با افزایش زبری سطح، استحکام اتصال افزایش و سپس کاهش یافته و مد شکست ترکیبی به مد شکست درون‌چسبی تغییر کرده است. ولی برای نمونه‌های چوبی با افزایش زبری سطح، استحکام اتصال کاهش یافته و مد شکست چسب به مد شکست ترکیبی تغییر کرده است؛ بنابراین زبری سطح همراه با نوع و پارامترهای مواد چسبنده همواره باید در طراحی اتصالات چسبی در نظر گرفته شود [۱۱].

در پژوهش‌های قبلی اهمیت اثرات فرآیندهای آماده‌سازی سطح بر استحکام اتصالات به صورت کافی بررسی نشده است. همچنین مقایسه‌ای بین روش‌های پرداخت سطح و نوع چسب‌ها صورت نگرفته است. در این مقاله از دو روش آماده‌سازی سطح شامل شات‌بلاست و سندبلاست با پارامترها و محدوده‌های معین استفاده شده است. آزمایش‌های زبری‌سنجی برای ارزیابی پارامترهای سطح کلیه نمونه‌ها انجام شد. به منظور بررسی اثرات پارامترهای این فرآیندها بر زبری سطح و استحکام اتصالات چسبی تک لبه از آزمون کشش بر مبنای استانداردهای مربوطه استفاده گردیده و در نهایت نتایج جمع‌بندی شده است.

۲- نمونه‌سازی تجربی

در این مقاله از آلیاژ آلومینیوم ۲۰۲۴، چسب نرم دوجزئی آرالدیت ۲۰۱۵ با ویسکوزیته بالا و چسب ترد اپوکسی ۱۰۱۲ با ویسکوزیته پایین استفاده شده و خواص و مشخصات آن‌ها به ترتیب در جداول ۱ تا ۳ بیان شده است.

جدول ۱: خواص آلیاژ آلومینیوم ۲۰۲۴

Table 1. Aluminum alloy 2024-T3 properties

مقدار	ویژگی، واحد
۲/۷۸	چگالی، گرم بر سانتی‌متر مکعب
۵۱۰	نقطه ذوب، سانتی‌گراد
۷۰-۸۰	مدول الاستیک، گیگاپاسکال
۰/۳۳	ضریب پواسون
۲۸	مدول برشی، گیگاپاسکال
۴۸۰	استحکام کششی، مگاپاسکال
۴۳۰	تنش تسلیم، مگاپاسکال

جدول ۲: مشخصات چسب آرالدیت ۲۰۱۵ [۱۲].

Table 2. Araldite 2015 specifications [12]

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

نمونه‌های تولید شده در سه نوع مختلف از زبری سطح، سه نوع مختلف از ضخامت چسب و سه نوع مختلف از فاصله همپوشانی را که با سه چسب پایه اپوکسی رایج و پر استفاده متصل شده بودند، بررسی کرده‌اند. مقادیر زبری مختلف توسط فرآیند سنباده‌زنی سطوح اتصال به دست آمده و استحکام هر اتصال توسط آزمایش کشش محوری تعیین شده است. تصاویر به دست آمده از سطح شکست اتصالات چسبی نشان داد که روی سطوح زبر و خشن آسیب و خرابی به شکل شکست رخ می‌دهد و روی سطوح با زبری کم، خرابی به شکل پوسته‌پوسته شدن رخ می‌دهد. نتایج نشان داد که بیشترین مقادیر استحکام برشی به دست آمده در محل اتصال، در فاصله همپوشانی و ضخامت چسب کمتر بود. همچنین با افزایش فاصله همپوشانی، استحکام برشی کاهش یافته است [۷].

جوهویچ و همکاران در سال ۲۰۱۳ از فرآیند سندبلاست اکسید آلومینیوم برای آماده‌سازی سطح استفاده کرده‌اند. زمان انفجار، فاصله نازل و شدت انفجار پارامترهای تأثیرگذار در زبری سطح می‌باشند. آن‌ها گزارش دادند که افزایش شدت انفجار باعث افزایش قابل توجه زبری سطح شده است. همچنین زبری عمدتاً تحت تأثیر زمان انفجار بوده و کمتر تحت تأثیر فاصله نازل می‌باشد. استحکام نمونه‌های سندبلاست شده بالاتر از نمونه‌های سندبلاست نشده بود [۸].

ماندولفینو و همکاران نیز در سال ۲۰۱۳ به بررسی تأثیر پارامترهای روش سندبلاست بر زبری سطح و خواص مکانیکی اتصالات چسبی پرداختند. آن‌ها از بستر یا زیرلایه فولادی، چسب اپوکسی و انواع مختلف ذرات سندبلاست استفاده کرده‌اند. نوع ذرات، فشار و زاویه برخورد جزء پارامترهای متغیر برای این فرآیند بوده و تأثیر آن‌ها روی زبری سطح و خواص مکانیکی مورد ارزیابی قرار گرفته است. نتایج نشان داد که فشار برخورد تأثیر قابل توجهی در همه پارامترهای زبری سطح ایجاد کرده ولی زاویه برخورد تأثیر مشهودی روی زبری سطح نداشته است. رفتار مکانیکی اتصالات به خصوص با استفاده از ذرات کرومی سندبلاست بسیار بهبود یافته بود [۹].

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 درجه 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 [۱۰].

بوده و همکاران در سال ۲۰۱۵ به بررسی تأثیر زبری سطح بر استحکام اتصال چسبی چسبنده‌های متفاوت پرداختند. اتصالات چوب و آلومینیوم با استفاده از چسب اپوکسی توسط آن‌ها مورد توجه قرار گرفت. آن‌ها از سنباده‌زنی به عنوان روش آماده‌سازی سطح برای دستیابی به زبری سطح‌های مختلف استفاده کردند. نتایج نشان داد که به‌وضوح بین استحکام اتصال و زبری سطح

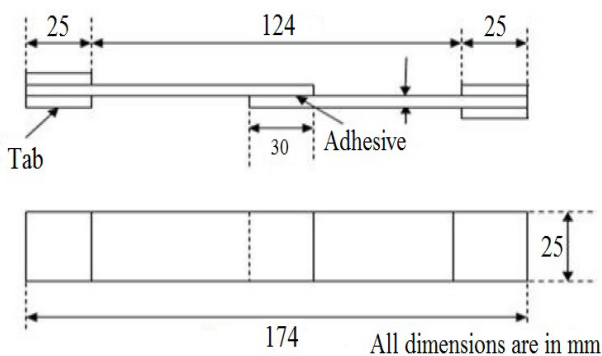


Fig. 1. Sample dimensions in accordance with ASTM 5868
شکل ۱: ابعاد نمونه‌ها مطابق استاندارد ای‌اس‌تی‌ام ۵۸۶۸

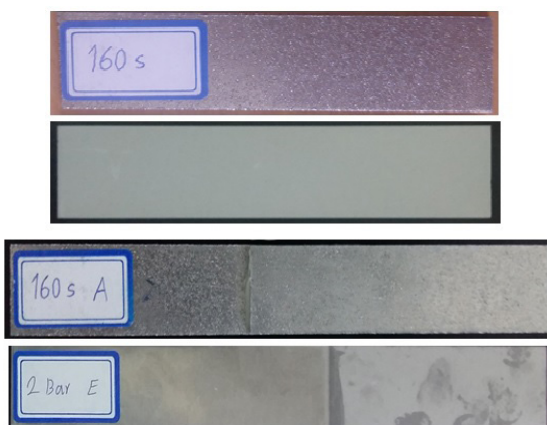


Fig. 2. Shot blasted and sandblasted surfaces and prepared samples
شکل ۲: سطوح شات‌بلاست و سندبلاست شده و نمونه‌های آماده‌سازی شده

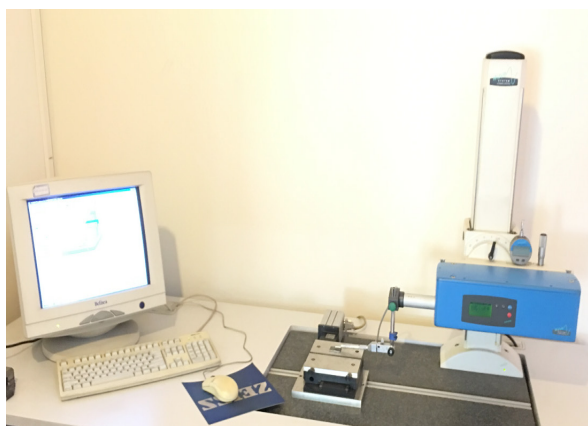


Fig. 3. Roughness measurement of Samples
شکل ۳: زبری‌سنجی قطعات

۳- نتایج و بحث بر روی نتایج

تعداد ۸ سطح از قطعات شامل چهار سطح شات‌بلاست شده و چهار سطح سندبلاست شده زبری‌سنجی شده‌اند. نتایج مربوط به زبری این سطوح به ترتیب در جداول ۴ و ۵ نشان داده شده است. روش مورد استفاده برای

جدول ۳: مشخصات چسب اپوکسی ۱۰۱۲ [۱۲]

Table 3. Epoxy 1012 specifications [12]

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

آلیاژهای سری دو هزار آلومینیوم نسبت استحکام به وزن خوبی دارند و امروزه در بیشتر صنایع مورد توجه قرار گرفته‌اند.

ابتدا مطابق با استاندارد قطعاتی به ابعاد ۱۰۲ میلی‌متر در ۲۵ میلی‌متر از ورق آلومینیومی به ضخامت دو میلی‌متر بریده شده‌اند. 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. برای آماده‌سازی مکانیکی سطح از روش‌های شات‌بلاست و سندبلاست استفاده شده است. روش شات‌بلاست در چهار مدت زمان ۱۲۰ ثانیه، ۱۶۰ ثانیه، ۲۰۰ ثانیه و ۲۴۰ ثانیه صورت گرفته است. در مدت زمان کمتر از ۱۲۰ ثانیه فرآیند اثرات قابل ملاحظه‌ای رو سطح ایجاد نمی‌کرد و شات‌بلاست در زمان بیشتر از ۲۴۰ ثانیه موجب عدم تختی و تاب برداشتن قطعه می‌شد. روش سندبلاست در چهار فشار ۱ بار، ۲ بار، ۳ بار، ۶ بار و در مدت زمان ثابت ۱۰ ثانیه انجام شده است. بررسی‌های انجام شده در مراجع [۸ و ۹] نشان دادند که پارامتر اثرگذار در فرآیند سندبلاست فشار انجام فرآیند می‌باشد و پارامترهای زاویه برخورد و نوع ذرات تأثیر مشهودی روی زبری سطح ندارند؛ لذا در این مقاله این دو پارامتر ثابت در نظر گرفته شدند. در این مقاله از ذرات کرومی و زاویه برخورد ۶۰ درجه استفاده شده است. تصاویر تعدادی از سطوح شات‌بلاست و سندبلاست شده و نمونه‌های آماده‌سازی و متصل گردیده در شکل ۲ نشان داده شده است.

پس از انجام فرآیندهای آماده‌سازی سطح، سطوح قطعات توسط دستگاه Hommelwerke مدل TK300 با رزولوشن ۰/۱ میکرومتر زبری‌سنجی شده‌اند و مقادیر زبری سطح میانگین مربوط به هر یک از فرآیندها بر حسب میکرومتر به دست آمده است. زبری‌سنجی در خطی به طول ۱۰ میلی‌متر از قطعات، با سرعت پانزده صدم میلی‌متر بر ثانیه و با حرکت خودکار انجام پذیرفته است. این خط در وسط عرض قطعه‌کار و در ناحیه همپوشانی اتصال بوده است. شکل ۳ نحوه زبری‌سنجی قطعات را نشان می‌دهد. سپس قطعات دو به دو مطابق با استاندارد، توسط چسب‌های آرالدیت ۲۰۱۵ و اپوکسی ۱۰۱۲ متصل گردیده و در مجموع تعداد ۱۶ نمونه ساخته شده است. به منظور بررسی استحکام نمونه‌ها از آزمون کشش محوری با سرعت ۰/۵ میلی‌متر بر ثانیه استفاده شده و نتایج مربوطه به دست آمده است. دستگاه کشش و نمونه تحت آزمون در شکل ۴ نشان داده شده است.

جدول ۴: زبری سطوح شات‌بلاست شده

Table 4. Surfaces roughness of shot blasting

زبری سطح میانگین، میکرومتر	زمان شات‌بلاست، ثانیه
۰/۲۲	۱۲۰
۰/۲۵	۱۶۰
۰/۲۹	۲۰۰
۰/۳۴	۲۴۰

جدول ۵: زبری سطوح سندبلاست شده

Table 5. Surfaces roughness of sandblasting

زبری سطح میانگین، میکرومتر	فشار سندبلاست، بار
۰/۴۶	۱
۰/۵۱	۲
۰/۵۴	۳
۰/۶۰	۶

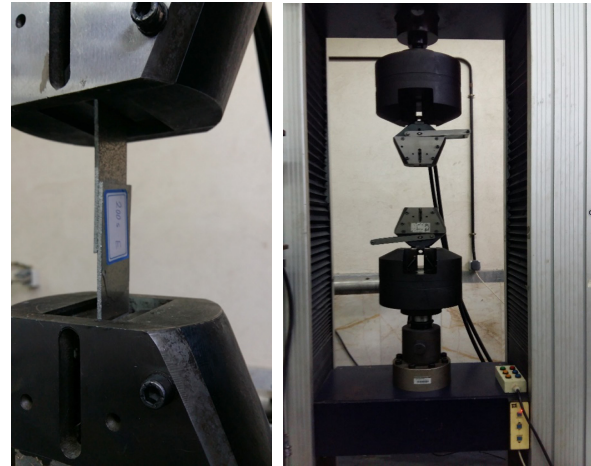


Fig. 4. Tensile test

شکل ۴: آزمون کشش

تعیین زبری سطح، معدل ارتفاع ناهمواری‌ها نسبت به خط مرکزی می‌باشد و زبری سطح میانگین نامیده می‌شود.

با افزایش زمان شات‌بلاست، زبری سطح افزایش می‌یابد؛ زیرا با افزایش زمان، تعداد ذرات بیشتری به سطح قطعه برخورد کرده و موجب ایجاد تعداد حفره‌های بیشتر و نفوذ عمیق‌تر در سطح قطعه شده است. مقدار این افزایش زبری نسبت به میزان افزایش زمان، روندی نسبتاً منظم دارد. بیشترین زبری سطح حاصل از این فرآیند در محدوده زمانی در نظر گرفته شده، مربوط به شات‌بلاست در مدت زمان ۲۴۰ ثانیه و برابر ۰/۳۴ میکرومتر و کمترین زبری سطح مربوط به شات‌بلاست در مدت زمان ۱۲۰ ثانیه و برابر ۰/۲۲ میکرومتر می‌باشد.

با افزایش فشار سندبلاست در مدت زمان یکسان، زبری سطح افزایش می‌یابد؛ زیرا افزایش فشار موجب ایجاد گودال‌های عمیق‌تر و نفوذ بیشتر در سطح قطعه شده است. بیشترین زبری سطح حاصل از فرآیند سندبلاست در محدوده فشار در نظر گرفته شده، مربوط به سندبلاست در فشار ۶ بار و برابر ۰/۶ میکرومتر و کمترین زبری سطح مربوط به سندبلاست در فشار ۱ بار و برابر ۰/۴۶ میکرومتر می‌باشد.

مقایسه نتایج بیانگر این است که مقادیر زبری سطوح حاصل از فرآیند شات‌بلاست کمتر از زبری سطوح سندبلاست شده است. متوسط زبری سطح نمونه‌های سندبلاست شده در حدود ۲ برابر نمونه‌های شات‌بلاست شده بود. بیشترین زبری سطح حاصل از این روش‌های آماده‌سازی، متعلق به فرآیند سندبلاست در فشار ۶ بار و برابر ۰/۶ میکرومتر و کمترین زبری سطح متعلق به فرآیند شات‌بلاست در مدت زمان ۱۲۰ ثانیه و برابر ۰/۲۲ میکرومتر می‌باشد.

به‌منظور بررسی‌های استحکامی، نمونه‌ها پس از آماده‌سازی مکانیکی سطح اتصال، طبق استاندارد ذکر شده به صورت تک لبه متصل گردیده و تحت آزمون کشش-برش قرار گرفته‌اند. نتایج تنش برشی نهایی نمونه‌های شات‌بلاست شده و سندبلاست شده به‌ترتیب برای چسب آرالدیت ۲۰۱۵ و چسب اپوکسی ۱۰۱۲ در جداول ۶ تا ۹ نشان داده شده است.

جدول ۶: تنش برشی نهایی نمونه‌های شات‌بلاست و چسب آرالدیت

Table 6. Ultimate shear stress of shot blasting and araldite adhesive samples

تنش برشی نهایی، مگاپاسکال	زمان شات‌بلاست، ثانیه
۷/۷۸	۱۲۰
۹/۸	۱۶۰
۱۰/۱۷	۲۰۰
۱۰/۷۱	۲۴۰

جدول ۷: تنش برشی نهایی نمونه‌های شات‌بلاست و چسب اپوکسی

Table 7. Ultimate shear stress of shot blasting and epoxy adhesive samples

تنش برشی نهایی، مگاپاسکال	زمان شات‌بلاست، ثانیه
۰/۶۲	۱۲۰
۰/۷۱	۱۶۰
۱	۲۰۰
۱/۲۷	۲۴۰

جدول ۸: تنش برشی نهایی نمونه‌های سندبلاست و چسب آرالدیت

Table 8. Ultimate shear stress of sandblasting and araldite adhesive samples

تنش برشی نهایی، مگاپاسکال	فشار سندبلاست، بار
۱۳/۲	۱
۱۳/۴۷	۲
۱۴/۷۰	۳
۱۴/۸۵	۶

جدول ۹: تنش برشی نهایی نمونه‌های سندبلاست و چسب اپوکسی

Table 9. Ultimate shear stress of sandblasting and epoxy adhesive samples

تنش برشی نهایی، مگاپاسکال	فشار سندبلاست، بار
۳	۱
۳/۳	۲
۴/۷۵	۳
۵/۴۶	۶

سطوح زیرلایه پخش شود، به نحوی که تمامی سطوح زیرلایه در مقیاس میکرو و ماکرو پر گردد. با ایجاد ترشوندگی بیشتر، تماس بیشتری بین چسب و عضوها حاصل می‌گردد و در نتیجه سبب افزایش استحکام اتصال می‌شود [۹ و ۱۳].

در نمونه‌هایی که سطح اتصالشان شات‌بلاست و سندبلاست شده، رفتار تنش برشی نهایی اتصال نسبت به افزایش زبری را می‌توان به ماهیت این فرآیندها و نوع زبری سطح متفاوت حاصل از این روش‌ها نیز نسبت داد. با افزایش زبری در این فرآیندها حفره‌های بیشتری روی سطح ایجاد شده که موجب نفوذ بیشتر چسب‌ها در این منافذ و افزایش سطح تماس چسب و چسبنده‌ها و به دنبال آن افزایش استحکام اتصال می‌شود.

با بررسی و مقایسه نمودار شکل‌های ۵ تا ۸ می‌توان بیان کرد که در فرآیندهای شات‌بلاست و سندبلاست همواره رابطه خطی و افزایشی بین استحکام برشی نهایی و زبری سطح دیده می‌شود و نمونه‌های شات‌بلاست شده همواره استحکام کمتری نسبت به نمونه‌های سندبلاست دارند.

برای اتصالات چسب نرم و غلیظ آرالدیت ۲۰۱۵ متوسط استحکام برشی نهایی نمونه‌هایی که سطح اتصالشان حدود یک‌ونیم برابر (۴۷ درصد بیشتر از) متوسط استحکام برشی نهایی نمونه‌هایی که سطح اتصالشان شات‌بلاست شده می‌باشد. برای اتصالات چسب ترد و رقیق اپوکسی ۱۰۱۲ متوسط استحکام برشی نهایی نمونه‌هایی که سطح اتصالشان سندبلاست شده حدود ۴/۵ برابر متوسط استحکام برشی نهایی نمونه‌هایی که سطح اتصالشان شات‌بلاست شده بود.

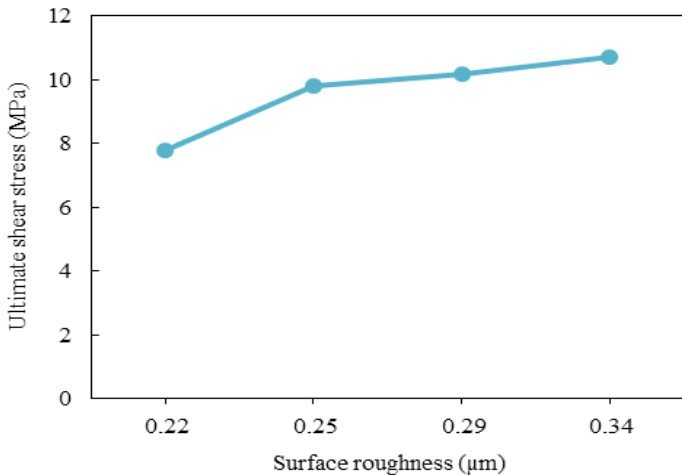


Fig. 5. Ultimate shear stress-surface roughness of shot blasting and Araldite adhesive samples

شکل ۵: نمودار تنش برشی نهایی - زبری سطح نمونه‌های شات‌بلاست و چسب آرالدیت

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 زیرلایه 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 [۱۳].

شکل‌های ۵ و ۶ به ترتیب نمودارهای مربوط به تغییرات تنش برشی نهایی نسبت به زبری سطح نمونه‌های شات‌بلاست شده را نشان می‌دهند. برای نمونه‌های شات‌بلاست شده، با افزایش زبری سطح، تنش برشی نهایی افزایش می‌یابد. بیشترین تنش نهایی در بین این نمونه‌ها مربوط به نمونه شات‌بلاست شده در مدت زمان ۲۴۰ ثانیه با زبری سطح ۰/۳۴ میکرومتر می‌باشد.

شکل ۷ نمودار مقایسه مقادیر تنش برشی نهایی به دست آمده برای نمونه‌های چسب با ویسکوزیته بالا و پایین که سطح اتصالشان شات‌بلاست شده را بر حسب زبری سطوح اتصال نشان می‌دهد. همانطور که در این نمودار نیز مشاهده می‌شود، زبری و پرداخت سطح بهینه برای چسب‌های با ویسکوزیته بالا و پایین یکسان بوده است. برای چسب اپوکسی ۱۰۱۲ روش شات‌بلاست همواره استحکام بسیار پایین‌تری را فراهم می‌کند که نشان از نامناسب بودن این روش به خصوص برای چسب‌های رقیق دارد. بیشترین استحکام برای نمونه‌های چسب آرالدیت ۲۰۱۵ برابر ۱۰/۷۱ مگاپاسکال و بیشترین استحکام برای نمونه‌های چسب اپوکسی ۱۰۱۲ برابر ۱/۲۷ مگاپاسکال می‌باشد.

شکل‌های ۸ و ۹ به ترتیب نمودارهای مربوط به تغییرات تنش برشی نهایی نسبت به زبری سطح نمونه‌های سندبلاست شده را نشان می‌دهند. برای نمونه‌های سندبلاست شده نیز با افزایش زبری سطح، تنش برشی نهایی به طور پیوسته افزایش می‌یابد. بیشترین تنش نهایی در بین این نمونه‌ها مربوط به نمونه سندبلاست شده در فشار ۶ بار با زبری سطح ۰/۶ میکرومتر می‌باشد.

شکل ۱۰ نمودار مقایسه مقادیر تنش برشی نهایی به دست آمده برای نمونه‌های چسب با ویسکوزیته بالا و پایین که سطح اتصالشان سندبلاست شده را بر حسب زبری سطوح اتصال نشان می‌دهد. در این روش نیز زبری و پرداخت سطح بهینه برای چسب‌های با ویسکوزیته بالا و پایین یکسان بوده است. بیشترین استحکام برای نمونه‌های چسب آرالدیت ۲۰۱۵ برابر ۱۴/۸۵ مگاپاسکال و بیشترین استحکام برای نمونه‌های چسب اپوکسی ۱۰۱۲ برابر ۵/۴۶ مگاپاسکال در حداکثر فشار فرآیند سندبلاست به دست آمده است.

به علت نفوذ ناکافی چسب بر روی سطوح خیلی صاف، تماس و به هم پیوستگی مکانیکی بین سطوح و چسب از بین می‌رود و استحکام اتصال کاهش می‌یابد. 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 می‌شود. برای مؤثر بودن این عامل، چسب باید خاصیت ترکندگی بالایی داشته باشد تا چسب به طور یکنواخت در ضمن کلیه

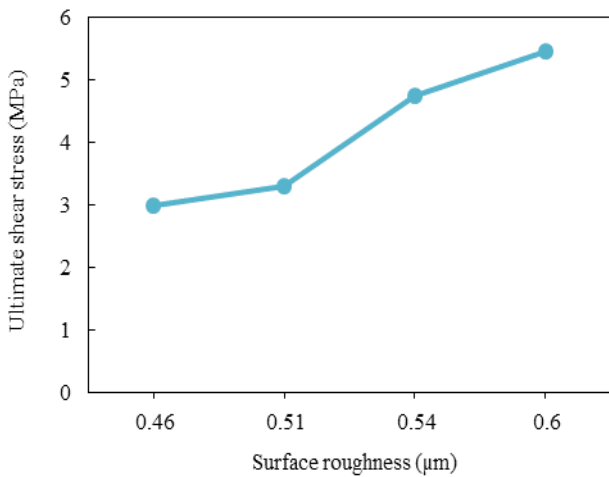


Fig.9. Ultimate shear strength-surface roughness of sandblasting and epoxy adhesive samples

شکل ۹: نمودار تنش برشی نهایی- زبری سطح نمونه‌های سندبلاست و چسب اپوکسی

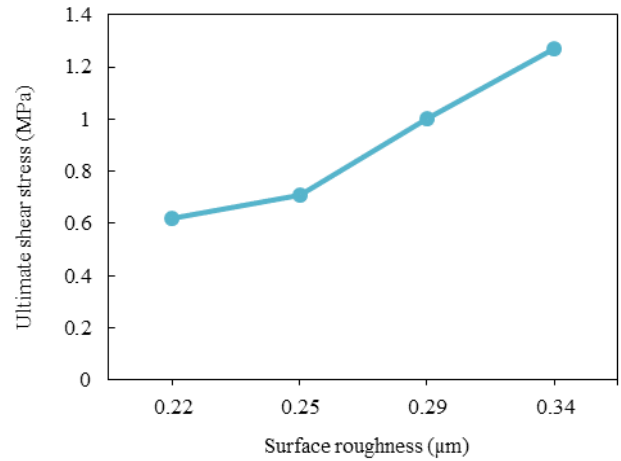


Fig.6. Ultimate shear stress-surface roughness of shot blasting and epoxy adhesive samples

شکل ۶: نمودار تنش برشی نهایی- زبری سطح نمونه‌های شات‌بلاست و چسب اپوکسی

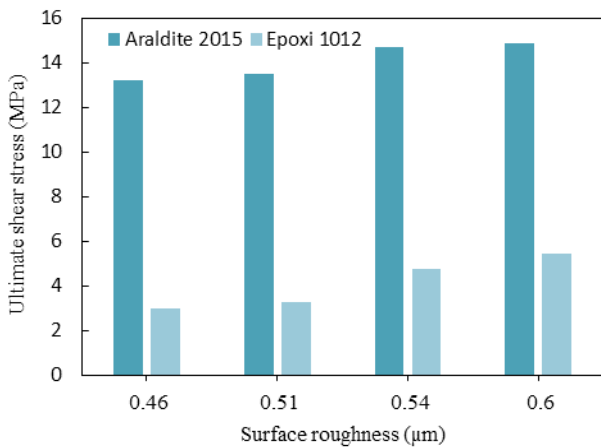


Fig.10. Comparing the values of ultimate shear stress according to surface roughness of sandblasting samples

شکل ۱۰: نمودار ستونی مقایسه مقادیر تنش برشی نهایی بر حسب زبری سطح نمونه‌های سندبلاست

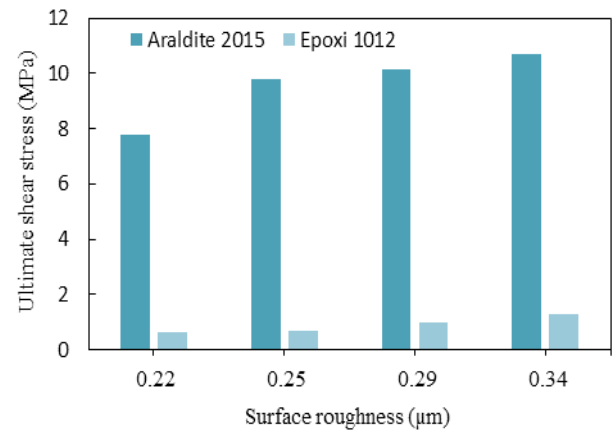


Fig.7. Comparing the values of ultimate shear stress according to surface roughness of shot blasting samples

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

۴- نتیجه‌گیری

در این مقاله، روش‌های آماده‌سازی مکانیکی سطح شامل شات‌بلاست و سندبلاست بررسی شده و زبری سطوح حاصل از این فرآیندها مورد مطالعه قرار گرفته است. تأثیر پارامترهای این روش‌ها بر زبری سطح و تأثیر این زبری بر تنش برشی نهایی اتصالات چسبی تک لبه آلیاژ آلومینیوم ۲۰۲۴ بررسی گردیده است. نتایج به‌دست آمده به‌وضوح اثبات می‌کنند که تعیین دقیق زبری سطح چسبنده متناسب با روش آماده‌سازی سطح باید به‌عنوان یک عامل اثرگذار، در فرآیند طراحی و ساخت اتصالات چسبی مورد توجه قرار گیرد. خلاصه نتایج این تحقیق عبارتند از:

- با افزایش مدت زمان شات‌بلاست و افزایش فشار سندبلاست، زبری سطح با روندی نسبتاً منظم افزایش می‌یابد.

- در فرآیندهای شات‌بلاست و سندبلاست همواره رابطه مستقیم بین

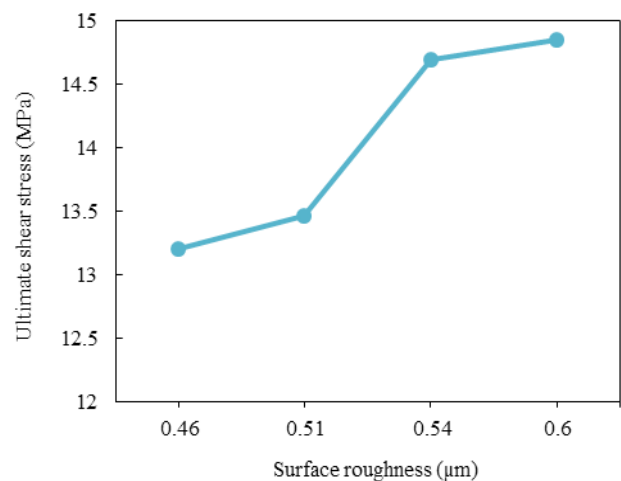


Fig. 8. Ultimate shear strength-surface roughness of sandblasting and Araldite adhesive samples

شکل ۸: نمودار تنش برشی نهایی- زبری سطح نمونه‌های سندبلاست و چسب آرادیت

- [6] T. Şekerciöglu, 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] C. Mandolino, E. Lertora, C. Gamparo, Effect of surface pretreatment on the performance of adhesive-bonded joints, *Key Engineering Materials*, 554 (2013) 996-1006.
- [10] 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).
- [11] 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.
- [12] R.D.S.G. Campilho, M.D. Banea, J.A.B.P. Neto, L.F.M. da Silva, Modelling adhesive joints with cohesive zone models: effect of the cohesive law shape of the adhesive layer, *International Journal of Adhesion and Adhesives*, 44 (2013) 48-56.
- [13] E.M. Petrie, *Handbook of Adhesive and Sealants, Second Edition*, McGraw-Hill, New York, 2007.

زبری سطح و استحکام برشی نهایی دیده می‌شود و نمونه‌های شات‌بلاست شده همواره استحکام کمتری نسبت به نمونه‌های سندبلاست شده دارند. این رفتار برای هر دو نوع چسب نرم و ترد صادق است.

- در روش‌های شات‌بلاست و سندبلاست، زبری و پرداخت سطح بهینه برای چسب غلیظ آرالدیت ۲۰۱۵ با ویسکوزیته بالا و چسب رقیق اپوکسی ۱۰۱۲ با ویسکوزیته پایین یکسان بوده است.

- بیشترین استحکام برشی نهایی این اتصالات مربوط به نمونه‌های سندبلاست شده در حداکثر فشار ۶ بار و با زبری سطح ۰/۶ میکرومتر حاصل شده است.

مراجع

- [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.

برای ارجاع به این مقاله از عبارت زیر استفاده کنید:

Please cite this article using:

A.Safari, M. Farahani, Comparison of the Effects of Shot Blasting and Sandblasting Processes on the Strength of the Aluminum Adhesive Bonded Joints, *Amirkabir J. Mech. Eng.*, 50(5) (2018) 1015-1022.

DOI: 10.22060/mej.2017.12413.5326



