Archive of SID

بررسی عملکرد و پایش شکست در اتصال دوبل چوبی جوشکاری شده با کمک ریزنگارهای میکروسکوپ الکترونی روبشی

چکیده

هدف از پژوهش حاضر، بررسی عملکرد و پایش شکست در اتصال دوبل چوبی جوشکاری شده با کمک ریزنگارهای میکروسکوپ الکترونی روبشی می‌باشد. در این راستا اتصال‌هایی از گونه‌های چوبی ممرز (*Carpinus betulus*) و نراد (*Abies alba*)، با دوبل‌های صاف و شیاردار از گونه‌ی ممرز به قطر ۱۰ و ۱۲ میلی‌متر ساخته شدند. اعضای اتصال مطابق با استاندارد EN 326-1 برش داده شد و پس از ساخت طبق استاندارد EN 319 تحت آزمون کشش قرار گرفتند. نتایج نشان دادند که اثر مستقل عوامل متغیر بر مقاومت کششی معنی‌دار بود. بررسی تصویر میکروسکوپ الکترونی روبشی از محل شکست عضو اتصال جوشکاری شده نشان داد که شکست در محل اتصال رخ نداده، بلکه ناحیه جوشکاری شده‌ی بین دوبل و عضو اتصال، مقاومت بیشتری از اعضای چوبی را طی بارگذاری کششی از خود نشان داده‌اند. همچنین بررسی تصویر حاصل از میکروسکوپ الکترونی روبشی نشان داد که اجزای خط جوشکاری بر روی دوبل‌های با سطح صاف باقی نمانده و سطح دوبل نیز دچار ریزترک‌ها شده است؛ ولی در دوبل‌های شیاردار، سطوح دوبل، سالم و قسمتی از اجزای خط جوشکاری نیز بر روی دوبل‌ها باقی مانده است. بر اساس نتایج این تحقیق، استفاده از جوشکاری در ساخت اتصال، نه تنها اتصالی با عملکرد سازه‌ای مناسب با دوبلی با قطر کمتر و سطح صاف را فراهم می‌سازد، بلکه امکان استفاده بهینه از چوب را در ساخت اتصال به روش جوشکاری به جای چسب‌های متداول فراهم می‌کند. این امر صرفه‌جویی در مواد اولیه، کاهش هزینه تهیه مواد اولیه، کاهش زمان اتصال و در نتیجه کاهش هزینه‌ی تولید را در بر خواهد داشت.

واژگان کلیدی: جوشکاری چوب، اتصال دوبل، مقاومت کششی، پلی‌وینیل استات.

پانته‌آ عمرانی[۱*]

[۱] استادیار گروه صنایع چوب، دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه تربیت دبیر شهید رجایی، تهران، ایران

مسئول مکاتبات:
pantea.omrani@gmail.com

تاریخ دریافت: ۱۳۹۸/۰۲/۲۲
تاریخ پذیرش: ۱۳۹۸/۰۴/۲۴

مقدمه

در سازه‌های چوبی، قطعات به روش‌های مختلف به یکدیگر وصل می‌شوند. اتصال‌ها بخش اصلی هر سازه‌ی چوبی محسوب می‌شوند، و بارهای وارده را به‌طور پیوسته تحمل می‌کنند و بنیان سازه را به‌وجود می‌آورند. شواهد نشان می‌دهد که اتصال‌ها، ایمنی سازه و زیبایی آن را تضمین می‌نمایند. ازآنجاکه ضعف در طراحی اتصال‌ها، تخریب سازه‌های چوبی را در پی دارد، بنابراین، توجه به طراحی اتصال‌ها از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است [۱]. در ترکیب اجزای یک طراحی، روش‌های متفاوتی جهت

www.SID.ir

Archive of SID

مونتاژ اجزاء، ازجمله اتصال مکانیکی (مانند استفاده از پیچ، میخ، بست، انواع دوبل، بیسکویت چوبی، دم چلچله و غیره) و یا اتصال با چسب و یا ترکیبی از هر دو وجود دارد. به‌کاربردن پیچ‌ها، میخ‌ها و بست‌های فلزی در ساخت سازه‌های چوبی باعث ایجاد ظاهری نامناسب می‌شود و در محیط‌های مرطوب دچار زنگ‌زدگی و در نهایت سستی و تضعیف اتصال‌ها در مونتاژ می‌شوند. بیشتر چسب‌ها نیز حاوی حلال‌هایی هستند که ممکن است در زمان خشک شدن چسب و یا در طول زمان استفاده در محیط، بخارهای سمی از خود ساطع کنند. زمان طولانی برای خشک و سخت شدن و نیز عدم استحکام لازم اتصال‌های حاصل از چسب‌ها در مواجه با آب و رطوبت از دیگر عیوب بزرگ استفاده از چسب‌ها در اتصال‌ها هستند. علاوه بر این موارد هزینه‌ی تهیه چسب‌ها، هزینه تولید را نیز افزایش می‌دهد.

اما تکنولوژی جدیدی که طی چند سال اخیر مورد توجه محققین قرار گرفته است، تکنولوژی جوشکاری چوب است. اولین بار جوشکاری چرخشی و ارتعاشی چوب را Suthoff و Kutzer (۱۹۹۷) به ثبت رساندند [۲]. تکنولوژی جوشکاری چوب در واقع به‌کارگیری یک پروسه‌ی اصطکاک بین دو قطعه چوب می‌باشد. اساس فرایند جوشکاری چوب، ذوب و شارش مواد تشکیل‌دهنده‌ی دیواره‌های الیاف چوبی، عمدتاً لیگنین و تا حدی همی‌سلولز است که در دمای بیش از ۱۸۰ درجه سانتی‌گراد رخ می‌دهد [۳]؛ مواد ذوب شده بین دو قطعه جوشکاری شده پس از خنک شدن، سخت شده و اتصال مقاومی را ایجاد می‌کند. جوشکاری چوب، نسبت به چسباندن و اتصال‌دهنده‌های مکانیکی مزایایی مانند: کوتاه شدن زمان سخت شدن (کمتر از یک دقیقه)، هزینه کم و مقرون‌به‌صرفه بودن را در بر دارد. Stamm و همکاران (۲۰۰۵)، در تحقیقات خود گزارش کردند که تکنولوژی جوشکاری چوب به دلیل استفاده از مواد طبیعی، سازگار با محیط زیست است. بازیافت یا سوزاندن محصولات جوشکاری شده منجر به آزادشدن ترکیبات سمی نمی‌شود و احتراق محصولاتی که به این طریق متصل می‌شوند، برای سلامتی انسان بی‌خطر است. [۴]. همچنین Omrani و همکاران (۲۰۰۸a) با آنالیز مواد فرّار و گازهای ناشی از دود جوشکاری چوب، در راش و نوئل نشان دادند که پروسه جوشکاری چوب، فرایندی سالم و بی‌خطر برای انسان و محیط زیست است [۵]. Dumitrașcu و Bădescu (۲۰۱۳) و Hahn (۲۰۱۴) نیز بیان داشته‌اند که قطعات جوش داده شده را می‌توان به راحتی دوباره در پایان عمر خود استفاده کرد؛ زیرا هیچ ماده‌ی دیگری برای اتصال در آن استفاده نمی‌شود [۶ و ۷]. اتصال چوب در دمای بالا با استفاده از فعال‌سازی لیگنین توسط اصطکاک چرخشی توسط Pizzi و همکاران (۲۰۰۴) و Leban و Pizzi (۲۰۰۵) مورد آزمایش قرار گرفت، که نشان می‌دهد اتصال چوب بدون استفاده از چسب برای انواع چوب استفاده می‌شود [۸ و ۹]. استفاده از جوشکاری چوب امکان ساخت مونتاژهای چوبی از قطعات کوچک‌تر در اندازه دلخواه را بدون استفاده از مواد ثانویه همچون: چسب، پیچ، میخ، بست و غیره، ممکن می‌سازد. بنابراین می‌توان گفت تکنولوژی جوشکاری، پاسخی به رفع مشکلات بیان‌شده در استفاده از این مواد ثانویه است. در واقع هدف از این تکنولوژی جدید اتصال، تولید مونتاژهای چوبی در اندازه دلخواه است که می‌تواند کیفیت و فرایند تولید مونتاژهای چوبی را بهبود بخشد.

Omrani و همکاران (۲۰۰۷) با ارائه یک مدل زیگزاگ و استفاده از روش جوشکاری چوب، به‌منظور اتصال لب به لب بین دو تخته چوبی، نشان دادند که این اتصال‌ها بدون استفاده از هر نوع چسبی، با وجود ۲ ساعت جوشیدن در آب دارای مقاومت مکانیکی قابل توجهی هستند [۱۰]. در تحقیقی دیگر، Omrani و همکاران (۲۰۰۸b) نشان دادند اتصال‌های جوشکاری شده با وجود قرارگیری در معرض شرایط جوی غیرسرپوشیده به مدت یک سال، دارای مقاومت‌های مکانیکی مناسبی می‌باشند [۱۱]. Renaud (۲۰۰۹)، برای اولین بار امکان ساخت صندلی مینیمالیستی طراحی شده توسط معمار هلندی (Gerrit T. Rietveld (1888-1964 (یک صندلی Z شکل) را بدون چسب و هیچ فلز و هیچ نگهدارنده‌ی زاویه فراهم و آن را فقط با استفاده از جوشکاری دوبل‌های چوبی و ارائه یک اتصال با زاویه تمیز ساخت [۱۲]. Belleville و همکاران (۲۰۱۳) تغییرات ترموشیمیائی در طی جوشکاری دوبل چوب در دو گونه پهن‌برگ کانادایی، افرای قندی (*Acer*

www.SID.ir

Archive of SID

saccharum) و توس زرد (*Betula alleghaniensis*) را که معمولاً برای استفاده در کاربردهای داخلی ساختمان مورد استفاده قرار می‌گیرند، مورد بررسی قرار دادند. نتایج نشان داد که جوشکاری حرارتی چوب‌های توس و افرا، همی‌سلولز را تخریب می‌کند و از طریق دپلیمریزاسیون، پلیمر لیگنین را تحت تأثیر قرار می‌دهد. بنابراین اثر بخشی جوشکاری به‌طور مستقیم مربوط به خواص اجزای اصلی چوب یعنی در مرحله اول لیگنین و سپس کربوهیدرات‌ها است. تغییرات مربوط به لیگنین در خط اتصال جوشکاری برای افرای قندی بیشتر از توس زرد بود، که اختلاف ویژگی‌های مکانیکی بین این دو گونه را تأیید می‌کند. نسبت گازها برای هر دو گونه مشابه بود و هیچ گاز مضری در دود منتشر شده در طی فرایند جوشکاری یافت نشد [۱۳]. Somchai (۱۹۸۹) مقاومت اتصال‌های کام و زبانه و دوبل را در چوب گونه (*Tectona grandis*) بررسی کرد. اتصال‌های مورد بررسی با استفاده از چسب پلی‌وینیل استات (PVA) و به دو شکل L و T ساخته‌شده بودند. نتایج این بررسی نشان داده است که اگر عامل‌هایی مانند چسب، روش اتصال و گونه چوبی ثابت باشند، مقاومت اتصال ایجاد شده متناسب با طول نفوذ تغییر خواهد کرد [۱۴]. Eckelman (۲۰۰۳) در تحقیقی مقاومت کششی و گشتاور خمشی در اتصال دوبل را مورد بررسی قرار داد. نتایج نشان داد مقاومت کششی بستگی به قطر دوبل، نوع چسب، طول نفوذ دوبل‌ها در اعضای اتصال، نوع گونه چوبی دوبل و اعضای اتصال دارد [۱]. با توجه به تحقیقات انجام شده لزوم بررسی عملکرد سازه‌ای اتصال‌های ساخته شده با روش جوشکاری و مقایسه آن با اتصال‌های متداول در صنایع چوب نظیر دوبل‌های اتصال یافته با چسب پلی‌وینیل استات احساس می‌شد که در تحقیق حاضر به بررسی و مقایسه این دو اتصال پرداخته شده است.

مواد و روش‌ها

مواد

در این پژوهش اعضای اتصال تهیه شده، از گونه‌ی پهن‌برگ ممرز (*Carpinus betulus*) با دانسیته ۰/۷ گرم بر سانتی‌مترمکعب و گونه‌ی سوزنی‌برگ نراد (*Abies alba*) با دانسیته ۰/۴ گرم بر سانتی‌مترمکعب می‌باشند. در جدول ۱، ویژگی‌های گونه‌های ممرز و نراد ارائه شده است [۱۵]. دوبل‌های چوبی نیز از گونه‌ی ممرز با قطرهای ۱۰ و ۱۲ میلی‌متر و با دو سطح صاف و شیاردار تهیه شدند. در ساخت اتصال‌های با چسب، از چسب PVA، با مشخصات: رنگ سفید، دانسیته ۱/۰۸ گرم بر سانتی‌مترمکعب، حدود ۶۵-۶۰٪ مواد جامد در چسب، pH برابر ۵ و حدود ۳۰-۲۰ min زمان ژله‌ای شدن در ۲۰ °C، استفاده گردید.

جدول ۱- ویژگی‌های گونه‌های چوبی ممرز و نراد

گونه چوبی	دانسیته (g/cm^3)	مدول گسیختگی (MPa)	مدول الاستیسیته (MPa)	سختی (N)	مقاومت به فشار (Mpa)
ممرز	۰/۵۳-۰/۷۳	۱۱۰/۴	۱۲۱۰۰	۷۲۶۰	۵۰/۵
نراد	۰/۳۲-۰/۴۲	۶۶/۱	۸۲۸۰	۱۴۲۰	۴۱

روش‌ها

ابتدا چوب‌ها (اعضای اتصال) مطابق با استاندارد EN 326-1 به ابعاد ۲/۵×۵×۵ سانتی‌متر برش داده شد [۱۶]. برای ساخت نمونه‌های آزمونی با چسب، پس از سوراخکاری در مرکز اعضای اتصال، دوبل‌های چوبی با مقدار ثابت چسب PVA آغشته شده و در قسمت سوراخکاری شده‌ی اعضای چوبی، مونتاژ شدند. برای خشک شدن کامل چسب، نمونه‌های متصل شده با چسب، ۲۴ ساعت در داخل گیره تثبیت شدند. ساخت نمونه‌های آزمونی به روش جوشکاری نیز، توسط دریل با دور ۳۰۰۰ دور بر دقیقه (RPM) انجام شد. سپس اضافه‌ی دوبل‌های چوبی در تمامی نمونه‌های ساخته شده، به‌منظور انجام آزمون بریده شدند.

با توجه به عوامل متغیر مورد بررسی یعنی نوع گونه اعضای اتصال در دو سطح (ممرز و نراد)، روش اتصال دوبل در دو سطح (اتصال جوشکاری شده و اتصال با

www.SID.ir

Archive of SID

چسب)، قطر دوبل چوبی در دو سطح (۱۰ و ۱۲ میلی‌متر) و شکل سطح دوبل در دو سطح (صاف و شیاردار) و ۹ تکرار، جمعاً ۱۴۴ نمونه آزمونی ساخته شد. نمونه‌های آزمونی ساخته شده به مدت دو هفته پس از ساخت در محیط آزمایشگاهی با شرایط رطوبت نسبی ۵ ± ۶۵ درصد و دمای ۲ ± ۲۰ درجه سانتی‌گراد، قرار گرفته و سپس اندازه‌گیری مقاومت کششی نمونه‌ها انجام شد. آزمون مقاومت کششی، مطابق استاندارد EN 319 [۱۷] با دستگاه Tensile Tester مدل STT-5T و با سرعت بارگذاری ۵ میلی‌متر در دقیقه انجام شده (شکل ۱) و حداکثر نیروی وارده برحسب نیوتن ثبت و سپس مقاومت کششی طبق رابطه (۱) محاسبه گردید:

رابطه (۱)
$$P = \frac{F_{max}}{A}$$

P: مقاومت در برابر کشش برحسب (N/mm^2)، F_{max}: نیروی حداکثر برحسب (N) و A: سطح مقطع نمونه برحسب (mm^2) می‌باشد.

برای مشاهده و بررسی محل شکست اتصال ساخته شده به روش جوشکاری از میکروسکوپ الکترونی روبشی (SEM) مدل VEGA TS 5136MM ساخت شرکت TESCAN کشور چک، استفاده شد. تجزیه و تحلیل نتایج به‌دست‌آمده، در نرم افزار SAS با آزمون فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی انجام شد. اثر مستقل و متقابل هر یک از عوامل متغیر بر مقاومت کششی نیز در سطح اعتماد ۹۹ درصد بررسی شد.

نتایج و بحث

جدول ۲، میانگین مقادیر مقاومت کششی اتصال‌های دوبل ساخته شده به روش‌های جوشکاری و چسب با چوب‌های ممرز و نراد و دوبل‌های صاف و شیاردار به قطر ۱۰ و ۱۲ میلی‌متر را نشان می‌دهد.

جدول ۲- میانگین مقادیر مقاومت کششی اتصال‌های دوبل ساخته شده با روش‌های جوشکاری و چسب

روش اتصال	گونه اعضای اتصال	قطر دوبل	سطح دوبل	میانگین مقاومت کششی (MPa)	انحراف معیار
جوشکاری	ممرز	۱۰ میلی‌متر	صاف	۰/۵۴۳	۰/۰۸۵
			شیاردار	۰/۷۸۸	۰/۱۸۲
		۱۲ میلی‌متر	صاف	۰/۸۳	۰/۱۳۱
			شیاردار	۱/۱۰۸	۰/۱۰۹
	نراد	۱۰ میلی‌متر	صاف	۰/۴۴۴	۰/۰۷۷
			شیاردار	۰/۵۱۳	۰/۰۵۴
		۱۲ میلی‌متر	صاف	۰/۵۶	۰/۱۱۴
			شیاردار	۰/۶۸۶	۰/۱۱۴
چسب PVA	ممرز	۱۰ میلی‌متر	صاف	۰/۴۴۲	۰/۰۱۴
			شیاردار	۰/۵۲۱	۰/۰۲۱
		۱۲ میلی‌متر	صاف	۰/۵۵۳	۰/۰۲۸
			شیاردار	۰/۶۳۳	۰/۰۱۶
	نراد	۱۰ میلی‌متر	صاف	۰/۱۸۳	۰/۰۳۹
			شیاردار	۰/۲۳۴	۰/۰۰۲
		۱۲ میلی‌متر	صاف	۰/۲۳۶	۰/۰۱۳
			شیاردار	۰/۲۵۴	۰/۰۲۱

www.SID.ir

Archive of SID

جدول ۳- تجزیه واریانس اثر عوامل متغیر مورد بررسی بر مقاومت کششی اتصال‌های ساخته شده

منابع تغییر	درجه آزادی	میانگین مربعات	F	sig
روش اتصال	۱	۳/۲۸۰۷۷۷۵	۵۰۵/۷۶	۰/۰۰۰۱**
اعضای اتصال	۱	۲/۹۹۱۴۳۹۹۶	۴۶۱/۵۷	۰/۰۰۰۱**
قطر دوبل	۱	۰/۷۹۵۰۲۴۸۶	۱۲۲/۵۶	۰/۰۰۰۱**
سطح دوبل	۱	۰/۵۰۴۹۸۷۸۹	۷۷/۸۵	۰/۰۰۰۱**
روش اتصال × اعضای اتصال	۱	۰/۰۱۷۱۷۱۹۲	۲/۶۵	۰/۱۰۶۴n.s
روش اتصال × قطر دوبل	۱	۰/۲۰۳۰۷۷۹۱	۳۱/۳۱	۰/۰۰۰۱**
روشاتصال × سطح دوبل	۱	۰/۱۳۵۷۳۶۹۸	۲۰/۹۲	۰/۰۰۰۱**
اعضای اتصال × قطر دوبل	۱	۰/۱۲۳۵۱۱۲۵	۱۹/۰۴	۰/۰۰۰۱**
اعضای اتصال × سطح دوبل	۱	۰/۰۹۸۷۷۹۲۵	۱۵/۲۳	۰/۰۰۰۲**
قطر دوبل × سطح دوبل	۱	۰/۰۰۲۰۰۴۸	۰/۳۱	۰/۵۷۹۳n.s
روش اتصال× اعضای اتصال × قطر دوبل ×سطح دوبل	۵	۰/۰۱۱۶۸۵۵۲	۱/۸	۰/۱۱۷۶n.s

** معنی‌داری و n.s عدم معنی‌داری در سطح ۱ درصد

با استفاده از روش تجزیه واریانس، اثر مستقل و متقابل عوامل متغیر بر مقاومت کششی بررسی شد که نتایج آن در جدول ۳ بیان شده است. نتایج حاصل از تجزیه واریانس (جدول ۳) نشان می‌دهد که تأثیر مستقل هر یک از سطوح (روش اتصال، اعضای اتصال، قطر و سطح دوبل) بر مقاومت کششی در سطح ۱ درصد معنی‌دار است. همچنین جدول ۳ نشان می‌دهد که به‌ترتیب از بیشترین به کمترین اثر معنی‌داری بر مقاومت کششی اتصال‌های دوبل ساخته شده، مربوط به متغیر روش اتصال با مقدار F=۵۰۵/۷۶، اعضای اتصال با مقدار F=۴۶۱/۵۷، قطر دوبل با مقدار F=۱۲۲/۵۶ و سطح دوبل با مقدار F=۷۷/۸۵ می‌باشد.

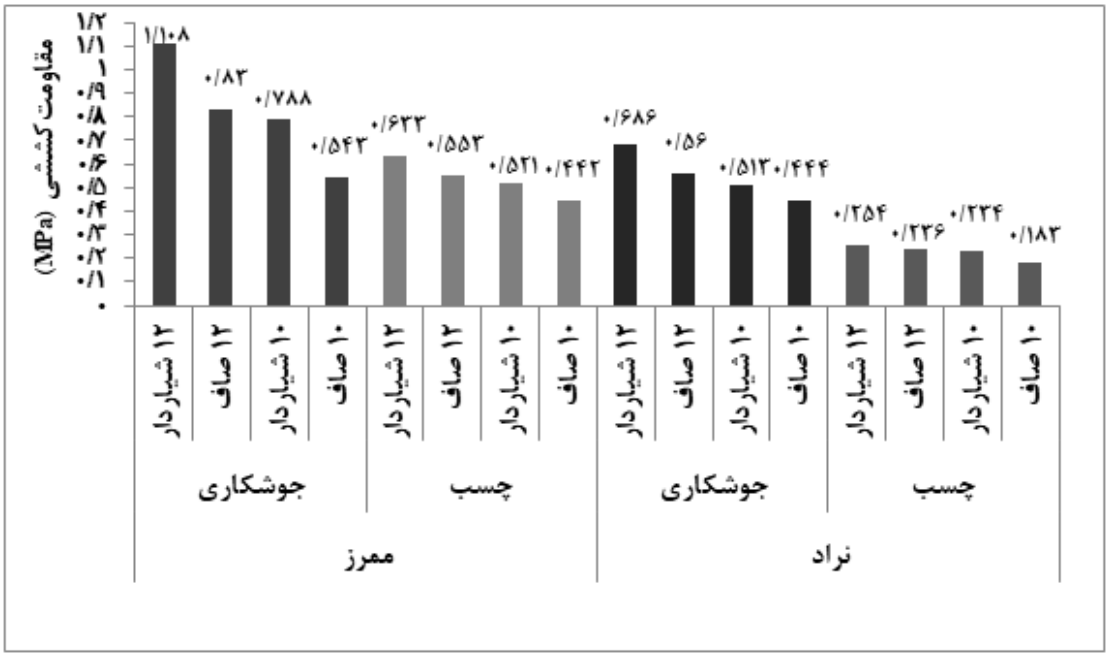
شکل ۱، نتایج مقاومت کششی اتصال‌های دوبل (قطرهای ۱۰ و ۱۲ صاف و شیاردار) ایجاد شده به دو روش جوشکاری و استفاده از چسب PVA، در دو گونه ممرز و نراد را نشان می‌دهد. مقاومت کششی نمونه‌های جوشکاری شده در هر دو اعضای اتصال (ممرز و نراد)، بیشتر از نمونه‌های اتصال با چسب بودند، به‌طوری‌که مقاومت کششی نمونه‌های جوشکاری شده در چوب ممرز شامل اتصال‌های با دوبل ۱۰ میلی‌متری صاف، دوبل ۱۰ میلی‌متری شیاردار، دوبل ۱۲ میلی‌متری صاف، دوبل ۱۲ میلی‌متری شیاردار، به‌ترتیب ۱/۲۳، ۱/۵۱، ۱/۵۰ و ۱/۷۵ برابر و در چوب نراد به‌ترتیب ۲/۴۳، ۲/۱۹، ۲/۳۷ و ۲/۷۱ برابر بیشتر نسبت به نمونه‌های اتصال با چسب (PVA) خودشان بودند. جدول شماره ۴ نشان‌دهنده‌ی درصد افزایش مقاومت کششی اتصال‌های ساخته شده به روش جوشکاری می‌باشد. بر اساس نتایج عنوان شده، نسبت بین اتصال جوشکاری و اتصال چسب در گونه نراد در مقایسه با گونه ممرز بیشتر بوده است.

جدول ۴- نسبت افزایش مقاومت کششی (٪) اتصال‌های ساخته شده به روش جوشکاری با اتصال‌های متداول ساخته شده با چسب PVA

		ممرز	نراد
دوبل صاف	قطر ۱۰ mm	۱۲۳	۲۴۳
	قطر ۱۲ mm	۱۵۰	۲۳۷
دوبل شیاردار	قطر ۱۰ mm	۱۵۱	۲۱۹
	قطر ۱۲ mm	۱۷۵	۲۷۱

www.SID.ir

Archive of SID

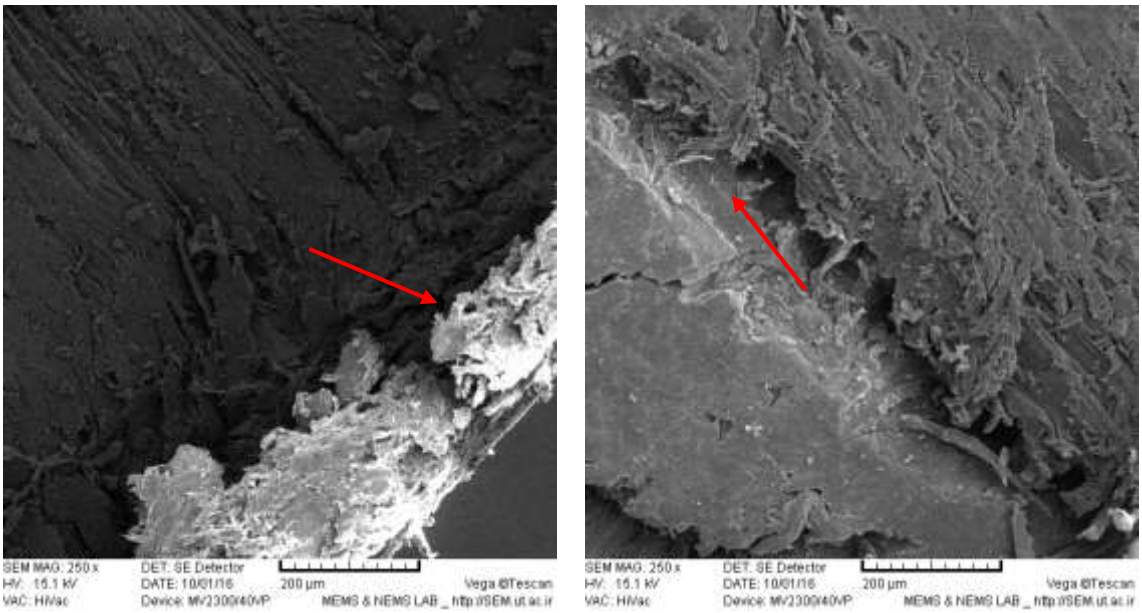


شکل ۱- مقاومت کششی در اتصال‌های دوبل ساخته شده به دو روش جوشکاری و چسب PVA

Pizzi و همکاران (۲۰۰۶) نیز در تحقیقات خود نشان دادند که اتصال‌های دو قطعه چوبی با درج و جوشکاری چرخشی دوبل‌ها با سرعت بالا در آنها، مقاومت‌های بهتری از چسباندن با PVA ایجاد می‌کند [۱۸]. O'Loinsigh و همکاران (۲۰۱۱)، نیز در تحقیقات خود بیان داشته‌اند که ساخت تیرهای چوبی چندلایه با روش جوشکاری دوبل‌های چوبی، یک جایگزین مناسب برای سیستم‌های مرسوم دوبل‌های چسب شده با PVA و نیز میخ‌کاری است [۱۹]. همان‌طور که بیان شد اساس فرایند جوشکاری چوب، ذوب و شارش مواد تشکیل‌دهنده‌ی دیواره‌های الیاف چوبی، عمدتاً لیگنین و تا حدی همی‌سلولز است [۳]. ذوب مواد دیواره سلول‌های چوبی در هنگام جوشکاری، منجر به افزایش حجم ماده چوبی در سطح اتصال دوبل و اعضای اتصال از یک طرف و تشکیل پیوندهای جدید بین الیاف دوبل و اعضای اتصال از طرف دیگر می‌شود، که سبب شده است نمونه‌های جوشکاری شده مقاومت بیشتری نسبت به اتصال‌های چسبی از خود نشان دهند. علاوه بر این‌ها، عامل دیگر برتری اتصال جوشکاری دوبل نسبت به اتصال با چسب، همگنی و یکنواختی ماده‌ی اتصال‌دهنده در هر دو قطعه مورد اتصال (یعنی دوبل و اعضای اتصال) است. به‌عبارت روشن‌تر ماده چسبنده بین دو قطعه‌ی مورد اتصال که به‌صورت سیمانی بین اتصال‌ها عمل می‌کند، همان مواد ذوب شده دیواره سلول‌ها در هنگام فرایند جوشکاری می‌باشد. چنانچه Sun و همکاران (۲۰۱۰) نیز پس از بررسی تغییرات شیمیایی ناشی از جوشکاری دوبل چوب بر روی دو گونه‌ی پهن‌برگ کانادایی (توس زرد و افرای قندی) بیان کردند که برای هر دو گونه چوب مورد مطالعه، لیگنین مهم‌ترین ترکیب چوب برای جوشکاری موفق است. نتایج این مطالعه به‌وضوح نشان داده که تفاوت در ترکیب پلیمر چوب بر عملکرد چوب در فرایند جوشکاری و در نتیجه خواص مکانیکی مواد جوشکاری شده تأثیر می‌گذارد [۲۰].

www.SID.ir

Archive of SID



شکل ۲- ریزنگار میکروسکوپ الکترونی تهیه شده از ناحیه اتصال با جوشکاری (فلش قرمز) که درگیر شدن سلول‌های چوبی (فیبر تصویر راست و تراکئیدها تصویر چپ) را طی جوشکاری نشان می‌دهد.

تحقیقات نشان داده است در طی جوشکاری دمای محل نزدیک به خط اتصال به دمای ۱۷۰ °C یا بالاتر می‌رسد [۲۱]. این دما بیشتر از دمای Tg لیگنین و همی‌سلولز است؛ در بالاتر از این دما ماده جاری می‌شود [۲۲]. ذوب شدن برخی از اجزای اصلی ساختاری که در اجزای پلیمری چوب رخ می‌دهد در تصویر SEM (شکل ۲) قابل مشاهده است. در این شکل، الیاف و سلول‌های چوبی بلند (تراکئیدها) در درون ماده پلیمری ذوب شده، فرو رفته‌اند که توسط Gfeller و همکاران (۲۰۰۴) نیز مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفته است. در این شکل‌ها سلول‌ها آسیب زیادی نیافته‌اند، درحالی‌که ذوب شدن اصولاً در بافتی که در تماس با قسمت بین سلولی یا لایه بین سلولی است رخ داده است. لایه بین سلولی چوب بیشترین مقدار لیگنین را نسبت به سایر قسمت‌های سلولی داراست. خط اتصال حاصل از جوشکاری، از توده‌ای از سلول‌های بلند تشکیل شده است که در هم فرو رفته‌اند و درون ماتریس بی‌شکلی غوطه‌ور شده‌اند. ذوب شدن ماده بین سلولی اغلب لیگنین را درگیر می‌کند، ولی در برخی موارد همی‌سلولزها نیز ذوب می‌شوند [۲۳].

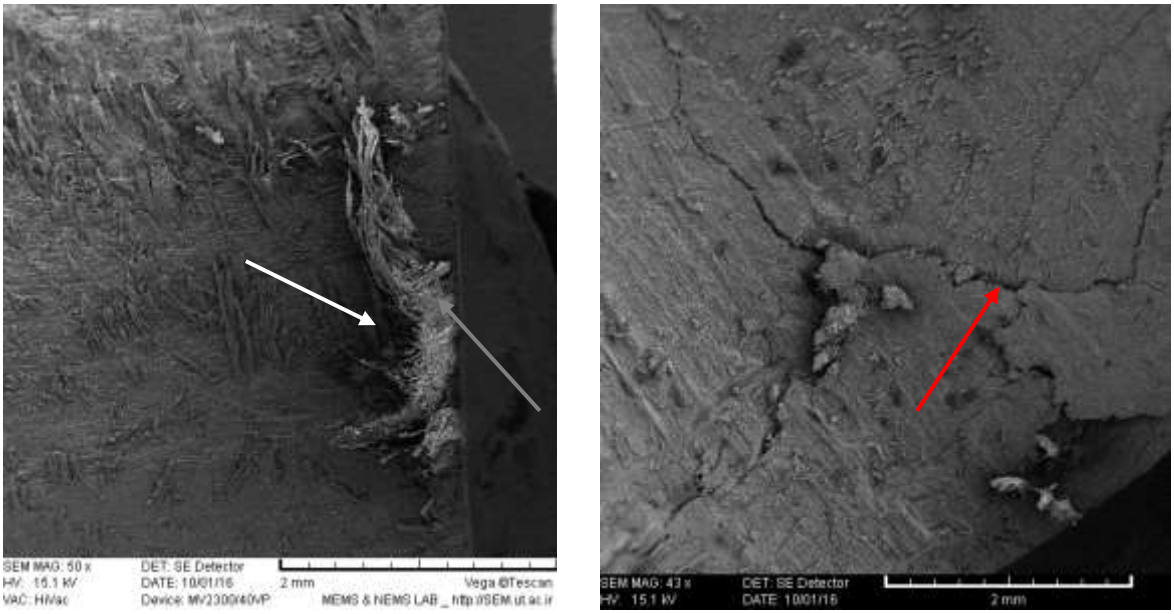
مقایسه تیمارها در شکل ۱، نشان می‌دهد که در هر دو روش اتصال (جوشکاری و چسب)، بیشترین مقاومت کششی مربوط به اتصال‌هایی است که در آن از چوب ممرز استفاده شده است. گونه چوب (اعضای اتصال)، یکی از پارامترهای مؤثر بر مقاومت اتصال ساخته شده به روش جوشکاری با دوبل است [۸ و ۲۴]. یک عامل مؤثر در مقاومت کششی بیشتر اتصال جوشکاری دوبل با چوب ممرز نسبت به چوب نراد، می‌تواند دانسیته بیشتر گونه ممرز باشد؛ دانسیته بیشتر یعنی ماده‌ی چوبی بیشتر، که در نتیجه سطح اتصال بیشتر را در پی دارد. Župčić و همکاران (۲۰۱۴)، نیز بیان کرده‌اند که تفاوت‌های آناتومی و ساختار فیزیکی چوب قطعاً بر فرایند جوشکاری تأثیر می‌گذارد، بنابراین می‌توان فرض کرد که همان خواص شیمیایی، آناتومیکی و فیزیکی گونه‌های چوبی بر مقاومت اتصال جوشکاری شده تأثیر دارد[۲۵]. می‌دانیم که خواص آناتومیکی کاملاً با خواص مکانیکی در رابطه است و این خواص آناتومیکی و شیمیایی چوب هستند که مقاومت‌های مکانیکی را فراهم می‌سازند. خواص مکانیکی هر گونه‌ی چوبی در مقاومت اتصالات و سازه‌های ساخته شده با آن بسیار مؤثر می‌باشند. همان‌طور که در جدول ۱ مشاهده می‌شود، گونه ممرز دارای خواص مکانیکی بیشتری نسبت به گونه نراد می‌باشد که این می‌تواند دلیلی دیگر بر مقاومت بیشتر اتصال‌های ساخته شده در گونه ممرز نسبت به گونه نراد باشد (در هر روش اتصال). جدول تجزیه واریانس (۳) نیز نشان می‌دهد اثر مستقل

www.SID.ir

Archive of SID

اعضای اتصال بر مقاومت کششی اتصال‌های دوبل ساخته شده معنی‌دار است که با توجه به مقدار F=۴۶۱/۵۷، بعد از روش اتصال، دارای بیشترین اختلاف معناداری می‌باشد؛ یعنی اثر اعضای اتصال در بین متغیرهای بررسی شده، در جایگاه دوم قرار دارد که این امر خود نیز اهمیت گونه اعضای اتصال در مقاومت اتصال‌های ساخته شده را نشان می‌دهد. از طرفی برتری و تأثیر بیشتر روش اتصال (F=۵۰۵/۷۶) است که سبب شده مقاومت اتصالات جوشکاری شده در گونه نراد از مقاومت اتصالات ساخته شده با چسب در گونه ممرز بیشتر باشد.

نتایج شکل ۱، نشان می‌دهند که در هر دو روش اتصال و اعضای اتصال، با افزایش قطر دوبل از ۱۰ میلی‌متر به ۱۲ میلی‌متر، مقاومت کششی افزایش می‌یابد؛ به‌طوری‌که در نمونه‌های جوشکاری شده، با افزایش قطر دوبل هم در دوبل‌هایی با سطح صاف و هم شیاردار، مقاومت کششی افزایش یافته است. بیشترین مقدار افزایش مقاومت کششی با افزایش قطر دوبل از ۱۰ به ۱۲ میلی‌متر در اتصال جوشکاری دوبل با چوب ممرز مشاهده شد. با افزایش قطر دوبل چوبی، سطح تماس دوبل افزایش یافته و با توجه به اینکه در اتصال‌های چوبی نیز مانند هر اتصال دیگری با افزایش سطح چسبندگی، افزایش مقاومت‌ها حاصل می‌شود، در تکنولوژی جوشکاری نیز افزایش سطح دوبل باعث افزایش سطح جوشکاری و در نتیجه افزایش مقاومت مکانیکی می‌شود. به‌عبارتی با افزایش سطح جوشکاری، میزان لیگنین ذوب شده که همچون سیمان، نقش اتصال‌دهنده بین اعضای اتصال و دوبل چوبی را بر عهده دارد، افزایش و در نتیجه تعداد پیوندهای ایجاد شده بین قطعات اتصال نیز، افزایش خواهد یافت.



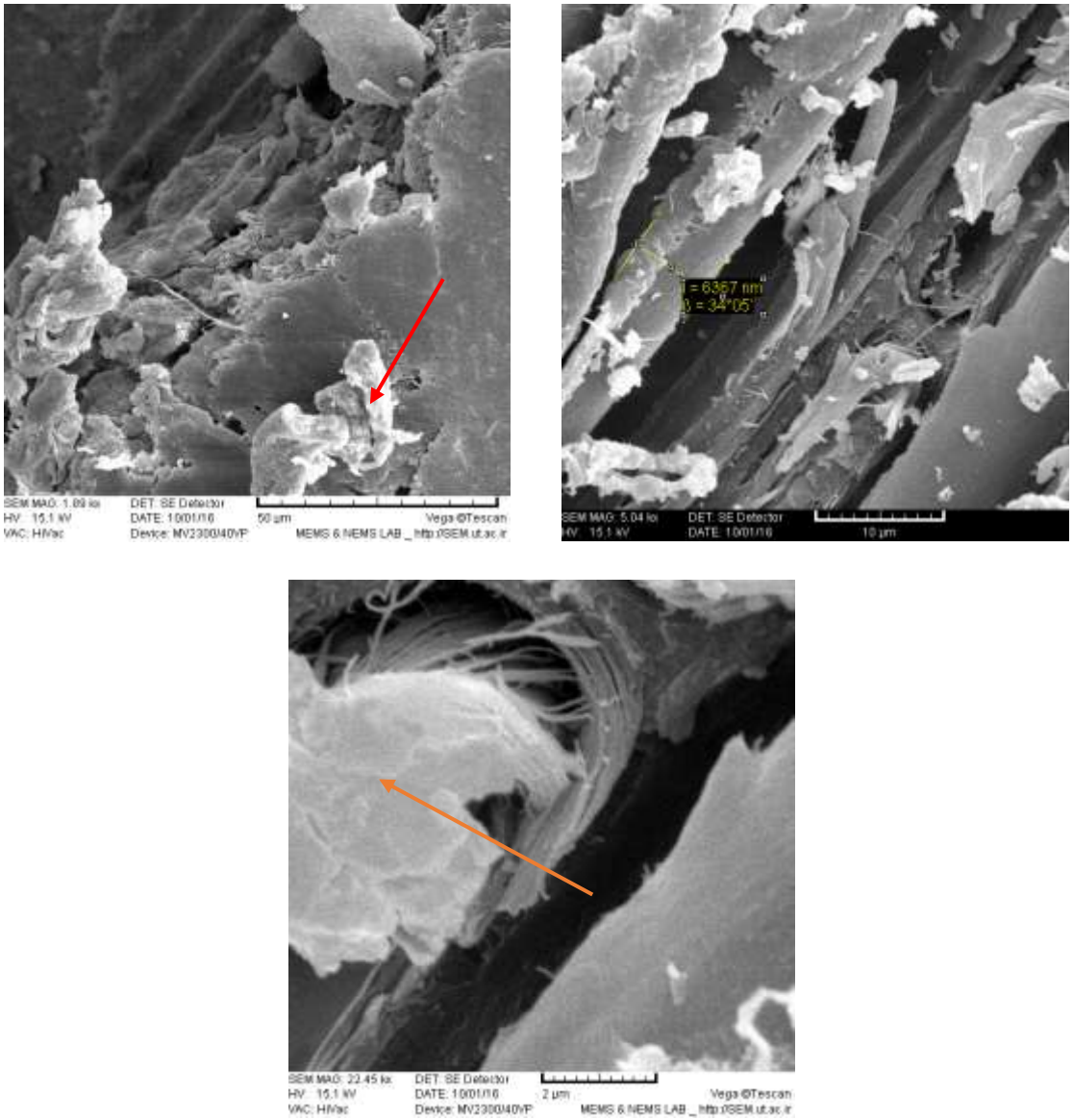
شکل ۳- تأثیر کیفیت سطح دوبل چوبی بر نحوه اتصال به روش جوشکاری و ریزشکست آن تحت بار

همان‌طور که در نمودار شکل ۱، مشاهده می‌شود، اتصال دوبل با سطح شیاردار دارای مقاومت کششی بیشتری نسبت به اتصال دوبل با سطح صاف است. نتایج به‌دست‌آمده از ریزنگار میکروسکوپ الکترونی نیز که در شکل ۳ آورده شده است، این موضوع را تأیید می‌نماید. شکل سمت راست مربوط به دوبل‌هایی جوشکاری شده با سطح صاف پس از شکست می‌باشد. بررسی تصویر حاصل از ریزنگار الکترونی نشان می‌دهد در دوبل‌های با سطح صاف نه‌تنها باقی‌مانده اتصال خط جوشکاری روی دوبل باقی نمانده است، بلکه به دلیل تحمل بار توسط خود دوبل و ضعیف بودن اتصال، سطح دوبل دچار ریزترک‌ها (فلش قرمز) شده است؛ درحالی‌که در تصاویر دوم (سمت چپ) که مربوط به دوبل‌های شیاردار است، نه تنها سطوح دوبل سالم باقی‌مانده است، بلکه قسمتی از اجزای خط جوشکاری بر روی دوبل‌ها باقی مانده است. این شکل‌ها نیز در تأیید تصویر قبلی غوطه‌ور شدن تراکئیدها را در

www.SID.ir

Archive of SID

ماتریس پلیمری حاصل از ذوب شدن لیگنین نشان می‌دهد (فلش سفید). Said و همکارانشان (۱۹۹۳) بیشترین مقاومت کششی اتصال دوبل با چسب را در استفاده از دوبل با شیارهای مارپیچی گزارش کرده‌اند [۲۶]. در جوشکاری چوب نیز، افزایش مقاومت در هنگام استفاده از دوبل چوبی شیاردار به سه علت رخ می‌دهد: الف) شیار موجود در سطح دوبل، باعث افزایش سطح جوشکاری می‌شود و همان‌طورکه در بخش پیشین نیز تحلیل شد، افزایش سطح جوشکاری باعث افزایش مقاومت‌های مکانیکی می‌شود. ب) دوبل‌های با سطح شیاردار، دارای الیاف سطحی با جهت‌گیری خاص بیشتری هستند که مستعد درهم رفتگی بیشتر، بهتر و آسان‌تر با الیاف خود و الیاف اعضای اتصال می‌باشند. ج) در تحقیقات پیشین Omrani و همکاران (۲۰۰۸a) نشان دادند که دود حاصل از جوشکاری دارای مقدار زیادی بخار آب می‌باشد. می‌توان عنوان نمود که شیار موجود در دوبل چوبی باعث شده است که خروج بخار آب حاصل از فرایند جوشکاری، بهتر، سریع‌تر و بیشتر صورت گیرد. در واقع می‌توان گفت با وجود اینکه حضور بخار آب ایجاد شده می‌تواند تا حدی در تشکیل پیوندهای بین الیاف تأثیرگذار باشد؛ اما حضور بیش از حد بخار آب و احتباس آن در محل جوشکاری در حین فرایند جوشکاری می‌تواند در ادامه روند جوشکاری تأثیر منفی ایجاد نماید [۵].



شکل ۴- باقی‌مانده اجزای اتصال حاصل از جوشکاری بر روی اجزای اتصال پس از شکست

www.SID.ir

Archive of SID

از دیگر نتایج به‌دست‌آمده با توجه به نمودار شکل ۱، می‌توان به این مورد اشاره کرد که اتصال جوشکاری دوبل با قطر ۱۰ صاف در چوب ممرز (۰/۵۴۳ مگاپاسکال) حتی از اتصال دوبل ۱۰ شیاردار با چسب (۰/۵۲۱ مگاپاسکال) بیشتر و فقط ۰/۰۱ مگاپاسکال کمتر از اتصال دوبل ۱۲ صاف با چسب (۰/۵۵۳ مگاپاسکال) است؛ اما در مقایسه میانگین اتصال جوشکاری دوبل ۱۰ صاف در چوب نراد (۰/۴۴۴ مگاپاسکال) با اتصال دوبل ۱۲ شیاردار چسب شده (۰/۲۵۴ مگاپاسکال) این اختلاف بیشتر است (۱/۷۵ برابر). یعنی برتری اتصال جوشکاری دوبل نسبت به چسب در این اتصال بدین‌گونه است که دوبل ۱۰ صاف جوشکاری شده حتی از دوبل ۱۲ شیاردار چسب شده نیز بیشتر است، یعنی با این روش می‌توان از دوبل چوبی با قطر کمتر و سطح صاف به جای دوبل با قطر بیشتر و سطح شیاردار استفاده نمود. بنابراین با روش جوشکاری علاوه بر کاهش زمان اتصال نسبت به استفاده از چسب و از طرفی کاهش قطر و نوع سطح دوبل چوبی مصرفی، هزینه مواد اولیه به‌عبارتی هزینه تولید را می‌توان کاهش داد که این از دیگر مزایای روش جوشکاری نسبت به استفاده از چسب در اتصال‌های دوبل ساخته شده است.

نتایج به‌دست‌آمده از تصاویر ریزنگار میکروسکوب الکترونی نیز این مشخصه اتصال جوشکاری شده را به‌وضوح نشان می‌دهد (شکل ۴). همان‌طور که در تصاویر به‌دست‌آمده از ریزنگار میکروسکوب الکترونی مشاهده می‌شود، پس از شکست اتصالات، باقی‌مانده خط اتصال به روش جوشکاری بر روی سطوح الیاف دوبل‌ها باقی مانده است. هرچه تعداد این تراشه‌ها و اجزای سلولی بر روی سطح بیشتر باشد، سطوح شکست را به شکست تراشه‌وار نزدیک‌تر می‌کند و نشان‌دهنده افزایش مقاومت خط اتصال به روش جوشکاری است.

همان‌طور که بیان شد، اتصال جوشکاری و عضو اتصال (ممرز) مقاومت کششی دوبل بیشتری نسبت به اتصال چسب و عضو اتصال (نراد) داشته‌اند. باتوجه به این امر، در شکل ۱ اتصال جوشکاری دوبل‌ها با چوب نراد، نه تنها از اتصال دوبل‌ها، با چسب به چوب نراد بیشتر است، بلکه از اتصال دوبل‌ها با چسب به چوب ممرز نیز بیشتر است که این نشان‌دهنده‌ی تأثیر بیشتر روش اتصال (جوشکاری) نسبت به عضو اتصال (ممرز) در افزایش مقاومت کششی اتصال‌های دوبل ساخته شده می‌باشد. یعنی به جای استفاده از گونه ممرز و چسب PVA در اتصال یک سازه (صرف‌نظر از شرایط لازم دیگر در طراحی)، می‌توان از چوب نراد و روش جوشکاری دوبل استفاده کرد که علاوه بر مقاومت مشابه و لازم، به‌لحاظ استفاده بهینه و صرفه‌جویی در مواد اولیه و نیز کاهش هزینه می‌تواند جایگزین مناسبی باشد.

شکل ۱ نشان می‌دهد که مقاومت اتصال‌های جوشکاری شده در چوب ممرز با دوبل ۱۲ میلی‌متری شیاردار، ۱۲ میلی‌متری صاف، ۱۰ میلی‌متری شیاردار و ۱۰ میلی‌متری صاف نسبت به چوب نراد، به‌ترتیب برابر است با ۱/۶۲، ۱/۴۸، ۱/۵۴ و ۱/۲۲ و همچنین مقاومت اتصال‌های چسب شده در چوب ممرز با دوبل ۱۲ میلی‌متری شیاردار، ۱۲ میلی‌متری صاف، ۱۰ میلی‌متری شیاردار و ۱۰ میلی‌متری صاف نسبت به چوب نراد، به‌ترتیب برابر با ۲/۴۹، ۲/۳۴، ۲/۲۳ و ۲/۴۱ می‌باشد. این نتیجه نشان می‌دهد که نسبت مقاومت کششی اتصالات جوشکاری شده در چوب ممرز به چوب نراد در مقایسه با مقاومت کششی اتصال‌های ساخته شده با چسب در چوب ممرز به چوب نراد، کمتر می‌باشد. این بدین معنی است که روش جوشکاری (دارای بیشترین تأثیر معنی‌داری در بین متغیرها) علاوه بر افزایش مقاومت کششی نسبت به روش استفاده از چسب در اتصال‌ها، توانسته است اختلاف مقاومت کششی اتصال‌های ساخته شده با این دو گونه چوبی را نسبت به استفاده از چسب کاهش دهد. این امر می‌تواند سبب شود به جای استفاده از گونه چوبی با خواص فیزیکی و مکانیکی بیشتر، در مواقع لازم با توجه به طراحی سازه و اندازه‌ی استاندارد مقاومت‌های لازم برای اتصالات و یا مقاومت یک سازه چوبی، از روش جوشکاری و گونه چوبی با خواص فیزیکی و مکانیکی متوسط که دارای شرایط لازم و قابل استفاده در طراحی سازه باشد، استفاده نمود. این نوعی ارزش افزوده بوده و برای تولیدکننده و مصرف‌کننده به‌لحاظ اقتصادی مقرون‌به‌صرفه است و از طرفی این روش اتصال (جوشکاری چوب)، ذاتاً روشی دوست‌دار محیط زیست، سالم و بی‌خطر برای مصرف‌کننده است.

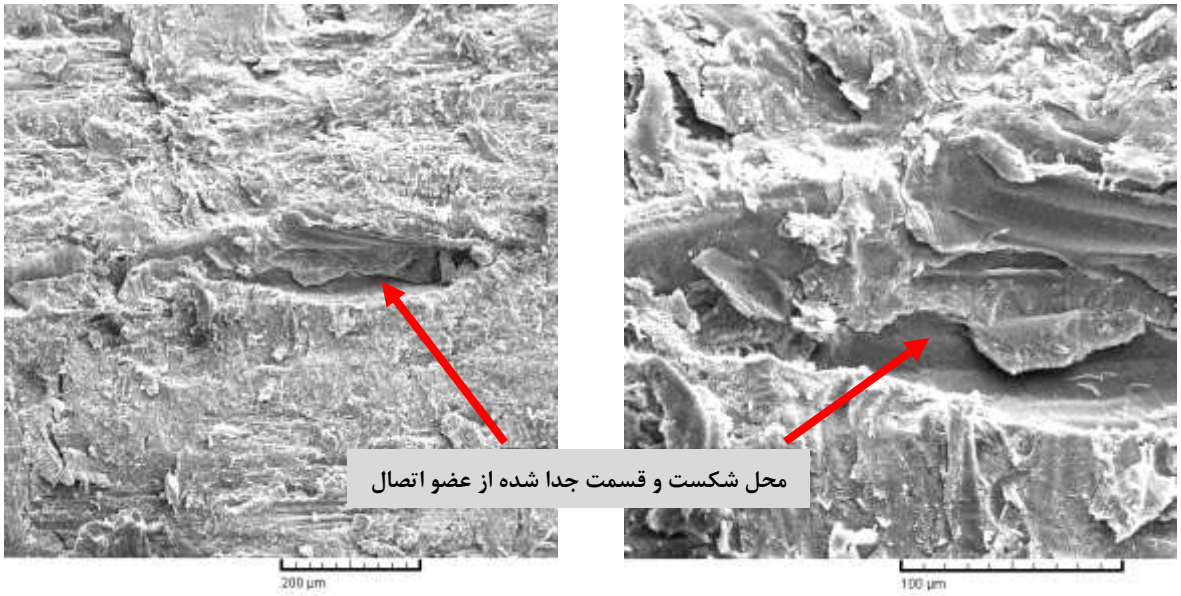
www.SID.ir

Archive of SID

همچنین شکل ۱، نشان می‌دهد که بیشترین مقاومت کششی مربوط به اتصال‌های ساخته شده توسط جوشکاری دوبل با قطر ۱۲ میلی‌مترو سطح شیاردار در چوب ممرز و کمترین مقاومت کششی نیز مربوط به نمونه‌هایی است که اتصال دوبل با قطر ۱۰ میلی‌متر و سطح صاف، با چوب نراد، توسط چسب صورت گرفته است. به عبارتی دیگر مقاومت کششی اتصال‌های جوشکاری شده دوبل ۱۲ شیاردار در چوب ممرز حدود ۶/۰۵۵ برابر اتصال‌های ساخته شده با دوبل ۱۰ صاف با چوب نراد، توسط چسب می‌باشد.

شکل ۵، تصویر میکروسکوپ الکترونی روبشی از محل شکست عضو اتصال در اتصال جوشکاری شده را نشان می‌دهد. بررسی این تصاویر نشان داد (قسمتی که با فلش در تصویر مشخص شده است) که بخشی از عضو اتصال در هنگام شکست جدا شده است، در واقع شکست در محل اتصال رخ نداده بلکه ناحیه جوشکاری شده‌ی بین دوبل و عضو اتصال مقاومت بیشتر از اعضای چوبی را طی بارگذاری کششی از خود نشان داده‌اند و با جوشکاری تمرکز تنش به اطراف محل اتصال انتقال یافته است.

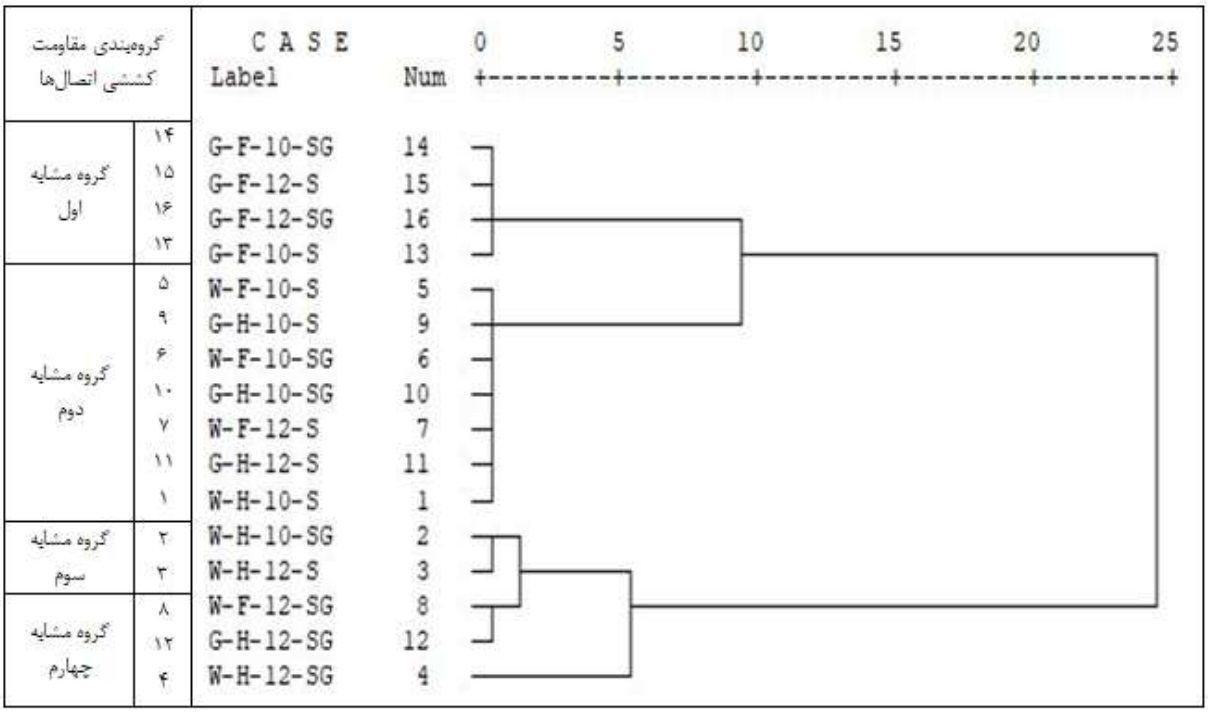
شکل ۶، آنالیز خوشه‌ای ۱۶ گروه بر مبنای مقاومت کششی اتصال‌های دوبل جوشکاری و چسب شده را نشان می‌دهد و همان‌طور که ملاحظه می‌شود، گروه‌های اول تا چهارم در فاصله کمتری یا تشابه بیشتری با هم گروه‌بندی شده‌اند.



شکل ۵- تصویر میکروسکوپ الکترونی روبشی از محل شکست عضو و دوبل در اتصال جوشکاری شده

www.SID.ir

Archive of SID



شکل ۶- آنالیز خوشه‌ای ۱۶ گروه بر مبنای مقاومت کششی اتصال‌های دوبل جوشکاری و چسب شده

(W): جوشکاری، (G): چسب، (H): ممرز،(F): نراد، (12): (قطر دوبل)، 10: (قطر دوبل)، (S): سطح صاف، (SG): سطح شیاردار.

نتیجه‌گیری

در پژوهش حاضر، بررسی عملکرد و پایش شکست در اتصال دوبل چوبی جوشکاری شده با کمک ریزنگارهای میکروسکوپ الکترونی روبشی انجام و نتایج ذیل حاصل شد:

- بررسی تصویر میکروسکوپ الکترونی روبشی از محل شکست عضو اتصال در اتصال جوشکاری شده نشان داد که بخشی از عضو اتصال در هنگام شکست جدا شده است، در واقع شکست در محل اتصال رخ نداده بلکه ناحیه جوشکاری شده‌ی بین دوبل و عضو اتصال مقاومت بیشتر از اعضای چوبی را طی بارگذاری کششی از خود نشان داده‌اند و با جوشکاری تمرکز تنش به اطراف محل اتصال انتقال یافته است.

- بررسی تصویر حاصل از ریزنگار الکترونی نشان داد که در دوبل‌های با سطح صاف نه‌تنها باقی‌مانده اتصال خط جوشکاری روی دوبل باقی نمانده است، بلکه به دلیل تحمل بار توسط خود دوبل و ضعیف بودن اتصال، سطح دوبل دچار ریزترک‌ها شده است؛ درحالی‌که در دوبل‌های شیاردار، نه تنها سطوح دوبل سالم باقی‌مانده است، بلکه قسمتی از اجزای خط جوشکاری بر روی دوبل‌ها باقی مانده است.

- مقاومت کششی اتصال‌های دوبل جوشکاری شده بیشتر از اتصال‌های ساخته شده با چسب PVA بود؛ به‌طوری‌که شکست در عضو اتصال رخ داد و نه در محل یا خط اتصال جوشکاری شده.

- در هر دو متغیر روش اتصال و اعضای اتصال،استفاده از دوبل با سطح شیاردار مقاومت کششی بیشتری نسبت به دوبل با سطح صاف داشت.

- در چوب نراد مقاومت کششی اتصال جوشکاری شده با استفاده از دوبل ۱۰ میلی‌متری با سطح صاف در مقایسه با اتصال ساخته شده از دوبل ۱۲ میلی‌متری با سطح شیاردار به کمک چسب PVA بیشتر بود. این نتیجه علاوه بر اینکه منجر به تولید اتصالی سریع و دوست‌دار محیط زیست (به روش جوشکاری) می‌شود، همچنین با توجه به نتیجه مقاومت کششی بیشتر به‌دست آمده در هنگام استفاده از دوبل با قطر کمتر و سطح صاف در مقایسه با قطر بیشتر و سطح شیاردار، منجر به استفاده‌ی بهینه، صرفه‌جویی و کاهش هزینه تهیه مواد اولیه می‌شود.

www.SID.ir

Archive of SID

- مقاومت کششی اتصال‌های جوشکاری شده در چوب نراد، در مقایسه با اتصال‌های ساخته شده به کمک چسب در چوب ممرز بیشتر بود، که این مهم نشان‌دهنده‌ی تأثیر بیشتر روش اتصال (جوشکاری) نسبت به عضو اتصال (ممرز) در افزایش مقاومت کششی اتصال‌های ساخته شده می‌باشد. به‌عبارتی دیگر در ساخت یک اتصال با دوبل چوبی به جای صرف هزینه بیشتر به‌منظور تهیه هزینه گونه ممرز و چسب PVA، می‌توان از گونه‌ی نراد و روش اتصال جوشکاری استفاده نمود.

- نسبت مقاومت کششی اتصالات جوشکاری شده در چوب ممرز به چوب نراد در مقایسه با مقاومت کششی اتصال‌های ساخته شده با چسب در چوب ممرز به چوب نراد، کمتر بود. این یعنی روش جوشکاری علاوه بر افزایش مقاومت کششی نسبت به روش استفاده از چسب در اتصال‌ها، توانسته است اختلاف مقاومت کششی اتصال‌های ساخته شده با این دو گونه چوبی را نسبت به استفاده از چسب کاهش دهد. در نتیجه می‌توان گفت در طراحی یک سازه با توجه به شرایط و اندازه استانداردهای لازم، به جای استفاده از گونه چوبی با خواص فیزیکی و مکانیکی بیشتر از حد لازم، می‌توان از روش جوشکاری دوبل در گونه چوبی با خواص فیزیکی و مکانیکی متوسط و مناسب استفاده نمود، که این امر به‌لحاظ اقتصادی مقرون به‌صرفه‌تر می‌باشد.

- بیشترین مقاومت کششی در اتصال‌های ساخته شده توسط جوشکاری دوبل با قطر ۱۲ میلی‌متر و سطح شیاردار در چوب ممرز و کمترین مقاومت کششی نیز در اتصال‌های دوبل با قطر ۱۰ میلی‌متر و سطح صاف، با چوب نراد، توسط چسب به‌دست آمد.

سپاسگزاری

این پژوهش با حمایت مالی دانشگاه تربیت دبیر شهید رجایی طبق قرارداد شماره ۳۲۳۵۱ مورخ ۱۳۹۵/۱۲/۰۳ انجام گردیده است. لذا بدین‌وسیله از همکاری و حمایت صورت گرفته سپاسگزاری می‌گردد.

منابع

[1] Eckelman, C.A., 2003. Textbook of product engineering and strength design of furniture. West Lafayette (IN): Purdue University Press.

[2] Suthoff, B. and Kutzer, H., 1997. J.Offenlegungsschrift DE 197 46 782 A 1. Deutsches Patent und Markenamt.

[3] Kanazawa, F., Pizzi, A., Properzi, M., Delmotte, L. and Pichelin, F., 2005. Parameters influencing wood-dowel welding by high-speed rotation. Journal of Adhesion Science and Technology, 19(12): 1025-1038.

[4] Stamm, B., Natterer, J. and Navi, P., 2005. Joining of wood layers by friction welding. Journal of Adhesion Science and Technology, 19(13-14): 1129-1139.

[5] Omrani, P., Masson, E., pizzi, A. and Mansouri, H.R., 2008a. Emission of gases and degradation volatiles from polymeric wood constituents in friction welding of wood dowels. Polymer Degradation and Stability, 93(4): 794-799.

[6] Dumitraşcu, R.E. and Bădescu, LAM., 2013. Contribuţii teoretice şi experimentale la biofizica unor structuri inovative realizate prin sudarea lemnului. Grant Posdru-134378, Braşov- Romania.

[7] Hahn, B., 2014. Friction welding of wood - A fast, adhesive-free bonding technology for prefabricated elements in timber construction. École polytechnique fédérale de Lausanne.

[8] Pizzi, A., Leban, J.M., Kanazawa, F., Properzi, M. and Pichelin, F., 2004.Wood dowel bonding by high-speed rotation welding. Journal of Adhesion Science and Technology, 18(11): 1263-1278.

www.SID.ir

Archive of SID

[9] Leban, J.M. and Pizzi, A., 2005. Wood welding: A challenging alternative to conventional wood gluing, Scandinavian Journal of Forest Research, 20(6): 534-538.

[10] Omrani, P., Bocquet, J., pizzi, A., Leban, J. and Mansouri, H.R., 2007. Zig-zag rotational dowel welding for exterior wood joints. Journal of Adhesion Science and Technology, 21(10): 923-933.

[11] Omrani, P., Mansouri, H.R. and pizzi, A., 2008b. Weather exposure durability of welded dowel joints. Holz Roh Werkstoff, 66(2): 161-162.

[12] Renaud, A., 2009. Minimalist Z chair assembly by rotational dowel welding. European Journal of Wood and Wood Products, 67(1): 111-112.

[13] Belleville, B., Stevanovic, T., Cloutier, A., Pizzi, A., Prado, M., Erakovic, S., Diouf, P.N. and Royer, M., 2013. An investigation of thermochemical changes in Canadian hardwood species during wood welding. European Journal of Wood and Wood Products, 71(2): 245-257.

[14] Somchai, V., 1989. Strength of tenon and dowel in teak (Tectona grandis L.f.) Bangkok, 106p.

[15] Meier, E., 2015. WOOD! Identifying and Using Hundreds of Woods Worldwide. The Wood Database, 272p.

[16] European Standard EN 326-1, 1993. Wood based panels, Sampling, cutting and inspection. Sampling and cutting of test pieces and expression of test results.

[17] European Standard EN 319, 1996. Wood based panels, determination of tensile strength perpendicular to plane of the board. European Standardization Committee, Brussell.

[18] Pizzi, A., Despres, A., Mansouri, H.R., Leban, J.M. and Rigolet, S., 2006. Wood joints by through-dowel rotation welding: microstructure, 13C-NMR and water resistance. Journal of Adhesion Science and Technology, 20(5): 427-436.

[19] O'Loinsigh, C., Oudjene, M., Shotton, E., Pizzi, A. and Fanning, P., 2011. Mechanical behavior and 3D stress analysis of multi-layered wooden beams made with welded-through wood dowels. Journal Composite Structures, 94(2): 313-321.

[20] Sun, Y., Royer, M., Diouf, P.N. and Stevanovic, T., 2010. Chemical Changes Induced by High-Speed Rotation Welding of Wood - Application to Two Canadian Hardwood Species. Journal of Adhesion Science and Technology, 24(8-10): 1383-1400.

[21] Pizzi, A., Properzi, M., Leban, J.M., Zanetti, M. and Pichelin, F., 2003. Mechanically- induced wood welding. Maderas, Cienc. Tecnol, 5(2): 101-106.

[22] Kelley, S.S., Rials, T.G. and Glasser, W.G., 1987. Relaxation behaviour of the amorphous components of wood. J. Mater. Sci. 22: 617-624.

[23] Gfeller, B., Pizzi, A., Zanetti, M., Properzi, M., Pichelin, F., Lehmann, M. and Delmotte, L., 2004. Solid wood joints by in situ welding of structural wood constituents. Holz forschung 58(1): 45-52.

[24] Belleville, B., Ozarska, B. and Pizzi, A., 2016. Assessing the potential of wood welding for Australian eucalypts and tropical species. European Journal of Wood and Wood Products, 74: 753-757.

[25] Župčić, I., Vlaović, Z., Domljan, D. and Grbac, I., 2014. Influence of Various Wood Species and Cross-Sections on Strength of a Dowel Welding Joint. DRVNA INDUSTRIJA, 65(2): 121-127.

[26] Said, A., Ashaari, H., Roslan, A. and Hilmi, M., 1993. Withdrawal and bending strength of dowel from three Malasian timbers. Journal of tropical forest science, 6(1): 74-80.

www.SID.ir

Archive of SID

Investigation of performance and fracture monitoring of dowel-welded joint by micrographs of scanning electron microscopy

Abstract

The aim of this study is to investigate the performance and fracture monitoring of dowel-welded joints by micrographs of scanning electron microscopy (SEM). In this regard, joints with hornbeam (*Carpinus betulus*) and fir (*Abies alba*) members were constructed by using hornbeam smooth and grooved dowels with diameter of 10 and 12 mm. The joint members were cut according to EN 326-1 standard and after assembling, the joints were subjected to the tensile test according with EN 319 standard. The results showed that effects of independent variables on tensile strength was significant. The investigation of the scanning electron microscope images from the fracture zone of the welded joint member demonstrated that not only the fracture at the joint zone was not occurred, but also the welded area between the dowel and the joint member exhibited greater strength in comparison with wooden members during tensile loading. Also, the investigation of the image obtained from the SEM showed that the components of the welding line did not remain on the dowels with smooth surface, and the dowel surface was also affected by micro cracks, but the surfaces of grooved dowels were sound and part of the welding line was observed on the dowels. According to the results of this study, compared to conventional adhesives, using of welding in making joints with small diameter and smooth dowel, not only provides a joint with the proper structural performance, but also it provides optimum utilization of wood in making joint. This leads to raw materials savings, cost reduction of raw materials preparation and reduction of jointing time which altogether cause to reduce production costs.

Keywords: wood welding, dowel joint, tensile strength, polyvinyl acetate.

P. Omrani[1*]

[1] Assistant Prof., Wood science and technology department, The faculty of civil engineering, Shahid Rajaee Teacher Training university, Tehran, Iran

Corresponding author:
pantea.omrani@gmail.com

Received: 2019/05/12
Accepted: 2019/07/15

www.SID.ir