

اثر سرعت بسته شدن پرس بر افت تنش و بازگشت فشردگی چوب فشرده توسکا

چکیده

یکی از روش‌های غلبه بر بازگشت فشردگی در چوب‌های فشرده، کاهش سرعت بسته شدن پرس است که به آزادسازی تنش‌های داخلی حین فشرده‌سازی می‌انجامد. در تحقیق حاضر اثر سرعت بسته شدن پرس (در سه سطح ۰/۲، ۰/۴ و ۰/۶ میلی‌متر بر دقیقه) در سطح فشردگی ثابت ۴۵ درصد، بر رفتار افت تنش و بازگشت فشردگی چوب توسکا مورد بررسی قرار گرفت. نتایج نشان داد با افزایش سرعت بسته شدن پرس، مقدار تنش ایجاد شده در چوب‌ها افزایش یافت و علت این امر به شکست پیوندهای کووالانسی هیدروژنی و آزادسازی تنش در سرعت پرس پایین‌تر نسبت داده شد که این امر به کاهش بازگشت فشردگی انجامید. دو مرحله آزادسازی تنش در منحنی‌های افت تنش مشاهده گردید. در مرحله اول، نرخ آزادسازی تنش بالا بود که به لغزش بین مولکول‌های چوبی و شکست پیوندهای هیدروژنی بین مولکولی نسبت داده شد. در مرحله دوم، منحنی افت تنش تقریباً مسطح گردید که نشان‌دهنده کاهش نرخ آزادسازی تنش می‌باشد. نتایج برهم‌نهی زمان-سرعت بسته شدن پرس، نشان داد که منحنی مرجع قادر به پیش‌بینی رفتار افت تنش تا تقریباً ۳۸۰ ساعت (۳۸۰ برابر زمان اصلی آزمون) می‌باشد. از آنجایی که تنها با انتقال به صورت افقی، منحنی مرجع صافی حاصل نگردید و به انتقال در جهت عمودی نیز نیاز بود، می‌توان اظهار داشت با توجه به دما و رطوبت بالای چوب‌ها حین فشردگی، ماده دارای رفتار ترمورئولوژیکی پیچیده می‌باشد. با افزایش سرعت بسته شدن پرس از ۰/۲ تا ۰/۶ میلی‌متر بر دقیقه، مقدار بازگشت فشردگی تا ۲۰ درصد افزایش یافت. همچنین یک رابطه خطی بین تنش باقیمانده پس از افت تنش یک‌ساعته و میزان بازگشت فشردگی حاصل گردید.

واژگان کلیدی: بازگشت فشردگی، سرعت بسته شدن پرس، برهم‌نهی زمان-سرعت بارگذاری، فشرده‌سازی.

فروغ دستوریان^{۱*}

رضا شعبانی^۲

رضا غفاری^۳

سیدمحمدحسین یحیایی^۴

مصطفی سام‌دلیری^۵

^۱ استادیار، گروه مهندسی چوب و فرآورده‌های سلولزی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری

^۲ دانشجوی کارشناسی، گروه مهندسی چوب و فرآورده‌های سلولزی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری

^۳ دانشجوی کارشناسی ارشد، گروه مهندسی چوب و فرآورده‌های سلولزی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری

^۴ دانشجوی کارشناسی گروه مهندسی چوب و فرآورده‌های سلولزی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، ساری، ایران

^۵ دانشجوی کارشناسی ارشد، گروه مهندسی چوب و فرآورده‌های سلولزی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، ساری، ایران

مسئول مکاتبات:

f.dastoorian@sanru.ac.ir

تاریخ دریافت: ۱۳۹۸/۰۲/۲۲

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۸/۰۵/۰۲

مورد استفاده قرار می‌گیرد. برای استفاده از چوب در مصارف مذکور، مقاومت‌های مکانیکی بالایی نیاز است. از آنجایی که دانسیته نقش کلیدی در افزایش مقاومت چوب‌ها دارد، می‌توان با فشرده‌سازی در جهت عمود بر لیاف، مطلوبیت چوب گونه‌های تند رشد با دانسیته پایین

مقدمه

چوب علاوه بر ویژگی‌های ظاهری و زیبایی، از مقاومت ویژه بالایی نسبت به سایر مصالح ساختمانی برخوردار است و به همین دلیل به‌طور گسترده در مصارفی مانند ساختمان‌های چوبی، مبلمان، پانل‌های داخلی و کفپوش

[۸، ۱۰] و برقراری پیوندهای جدید در وضعیت فشرده [۱۱] و ایجاد فضای خالی اضافی برای بازآرایی می‌گردد [۱۰]. علی‌رغم موفقیت چشمگیر اصلاح گرمایی در حذف بازگشت فشردگی، این روش به دلیل ایجاد تغییر رنگ، ظاهری سوخته و نیز ایجاد ترک به‌ویژه در چوب‌های با ابعاد بزرگ، و نیز افت خواص مقاومتی (مقاومت خمشی و مقاومت در برابر سایش)، در مقیاس تجاری توسعه نیافت. بنابراین یافتن روشی برای کاهش بازگشت فنی چوب فشرده، بدون تغییر رنگ و افت خواص مکانیکی و مسائل زیست‌محیطی از اهمیت بالایی برخوردار است.

آزادسازی تنش‌های داخلی حین فشرده‌سازی، متأثر از ماهیت ویسکوالاستیک چوب است. آزادسازی تنش طی زمان در چوب تحت کرنش ثابت به پدیده افت تنش موسوم است [۱۲]. تنش ناشی از فشرده‌سازی یک ماده در محدوده الاستیک، سبب بازگشت فشردگی می‌شود. چنانچه فشردگی برای مدتی ثابت نگاه داشته شود، تنش از طریق گسست پیوندهای اولیه و ایجاد پیوندهای جدید آزاد می‌شود که این امر به تثبیت تغییر شکل منتهی می‌شود.

نرخ آزادسازی تنش به سرعت شکستن پیوندها بستگی دارد. در محدوده زمانی طولانی‌تر، تغییر محسوس آرایش قطعات زنجیرهای پلیمری انجام می‌گیرد. زنجیرهای پلیمری برای این‌که از کرنش‌های موضعی ناشی از تنش رها شوند، مجدداً آرایش می‌یابند [۱۳].

Rautkari و همکاران (۲۰۱۱) در بررسی تأثیر سرعت بسته شدن پرس (۱ و ۱۰ میلی‌متر بر دقیقه) و مدت زمان پرس (۱ و ۱۰ دقیقه) را بر ریزساختار و پروفیل دانسیته چوب فشرده کاج اسکاتلندی دریافتند که در سرعت بسته شدن پرس ۱۰ میلی‌متر بر دقیقه و مدت زمان ۱ دقیقه، فشرده‌سازی بیشتر در نزدیک سطح رخ می‌دهد و با کاهش سرعت پرس، پیک دانسیته در قسمت‌های میانی‌تر چوب فشرده مشاهده گردید. آن‌ها علت این امر را به انتقال بیشتر گرما به قسمت‌های میانی چوب و متعاقباً تغییر شکل ویسکوالاستیک بیشتر و علاوه بر این علت را به افت تنش بیشتر در سرعت کم پرس نسبت دادند. در زمان پرس طولانی‌تر به دلیل انتقال حرارت بیشتر به قسمت‌های میانی، پیک فشردگی در عمق بیشتری از

را برای مصارف متعدد بهبود بخشید [۱]. با فشرده‌سازی در مقادیر کم، می‌توان سختی را به میزان قابل ملاحظه ای افزایش داد [۲-۳].

عیب اصلی چوب فشرده، بازگشت فشردگی آن در شرایط مرطوب به دو صورت قابل بازگشت و غیرقابل بازگشت می‌باشد. نوع قابل بازگشت به ماهیت آب‌دوست چوب و نوع غیرقابل بازگشت به حافظه شکلی یا بازگشت فنی ناشی از ماهیت ویسکوالاستیک چوب نسبت داده می‌شود [۴].

پیوندهای کووالانسی بین همی‌سلولز و لیگنین و پیوندهای هیدروژنی بین همی‌سلولز و سلولز و همچنین بین واحدهای سلولز (پیوندهای اولیه)، از آزادی حرکت زنجیرهای پلیمری جلوگیری می‌کنند. حین فشرده‌سازی زنجیرهای پلیمری دچار بازآرایی شده و پیوندهای هیدروژنی جدید (پیوندهای ثانویه) بین زنجیرهای پلیمری، برقرار می‌گردد، اما پیوندهای اولیه، یک حافظه رئولوژیکی در چوب ایجاد می‌کنند که مرتبط با شکل اولیه آن است. زمانی که چوب فشرده در معرض رطوبت یا گرما قرار گیرد، پیوندهای هیدروژنی ثانویه گسسته شده و پیوندهای اولیه، چوب را دوباره به شکل اولیه برمی‌گردانند [۱]. چنانچه حین فشردگی، پیوند بین میکروفیبریل‌ها و ماده زمینه شکسته شود، تنش‌های داخلی آزاد شده و بازگشت فنی کاهش می‌یابد و موجب تثبیت دائمی فشردگی می‌شود [۵].

استفاده از روش‌های اصلاح شیمیایی با هدف حذف بازگشت فشردگی به‌واسطه برقراری اتصالات عرضی بین اجزای دیواره سلولی و یا تغییر ماهیت آب‌دوست چوب توسط محققان مختلف بررسی شده است [۶-۸]. اما به دلیل محدودیت‌هایی از جمله تغییر رنگ چوب، مسائل زیست‌محیطی و مسائل اقتصادی چندان مورد استقبال قرار نگرفت.

اصلاح گرمایی نیز به دلیل تخریب همی‌سلولز و بخش آمورف سلولز موجب کاهش ماهیت آب‌دوستی چوب و کاهش بازگشت فنی می‌شود [۷]. همچنین اصلاح گرمایی پس از فشرده‌سازی، با تخریب پلیمرهای چوبی به‌ویژه همی‌سلولز، که میکروفیبریل‌های سلولزی را به لیگنین پیوند می‌دهند، سبب آزادسازی تنش‌های داخلی

رود با کاهش سرعت بسته شدن پرس بتوان بر پیوندهای اولیه فائق آمد و تنش‌ها را در حین فشردگی آزاد ساخت.

مواد و روش‌ها

در تحقیق حاضر از چوب توسکا با دانسیته g/cm^3 ۰/۴۹ استفاده گردید. قطعات چوب توسکا به ابعاد mm^3 $۳۰ \times ۵۰ \times ۵۰$ (طولی «مماسی» شعاعی) برش شده و به مدت یک ساعت در اتوکلاو آزمایشگاهی در دمای ۱۳۰ درجه سانتی‌گراد بخارزنی و نرم شدند. سپس نمونه‌ها برای حفظ گرما در ورق‌های نازک از جنس پلی‌اتیلن پیچانده شدند و بلافاصله برای حصول فشردگی ۴۵ درصد در جهت شعاعی توسط دستگاه آزمون خواص مکانیکی با سه سطح سرعت بارگذاری ۰/۲، ۰/۴ و ۰/۶ میلی‌متر بر دقیقه فشرده شدند. هر سرعت بارگذاری در سه تکرار اعمال گردید. پس از حصول فشردگی موردنظر، افت بار توسط نرم‌افزار جمع-آوری داده به مدت یک ساعت ثبت گردید. نمونه‌ها به مدت ۲۴ ساعت در وضعیت فشرده قرار گرفتند تا به دمای محیط برسند و از بازگشت آنی فشردگی جلوگیری شود. جهت انجام آزمون بازگشت فشردگی، نمونه‌ها به مدت ۷ روز در آب ۷۰ درجه سانتیگراد در آون آزمایشگاهی به حالت غوطه‌ور قرار گرفتند و بازگشت فشردگی مطابق رابطه (۱) محاسبه گردید [۱۰، ۱۴]. برای هر سطح بارگذاری سه تکرار در نظر گرفته شد.

$$Rs = \frac{T_r - T_c}{T_o - T_c} \times 100(\%), T_r \geq T_c \quad \text{and} \quad T_o \geq T_c \quad (1)$$

که T_r ضخامت خشک نمونه‌ها بعد از غوطه‌وری، T_c ضخامت خشک بعد از فشردگی و T_o ضخامت خشک قبل از فشردگی است.

برای برهم‌نهی زمان-نرخ بارگذاری از نرم‌افزار RSI Orchehtrator استفاده گردید. سرعت بارگذاری ۰/۶ میلی‌متر بر دقیقه به‌عنوان سرعت مرجع انتخاب شد و منحنی‌های افت تنش روی این منحنی انتقال داده شدند. تجزیه و تحلیل آماری داده‌ها توسط نرم‌افزار SPSS انجام شد و از آزمون تجزیه واریانس یک طرفه برای بررسی اختلاف بین میانگین‌ها و همچنین از آزمون چند دامنه‌ای دانکن برای گروه‌بندی میانگین‌ها استفاده شد ($P < 0.05$).

چوب ایجاد شد. نتایج مطالعات میکروسکوپی نیز با نتایج حاصل از پروفیل دانسیته همخوانی داشت ضمن اینکه عمدتاً فشردگی در چوب آغاز رخ داده بود [۱۴].

Laine و همکاران (۲۰۱۳) تأثیر دمای پرس (۱۵۰ و ۲۰۰ درجه سانتی‌گراد) و سرعت بسته شدن پرس (۱ و ۱۰ میلی‌متر بر دقیقه) را بر سختی چوب فشرده‌شده کاج اسکاتلندی (میزان فشردگی ۲۵ درصد) را بررسی کردند [۱۵]. زمان پرس در این مطالعه ثابت (۱۰ دقیقه) در نظر گرفته شد. آن‌ها دریافتند برای رسیدن به سختی و فشردگی بیشتر در سطح، زمان بسته شدن پرس کوتاه‌تر و دمای پرس پایین‌تر ارجحیت دارد، هرچند در این شرایط خطر شکست دیواره سلولی وجود دارد. این محققان همچنین بازگشت الاستیک پس از حذف بار در آزمون سختی را نیز اندازه‌گیری کردند و به این نتیجه رسیدند که بیشترین میزان بازگشت الاستیک مربوط به نمونه فشرده‌شده در سرعت پرس ۱۰ میلی‌متر بر دقیقه و دمای ۱۵۰ درجه سانتی‌گراد بود.

بر اساس مطالعات انجام شده، تاکنون اثر سرعت بسته شدن پرس بر رفتار افت تنش و بازگشت فشردگی چوب فشرده بررسی نشده است. بنابراین در تحقیق حاضر اثر سرعت بسته شدن پرس (در سه سطح ۰/۲، ۰/۴ و ۰/۶ میلی‌متر بر دقیقه) در سطح فشردگی ثابت ۴۵ درصد، بر رفتار افت تنش و بازگشت فشردگی چوب توسکا بررسی گردید.

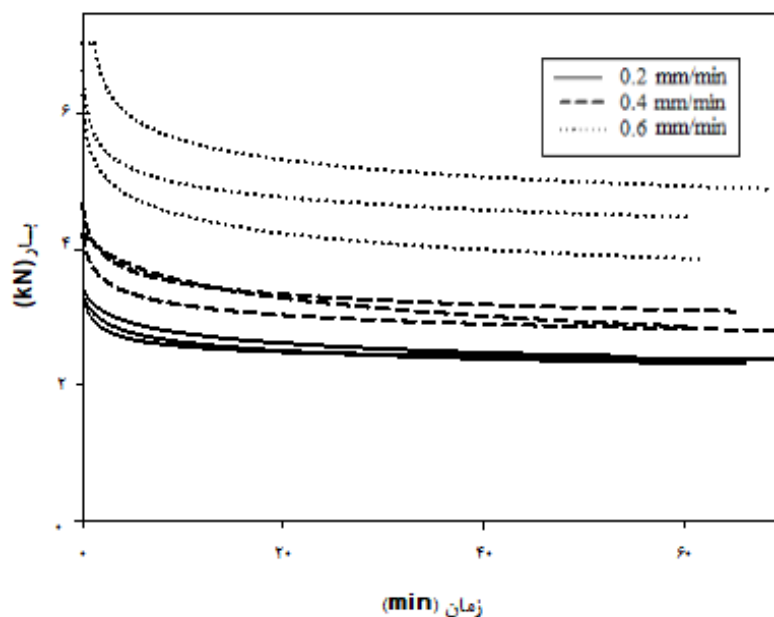
مشکل اساسی در مطالعه رفتار افت تنش مواد ویسکوالاستیک، نیاز به انجام آزمون‌های طولانی‌مدت است. بنابراین در مطالعه حاضر افت تنش نمونه‌های فشرده به مدت یک ساعت اندازه‌گیری شد و با استفاده از اصل برهم‌نهی زمان-سرعت بارگذاری، رفتار طولانی‌مدت افت تنش مدل‌سازی گردید. تاکنون، از اصل برهم‌نهی زمان-دما و یا زمان-تنش در پیش‌بینی رفتار خزشی مواد ویسکوالاستیک [۱۶] و پیش‌بینی رفتار افت تنش چوب و مواد مرکب چوبی [۱۷] استفاده شده است. تنها یک گزارش در زمینه استفاده از این روش در پیش‌بینی رفتار افت تنش مواد پلیمری متأثر از سرعت بارگذاری یافت شد [۱۸]. نتایج تحقیق حاضر می‌تواند در کمی کردن فرآیند پرس گرم و برآورد زمان بسته شدن پرس با هدف به حداقل رساندن بازگشت فشردگی مفید باشد. انتظار می-

نتایج و بحث

شکل ۱ منحنی‌های افت تنش نمونه‌های چوبی بخارزنی و فشرده‌شده در سه سطح سرعت بارگذاری برای سه تکرار در هر سطح را نشان می‌دهد. با افزایش سرعت بارگذاری، مقدار تنش ایجادشده (تنش اولیه) در چوب‌ها افزایش یافت. فشرده کردن چوب در زمان کوتاه، موجب می‌شود به دلیل عدم زمان کافی برای تغییر فواصل بین مولکولی، انرژی زیادی در ساختار ذخیره شود که به ایجاد تنش زیادی منتهی می‌گردد [۱۳]. همچنین با افزایش سرعت بارگذاری، مقدار تنش باقیمانده پس از یک ساعت افت تنش، افزایش یافت. در توجیه علت این پدیده می‌توان اظهار داشت که سرعت بارگذاری پایین‌تر یا به عبارتی زمان پرس طولانی‌تر، منجر به شکست پیوندهای

کووالانسی هیدروژنی و آزادسازی تنش می‌شود. از سوی دیگر در زمان پرس کوتاه‌تر، آزادسازی تنش کمتر بوده و تغییر شکل عمدتاً الاستیک خواهد بود. انرژی الاستیک ذخیره‌شده در دیواره سلولی پس از حذف بار تبدیل به انرژی جنبشی شده و موجب بازگشت فوری خواهد شد.

دو مرحله آزادسازی تنش در منحنی‌های افت تنش قابل مشاهده است. در مرحله اول افت تنش، تنش زیادی آزاد می‌شود که عمدتاً به دلیل لغزش بین مولکول‌های چوبی و شکست پیوندهای هیدروژنی بین مولکولی رخ می‌دهد. در مرحله دوم، منحنی افت تنش تقریباً مسطح شده و پیوندهای هیدروژنی جدید بین مولکول‌های چوب برقرار می‌شود.



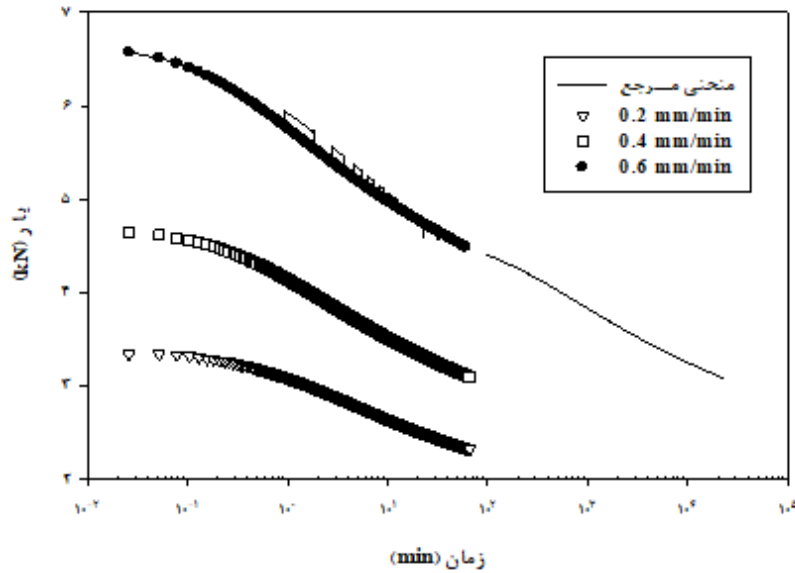
شکل ۱- منحنی‌های افت تنش چوب فشرده در سه سطح سرعت بارگذاری

رفتار ترمورئولوژیکی پیچیده می‌باشند، علاوه بر انتقال افقی، انتقال عمودی نیز برای حصول منحنی مرجع صاف نیاز است؛ انتقال عمودی اثر انبساط گرمایی و رطوبتی را جبران می‌کند [۱۹]. شکل ۲ منحنی مرجع حاصل از برهم‌نهی را نشان می‌دهد. مشاهده می‌شود که منحنی مرجع قادر به پیش‌بینی رفتار افت تنش تا تقریباً ۳۸۰ ساعت (۳۸۰ برابر زمان اصلی آزمون) می‌باشد. ضرایب انتقال حاصل از برهم‌نهی به صورت تابعی از سرعت بسته شدن پرس در شکل ۳ نشان داده شده است. با توجه به

برای پیش‌بینی رفتار افت تنش طولانی‌مدت، سرعت بارگذاری ۰/۶ به عنوان مبنا در نظر گرفته شد و منحنی-های افت تنش روی این منحنی به صورت دوبعدی (افقی و عمودی) روی محور لگاریتمی زمان انتقال داده شدند. از آنجایی که تنها با انتقال به صورت افقی، منحنی مرجع خوب و صافی حاصل نگردد و به انتقال در جهت عمودی نیز نیاز بود، می‌توان نتیجه‌گیری کرد که با توجه به دما و رطوبت بالای چوب‌ها حین فشرده‌گی، ماده دارای رفتار ترمورئولوژیکی پیچیده می‌باشد. برای موادی که دارای

برازش داده شد. این رابطه تنها در بالای دمای انتقال شیشه‌ای کاربرد دارد [۱۹].

ارتباط غیرخطی بین ضرایب انتقال و سرعت بسته شدن پرس، رابطه غیرخطی WLF (رابطه ۲) برای ایجاد همبستگی بین ضرایب انتقال و سرعت بسته شدن پرس

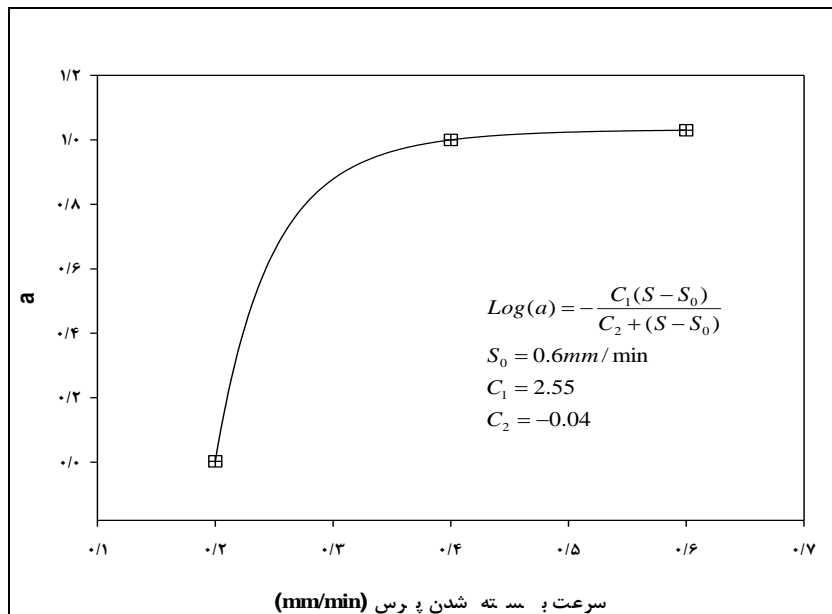


شکل ۲- منحنی افت تنش مرجع حاصل از برهم‌نهی زمان سرعت بارگذاری

ضریب انتقال افقی است. برازش بسیار عالی با ضریب تبیین بالا ($R^2=1$) حاصل گشت و پارامترهای C_1 و C_2 به ترتیب $2/55$ و $-0/04$ به دست آمد.

$$\log a = \frac{-C_1(S - S_0)}{C_2 + (S - S_0)} \quad (2)$$

که S_0 سرعت بسته شدن پرس مرجع، C_1 و C_2 ثابت‌های رابطه، و S سرعت بسته شدن پرس مورد آزمون و a

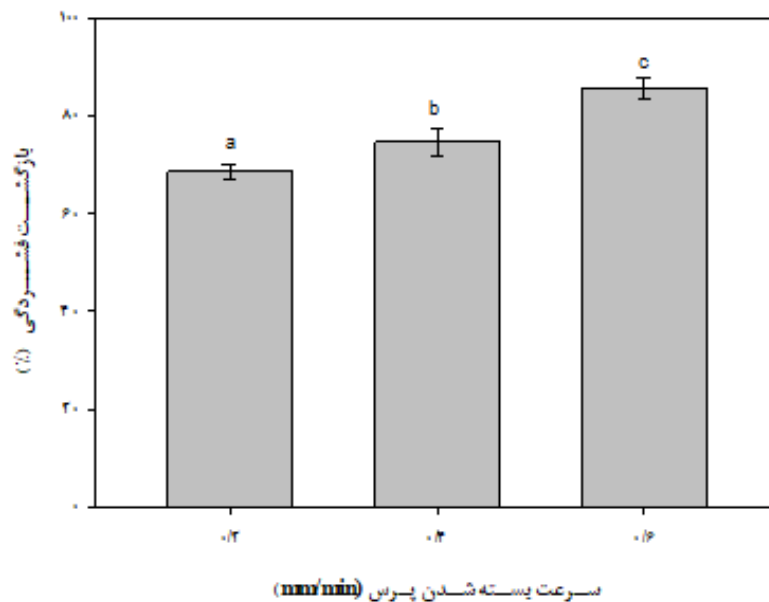


شکل ۳- ضرایب انتقال حاصل از برهم‌نهی به صورت تابعی از سرعت بسته شدن پرس

تبدیل به انرژی جنبشی شده و موجب بازگشت فنری فوری خواهد شد [۱۱].

در شکل ۵ رابطه بین تنش باقیمانده (σ_m) پس از افت تنش یک‌ساعته و بازگشت فشردگی (R_s) نشان داده شده است. مشاهده می‌شود که با افزایش سرعت بسته شدن پرس و متعاقباً افزایش تنش باقیمانده، میزان بازگشت فشردگی نیز به‌طور خطی ($R^2=0.99$) افزایش می‌یابد. در سرعت بسته شدن بالاتر پرس، نیروی فشاری بیشتری جهت حصول میزان فشردگی ثابت نیاز است که به ایجاد تنش باقیمانده بیشتر و افزایش بازگشت فشردگی منجر می‌شود. با افزایش سرعت بسته شدن پرس از mm/min به ۰/۶ mm/min، مقدار بازگشت فشردگی ۲۵ درصد افزایش یافت.

در شکل ۴ مقدار بازگشت فشردگی متأثر از سرعت بسته شدن پرس نشان داده شده است. با افزایش سرعت بسته شدن پرس مقدار بازگشت فشردگی نیز افزایش یافت. در سرعت بسته شدن ۰/۲ میلی‌متر بر دقیقه، مقدار بازگشت فشردگی، ۲۰ درصد نسبت به سرعت بسته شدن ۰/۶ میلی‌متر بر دقیقه کاهش یافت. زمان پرس طولانی‌تر منجر به شکست پیوندهای کووالانسی هیدروژنی و تشکیل پیوندهای جدید هیدروژنی و اتصالات عرضی جدید بین سلولز و همی‌سلولز شده و تغییر شکل را تثبیت می‌کند. از سوی دیگر در زمان پرس کوتاه‌تر آزادسازی تنش کمتر بوده و تغییر شکل عمدتاً الاستیک خواهد بود (هرچند تغییر شکل پلاستیک و تخریب نیز رخ خواهد داد) انرژی الاستیک ذخیره شده در دیواره سلولی پس از حذف بار

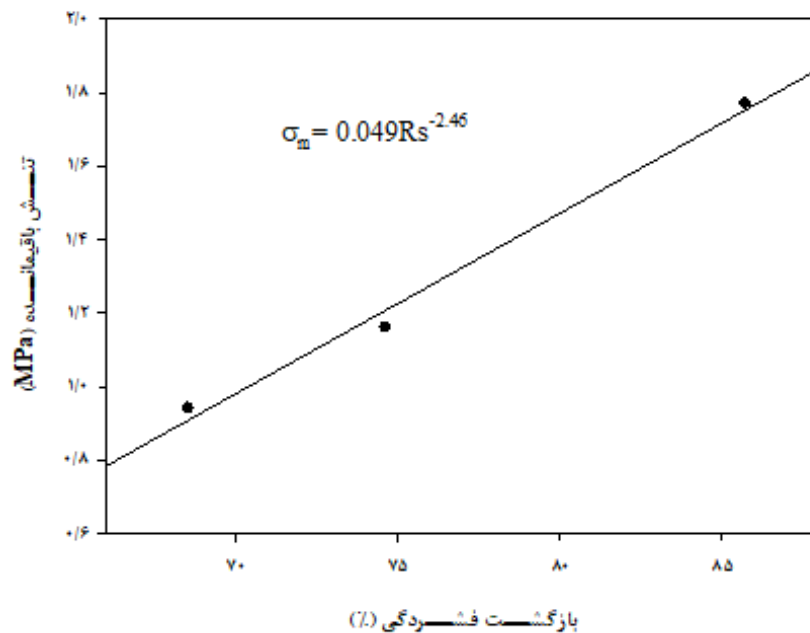


شکل ۴- مقادیر بازگشت فشردگی متأثر از سرعت بسته شدن پرس

پیوندهای کووالانسی هیدروژنی و آزادسازی تنش در سرعت پرس پایین‌تر نسبت داد. دو مرحله آزادسازی تنش در منحنی‌های افت تنش مشاهده گردید. نرخ بالای آزادسازی تنش در مرحله اول به لغزش بین مولکول‌های چوبی و شکست پیوندهای هیدروژنی بین مولکولی نسبت داده شد. در مرحله دوم، منحنی افت تنش تقریباً مسطح گردید.

نتیجه‌گیری

در تحقیق حاضر اثر سرعت بسته شدن پرس (در سه سطح ۰/۲، ۰/۴ و ۰/۶ میلی‌متر بر دقیقه) در سطح فشردگی ثابت ۴۵ درصد، بر رفتار افت تنش و بازگشت فشردگی چوب توسکا بررسی گردید و با استفاده از اصل برهم‌نهی زمان سرعت بارگذاری، رفتار طولانی‌مدت افت تنش مدل‌سازی شد. نتایج نشان داد با افزایش سرعت بسته شدن پرس، مقدار تنش ایجاد شده (تنش اولیه) در چوب‌ها افزایش یافت که علت را می‌توان به شکست



شکل ۵. مقدار تنش باقیمانده به صورت تابعی از بازگشت فشردگی

یک رابطه خطی بین تنش باقیمانده پس از افت تنش یک ساعته و میزان بازگشت فشردگی حاصل گردید. نتایج تحقیق حاضر می‌تواند در کمی کردن فرآیند پرس گرم و برآورد زمان بسته شدن پرس با هدف به حداقل رساندن بازگشت فشردگی مفید باشد. امید است در تحقیقات بعدی با غلبه بر مشکلات تکنولوژیکی (عدم امکان حرارت‌دهی حین فشردگی، محدودیت در ظرفیت اعمال بار دستگاه و عدم امکان فشردگی در سرعت‌های بالا) بتوان به نتایج گسترده‌تری در این زمینه دست یافت.

نتایج برهم‌نهی زمان-سرعت بارگذاری نشان داد که منحنی مرجع قادر به پیش‌بینی رفتار افت تنش تا تقریباً ۳۸۰ ساعت (برابر زمان اصلی آزمون) می‌باشد. از آنجایی که تنها با انتقال به صورت افقی، منحنی مرجع خوب و صافی حاصل نگردد و به انتقال در جهت عمودی نیز نیاز بود، می‌توان نتیجه‌گیری کرد که با توجه به دما و رطوبت بالای چوب‌ها حین فشردگی، ماده دارای رفتار ترمورئولوژیکی پیچیده می‌باشد. با افزایش سرعت بسته شدن پرس از ۰/۲ تا ۰/۶ میلی‌متر بر دقیقه، مقدار بازگشت فشردگی تا ۲۰ درصد افزایش یافت. همچنین

منابع

- [1] Morsing, N. and Hoffmeyer, P., 1998. Densification of wood: the influence of hygrothermal treatment on compression of beech perpendicular to grain. Dissertation, Technical university of Denmark.
- [2] Rautkari, L., Properzi, M., Pichelin, F. and Hughes, M., 2008a. An innovative thermo densification method for wooden surfaces. Proceedings of the 10th World Conference on Timber Engineering (WCTE), Miyazaki, Japan
- [3] Rautkari, L., Properzi, M., Pichelin, F. and Hughes, M., 2008b. Surface modification of wood using friction. Wood Science and Technology, 43:291-308.
- [4] Navi, P. and Sandberg, D., 2012. Thermo-hydro-mechanical wood processing, 280p. EPFL Press, Lausanne, Switzerland

- [5] Navi, P., Girardet, F., Vulliemin, P., Spycher, M. and Heger, F., 2007. Effect of post treatment parameters on densified wood set recovery. In: proceedings of the 3rd international symposium on wood machining, Lausanne, Switzerland.
- [6] Inoue, M., Aoki, T. and Egawa, G., 1992. Permanent fixation of compressive deformation of wood. Mechanism of permanent fixation, proceeding from chemical modification of lignocellulosics, Rotorura, New Zeland.
- [7] Stamm, J.A. and Seborg, M.R., 1941. Resin treated laminated, compressed wood. Technical report, Report No. 1981, Forest product laboratory, Madison, Wisconsin, 11p.
- [8] Higashihara, T., Morooka, T. and Norimoto, M., 2001 Permanent fixation of transversely compressed wood by heating and its mechanism, Mokuzai Gakkaisi/Journal of the japan wood research society, 47:205-211.
- [9] Hill, C. A. S., 2006. Wood modification- chemical, thermal and other processes, John Wiley and Sons Ltd., Chichester, UK.
- [10] Heger, F., Groux, M., Girardet, F., Welzbacher, C., Rapp, A.O. and Navi, P., 2004. Mechanical and durability performance of THM-densified wood. In: proceeding of final workshop cost Action E22, Environmental optimization of wood protection, 22-23 March 2004, Lisbon, Portugal.
- [11] Navi, P. and Heger, F., 2004. Combined densification and thermos-hydro mechanical processing of wood, MRS Bull, 29:332-336.
- [12] Cao, J., Xie, M. and Zhao, G., 2006. Tensile stress relaxation of copper-ethanolamine treated wood, Wood Science Technology, 40(5):417-426.
- [13] Alkonis, J. and MacKnight, W. J., 1983. Introduction to polymer viscoelstisity, Wiley interscience, John Wiley and sons: New York.
- [14] Rautkari, L., Laine, K., Laflin, N. and Hughes, M., 2011. Surface modification of Scot pine: the effect of process parameters on the through thickness density profile. Journal of material Science, 46(4): 4780-4786.
- [15] Laine, K., Rautkari, L. and Hughes M., 2013. The effect of process parameters on the hardness of surface densified Scot pine solid wood, European Journal of wood products, 71:13-16.
- [16] Mirzaei, B., Tajvidi, M., Falk, R.H. and Felton C., 2011. Stress relaxation behavior of lignocellulosic high density polyethylene composites, Journal of reinforced plastic and composites, 30(10): 875-881.
- [17] Zhang, Y. and Ben Jar, P.Y., 2016. Time-strain rate superposition for relaxation behavior of polyethylene pressure pipes, Polymer testing, 50: 292-296
- [18] Dastoorian, F., Tajvidi, M. and Ebrahimi, Gh., 2010. Evaluation of Time Dependent Behavior of a Wood Flour/High Density Polyethylene Composite, Journal of reinforced plastic and composites, 30(10): 875-881.
- [19] Alwis, K.G.N.C. and Burgoyne, C.J., 2006. Time temperature superposition to determine stress rupture of Aramid fibers, Applied Composite materials: 13:249-264...

Effect of press closing speed on stress relaxation and set recovery of densified alder wood

Abstract

One of methods to overcome the problem of the set recovery in densified wood is decreasing the press closing speed which leads to stress relaxation during densification. In the present study, the effect of press closing speed (at three levels of 0.2, 0.4 and 0.6 mm/min) at constant compression ratio of 45% was investigated on stress relaxation behavior and set recovery of alder wood. Results showed that with increasing press closing speed, stress created in densified wood was increased and the reason was attributed to the breakage of covalent hydrogen bond and relaxation of stress at lower press speed which led to decreasing of the set recovery. Two stages were observed in stress relaxation curves. At the first stage, the relaxation rate was high, attributed to the slippage of wood molecules and breakage of intermolecular hydrogen bonds. At the second stage, the stress relaxation curve became flat, represented the decrease of the stress relaxation rate. The Results of time-press closing time superposition showed that the master curve was able to predict the stress relaxation behavior to almost 380 hours (380 times of test time). Since a smooth master curve was not achieved by just horizontal shift and a vertical shifting was also required, it can be state that regarding high temperature and moisture content of woods, the material showed a complex thermorheological behavior. With increasing press closing speed from 0.2 to 0.6 mm/min, the set recovery value increased up to 20%. A linear relation was found between the residual stress after one hour of stress relaxation and set recovery.

Keywords: set recovery, press closing speed, time-loading rate superposition, densification.

F. Dastoorian^{1*}
R. Shaabani²
R. Ghafari³
S. M.H. Yahyaei⁴
M. Sam Daliri⁵

¹ Assistant Prof., Sari agricultural sciences and natural resources university, Department of wood and cellulosic products engineering

² B.Sc. student, Sari agricultural sciences and natural resources university, Department of wood and cellulosic products

³ B.Sc. student, Sari agricultural sciences and natural resources university, Department of wood and cellulosic products

⁴ B.Sc. student, Sari agricultural sciences and natural resources university, Department of wood and cellulosic products

⁵ M.Sc. student, Sari agricultural sciences and natural resources university, Department of wood and cellulosic products

Corresponding author:
f.dastoorian@sanru.ac.ir

Received: 2019/05/13

Accepted: 2019/07/24