

ساخت و بهینه سازی چسبهای ساختاری نیتریل - فنولی

Preparation and Optimization of Nitrile-Phenolic Structural Adhesives

مهدی باریکانی، حسین امیدیان
مرکز تحقیقات و توسعه علوم و تکنولوژی مواد پلیمری

واژه‌های کلیدی: کاغذزیت، صفحات ساندویچی، لانه زنبوری، چسبهای ساختاری، نیتریل - فنولی

چکیده

در خط چسب ورقه‌های لانه زنبوری و صفحات ساندویچی مهمترین تشها در طول فرایند ساخت و محیط کاربرد، تشهای برشی و پوستگی می‌باشند. از آنجا که یک ماده لاستیکی استحکام پوستگی و یک ماده گرماسخت استحکام برشی را به چسب می‌بخشد، پس برای این نوع اتصالات چسبهای آلیازی مرکب از این دو مورد نیاز است. از این رو، آلیازی مرکب از یک فاز لاستیکی (لاستیک نیتریل) و یک فاز گرماسخت (رزین فنولی) سنتز شد. بهینه سازی مقادیر تشهای برشی و پوستگی تابع دو پارامتر یعنی نسبت درصد رزین و لاستیک و حالت پخت می‌باشد. در نسبتهای کم از رزین به لاستیک، چسب از استحکام پوستگی زیاد برخوردار بوده و خواص آن متعادل به چسبهای تماسی است. همین اثر در حالتی زیر پخت (under cure) هم دیده می‌شود. در نسبتهای بیشتر رزین به لاستیک، استحکام برشی چسب افزایش می‌یابد و خواص چسب به چسبهای ساختاری نزدیک می‌شود. این اثر در حالتی فرابخت (over cure) هم دیده می‌شود. نتیجه آنکه در یک نسبت خاص از رزین به لاستیک و محدوده معینی از حالت پخت می‌توان مقادیر زیاد استحکام برشی را به همراه مقادیر متوسط استحکام پوستگی به دست آورد. از این نوع بهینه سازی می‌توان در بهینه نمودن اتصال ورقه‌های لانه زنبوری و اتصال رویه به مغزه در صفحات ساندویچی استفاده کرد.

نیستند. فعالیت لاستیک نیتریل به دلیل حضور مونومر غیراشباع و گروه نیتریل است از این رو به هر دو راه توان شبکه‌ای شدن را دارد. در ساختار این لاستیک، هیدروژن متصل به کربن حامل گروه نیتریل فعال است و توسط عوامل اکسنده شبکه‌ای شدن لاستیک را ممکن می‌سازد. برای دسترسی به استحکام ساختاری زیاد، استفاده از لاستیکهای حاوی ۲۵٪ آکریلونیتریل به بالا ترجیح داده می‌شود. این لاستیکها در چسب سازی به دو صورت مصرف می‌گردند. دسته‌ای پیش از انحلال باید خرد شوند و برخی دیگر به شکل مستقیم قابل مصرف‌اند. لاستیکهای دسته اول باید پس از خرد شدن، به سرعت در حلال قرار گیرند چون انحلال پذیری آنها به شدت با زمان تغییر می‌کند. لاستیکهای دسته دوم در صورت خرد شدن، چسبهایی با گرانروی کمتر به دست می‌دهند. عمل خرد کردن و روش انجام آن برگرانروی موثر است. لاستیکهای حاوی حدود ۳۸٪ آکریلونیتریل تنها در هیدروکربنهای آروماتیک، هیدروکربنهای کلردار، کتونها، استرها و نیتروپارافینها حل می‌شوند.

مقدمه

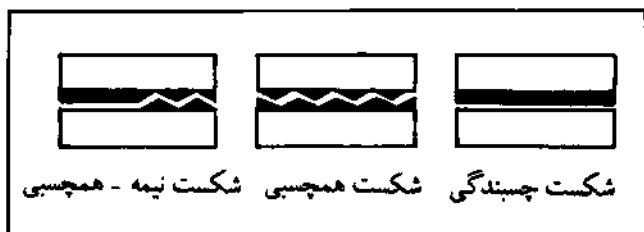
لاستیک نیتریل، کوپلیمر آکریلونیتریل و بوتادیان است. این لاستیک با مواد قطبی از جمله کاغذ و رزین فنولی بسیار سازگار است. نیتریل به طور عمده توسط فرایند امولسیون سازی ساخته می‌شود در نتیجه یکخواختی بیشتر و خواص ثابت تری دارد. نوع خاصی از این لاستیک، لاستیک نیتریل با پایانه گروههای کربوکسیل (CTBN) مایع است که دو گروه انتهایی کربوکسیل دارد و معمولاً در ترکیب با رزینهای فنولی و اپوکسی برای اصلاح شکنندگی آنها به کار می‌رود. از این نوع لاستیک بیشتر برای افزایش چسبندگی استفاده می‌شود. قابل توجه است که نیتریلهای حاوی کمتر از ۲۵٪ آکریلونیتریل برای ساخت چسب مناسب

حلالهایی که سبب تورم لاستیک می‌شوند و به سرعت آن را حل می‌کنند برای ساخت چسب مناسب‌اند. از بین حلالهای قابل مصرف، استون، متیل اتیل کتون، کلروفرم، اتیلن دی کلرید، اتیل استات و اتیلن تری کلرید از همه مهمترینند. عوامل مهم در انتخاب حلال، علاوه بر عملکرد موثر موجود بودن، قیمت مناسب، سمیت و بوی کم، اشتعال ناپذیری و سرعت تبخیر مناسب نیز می‌باشد و به همین دلیل معمولاً از مخلوط حلالها استفاده می‌شود. در فرمولبندی این نوع چسب بسته به شرایط مورد نیاز از موادی نظیر ضد اکسنده، دوده و پرکننده‌های مختلف می‌توان استفاده کرد. برای مثال، به منظور بهسازی فرایند از نرم کننده‌های استری، برای دسترسی به استحکام کششی زیاد و عمر ذخیره

Key Words:

composite, sandwich panels, honey comb, structural adhesives, nitrile-phenolic

مطلوب از آهن اکسید و جهت بهبود خواص چسبندگی از روی اکسید می توان بهره جست.



شکل ۱- انواع مکانیسم شکست [2].

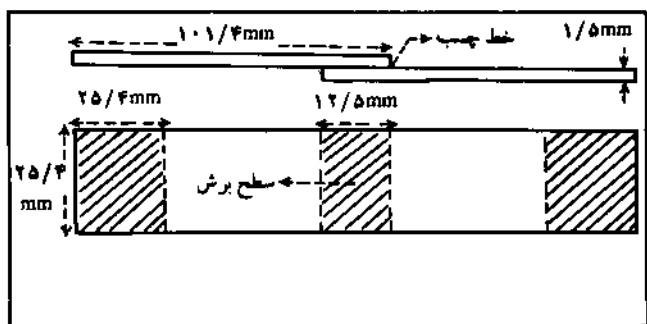
می شود که درصد مواد مصرفی در آمیزه لاستیکی برخواص چسب موثر است، ولی این تأثیر در مقایسه با نسبت درصد رزین و لاستیک قابل چشم پوشی است. به همین سبب ضرورت دارد که بهینه سازی تشهای برشی و پوستگی و همچنین مکانیسم شکست با توجه به نسبت دو جزء و حالت پخت بررسی شود [3,4].

با توجه به مطالب پیش گفته هدف مطالعه به اختصار بهینه سازی تشهای برشی و پوستگی و همچنین مکانیسم شکست در خط چسب نیتریل - فنولی با توجه به نسبت درصد رزین و لاستیک و حالت پخت است.

تجربی

روشهای آزمون

الف) آزمون برش (lap shear test): از راه آزمون برش کششی می توان استحکام برشی چسب را زیر بار کششی سنجید. این آزمون به دلیل ارزانی نمونه (معمولاً آلومینیم)، سهولت ساخت و سادگی اجرا متداولترین آزمون کنترل کیفی چسبهاست. استاندارد امریکایی این آزمون ASTM D1002 می باشد. طی این آزمون، نمونه به طریق کششی بارگذاری و چسب متحمل تشهای برشی می شود تا اینکه شکست در خط چسب اتفاق افتد. ابعاد نمونه آزمون برش در شکل ۲ نشان داده شده است.



شکل ۲- ابعاد نمونه آزمون برش [5].

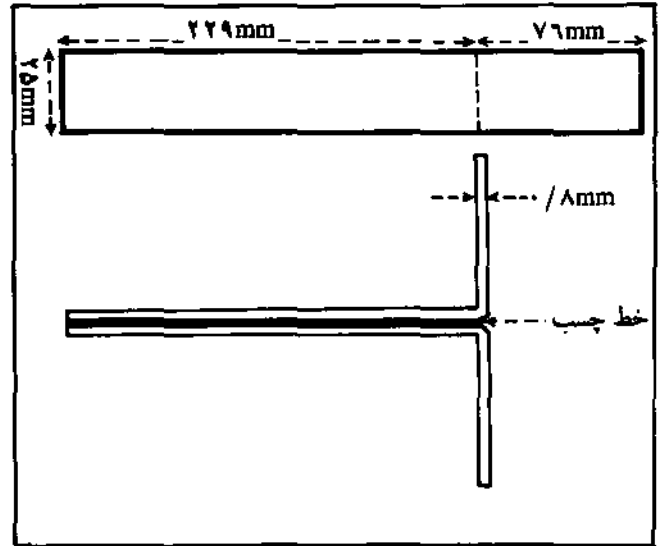
ب) آزمون پوستگی T (T-peel test): از این آزمون برای دسترسی به مقادیر مقایسه ای استحکام پوستگی چسبها استفاده می شود. استاندارد

انتخاب نوع رزین فنولی به رزول ونووالاک محدود می شود. نوع رزول با لاستیک نیتریل واکنش می دهد در حالی که نووالاک به دلیل فقدان گروههای متیلن اتری و متیلول از چنین قابلیت بر خوردار نیست. چسب حاصل از آلیاژ سازی رزین فنولی با لاستیک نیتریل مقاومت خزشی خوب، استحکام زیاد در برابر ضربه و مقاومت خستگی عالی دارد. روشن است که در چنین آلیاژی، مقاومت شیمیایی، گرمایی، مقاومت در برابر حلال و همچنین بهبود خواص برشی به دلیل وجود رزین فنولی و مقاومت در برابر روغن، چقرمگی و استحکام پوستگی به علت حضور لاستیک نیتریل است. از چنین آلیاژی به شکل بسیار موفق در اتصال ورقه های لانه زنبوری و اتصال رویه به مغزه در یک صفحه ساندویچی می توان استفاده کرد. یکی از نقاط ضعف این چسب در قیاس با چسبهای اپوکسی، ناتوانی آن در پر کردن گوشه ها و خلل و فرج است و به همین دلیل چنانچه استحکام بسیار زیاد چسب مغزه به رویه مورد نیاز باشد باید از یک آستر نظیر وینیل - فنولی استفاده کرد. در عموم موارد این چسب بدون استفاده از آستر، کارایی لازم را دارد [1,2,3].

هدف از بهینه سازی این نوع چسبهای آلیاژی دسترسی به مقادیر بهینه ای از استحکام برشی و پوستگی است که در این ارتباط مهمترین پارامتر، نسبت رزین به لاستیک است. در نسبت کم، خواص چسب به چسبهای تماسی نزدیک می شود و برعکس در نسبت زیاد، چسب خواص ساختاری پیدا می کند. در حالت اول استحکام پوستگی چسب و در حالت دوم طبعاً مقادیر استحکام برشی چسب بالاست [1]. به همین سبب برای دسترسی به مقادیر زیاد استحکام برشی و پوستگی نیاز به بهینه سازی است. در چسب لانه زنبوری و چسب رویه به مغزه علاوه بر بهینه سازی تشهای برشی و پوستگی، بهینه کردن مکانیسم شکست نیز الزامی است. شکست در خط چسب یا از سطح مشترک چسب با سطح چسب خورده به وجود می آید، شکست چسبندگی (adhesive failure) یا از درون چسب آغاز می شود، شکست همچسبی (cohesive failure). طبیعی است که در حالت اول، استحکام خود چسب بالاست و در حالت دوم چسبندگی به سطح بالاست. شکل ۱ این دو مکانیسم شکست را نشان می دهد. ایده آلترین حالت، شکست از درون چسب یا از درون سطح چسب خورده است. آنچه در این خصوص مهم است میزان چسبندگی (tack) است که به شدت تابع نسبت رزین به لاستیک و حالت پخت است.

در حالت زیر پخت میزان چسبندگی به سطح بالاست و به همین دلیل شکست در درون چسب روی می دهد. در حالت پخت کامل یا فرابخت استحکام فیلم چسب درازای کاهش چسبندگی به سطح افزایش می یابد که خود سبب وقوع شکست از راه سطح مشترک می شود. اشاره

امریکایی این آزمون ASTM D1876 است. آزمون پوستگی T متداولترین روش آزمون پوستگی چسبها می باشد. طی این آزمون نیز نمونه به طریق کششی بارگذاری و چسب متحمل تشهای پوستگی می شود. ابعاد نمونه آزمون پوستگی در شکل ۳ نشان داده شده است. علت انتخاب این دو آزمون، سهولت اجرا و یکواختی در نمونه سازی مکرر بود [3,5]. این آزمونها با استفاده از دستگاه کشش اینسترون مدل ۶۰۲۵ در دمای اتاق اجرا شد.



شکل ۳- ابعاد نمونه آزمون پوستگی T [5]

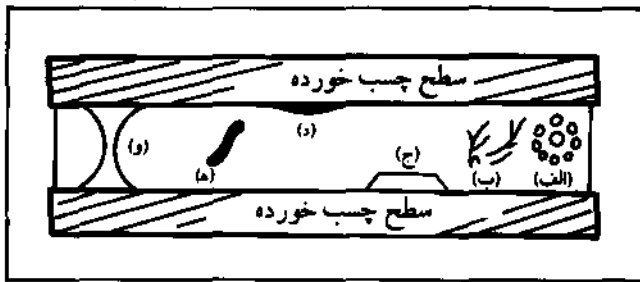
کار عملی

در صورت استفاده از لاستیک نیتریل دارای آکریلونیتریل زیاد، بهترین حالت سازگاری و خواص چسبندگی به دست می آید. در عمل فراروش این نوع نیتریل با مشکل روبرو می شود و دستکم اعمال یک مرحله خرد شدن روی نمونه الزامی است. به همین علت به سختی در حلالهایی نظیر متیل اتیل کتون MEK متورم می شود. از این رو در این پژوهش از لاستیک دارای آکریلونیتریل متوسط استفاده شد. این نوع نیتریل بدون خرد شدن به راحتی در MEK و حلالهای مشابه حل می شود. در ارتباط با انتخاب رزین فنولی، رزول و نووالاک هر دو مناسب اند، ولی در مورد نووالاک به دلیل واکنش ناپذیری آن با نیتریل یک عامل پخت اضافی مورد نیاز است که به همین جهت این رزین انتخاب نشد. فیلم چسب نیتریل - نووالاک در مقایسه با نیتریل - رزول از استحکام به مراتب کمتری برخوردار است. اشاره می شود که به علت ضعف رزول در مقایسه با نووالاک در این سیستم، عمر ذخیره چسب کمتر است. رزولی که مورد استفاده قرار گرفت، فنولی با جرم مولکولی زیاد (جامد) است. برای سیستم پخت از گوگرد، روی اکسید و استاریک اسید و در نهایت تترامیل تیورام دی سولفید به ترتیب به عنوان عامل پخت،

فعال ساز پخت و شتاب دهنده پخت استفاده شد. از آنجا که در انتخاب مواد فرمولبندی، دسترسی به خواص حداکثر مورد نظر نبود از ضد اکسند، پرکننده های تقویتی استفاده نشد. MEK با توجه به پارامتر انحلال پذیری بهترین حلال مشترک نیتریل - فنولی محسوب می شود، ولی سرعت تبخیر آن بالاست. به همین علت از تولوئن که سرعت تبخیر به مراتب کمتری (حدود یک پنجم) را دارد در ترکیب با MEK استفاده شد. میزان تبخیر را می توان با تغییر درصد این دو حلال کنترل کرد. بدین ترتیب سه آمیزه با نسبتهای مختلف ۱/۲، ۱/۱، ۱/۱ از رزین به لاستیک تهیه شد. انتخاب محدوده دمای برای بررسی اثر حالت پخت نیز با توجه به دو حالت مرزی ۱۲۰°C و ۱۶۰°C انتخاب گردید. در ۱۲۰°C نیتریل با رزین فنولی واکنش می دهد و همان طور که اشاره شد در پایتتر از این دما، چسب خواص تماسی خواهد داشت و با آنکه از فرمولبندی ساختاری برخوردار است، مصرف ساختاری ندارد. در صورت کافی بودن زمان در ۱۶۰°C پخت کامل انجام می گیرد. مبنای پخت آلیاژ، پخت فنولی در نظر گرفته شد چون دسترسی به حداکثر مقدار استحکام برشی مورد نظر بود. پخت کامل فنولی با استفاده از دستگاه DSC ساخت کارخانه استاتون ردکرافت انگلستان با سرعت گرمادهی ۱۰°C/min حدود ده دقیقه در دمای ۱۷۵°C تعیین گردید. مطابق رابطه آرنیوس، این حالت معادل حالت پخت سی دقیقه در ۱۶۰°C است [1,2,3,6].

برای آنکه مقادیر مقایسه پذیر از نمونه ها در دست داشته باشیم لازم بود نقایص موجود در یک خط اتصال شناسایی و برطرف گردد. این نقایص عبارت اند از [2,4]:

الف) متخلخل که ناشی از مواد فرار و هوای حبس شده در خط چسب است. این نقص در اغلب خطوط اتصال وجود دارد. در ارتباط با چسبهای پایه فنولی به علت دفع آب در طول پخت، این مسئله اجتناب ناپذیر است مگر آنکه پخت در فشار زیاد انجام گیرد. اعمال فشار بالا به دو علت روی خط چسب لانه زنبوری و چسب رویه به مغزه امکان پذیر نیست. نخست آنکه فشار بیش از حد، ضخامت خط چسب لانه زنبوری را تغییر می دهد که به طبع اندازه سلول نیز دستخوش تغییر خواهد شد و این نیز به نوبه خود برجگالی و عملکرد لانه زنبوری اثر خواهد گذاشت. دوم آنکه در یک صفحه ساندویچی اعمال فشار زیاد، سبب تخریب لانه زنبوری نافلزی می شود. به همین علت است که به عنوان چسب رویه به مغزه به عنوان نخستین انتخاب اپوکسی پیشنهاد می شود. مشکل دیگر در ارتباط با چسبهای فنولی این است که دفع مواد فرار (در مورد چسب مغزه به رویه) و تجمع در سلولهای لانه زنبوری و در نهایت تراکم و ایجاد فشار، پارگی دیواره سلولها را نیز باعث می شود. در ارتباط با مواد کاغذی از جمله کرافت، وجود مقداری حلال در خط اتصال مشکل جدی پیش نمی آورد زیرا به سبب متخلخل بودن کاغذ، به مرور زمان حلال از خط اتصال خارج می شود. در مورد سطوح



شکل ۴- تقصیهای خط چسب [4].

فرمولبندی در ۲۰٪ وزنی باقیمانده تولون حل شد (تتها ZnO نامطلوب است). در مرحله بعد مواد هر سه ظرف روی هم ریخته شد و اختلاط سیستم به مدت نیم ساعت انجام گرفت. مقدار چسب مصرفی برای هر نمونه براساس چگالی خشک چسب تعیین گردید. منشای این تعیین نیز بهینه سازی استحکام برشی و پوستگی در ارتباط با ضخامت خط چسب بود (با توجه به مراجع در ضخامت بین ۲ و ۶ میل (۰/۵) و ۰/۱۵ میلی متر) ضخامت خط چسب اثری بر استحکام برشی و پوستگی ندارد ولی آنچه مسلم است در حد پایین مقادیر استحکام برشی و در حد بالا مقادیر استحکام پوستگی افزایش می یابد. به همین سبب و برای دسترسی به مقادیر مقایسه پذیر نتایج آزمون، ضخامت چسب نمونه های این دو حد انتخاب شد. اشاره می شود که ضخامت خط چسب رویه به مغزه در سازه های ساندویچی نیز معمولاً در همین حدود است (۰/۱۵ میلی متر) [1]. برای به دست آوردن نتایج قابل قبول در هر یک از آزمایشها دستکم ۸ نمونه انتخاب و آزمایش شد. میانگین نتایج به دست آمده در شکل های ۵ تا ۱۲ ارائه شده است.

مواد مصرفی	نوع چسب		
	الف	ب	ج
رزین فنولی	۱۵	۳۰	۶۰
لاستیک نیتریل	۳۰	۳۰	۳۰
سیستم پخت	۲/۴	۲/۴	۲/۴
حلال	۱۶۲	۱۶۲	۱۶۲
	مقادیر وزنی هستند		

نتایج و بحث

در شکل ۵ مقایسه مسیر تغییرات بار برشی برای حالت های مختلف پخت برای چسب الف داده شده است. نکته قابل توجه، تفاوت مسیرهای ۵ (۱۵/۱۶۰°C) و ۶ (۳۰/۱۶۰°C) با سایر مسیرهاست. در دو حالت یاد شده، بار برشی با شیب بسیار تندی به صفر میل می کند در حالی که سایر مسیرها، شیب ملایمتری تا رسیدن به بار صفر نشان می دهند. بدیهی است با افزایش زمان و دمای پخت مدول خط چسب نیز افزایش می یابد

فلزی (نمونه های آزمون) برای جلوگیری از تخلخل، سطوح چسب خورده کاملاً خشک و سپس مونتاژ شد. اعمال فشار روی نمونه های آزمون نیز میسر نبود، چون انجام آزمونهای برش و پوستگی را به سبب بیرون ریزی مواد از خط اتصال غیر ممکن می ساخت.

ب) ترک که ناشی از پخت (انقباض گرمایی) یا تشهای بیش از حد ایستایی و پویایی است. برای ممانعت از وقوع این نقص، یک مرحله پخت تکمیلی (post cure) روی خط چسب اعمال می شود. در این حالت، دما به آرامی به دمای محیط تنزل می یابد. مرحله پخت تکمیلی یا پس پخت در مورد تمام نمونه ها اجرا شد. در برخی از خطوط چسب، این مرحله پخت در دمای بالاتر و زمان طولانیتر نسبت به پخت اصلی انجام می گیرد.

ج) نواحی عاری از چسب که شکل دیگری از فضای خالی (void) است و اغلب هنگامی ظاهر می شود که چسب تنها روی یک سطح پایه شکل غیر یکواخت توزیع گردد. برای رفع این مشکل، چسب روی دو سطح اعمال شد و برای اطمینان از یکواختی خط اتصال، گرانروی سه نمونه چسب تقریباً یکسان انتخاب گردید.

د) نواحی عاری از چسب با حجم صفر که در این حالت چسب و سطح در تماس اند ولی پیوند قابل ملاحظه ای بین آن دو برقرار نیست. این نقص به طور عمده از آماده سازی نامطلوب سطح ناشی می شود و به همین جهت تمام نمونه ها پیش از اتصال با محلول سولفور و بیگ شسته شدند. این کار علاوه بر رفع مورد نقص یاد شده، چسبندگی چسب به سطح را تضمین می کند، ضمناً در موارد خاص، نظیر استفاده از آهن، لایه مرزی ضعیف آهن اکسید را از بین می برد. وجود لایه مرزی ضعیف در خط اتصال، امکان جدا شدن لایه مرزی (اکسید ضعیف فلز) را در مقایسه با جدا شدن خود چسب از سطح مشترک به چندین برابر افزایش می دهد. اشاره می شود که در مواردی نظیر آلومینیم، اکسید فلز از استحکام بسیار زیادی برخوردار است و جز در موارد حساس، نیازی به آماده سازی سطح از راه زدودن لایه مرزی نیست.

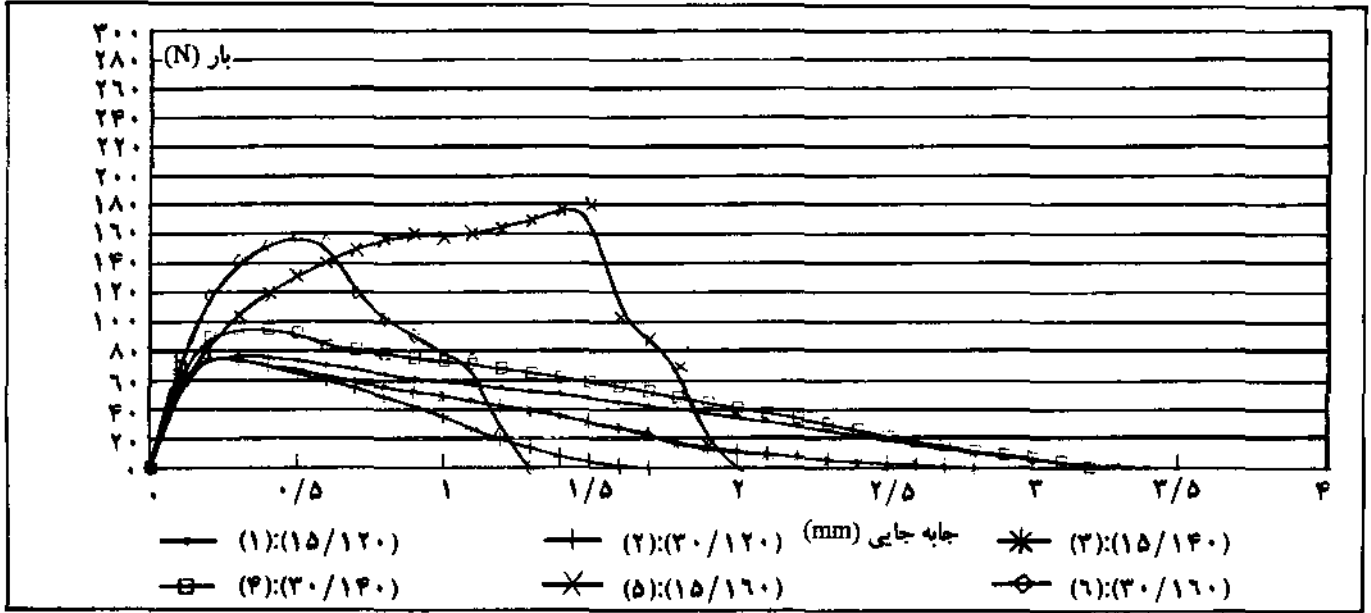
ه) پخت ناقص که از اختلاط نامناسب سیستم چسب ناشی می شود. در صورت وسیع بودن این نواحی، احتمال نامناسب بودن فرمولبندی چسب و عدم پذیرش کافی گرما و فشار پخت هم خواهد بود. این پدیده به سبب ادامه آهسته واکنش های شیمیایی خود اصلاح است.

و) فضای خالی که از هوای حبس شده به علت نحوه توزیع چسب روی سطح یا چسب ناکافی به وجود می آید. وقوع فضاهای خالی بزرگ نیز ناشی از این دو مورد است و به ندرت مواد فرار در ایجاد آنها نقش دارند. نقصهای یاد شده در شکل ۴ نشان داده شده اند.

فرمولبندی: فرمول چسبهای تهیه شده در جدول زیر داده شده است. روش آماده سازی نمونه ها: ابتدا لاستیک در ۸۰٪ وزنی MEK حل شد. آن گاه، در ظرف جداگانه ای برای حل کردن رزین فنولی از ۸۰٪ وزنی تولون و ۲۰٪ وزنی باقیمانده MEK استفاده گردید. بقیه مواد

و امکان دفع تنش از راه تغییر شکل مشکندر می شود و طبعاً به سبب شکنندگی خط چسب، تنش به سرعت افت می کند. در این چسب، ماکسیم بار برشی در حالت پخت ۵ (۱۵/۱۶۰°C) اتفاق می افتد. انتظار می رود که با افزایش حالت پخت، ماکسیم بار برشی نیز به سمت مقادیر بیشتر میل کند ولی در عمل به سبب جاب زایی در خط چسب این حالت مشاهده نمی شود. دلیل دیگر آن است که با افزایش حالت پخت، مکانیسم شکست از مرز مشترک چسب و سطح خواهد بود (با افزایش حالت پخت، چسبندگی سطح به چسب در ازای افزایش استحکام فیلم چسب کاهش می یابد).

شکل ۸، مسیر تغییرات بارهای متوسط پوستگی را در حالت های مختلف پخت نشان می دهد. آنچه در این منحنی به روشنی دیده می شود، رسیدن بار پوستگی به یک ماکسیمم و سپس افت آن در دماهای بالاتر پخت است. با توجه به شکل، مقادیر متوسط بار پوستگی چسب ب در محدوده وسیعی از شرایط پخت نسبت به چسب های الف و ج بالاتر است. در ارتباط با تنش های پوستگی، خطوط چسب شکننده و چقرمه با دو مکانیسم کاملاً متفاوت متحمل تنش می شوند. در خط اتصال شکننده، تمرکز تنش روی یک خط است در حالی که برای حالت دوم، سطحی از اتصالات متحمل تنش های پوستگی

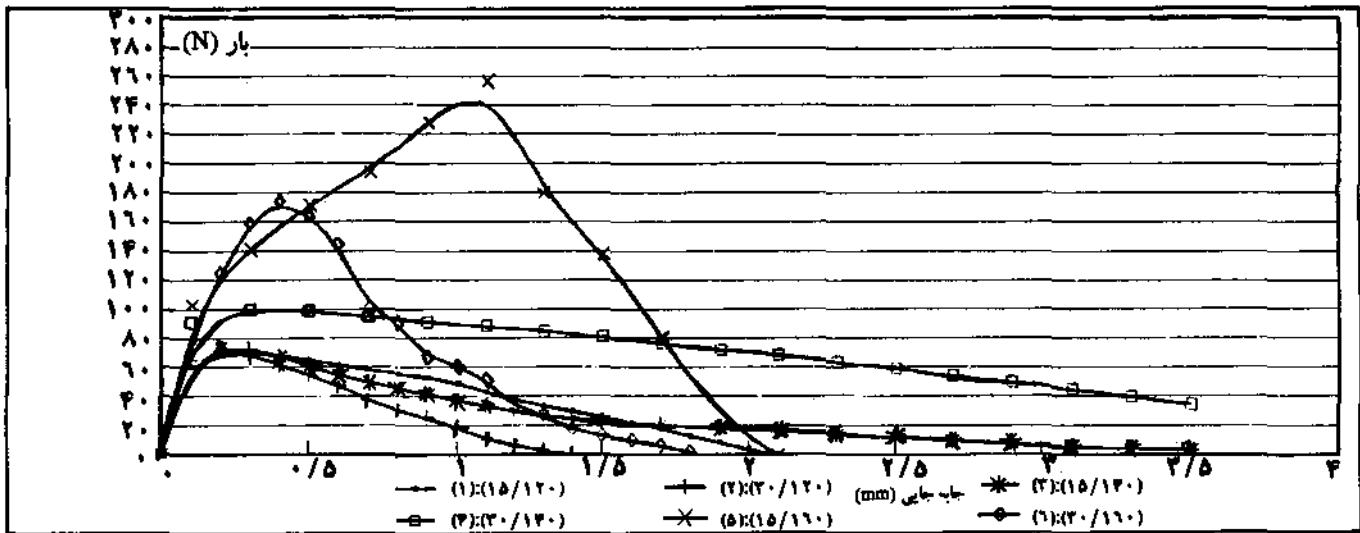


شکل ۵ - مقایسه بارهای برشی.

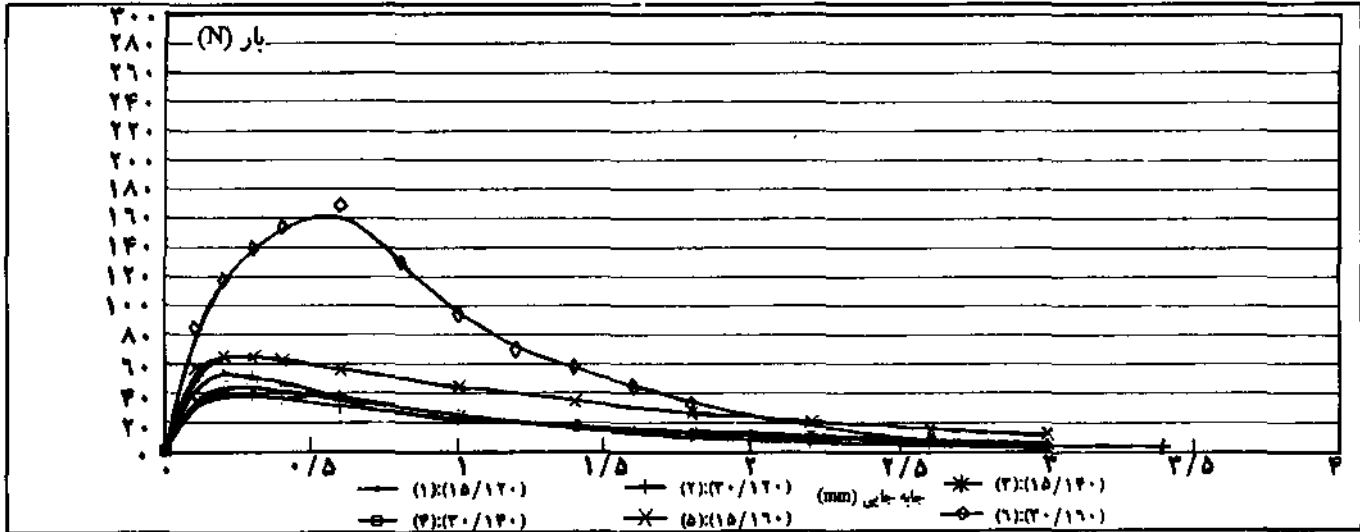
می شود [3]. تا حالت پخت ۴ (۳۰/۱۴۰°C) مکانیسم دوم برای تمامی نمونه ها صادق است ولی در حالت های ۵ (۱۵/۱۶۰°C) و ۶ (۳۰/۱۶۰°C) مکانیسم اول عمل می کند. به نظر می رسد که در چسب الف به دلیل مقادیر کم رزین فنولی (به طبع تغییر شکل پلاستیکی کمتر) و در چسب ج به دلیل مقادیر زیاد رزین فنولی (در دماهای پایین پخت نقش پرکننده را دارد در نتیجه به دلیل پخت ناقص مواضع تمرکز تنش هستند) مقدار متوسط بارهای پوستگی پایین است. در دماهای بالای پخت، مهمترین پارامتر جاب زایی است. با افزایش مقدار رزین فنولی حساسیت چسب نسبت به جاب زایی افزایش می یابد.

شکل ۹، مسیر تغییرات بارهای ماکسیمم برشی را در حالت های مختلف پخت نشان می دهد. تشابه مسیر تغییرات در هر سه مورد دیده می شود. مقادیر بارهای برشی در دماهای نزدیک پخت به حداکثر می رسد. مطابق شکل، مقدار حداکثر در چسب ب و برای حالت پخت ۵ (۱۵/۱۶۰°C) مشاهده می شود. شکل های ۱۰ و ۱۱ در مورد چسب های الف و ب به روشنی نشان می دهند که دستیابی به مقادیر

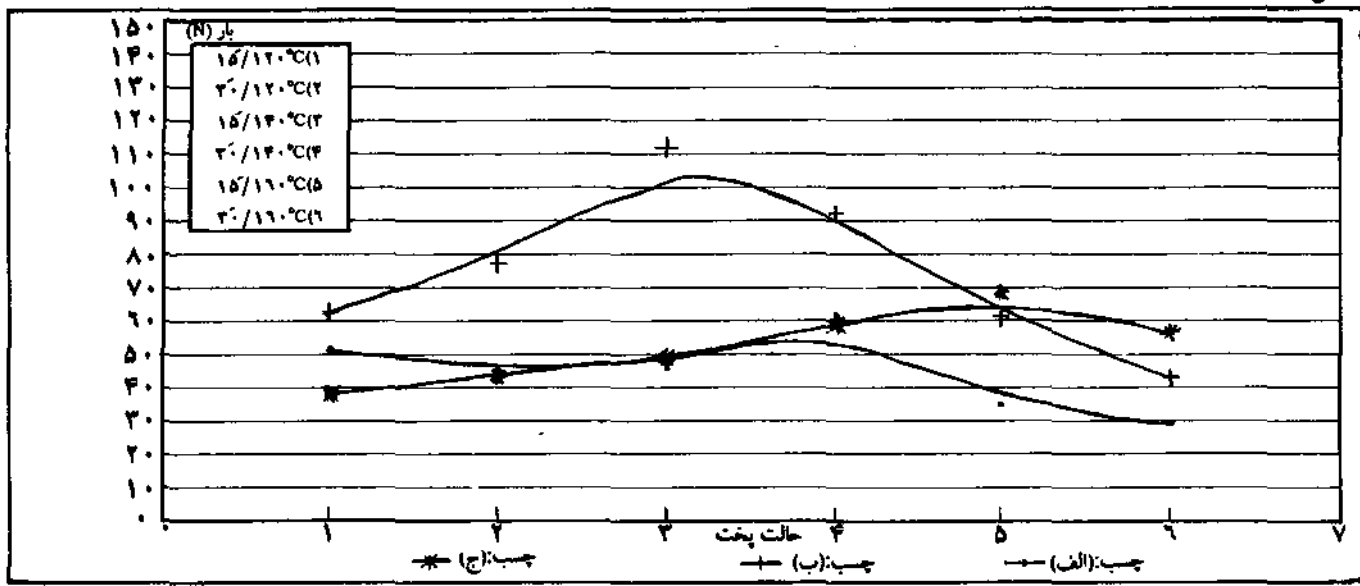
شکل های ۶ و ۷ نیز حالت های مختلف برای چسب های ب و ج را نشان می دهند. مقادیر بارهای برشی چسب ب به مراتب از دو چسب دیگر بیشتر است ولی تغییرات مشابهی دارد. آنچه در این سه منحنی یکسان مشاهده می شود، به ماکسیم رسیدن بار برشی در یک فاصله کوتاه و سپس افت خطی آن تا رسیدن به بار صفر است. نظریه های مختلفی در توجیه این نوع تغییرات وجود دارد، ولی ساده ترین نظریه در مورد سطوحی است که از ضخامت و مدول بالایی در مقایسه با چسب برخوردارند. در چنین حالتی تنش موجود در خط چسب صرفاً برشی است و مقدار آن تا صفر به شکل خطی تغییر می نماید [4]. تغییرات غیر خطی بعضی از مسیرها در مقادیر کم بار و همچنین پهن بودن برخی مسیرها، ناشی از تحمل درصدی از بار به طریق کششی است. این امر عمدتاً به دلیل گوشه سازی (fillet) در خط اتصال است. افت شدید بار در دماهای بالای پخت در دو چسب ب و ج نیز مشاهده می شود. برای چسب ج، افت ماکسیمم بار در دماهای بالاتر اتفاق می افتد.



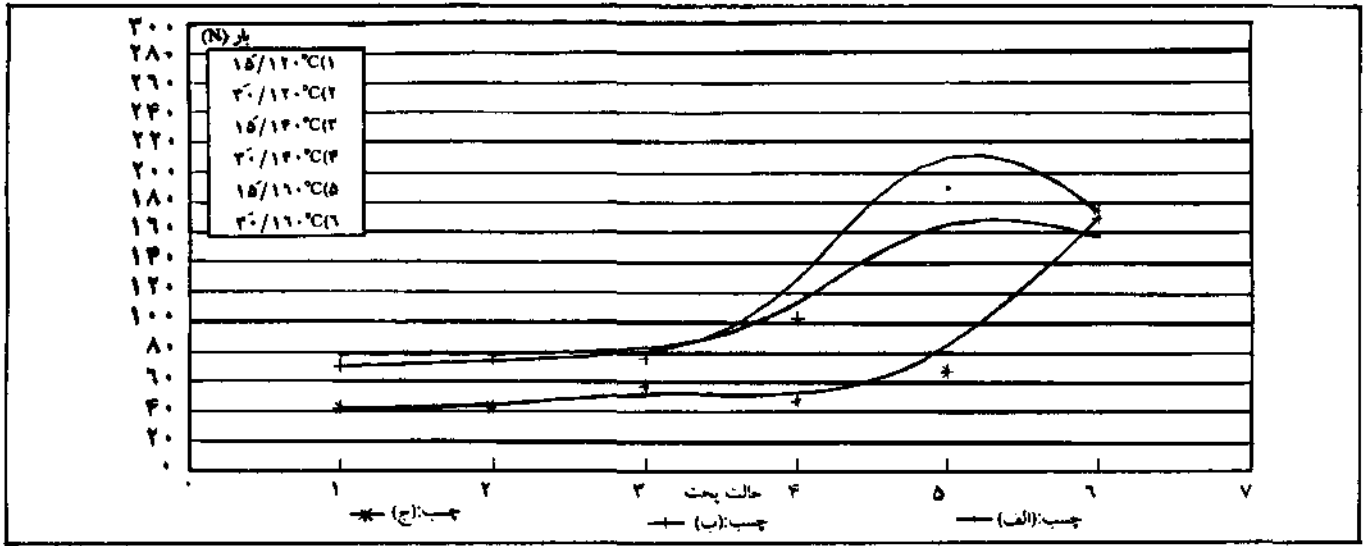
شکل ۶ - مقایسه بارهای برشی.



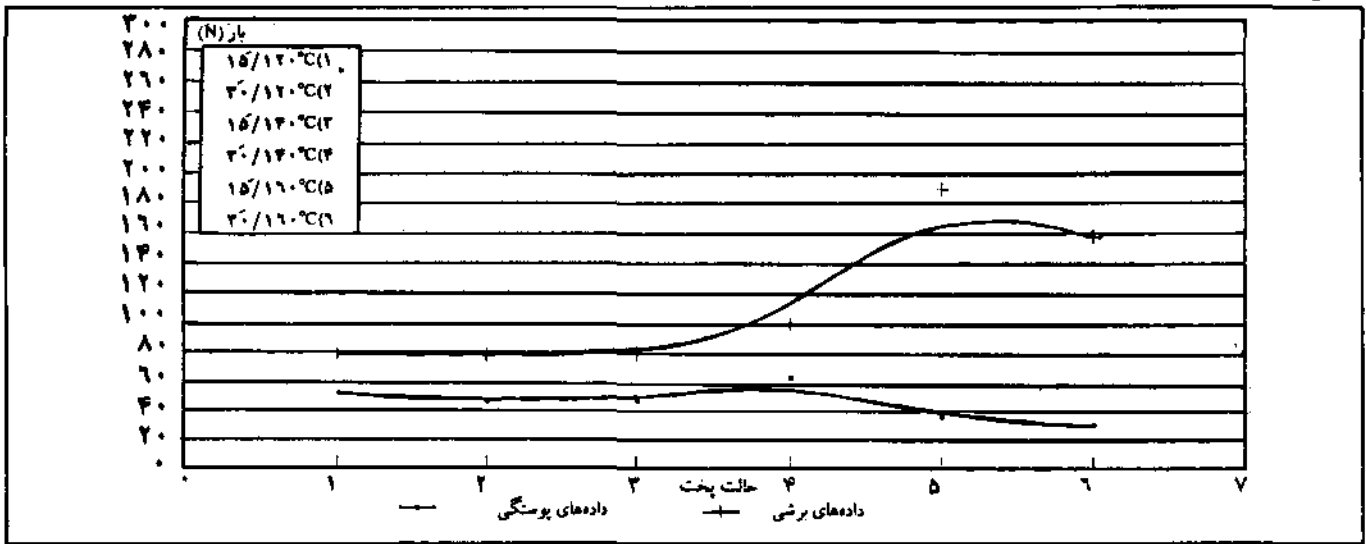
شکل ۷ - مقایسه بارهای برشی.



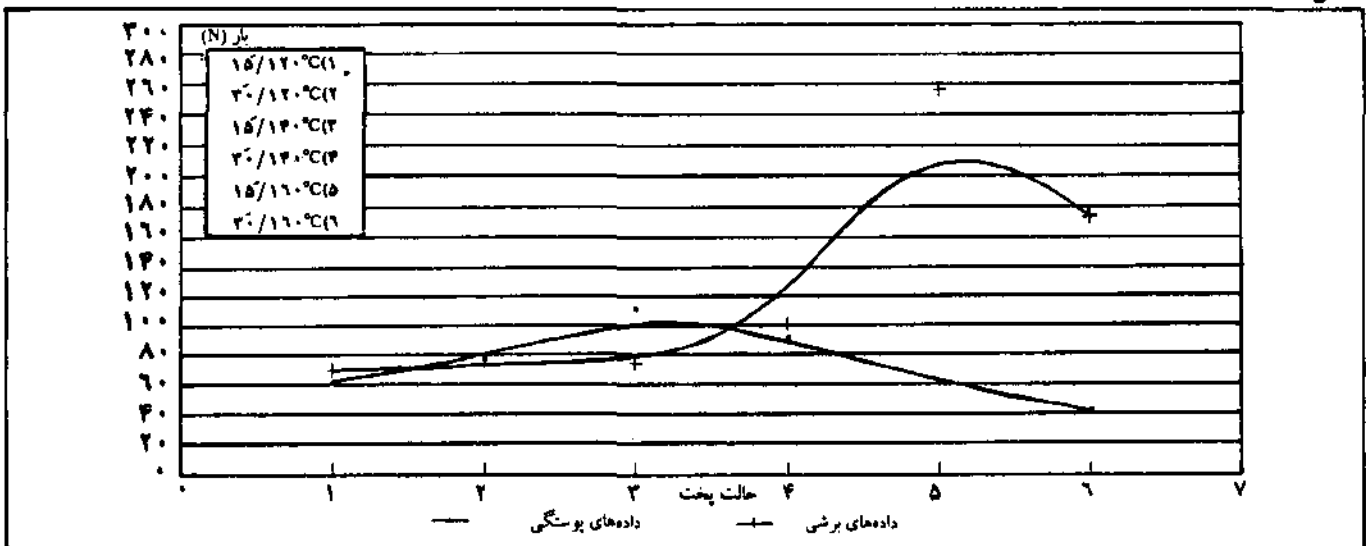
شکل ۸ - تغییرات بارهای متوسط.



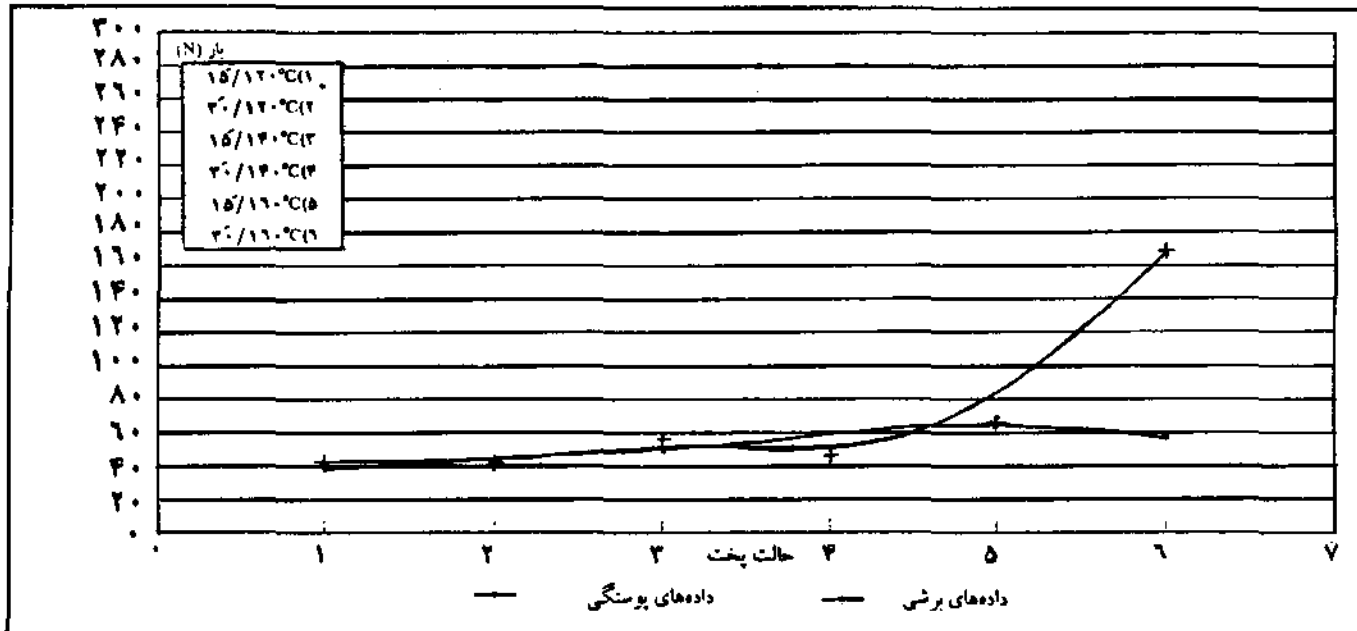
شکل ۹ - تغییرات بارهای ماکسیمم.



شکل ۱۰ - مقایسه داده‌ها.



شکل ۱۱ - مقایسه داده‌ها.



شکل ۱۲ - مقایسه داده‌ها.

REFERENCES

- [1] Skiest, Handbook of Adhesives, Van Nostrand Reinhold (1977).
- [2] Landrock, Adhesives Technology Handbook, Noyes Publications (1985).
- [3] Harper, Handbook of Plastics and Elastomers, McGraw Hill (1975).
- [4] Adams & Wake, Structural Adhesives Joints in Engineering, Elsevier Applied Science Publishers (1986).
- [5] "ASTM" Vol.15.06 (1989).
- [6] Blow & Hepburn, Rubber Technology and Manufacture, Butterworths (1987).

بهینه استحکام برشی و پوستگی بین حالت‌های پخت ۴ (۳۰/۱۴۰°C) و ۵ (۱۵/۱۶۰°C) حاصل می‌شود. برای چسب ج مطابق شکل ۱۲، شرایط بهینه در فاصله حالت‌های پخت ۵ (۱۵/۱۶۰°C) و ۶ (۳۰/۱۶۰°C) به دست می‌آید.

نتیجه‌گیری

با توجه به نتایج حاصل از این پژوهش چسب ب ضمن برخورداری از بالاترین مقادیر استحکام برشی و پوستگی در محدوده وسیعی از حالت‌های پخت، انتخاب مناسب و مطلوب است. حالت پخت بهینه برای این چسب بین حالت‌های ۴ (۳۰/۱۴۰°C) و ۵ (۱۵/۱۶۰°C) اتفاق می‌افتد. مطابق رابطه آرنیوس حالت پخت ۴ (۳۰/۱۴۰°C) را می‌توان معادل حالت پخت ۱۵/۱۵۰°C دانست، بدین ترتیب جواب تقریبی حالت پخت ۱۵/۱۵۵°C می‌باشد. طبیعی است که با توجه به نیاز محیط کاربرد به مقادیر خاص استحکام برشی و پوستگی می‌توان از روی منحنی‌های یاد شده حالت بهینه را انتخاب کرد. پس به طور خلاصه می‌توان نتیجه گرفت که اگر در فرمولبندی چسب ساختاری نیتریل - فنولی نسبت یک به یک از رزین و لاستیک انتخاب گردد و این چسب در دمای ۱۵۵°C به مدت ۱۵ زیر فشار تماسی پخت شود خواص مطلوب حاصل می‌گردد.