بررسی عوامل مؤثر در بهبود کیفیت استحکام اتصالات چسبی در صنایع بسته‌بندی

محمد رضا کاجی[1*]، محمد رضا فراهانی[2]

تاریخ دریافت مقاله: آبان ماه ۱۳۹۵

تاریخ پذیرش مقاله: اردیبهشت ماه ۱۳۹۶

چکیده

استفاده از چسب به دلیل مزیت‌های فراوان در بسیاری از صنایع بسته‌بندی در حال گسترش است. شناخت ماهیت و عوامل مؤثر بر کیفیت اتصالات چسبی، می‌تواند سبب افزایش کیفیت اتصال و در نتیجه بهبود استحکام اتصال شود. در این مطالعه، ابتدا نظریه‌های حاکم بر اتصالات چسبی بیان شده و سپس به بررسی تنش‌های وارد بر ناحیه اتصال چسبی ناشی از نحوه بارگذاری و حالت‌های مختلف واماندگی چسب پرداخته می‌شود. تنش‌های پیل و کیلواژ دو تنش اصلی و مهم در شکست اتصال می‌باشند. برای بهبود استحکام اتصال چسبی این دو تنش باید در طول اتصال یکنواخت شوند. دو نوع واماندگی برای چسب تعریف شده است. واماندگی درون چسبی که ناشی از عدم پخت مناسب و یا ضعیف بودن خواص چسب است و واماندگی برون چسبی که معمولاً به دلیل ضعف آماده‌سازی سطوح صورت می‌گیرد. هم‌چنین برای بهینه نمودن اتصال، عوامل مؤثر بر شاخص‌های خواص چسب، هندسه ناحیه اتصال و آماده‌سازی سطوح پیش از اتصال، به‌عنوان عوامل مؤثر بر کیفیت استحکام بیان می‌شود.

واژه‌های کلیدی

بهبود اتصال چسبی، تنش پیل[3] و کیلواژ[4]

۱- مقدمه

امروزه عرضه بسیاری از کالاها در بازار، نیازمند بسته‌بندی مناسب است. هدف از بسته‌بندی، جلوگیری از ورود عوامل خارجی مخرب و فرار خواص داخلی محصول می‌باشد.

هم‌چنین بسته‌بندی علاوه بر نقشی که در بازاریابی و معرفی محصول دارد در جلوگیری از ایجاد و کاهش ضایعات نیز بسیار مؤثر است. موارد فوق سبب لزوم بسته‌بندی مناسب محصول، بخصوص در صنایع غذایی و بهداشتی شده است. یکی از مهم‌ترین مسائل موجود در بسته‌بندی، اتصالات چسبی می‌باشد. استفاده از اتصالات چسبی به دلیل مزیت‌های فراوان ازجمله کاهش وزن و کاهش هزینه، بازدهی بالاتر، قابلیت پخش نمودن نیرو در سرتاسر اتصال، درزبندی کردن اتصال و هم‌چنین امکان اتصال مواد غیرمشابه در بسیاری از صنایع بسته‌بندی به‌سرعت در حال رشد است. بسیاری از روش‌های بسته‌بندی مانند روش تخلیه هوا و بسته‌بندی با اتمسفر اصلاح‌شده، نیازمند استفاده از چسب مناسب می‌باشند. اگر در بسته‌بندی از اتصالات چسبی مناسب استفاده نشود، بسته‌بندی از کارایی لازم برخوردار نخواهد بود، لذا شناخت ماهیت چسب و عوامل مؤثر بر کیفیت آن می‌تواند سبب

۱- کارشناسی ارشد مهندسی مکانیک، دانشکده مهندسی مکانیک، پردیس دانشکده‌های فنی، دانشگاه تهران. (m.kaji@ut.ac.ir).

۲- استادیار، دانشکده مهندسی مکانیک، پردیس دانشکده‌های فنی، دانشگاه تهران، تهران. ایران (mrfarahani@ut.ac.ir).

3- Peel

4- Celvage

بهبود اتصال گردد. موارد لازم برای بسته‌بندی یک محصول عبارتند از:

۱- طراحی بسته‌بندی متناسب با محصول

۲- چسب مناسب

۳- ماده مناسب برای بسته‌بندی

علی‌رغم تلاش‌های بسیار برای استانداردسازی و بهبود عملکرد سامانه‌های چسبی، در بسیاری از موارد عوامل مؤثر بر استحکام اتصالات چسبی در نظر گرفته نمی‌شود و سبب کاهش استحکام و کیفیت اتصال نهایی می‌شود.

اولین تلاش‌های تئوری برای طراحی اتصالات چسبی توسط ولکرسون و دی برین[1] در سال (۱۹۳۸) صورت گرفت و برای اولین بار به بررسی تنش‌ها و تغییر شکل‌ها در اتصال‌دهنده و قطعات اتصالی تک‌لبه و دو لبه پرداخته شد. آن‌ها برای مدل‌سازی ناحیه اتصال چسبی از اثرات الاستیک ناحیه چسب بر اساس نمودار نیرو جدایش[2] استفاده کردند. در این مدل، از اثر گشتاور خمشی ایجادشده به علت غیر هم‌مرکز بودن مسیر بارگذاری صرف‌نظر شده است [۱].

گل‌اند و ریسنر[۲] با استفاده از تحلیل واماندگی برشی فرض کرده‌اند که چسب تنها در برش و چسبنده تنها در کشش تغییر شکل می‌دهد. بدین ترتیب توانستند اثرات خمشی چسبنده‌ها را که منجر به تنش‌های پیل می‌شود، در نظر بگیرند.

ویلی ات و همکارانش[۳] به مطالعه اتصالات تک‌لبه زیر کشش صفحه‌ای پرداختند. آن‌ها از سه چسب با خواص متفاوت تحت بارهای مختلف استفاده نمودند و نتیجه گرفتند محل اتصال استحکام کمی در برابر انتقال نیرو نسبت به تحمل بار کششی دارد. هم‌چنین آن‌ها نشان دادند که شروع ترک از انتهای اتصال خواهد بود جایی که تنش‌های پیل بسیار زیاد است. داوید و بوندزدر به بررسی عوامل مؤثر بر ماندگاری اتصالات پرداختند، آن‌ها نتیجه گرفتند که سطوح پاک شرط لازم ولی ناکافی برای ماندگاری بالای استحکام چسبی است در حالی که ترکیب شیمیایی چسب مهم‌ترین عامل در ماندگاری چسب است[٤]. فیتن .ام و بیگیتن[3] از ترکیب اتصالات با سفتی[4] متفاوت در طول تک‌لبه اتصال استفاده نمودند. به‌نحوی‌که چسب با استحکام کمتر را در دو انتهای چسب با استحکام بیشتر در مرکز طول اتصال قرار داد که منجر به کاهش تمرکز تنش در انتهای اتصال افزایش عمر قطعه گردید [۵].

در زمان طراحی اتصالات چسبی، با در نظر گرفتن تئوری‌های حاکم و پارامترهای مؤثر در اتصالات چسبی می‌توان اتصال مستحکم‌تری طراحی نمود. در این مقاله انواع بارگذاری و تنش‌های ناشی از آن و پارامترهای مؤثر بر استحکام اتصالات چسبی همچون خواص چسب، هندسه ناحیه اتصال و آماده‌سازی سطوح پیش از اتصال برای حصول به اتصال مستحکم‌تر بررسی‌شده است.

۲- تئوری اتصالات چسبی

نظریه‌های متعدّدی در ارتباط با طبیعت چسبندگی بر پایه واکنش‌های شیمیای سطحی برای اتصال چسبی بیان شده است. هریک از تئوری‌های چسبندگی مطرح‌شده برای گروهی از مواد بکار می‌رود. تئورهای اصلی در ارتباط با ماهیت چسبندگی عبارتند از:

الف- تئوری مکانیکی: این تئوری اتصال سطوح را ناشی از اتصال قلاب گونه تخلخل‌ها و زبرهای سطوح چسب و چسبنده در یکدیگر می‌داند. تئوری مکانیکی، ناسازگاری بین سطوح که می‌تواند بین بعضی از مواد چسب و چسبنده رخ دهد و یا اتصال بین سطوح با صافی سطح بالارا نمی‌تواند توجیه کند.

ب- تئوری جذب: در این تئوری پدیده چسبندگی بین سطوح به کمک انرژی سطح، توانایی جذب رطوبت سطوح، زاویه برخورد و کشش سطحی بیان می‌شود. زمانی که عضو اتصال دارای کشش سطحی بالا و چسب دارای کشش سطحی پایین باشد زاویه برخورد قطره چسب کمتر

1- Day Brin
2- Traction-Seperation
3- Fitton M , Begiteen
4- Stiffnes

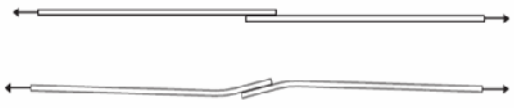
می‌شود و قطره چسب سطح بیشتری از چسبنده را خیس می‌کند و اتصال قوی‌تری حاصل می‌شود. با استفاده از این تئوری امکان توضیح پدیده ناسازگاری بین سطوح چسب و چسبنده وجود دارد.

ج- تئوری شیمیایی: بر اساس این تئوری عامل اصلی اتصال دو سطح توسط چسب را می‌توان به نیروهای بین‌مولکولی واندروالسی[1] بین چسب و سطوح چسبنده نسبت داد. برای ایجاد چسبندگی بین چسب و جسم، لازم است که مواد با یکدیگر تماس پیدا کنند. در این حالت، کشش سطحی، تماس چسب با جسم جامد را کنترل می‌کند. تمام مواد دارای نیروهای سطحی هستند که در مایعات، کشش سطحی و در جامدات به انرژی سطحی معروفند. پس از ایجاد لایه چسب بین سطوح چسبنده پیوند بین مولکول‌های چسب و عضو اتصال برقرارشده و باگذشت زمان این پیوند مستحکم‌تر می‌شود. به حداقل زمان لازم برای ایجاد پیوند بین‌مولکولی چسب و سطوح چسبنده زمان پخت گفته می‌شود. همچنین با افزایش دما زمان پخت کاهش می‌یابد. برای کلیه چسب‌ها زمان و دما پخت قابل‌تعریف است که سازندگان چسب آن را اعلام می‌کنند.

د- تئوری نفوذ: این تئوری برای توضیح اتصال چسبی بین مواد پلیمری سازگار و حرکت انتقالی زنجیره‌های پلیمری که بین سطوح رخ می‌دهد استفاده می‌شود. زمانی که دو پلیمر سازگار باشند، زنجیره‌های پلیمری هریک قادرند در یکدیگر نفوذ و در یکدیگر فرورونـد و سبب ایجاد اتصال شوند. توانایی حرکت و درجه نفوذپذیری پلیمرها به‌وسیله وزن مولکولی پلیمرها معین می‌شود. بنابراین زنجیره پلیمری کوتاه‌تر قابلیت حرکت بیشتری دارد و به سمت ماده دیگر حرکت می‌کند. با استفاده از این تئوری می‌توان پدیده چسبندگی بین سطوح مواد پلیمری، جوش پلاستیک و.. را توضیح داد.

ه- تئوری الکترواستاتیک: بر اساس این تئوری سطوح چسب و چسبنده به دو قطب مثبت و منفی تقسیم می‌شوند و به‌وسیله شارژ الکتریکی بین قطب مثبت و منفی چسبندگی بین مواد صورت می‌گیرد[٦].

ساده‌ترین و پرکاربردترین اتصال چسبی مورداستفاده، اتصال تک‌لبه است. شکل (١) یک اتصال تک‌لبه تحت بارکششی را قبل و بعد از اینکه بارگذاری سبب تغییر شکل شود، نشان می‌دهد. همان‌گونه که در (شکل١) مشاهده می‌شود مکانیزم اصلی انتقال بار از یک عضو به عضو دیگر به‌وسیله تنش برشی (τ) در طول چسب است. نیروی برشی تنها به یکی از سطوح عضوهای اتصال وارد می‌شود و سطح دیگر عضوها بدون بار است، این توزیع بار خارج از مرکز سبب چرخش عضوها می‌گردد.



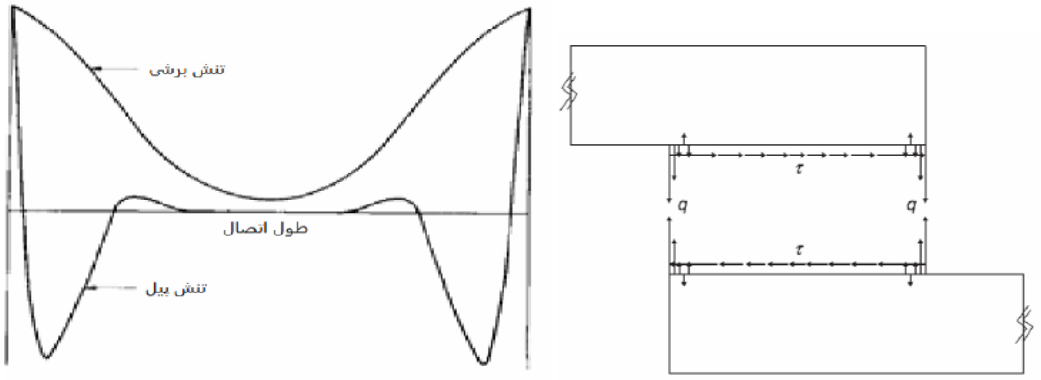
شکل ١- وضعیت اتصال پیش و پس از اعمال بار [١].

این پیچش تمایل به کندن عضوها را از یکدیگر دارد. ممان خمشی(نیروی خم کننده) حاصله منجر به ایجاد تنش عمودی در راستای ضخامت چسب می‌شود. این تنش را که عامل اصلی شکست اتصال می‌دانند، تنش پیل (q) می‌نامند.

شکل(٢) توزیع تنش پیل و تنش برشی در ناحیه چسبنده دو عضو متصله تحت کشش تنها را نشان می‌دهد. ناپیوستگی موجود در گوشه‌های اتصال تک‌لبه سبب تمرکز تنش در این نقاط می‌شود. به‌بیان دیگر تنش برشی و پیل در گوشه‌های اتصال بر اساس تئوری الاستیک خطی[2] نامعین است. به دلیل وجود این تمرکز تنش، هر یک از معیارهای شکست مبتنی بر تنش و کرنش اتصال باید برای گوشه‌های اتصال در نظر گرفته شود.

1- Vander Waals

2- Linear Elastic Material



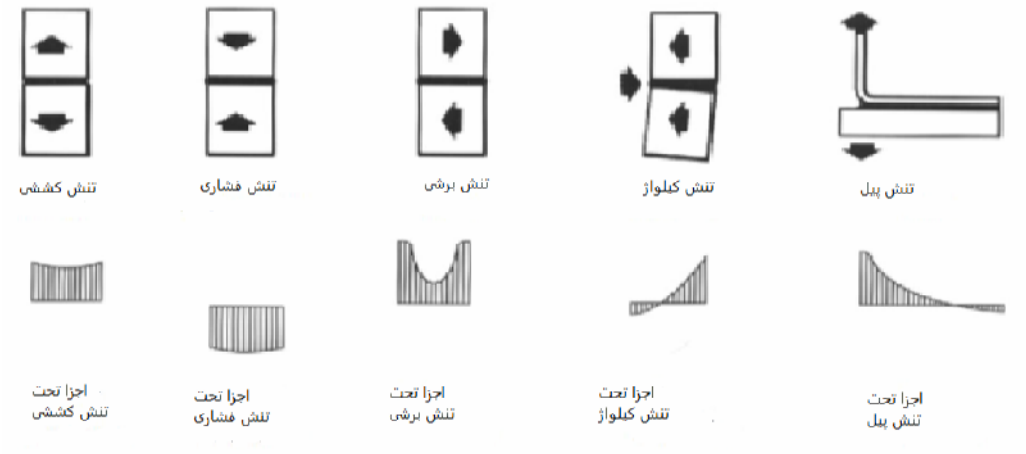
شکل ۲- توزیع تنش پیل و برش در طول اتصال تک‌لبه [۱].

۳- بارگذاری و شکست در اتصال

درک نوع بارگذاری و تنش‌های ناشی از آن برای تحلیل اتصالات چسبی ضروری است. طراحی شکل‌بندی نحوه اتصال، وابسته به وضعیت تنش‌های موجود در اتصال و کارایی موردنظر بسته‌بندی دارد. به‌طورکلی در اتصال چسبی بین دو عضو می‌تواند پنج نوع تنش وجود داشته باشد. کششی، فشاری، برشی، کیلواژ و پیل که در (شکل۳) نشان داده شده است. زمانی تنش کششی و فشاری خواهیم داشت که بار اعمالی عمود بر صفحه اتصال باشد. در برابر تنش‌های فشاری، اتصالات چسبی به‌خوبی می‌توانند مقاومت کنند.

هم چنین اگر کلیه ناحیه چسبنده درگیر بارگذاری باشد، اتصالات چسبی می‌تواند در برابر تنش‌های کششی مقاومت خوبی داشته باشد. متأسفانه در کاربردهای عملی، معمولاً بارگذاری به‌صورت محوری خالص نیست لذا همواره مقداری تنش‌های پیل و کیلواژ وجود خواهد داشت. اتخاذ قیود مشخص برای جلوگیری از ایجاد تنش‌های پیل و کیلواژ با توجه به هندسه اتصال امکان‌پذیر است [۷].

در صورتی‌که کلیه سطوح اتصال درگیر باشند و توزیع بار یکنواخت باشد، اتصالات چسبی به‌خوبی در برابر تنش‌های برشی مقاومت می‌کنند. بیشتر طراحی اتصالات به‌گونه‌ای است که بار اعمالی بر ناحیه اتصال به‌صورت

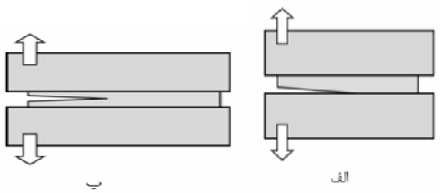


شکل ۳- انواع بارگذاری و تنش‌های ناشی از آن در اتصال تک‌لبه [۷].

تنش برشی خالص باشد ولی متأسفانه تنش‌های پیل کیلواژ ناشی از خارج از مرکز بودن بارها، سبب شکست فاجعه‌بار در اتصال می‌شود. تنش کیلواژ زمانی رخ می‌دهد که نیرو بر یکی از نواحی انتهایی اتصال انعطاف‌ناپذیر وارد شود و سبب ایجاد شکاف شود. تنش پیل نیز همانند کیلواژ است با این تفاوت که زمانی رخ می‌دهد که یک و یا هر دو عضو اتصال انعطاف‌پذیر باشند. به دلیل تمرکز تنش بر ناحیه کوچک، اتصال در برابر نیروهای پیل و کیلواژ نسبت به سایر حالات بارگذاری بسیار ضعیف عمل می‌کند. زمانی که ناحیه اتصال تحت تنش کششی و یا فشاری و یا برشی و یا پیل و کیلواژ قرار می‌گیرد، بارهای اعمالی توسط ناحیه چسب از یک عضو به عضو دیگر انتقال داده می‌شود. در فنّاوری چسب، دو حالت عمده برای مدل های واماندگی یک اتصال چسبی می‌توان در نظر گرفت:

الف) واماندگی درون چسبی[1]: این مدل خرابی با واماندگی خودچسب مشخص می‌شود. در صورت شکست درون چسبی باید نوع چسب مناسب‌تر و مستحکم‌تری انتخاب نمود.

ب) واماندگی چسب[2]: این نوع خرابی با واماندگی اتصال در سطح مشترک چسب/چسبنده مشخص می‌شود. این نوع از آسیب به دلیل آماده‌سازی ناکافی سطوح به روش شیمیایی و یا به روش مکانیکی ایجاد می‌شود. شماتیک این دو حالت واماندگی در (شکل ٤) نشان داده شده است [٧].



شکل ٤- (الف) واماندگی برون چسب (ب) واماندگی درون چسبی [٧].

در صنایع بسته‌بندی واماندگی درون چسبی ناشی از عدم انتخاب چسب مناسب و یا طراحی ناحیه اتصال ضعیف متناسب با شرایط استفاده می‌باشد و واماندگی برون چسبی، ناشی از استفاده از چسب در شرایط نامناسب و یا عدم آماده‌سازی مناسب سطوح و یا پخت نامناسب می‌باشد.

٤- عوامل مؤثر در بهبود عملکرد اتصال چسبی

ایجاد اتصال چسبی، فرآیندی است که در ضمن آن باید توجّه و تمرکز بالایی داشت، زیرا که کیفیت اتصال علاوه بر نوع چسب به شرایط کار و اتصال نیز وابسته است. فرآیند اتصال شامل آماده‌سازی سطح، استفاده از آماده ساز، استفاده از چسب و اتصال دو عضو و در نهایت اعمال شرایط مطلوب برای پخت می‌باشد. تلاش‌های بسیاری برای افزایش بازده اتصالات چسبی صورت گرفته است. برای افزایش بازده اتصال، لازم است توزیع تنش نایکنواخت کاهش یابد. خرابی در چسب، همیشه از نقاط و محل‌های با تنش بیشینه آغاز می‌شود. بنابراین، درکی از توزیع تنش در اتصال برای طراحی اتصالات چسبی اهمیت اساسی دارد[٨].

با بهره‌مندی از طراحی مناسب اتصال و انتخاب صحیح برای شاخص‌های طراحی معین که در توزیع تنش اهمیت دارند، می‌توان به این مهم دست‌یافت. شاخص‌های خواص چسب، هندسه ناحیه اتصال و آماده‌سازی سطوح پیش از اتصال، مهم‌ترین عوامل مؤثر بر کیفیت اتصالات چسبی می‌باشند.

٤-١- خواص چسب

خواص چسب وابسته به نوع چسب و استفاده صحیح از شرایط کاری چسب برای به حداکثر رساندن کیفیت اتصال است. برای انتخاب یک سامانه چسبی برای اتصال دو عضو مشابه و یا غیرمشابه به یکدیگر، باید عوامل مؤثر بر کارکرد مطلوب در نظر گرفته شود. این عوامل شامل شرایط پخت، بازه دمای کاری، نحوه درزبندی، شرایط

1- Cohesive Failure
2- Adhesive Failure

کاری شیمیایی و یا الکتریکی، شرایط زیست‌محیطی و مهم‌تر از همه، توانایی تحمل بار و استحکام موردنیاز برای اتصال است.

در بعضی از موارد باید از بیش از یک نوع چسب برای دستیابی به خواص مطلوب استفاده کرد. هر سامانه چسبی ویژگی‌های مشخصی دارد که برای کارکردی خاص مناسب می‌باشند. به‌طور کلی، سامانه‌های چسبی را می‌توان به شش دسته طبقه‌بندی نمود:

۱- اپوکسی[1]

۲- اورتان[2]

۳- اکریلیک[3]،

٤- آناروبیک[4]

۵- سیانوآکرالیت[5]

٦- سامانه‌های پخت با امواج فرابنفش [۹].

در صنعت بسته‌بندی بیشتر از فیلم‌های چسبی پلی‌پروپیلن[6](PP) استفاده می‌شود. کاربرد این نوع چسب‌ها به خاطر سختی بسیار بالا (سه برابر فیلم‌های قالبی و هشت برابر پلی‌اتیلن) و هم‌چنین امکان استفاده از آن در حالت چسبندگی حرارتی است. مصرف جهانی کنونی چسب‌های پلی‌پروپیلن بیش از یک‌میلیون تن در سال برآورد می‌شود[۱۰].

٤-۲- هندسه ناحیه اتصال

هندسه ناحیه، نقش مؤثری در نحوه توزیع تنش در طول اتصال دارد و می‌تواند استحکام اتصال را بهبود بخشد. هندسه ناحیه اتصال، شامل طول اتصال و ضخامت چسب می‌باشد. افزایش نسبت طول لبه مشترک (L) به ضخامت چسبنده (h) استحکام اتصال را در نسبت‌های کم L/h به‌طور قابل‌ملاحظه‌ای افزایش خواهد داد. باید توجّه داشت که در نسبت‌های بالای L/h بهبود استحکام ناچیز است.

1- Epoxies
2- Urethanes
3- Acrylics
4- Anaerobic
5- Cyanoacrylates
6- Polypropilan

هندسه طولی ناحیه اتصال در بسیاری از موارد، بسته‌بندی مشخص و غیرقابل تغییری می‌باشد و تنها در ضخامت چسب قابل تغییر است. مهم‌ترین مسئله در مورد ضخامت چسب، مقدار و یکنواختی یا همگنی آن است. به طور کلی، باید تلاش کرد تا جای ممکن، لایه چسب نازک باشد. در عین حال هیچ نقطه‌ای خالی از چسب نباشد. در عمل، در محدوده ضخامت ۰/۰۵ mm تا ۰/۵ mm استحکام چسب به‌طور چشمگیری تغییر پیدا نمی‌کند. در ضخامت‌های بالاتر امکان وارد شدن مقادیر بیشتری از حباب‌ها و جای خالی وجود دارد. علاوه بر آن، در این حالت، تنش‌ها در گوشه‌های اتصال تمایل دارند تا مقادیر بزرگ‌تری اختیار کنند، زیرا با چسب ضخیم دشوار است که بارهای وارده هم‌محور شوند تا مانع از ایجاد تنش‌های پیل بزرگ شوند. ضخامت‌های معمول فیلم چسب مورد استفاده در صنایع بسته‌بندی از ۱۵ تا ۵۰ میکرون است [۱۰].

باید توجّه کرد که خواص چسب برای مقاطع نازک ذکر می‌شود. مقاطع ضخیم‌تر موجب تغییر خواص پخت و منجر به افزایش تنش‌های داخلی و خواص فیزیکی دیگری می‌شود. روش‌های متعدّدی برای حفظ ضخامت در یک مقدار ثابت از پیش تعیین‌شده وجود دارد. این روش‌ها عبارتند از:

۱- تنظیم گرانروی چسب[7]

۲- به‌کارگیری مقدار از پیش محاسبه شده فشار در حین پخت

۳- استفاده از سامانه قیدوبند که برای این کاربرد طراحی شده باشد.

٤-۳- آماده‌سازی سطوح

آماده‌سازی سطح نقش مؤثری در موفقیت اتصال دارد. هدف از آماده‌سازی سطح، اطمینان از تماس چسب با سطح عضو چسبنده است و آلودگی‌های سطحی مانند روغن، گریس، لایه‌های آلوده و ... در محل اتصال وجود نداشته باشد. هم‌چنین آماده‌سازی سطوح با افزایش زبری سطح

7- Visocity

موجب می‌شود مکانیزم در هم قفل شدن سطوح چسب و عضو اتصال، که سبب ایجاد اتصال می‌شود، تقویت گردد.

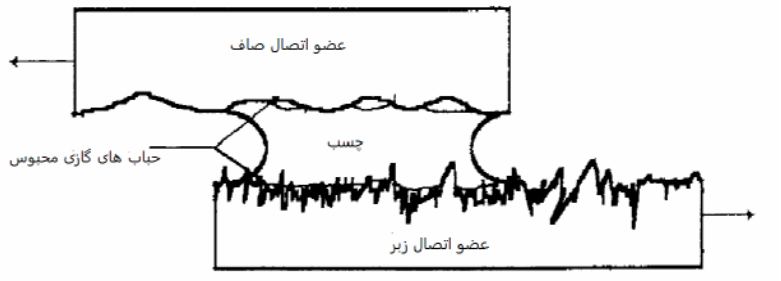
روش‌های آماده‌سازی سطوح شامل سه روش مکانیکی، شیمیایی و فیزیکی است. در روش مکانیکی با استفاده از کاغذ سمباده و یا ابزارهای دستی دیگر برای زدودن گردوخاک، رنگ، ترشحات حاصل از جوشکاری و.. استفاده می‌شود. این روش‌ها اغلب زمان‌بر بوده ولی برای سطوح گسترده قابل‌استفاده می باشند.

در روش‌های شیمیایی سطوح عضو اتصال در یک محلول شیمیایی فعال غوطه‌ورمی شود. با استفاده از این روش علاوه بر پاک‌سازی و آماده‌سازی سطوح اتصال، می‌توان سبب افزایش فعالیت‌های شیمیایی برای برقراری اتصال محکم‌تر شد. برای عضوهای اتصال فلزی که اکثراً نیاز به زدودن لایه اکسید از سطح قطعه کار است بیشتر از این روش استفاده می‌شود.

در روش فیزیکی سطوح اتصال در معرض تخلیه شارژ انرژی بالا قرار می‌گیرد. رایج‌ترین این روش‌ها عبارت‌اند از استفاده از شعله، کرونا[1] و پلاسما. درروش شعله سطح اتصال برای مدت چند ثانیه در برابر شعله اکسی استیلن قرار می‌گیرد که سبب بهبود خواص خیس شوندگی سطوح می شوکه می‌تواند منجر به اتصال محکم‌تر گردد. در روش تخلیه کرونا با اعمال فرکانس و ولتاژ بالا بین الکترود کرونا و سطح عضو اتصال، ناحیه پلاسما شکل می‌گیرد که به دلیل برخورد ذرّات باردار به سطح عضو اتصال لایه از سطح عضو اتصال زدوده می‌شود. تأثیر روش‌های فیزیکی کوتاه است و اتصال باید به‌سرعت انجام شود. این روش‌ها بیشتر برای سطوح فلزی و کامپوزیتی استفاده می‌شوند[۱۱].

زبری سطح یکی از شاخص‌های اساسی است که با کاهش حباب‌های محصور بین سطوح و افزایش درگیری بین چسب و سطح در موفقیت اتصال نقش بسیار مهمی ایفا می‌کند. با افزایش زبری عضوهای اتصال، سطوح بیشتری برای نفوذ مایع 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 ترکنندگی بالایی داشته باشد. اصطلاح ترشوندگی، اشاره به پخش یکنواخت مایع چسب در ضمن تماس با کلیه سطوح زیر آیند دارد به‌نحوی‌که تمامی سطوح زیر آیند چسب در مقیاس میکرو و ماکرو باید توسط چسب پر گردد. با ایجاد تر شوندگی زیاد، تماس بیشتری بین چسب و عضوها حاصل می‌گردد و در نتیجه سبب افزایش استحکام اتصال می‌شود(شکل ۵). هم‌چنین عدم ترکنندگی مناسب چسب سبب ایجاد حباب‌های پیوسته بین ناحیه اتصال می‌شود که می‌تواند آغازگر ترک و در نهایت منجر به شکست شود[۱۲]. عامل مؤثر دیگر، تمیزی سطح اتصال است. وجود هر گونه ماده خارجی از قبیل ذرّات ریز، رطوبت، چربی‌ها، اکسیدها و ... سبب تضعیف اتصال چسب با عضوها می‌گردد.



شکل۵- تأثیر زبری بر هم‌سطحی حباب‌های محبوس. سطح بالایی، صاف و حباب هوا در یک صفحه‌اند و سطح پایینی زبر حباب‌ها در چند صفحه محبوس شده‌اند [۲].

1- Corona

پاک‌سازی سطوح پیش از اتصال، می‌تواند به‌صورت مکانیکی و یا شیمیایی و یا ترکیبی از آن‌ها صورت پذیرد. به‌طور کلی، برای ایجاد اتصال مناسب، مناطق مورد اتصال باید به‌خوبی تمیز شوند، سطوح اتصال باید توسط زبری زیاد، افزایش یابد. چسب باید به‌خوبی جریان یابد و به‌طور کامل سطح را تر کند و از نظر شیمیایی بین سطوح چسب و عضو اتصال نیروی جاذبه قوی برقرار شود.

۵- نتیجه‌گیری

تنش‌های پیل و کیلواژ دو تنش اصلی و مهم در شکست اتصال می‌باشند. برای بهینه نمودن اتصال باید تلاش شود تنش‌ها در طول اتصال کاهش و یکنواخت شود. واماندگی درون چسبی ناشی از عدم پخت مناسب و یا ضعیف بودن خواص چسب است در حالی که، واماندگی برون چسبی معمولاً به دلیل آماده‌سازی سطوح ضعیف صورت می‌گیرد. سه عامل خواص چسب، هندسه ناحیه اتصال و نحوه آماده‌سازی سطوح اتصال، مهم‌ترین عوامل مؤثر بر کیفیت اتصال می‌باشند. خواص چسب وابسته به نوع چسب و استفاده صحیح از شرایط کاری چسب برای به حداکثر رساندن کیفیت اتصال می‌باشد. برای بهینه کردن هندسه ناحیه اتصال باید نسبت طول لبه مشترک به ضخامت چسب تا یک مقدار بهینه متناسب با شرایط چسب افزایش یابد. زبری و تمیزی سطوح باعث افزایش درگیری بین چسب و سطح شده و سبب بهبود استحکام و درزبندی می‌شود.

٦- منابع

1. O. Volkersen, (1938). **"Rivet strength distribution in tensile-stressed rivet joints with cross-section, "**Luftfahr for schung, vol.15, pp. 41-47.
2. E. R. M. Goland, E Reissner., (1944). **"The stresses in cemented joints,"** journal of applied mechanics, vol. 11, pp. A 17-A 27.
3. A. B. S. G. U.K. Vaidya , M. Hosur, P. Dutta, (2006). **"Experimental-numerical studies of adhesively bonded lap joints in composite structure,"** International Journal of Adhesion and Adhesives, vol. 26, pp. 184-190.
4. A. M. David .yungi, (1999). **"Numerical simulations of adhesively-bonded beams failing with extensive plastic deformation,"** Journal of the Mechanics and Physics of Solids, vol. 47, p. 1.
5. B. J. G.] Fitton.M.D. ,(2005). **"Variable modulus adhesive an approach to optimised joint performance "** International Journal of Adhesion and Adhesives, vol. 25, pp. 333-393.
6. M. Arif Butt, Arshad Chughtai, Javaid Ahmad, Rafiq Ahmad, Usman Majeed, I.H. Khan (2007). **"Theory of Adhesion and its Practical Implications A Critical Review"** Journal of Faculty of Engineering & Technology. pp 21-45.
7. K. N. Anyfantis, (2012). **"Analysis and Design of Composite-to-Metal Adhesively Bonded Joints,"** PhD thesis.
8. E. M. Petrie, (2000). **"handbook of adhesive and sealants,"**.
9. R. D. Adams, Comyn, J., Wake, W.C., (1997). **"Structural adhesive joints in engineering,"** London, Chapman & Hall, London.
10. T. A. S. A. (TASA). (2015). http://www.tasaindia.org/
11. The ChemQuest Group , Inc. **"The Adhesive and Sealant Council"** Revised 2009.
12. E. m.petrie, **hand book of adhesive and sealants**: mc.graw hand book.

آدرس نویسنده

تهران- خیابان کارگر شمالی- پردیس دانشکده‌های فنی دانشگاه تهران- دانشکده مهندسی مکانیک- صندوق پستی: ۱٤۳۹۹٥۷۱۳۱.