

اتصال ترکیبی چسب - جوش؛ روشی کارآمد در کاهش وزن خودروها

محمدحسن شجاعی فرد^۱، حامد سعیدی گوگرچین^۲، محمدرضا غیبی^۳

۱ استاد دانشکده مهندسی مکانیک، دانشگاه علم و صنعت ایران، تهران

۲ استادیار دانشکده مهندسی خودرو، دانشگاه علم و صنعت ایران، تهران، hsaedi@iust.ac.ir

۳ دانشجوی دکتری، دانشکده مهندسی خودرو، دانشگاه علم و صنعت ایران، تهران

تاریخ دریافت: ۱۳۹۵/۱۰/۱۴

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۶/۰۲/۰۵

چکیده

امروزه کاهش آلایندگی خودروها و افزایش استحکام سازه آنها به جهت ایمنی بیشتر در تصادفات، دو هدف عمده‌ای هستند که محرک نوآوری‌های روزافزون در صنعت خودروسازی شده است. در دهه گذشته، به‌کارگیری اتصالات ترکیبی بر پایه اتصالات چسبی در سازه بدنه خودرو به جهت محدودیت‌های اتصالات پیشین و مزایای ویژه‌ای که چسب به ارمغان آورده است، بسیار مورد استقبال خودروسازان قرار گرفته است. در این میان، اتصال ترکیبی جوش نقطه‌ای - چسب بیشترین کاربرد را دارد که در این نوشتار علاوه بر بیان مزایای آن به توضیح چگونگی ایجاد این اتصال و پارامترهای مؤثر بر آن پرداخته شده است. در نهایت نتیجه‌گیری می‌گردد که جهت دستیابی به بهترین استحکام در این اتصال ترکیبی، شناخت پارامترهای طراحی بسیار حائز اهمیت است و متداول‌ترین روش ایجاد این اتصال ترکیبی آن است که نخست چسب در موضع آماده‌سازی شده اعمال و پس از آن جوش نقطه‌ای به سرعت ایجاد شود.

واژگان کلیدی

کاهش وزن، افزایش ایمنی خودرو، اتصال ترکیبی، اتصال جوش نقطه‌ای، اتصال چسبی

۱. مقدمه

این اتصالات عبارت‌اند از [۱]: جوش - چسب، پرچ - چسب، کلینچ^۳ - چسب، پیچ - چسب و چسب‌های مخلوط‌شده. با وجود مطالعات انجام‌شده، فرایند واماندگی این اتصالات هنوز به‌طور کامل شناخته نشده و معیار واماندگی مسلمی برای آنها پایه‌ریزی نشده است [۲]. در سال‌های اخیر تکنیک اتصال چسب - جوش توسط تعدادی از شرکت‌های خودروسازی که تعدادشان روزبه‌روز

تکنیک اتصال روی سفتی و مود واماندگی^۱ سازه تأثیرگذار است [۳]. کاربرد دو تکنیک اتصال مختلف به‌طور همزمان در ساخت اتصالات ترکیبی^۲ ایده نسبتاً جدیدی است که بسیار مورد توجه صنایع خودروسازی برای دستیابی به اتصالات با دوام بیشتر و سازه‌های ایمن‌تر قرار گرفته است. هدف اصلی از ایجاد چنین اتصالاتی، تجمیع مزایا و حذف معایب هر کدام از آنهاست. انواع

در حال افزایش است، مورد بهره‌برداری قرار گرفته است. در این نوشتار علاوه بر بیان مزایای اتصال ترکیبی، مثال‌هایی از کاربرد آن در خودرو ارائه شده و در ادامه، الزامات ایجاد اتصال ترکیبی، پارامترهای مؤثر در فرایند شکل‌گیری آن و علل بروز نقص در این اتصالات مورد بررسی قرار گرفته است.

۲. مزایای اتصال ترکیبی چسب - جوش نقطه‌ای

اتصالات ترکیبی مزایای مهندسی زیادی دارند؛ زیرا اندرکنش میان یک به یک اتصالاتی که با هم ترکیب شده‌اند، سبب تجمع و حتی در برخی موارد سبب هم‌افزایی نقاط قوت آنها می‌شود. به بیان دیگر، بهترین رفتار اتصال ترکیبی زمانی حاصل خواهد شد که هر یک از عناصر اتصال ترکیبی، خواص متفاوتی را بهبود بخشد [۳]. اتصال ترکیبی چسب - جوش نقطه‌ای، نخست برای اجتناب از نوفه^۴ و ارتعاشات هواپیما، خودرو و واگن‌های قطار ایجاد گردید [۴]. این اتصال ترکیبی، قابلیت بهتری در ایجاد اتصال مورد نیاز بین مواد غیر مشابه را دارد [۲]. هم‌افزایی بین اتصال چسب و اتصال جوش نقطه‌ای، مزیت‌های رقابتی نسبت به اتصالات چسبی سنتی فراهم می‌کند که از جمله آنها می‌توان به سفتی و استحکام بالاتر و مقاومت بیشتر در برابر پوست‌کنی^۵ اشاره کرد [۵-۶]. افزایش سفتی اتصال بدون افزایش وزن، سفتی دینامیکی را افزایش خواهد داد که به سبب آن، فرکانس‌های طبیعی، به‌ویژه چند فرکانس نخست افزایش می‌یابد. بنابراین استفاده از اتصالات ترکیبی موجب ارتقای صلبیت بدنه خودرو می‌گردد [۷]. گفتنی است اتصال چسبی نیاز به سوراخکاری ندارد و بار را روی سطح وسیع‌تری نسبت به اتصالات مکانیکی توزیع می‌کند [۵-۶]. بنابراین در مقایسه با جوش نقطه‌ای تنها، اتصال ترکیبی مذکور به سبب کاهش تمرکز تنش پیرامون خال جوش^۶ و بهبود مقاومت کلی اتصال در برابر خوردگی از طریق بهبود کیفیت آب‌بندی آن، مشخصه‌های استحکامی و خستگی بهتری را از خود نشان می‌دهد و تلاش کل سازه را در تحمل بار تعدیل می‌کند [۲]، [۸، ۵]. به‌علاوه، ترکیب این دو اتصال تلرانس آسیب^۷ استاتیکی و دینامیکی اتصال حاصل را بهبود می‌بخشد [۳-۵]. مشخصه کلیدی دیگر این روش، امکان جایگزین کردن نقاط ناپیوسته با اتصالات پیوسته است که به‌موجب آن مقاومت برخورد وسائل نقلیه به‌واسطه افزایش استحکام کلی سازه بدنه افزایش می‌یابد که این ویژگی به نوبه خود منجر به افزایش امنیت سرنشینان در حین

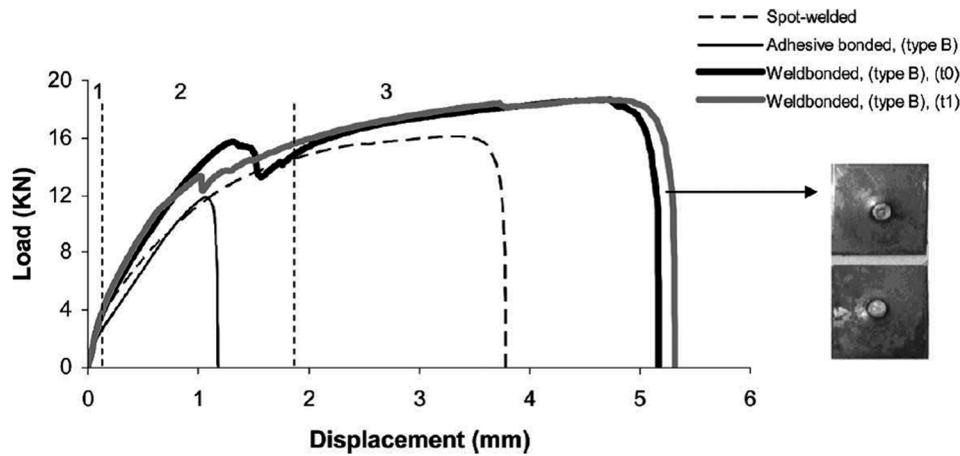
تصادف می‌گردد [۲]. در ضمن، پیوستگی اتصال این امکان را فراهم می‌کند که فاصله بین جوش‌های نقطه‌ای افزایش یابد. این امر سبب کاهش تعداد کلی جوش‌های نقطه‌ای می‌گردد و در نتیجه اجرای صنعتی این فرایند را در خط تولید مقرون به صرفه می‌سازد [۲، ۶، ۹]. از سوی دیگر، تولید آسان‌تر به دلیل عدم نیاز به فیکسچر در زمان تثبیت چسب نیز از مزایای این اتصال و از عوامل کاهش هزینه‌های تولید آن شمرده می‌شود [۶]. وجود فرایند شکست دو مرحله‌ای که در شکل ۱ نمایش داده شده است، تشخیص پیش از شکست اتصال چسب - جوش را آسان‌تر و ایمنی آن را افزایش می‌دهد [۳]. منحنی نیرو - جابه‌جایی حاصل از آزمون کشش سه نمونه مختلف جوش نقطه‌ای، اتصال چسب - جوش و اتصال چسبی را می‌توان به سه منطقه تقسیم نمود:

۱. منطقه ۱: در این منطقه، با افزایش جابه‌جایی، نیرو با شیب تندی افزایش می‌یابد تا جایی که چسب و جوش نقطه‌ای شروع به تغییر شکل می‌کنند.
۲. منطقه ۲: در این منطقه، نیرو به‌صورت غیرخطی افزایش می‌یابد. البته نرخ افزایش نیرو نسبت به مرحله قبل به‌طور قابل توجهی کمتر می‌شود و این موضوع به دلیل کاهش فزاینده استحکام پیوند چسب و افزایش تغییر شکل پلاستیک جوش نقطه‌ای است. در این منطقه باید توجه داشت که نمونه‌های ترکیبی نسبت به هر دو اتصال جوش نقطه‌ای و چسب بار بیشتری را تحمل می‌کنند. این مسئله ناشی از مشارکت ترکیبی چسب و جوش می‌باشد. در ادامه، افت آنی نیرو در منحنی ناشی از شکست بخش عمده چسب و انتقال بار در همان لحظه روی خال جوش نقطه‌ای است.
۳. منطقه ۳: در این منطقه، نیرو مجدداً به آرامی افزایش می‌یابد (البته به دلیل جزئی پیوند چسبی باقیمانده، نیرو سریع‌تر از اتصال جوش نقطه‌ای رشد می‌کند) تا زمانی که خال جوش گسیخته می‌شود. پس از آن با افزایش جابه‌جایی، بار ناگهان افت می‌کند و پیوند چسبی باقیمانده نیز گسسته می‌شود.

چنین سازوکار شکستی، عملکرد تصادف خودرو را با تغییر در الگوی جریان انرژی و الگوی جذب انرژی در سازه بدنه خودرو بهبود می‌دهد. اجرای این تکنیک، جذب انرژی تخریب کلی سازه را افزایش می‌دهد و چقرمگی و ویژگی فرونشانی^۸ ارتعاشی اتصال

جوش نقطه‌ای را ارتقا می‌دهد [۸]. با توجه به مزایای عنوان‌شده، در خودروهای جدید به‌منظور کاهش وزن خودرو و مصرف سوخت،

بهبود دوام بدنه خودرو و نیز ایمنی و راحتی سرنشینان، اتصال ترکیبی چسب - جوش نقطه‌ای مورد استقبال قرار گرفته است.

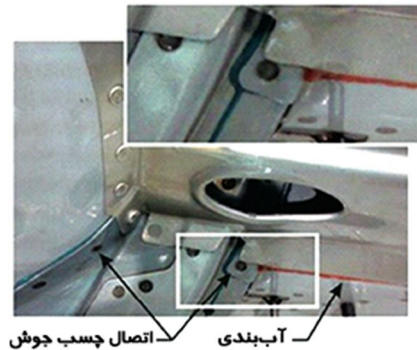


شکل ۱. نمودار نیرو - جابه‌جایی آزمون کشش سه نمونه مختلف [۱۰]

۳. کاربرد اتصال ترکیبی چسب - جوش در خودرو

در شکل ۲ جهت اتصال محفظه چرخ^۹ به پتل کف^{۱۰} در مجاورت دربها از اتصال ترکیبی چسب - جوش استفاده شده است.

تقویت‌کننده حلقه‌ای شکل مدور^{۱۲} اتخاذ شده است. پیشتر در فرایند تولید بدنه، ریل سقف جدا از ستون C مونتاژ می‌گردید، اما به‌کمک اتصال چسب - جوش، این اجزا به هم متصل و به‌صورت یکپارچه به خط مونتاژ فرستاده می‌شوند. طراحان این پلتفرم از این روش اتصال در تولید محفظه چرخ نیز بهره برده‌اند و در نهایت اذعان داشته‌اند که این امر سبب افزایش صلبیت بدنه شده است.



شکل ۲. اتصال چسب - جوش استفاده‌شده در بدنه خودرو [۸]

۴. ایجاد اتصال ترکیبی چسب - جوش نقطه‌ای مقاومتی

اتصال ترکیبی چسب با جوش نقطه‌ای با دو روش جوش - چسب^{۱۳} و چسب - جوش^{۱۴} ایجاد می‌گردد که رویه انجام آنها در شکل ۴ به اجمال نمایش داده شده است. در روش جوش - چسب ابتدا قطعات به هم جوش می‌شوند و سپس چسب با ویسکوزیته پایین بین سطح مشترک دو قطعه جوش‌شده اعمال می‌گردد و سرانجام فرایند تثبیت چسب در دمای اتاق یا بالاتر صورت می‌گیرد [۶]. در این اتصال چسب به‌کمک یکی از سه روش عمل موینگی^{۱۵}، خلأ یا فشار به درون حد فاصل بین قطعات اعمال می‌شود [۱۱]. روش چسب - جوش به سرعت جایگزین روش قبلی شد تا اجازه دهد چسب‌های با ویسکوزیته بالاتر نیز در ایجاد این اتصال ترکیبی مورد استفاده قرار گیرند. در این روش پس از آماده‌سازی سطح چسب‌دهنده‌ها برای اعمال چسب و ایجاد جوش نقطه‌ای، لایه نازکی از چسب روی قطعات زده می‌شود. سپس قطعات در موقعیت مشخص خود روی هم قرار داده شده و روش نقطه‌ای برقرار می‌گردد. در نهایت نیز فرایند تثبیت چسب اجرا می‌شود [۵]، [۶]

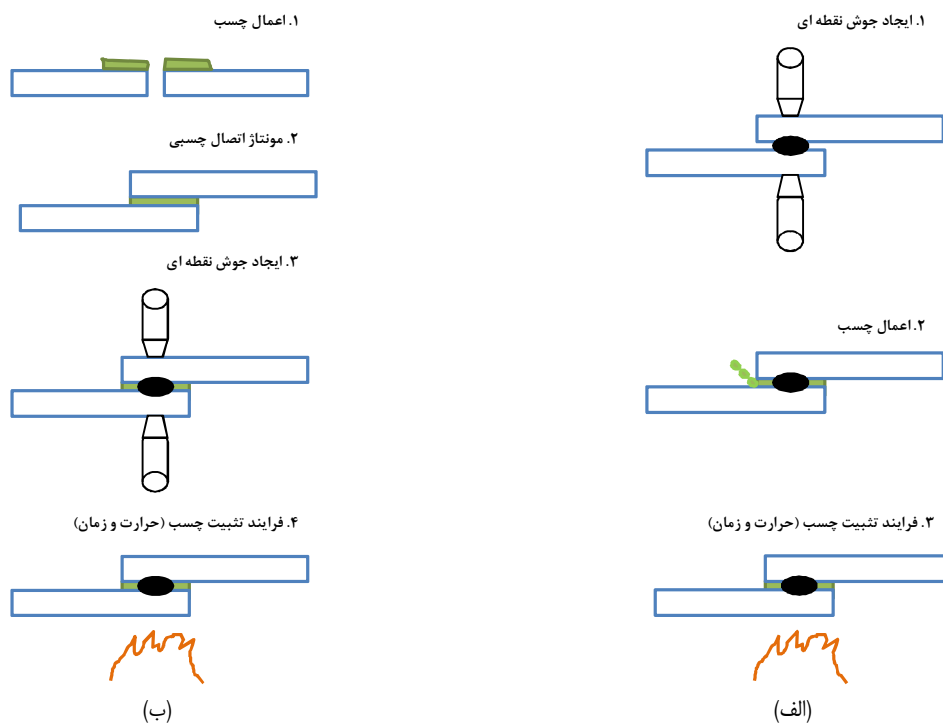


شکل ۳. استفاده از اتصال چسب - جوش در پلتفرم اسکای اکتیو مزدا

همچنین شرکت خودروسازی مزدا در پلتفرم اسکای اکتیو^{۱۱} (شکل ۳) برای اتصال ریل سقف از اتصال ترکیبی چسب - جوش استفاده کرده است. این رویکرد به‌منظور ایجاد یک سازه

[۱۱]. در این اتصال، جوش نقطه‌ای این امکان را فراهم می‌کند که بدون نیاز به فیکسچر، تا زمان تثبیت کامل چسب، اتصال شکل خود را حفظ نماید و این امر موجب صرفه‌جویی در وقت و هزینه خواهد شد. گفتنی است با توجه به طراحی فرایند خط تولید، تثبیت چسب می‌تواند همزمان با فرایند رنگ‌زنی بدنه خودرو صورت پذیرد [۷]. همچنین در این اتصالات ترکیبی، جوش نقطه‌ای می‌تواند به کمک تکنیک‌های مختلف جوشکاری مانند جوش نقطه‌ای مقاومتی^۶، جوش نقطه‌ای گاز تنگستن^۷، جوش نقطه‌ای لیزری^۸ و پرتو الکترونی^۹ صورت پذیرد. با وجود این، جوش

نقطه‌ای مقاومتی مشهورترین و مقبول‌ترین این تکنیک‌ها می‌باشد [۱۱]. معمولاً در اتصالات ترکیبی چسب - جوش از چسب‌های اپوکسی^{۲۰}، اپوکسی بهبودیافته^{۲۱} و پلی‌اورتان^{۲۲} استفاده می‌شود. این چسب‌ها در شکل‌های مختلف مایع یک یا دو جزئی، خمیری^{۲۳} و به صورت لایه نازک جامد^{۲۴} مورد استفاده قرار می‌گیرند. اغلب برای کاهش مقاومت الکتریکی لایه چسب از فیلرهای فلزی^{۲۵} در این چسب‌ها نیز استفاده می‌شود. به سبب الزامات تولید نیز، معمولاً چسب‌های تثبیت شونده با حرارت^{۲۶} برای ایجاد این اتصال ترکیبی مورد استفاده قرار می‌گیرند [۱۱].



شکل ۴. روش‌های ایجاد اتصال ترکیبی چسب با جوش نقطه‌ای [۶]؛ (الف) جوش - چسب، (ب) چسب - جوش

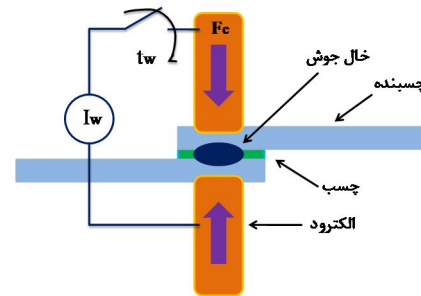
تحلیل‌ها نشان داده است که اجرای تکنیک جوش - چسب آسان‌تر بوده و سختی و ریزساختار قطعات به هم جوش شده را بهتر حفظ می‌کند. اما این روش به دلیل اینکه مبتنی بر کارگر است برای استفاده در تولید انبوه خودرو نامناسب ارزیابی شده است [۶، ۱۱]. در مقابل، امروزه روش چسب - جوش نقطه‌ای به‌خاطر مزایایی از جمله قابلیت اتوماسیونی شدن اجرای آن در امر تولید، متداول‌ترین روش محسوب می‌گردد [۱۱]. همچنین استحکام مکانیکی و کیفیت کلی اتصالات ترکیبی ایجاد شده بوسیله تست‌های مخرب (تست پوست‌کنی و تست کشش - برش اتصال تک‌لبه‌ای) و غیرمخرب قابل بررسی می‌باشد. در تست غیرمخرب از بزرگ‌نمایی مقاطع عرضی در طول خال جوش

اتصالات جوش نقطه‌ای و ترکیبی برای تعیین قطر خال و میزان نفوذ آن بهره گرفته می‌شود. همچنین از اطلاعات حاصل از تست غیرمخرب می‌توان برای تشخیص انتخاب احتمالی نامناسب پارامترهای جوشکاری، نگهداری و تعمیر نامناسب الکترودها یا سوء عمل^{۲۷} ماشین جوش نیز استفاده کرد [۱۰].

۵. پارامترهای مؤثر بر اتصال ترکیبی چسب - جوش نقطه‌ای

تکنیک جوش - چسب نخست برای تولید هواپیمای آنتونوف An-24 در شوروی سابق (۱۹۶۲) ایجاد شده و مورد بهره‌برداری واقع شد. تکنیک بعدی نیز ابتدا در ایالات متحده آمریکا مورد استفاده

قرار گرفت. امروزه اتصال ترکیبی چسب با جوش نقطه‌ای عمدتاً به کمک تکنیک چسب - جوش ایجاد می‌گردد. پارامترهای اتصال ترکیبی شامل پارامترهای جوش نقطه‌ای و اتصال چسبی می‌باشد که هر کدام از این پارامترها به تفصیل بیان خواهد شد. طرح کلی و اجزای اتصال ترکیبی چسب - جوش در شکل ۵ نمایش داده شده است. در این شکل، I_w جریان مورد نیاز برای جوش نقطه‌ای و t_w زمان جوش می‌باشد.



شکل ۵. طرح کلی اتصال ترکیبی چسب - جوش نقطه‌ای

۱-۵. نقش پارامترهای اتصال چسبی در ایجاد اتصال

ترکیبی چسب - جوش نقطه‌ای

پارامترهای مؤثر بر اتصال چسبی به دو دسته پارامترهای هندسی و پارامترهای مادی تقسیم می‌گردند. در این میان، پارامترهای هندسی شامل ضخامت لایه چسب، ضخامت چسبنده‌ها و طول ناحیه هم‌پوشانی اتصال و پارامترهای مادی شامل نوع ماده چسبنده و مدول برشی چسب می‌باشد. مانند اتصالات چسبی، هندسه سطح پیوند یکی از فاکتورهای کلیدی در عملکرد اتصالات ترکیبی است [۴]. مطالعه‌ای عددی نشان داده است که در اتصالات ترکیبی چسب - جوش، افزایش مدول الاستیسیته چسب تا حد مشخصی سبب افزایش استحکام اتصال خواهد شد. همین وضعیت در مطالعه ضخامت لایه چسب نیز گزارش شده است [۱۲]. چسب‌های سازه‌ای سفتی بالایی دارند و رفتار وابسته به نرخ کرنش الاستیک از خودشان نشان می‌دهند [۱۳]. چسب مورد استفاده در ایجاد اتصال ترکیبی باید تر شدگی^{۲۸} و مشخصه‌های جریان^{۲۹} خوبی داشته باشد تا اتصال با کیفیت بالا و تماس الکتریکی خوب بین سطوح چسبنده‌ها را در زمان جوش نقطه‌ای فراهم کند [۹-۱۰]. همچنین از تثبیت زود هنگام چسب در زمان ایجاد جوش نقطه‌ای یا پیش از آن باید اجتناب شود؛ زیرا این امر سبب افزایش قابل توجه مقاومت الکتریکی اتصال چسبی می‌گردد. بالابودن مقاومت الکتریکی اتصال چسبی - هنگام ایجاد

اتصال ترکیبی - علاوه بر تولید حرارت بیش از حد حین جوشکاری در مجاورت سطح مشترک قطعات، مانع جریان یافتن مناسب جریان الکتریکی در موضع اتصال می‌گردد [۱۰]. شکل ۶ وضعیت جوش نقطه‌ای ایجاد شده را در سه زمان کاری مختلف پس از اعمال چسب نشان می‌دهد. انتخاب هر دو زمان تثبیت و زمان کاری^{۳۰} تعیین‌کننده است و تا حد زیادی به چرخه تولید خط مونتاژ وابسته است. زیرا در حالیکه برای ایجاد اتصال ترکیبی به روش چسب - جوش در طول زمان کاری باید جوش نقطه‌ای برقرار گردد، در مقابل برای فرایند رنگ‌کاری وسیله نقلیه لازم است که چسب‌ها به طور کامل تثبیت شوند [۹]. البته مشخصات اتصال ترکیبی نه تنها به ویژگی‌ها و طبیعت چسب، که به سیستم مکانیکی مورد استفاده، سازگاری طراحی، ترتیب اجرای اتصال و نیز به شرایط مورد استفاده برای ایجاد اتصال وابسته است [۳]. همچنین اتصالات چسبی به آماده‌سازی سطح قطعات، دمای کاری، رطوبت و زمان در معرض‌گذاری^{۳۱} بسیار حساس هستند. بنابراین ترکیب اتصال چسب با اتصال جوش نقطه‌ای برای فایده آمدن بر این محدودیت‌ها در نظر گرفته شده است [۵-۶].

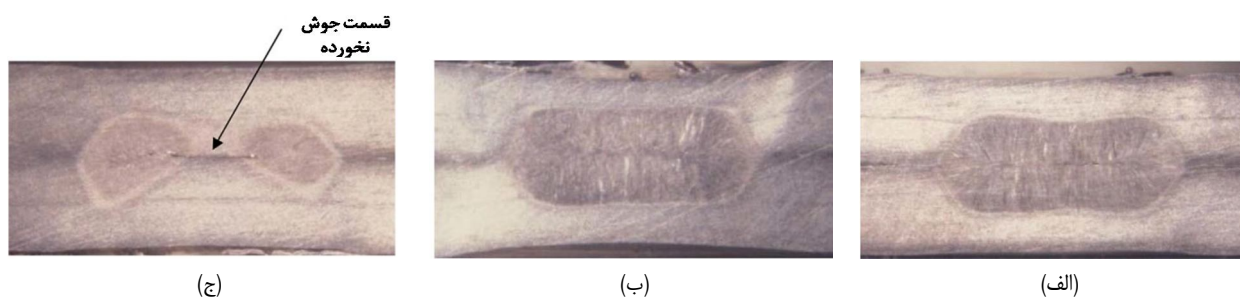
۲-۵. نقش پارامترهای اتصال جوش نقطه‌ای در ایجاد

اتصال ترکیبی چسب - جوش نقطه‌ای

در جوش نقطه‌ای متداول، سطوح مورد نظر با ذوب شدن چسبنده‌ها از طریق جریان یافتن جریان الکتریکی از میان آنها به هم متصل می‌شوند. ایجاد جوش نقطه‌ای مناسب با رعایت زمان جوشکاری (t_w)، جریان جوشکاری (I_w) و نیروی الکتروود (F_e) مقتضی محقق می‌شود [۶]. خال جوش به‌طور موضعی در وجه مشترک بین چسبنده‌ها تشکیل می‌گردد و به سطوح بیرونی آنها تعمیر نمی‌یابد؛ در حالی که اندازه و شکل مطلوب آن به نیروی الکتروود، زمان جوشکاری و به‌ویژه جریان جوشکاری و هندسه الکترودهای جوشکاری بستگی دارد [۵، ۱۴]. انتخاب نیروی الکتروود به جنس قطعات و جریان انتخابی برای جوشکاری به هندسه سر الکتروود^{۳۲} و جنس آن وابسته است [۶]. به‌طور کلی برای فولاد ضد زنگ، خال جوش به‌صورت بیضی شکل با ارتفاع ۷۰ تا ۸۰ درصد ضخامت ورق و قطر حدوداً ۳ تا ۵ برابر ضخامت ورق مشخص می‌شود. همچنین هر قدر ضخامت ورق بیشتر باشد، قطر خال جوش نسبت به ضخامت، کوچکتر خواهد بود [۹]. این قطر در اتصال ترکیبی به ازای جریان الکتریکی یکسان، کوچکتر

از قطر آن در اتصال جوش نقطه‌ای تنها می‌باشد؛ زیرا لایه چسب

مانع از جریان یافتن انرژی الکتریکی می‌شود [۱۵].



شکل ۶. الف) ایجاد جوش بلافاصله پس از اعمال چسب (t_0)، ب) ایجاد جوش در حداکثر زمان کاری (t_1) و ج) ایجاد جوش پس از زمان کاری [۱۰]

پیچیدگی‌های مدلسازی جوش نقطه‌ای شامل تورفتگی الکتروود^{۳۳} در فلز پایه (تغییر شکل پلاستیک حاصل از فرایند جوشکاری)، شعاع کوچک دهانه ترک، غیریکنواختی^{۳۴} مواد در فلز پایه (فلز پایه، خال جوش و منطقه متأثر از حرارت) و تنش‌های باقیمانده می‌باشد. میزان تورفتگی الکتروود در اصل ناشی از زمان و جریان جوشکاری است و اندازه آن تا ۱۵ درصد ضخامت اولیه ورق نیز می‌رسد [۱۴]. چرخه زمانی جوش نقطه‌ای که شامل سه قسمت اصلی زمان لهیدگی^{۳۵}، زمان جوشکاری^{۳۶} و زمان پیشروی است به صورت الگووار در شکل ۷ نمایش داده شده است. برای جوش نقطه‌ای، زمان لهیدگی و زمان جوشکاری توسط کاربر اعلام می‌شود. زمان لهیدگی طبق مشخصات ابزار جوشکاری انتخاب می‌شود؛ زیرا این پارامتر به شدت به اینرسی عملگرهای پنوماتیکی وابسته است. زمان جوشکاری نیز طوری انتخاب می‌شود که نیروی الکتروود تا انجماد خال جوش روی قطعات اعمال شود [۹].

۳-۵. عوامل ایجاد نقص در اتصالات ترکیبی چسب -

جوش نقطه‌ای

اعمال حرارت موضعی و سرد شدن نسبتاً سریع اتصال جوش نقطه‌ای ممکن است منجر به ایجاد ناپیوستگی در اتصال ترکیبی گردد. دلیل اصلی ایجاد این ناپیوستگی‌ها، ناشی از انتخاب نادرست پارامترهای اتصال است. از بین این پارامترها زمان جوشکاری و جریان آن منجر به ایجاد ترک می‌گردند، اما تاکنون اثر دو پارامتر نیروی الکتروودها و مشخصات چسب بر ایجاد ناپیوستگی به روشنی مشخص نشده است. انواع این ناپیوستگی‌ها در شکل ۸ قابل مشاهده است. گفتنی است که در اتصال چسب - جوش، نیروی اعمال شده از جانب الکتروودها، موجب جابه‌جایی

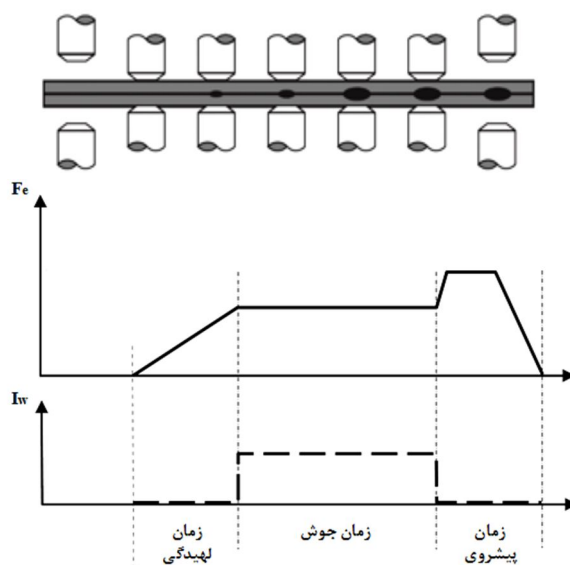
لایه چسب در محل جوش شده و حرارت موضعی ناشی از ایجاد جوش نقطه‌ای نیز سبب بروز آسیب کمی پیرامون خال جوش می‌گردد [۱۱]. بنابراین چسب‌های مورد استفاده برای ایجاد اتصال چسب - جوش باید قابلیت جابه‌جاشدن زیر فشار الکتروودهای جوشکاری و مقاومت حرارتی کافی در برابر دماهای جوشکاری را داشته باشند تا استحکام نهایی اتصال تحت تأثیر قرار نگیرد. در اکثر موارد، در لایه چسب، ناحیه‌ای به عرض ۱ میلی‌متر پیرامون خال‌ها در نتیجه دمای بالای جوش نقطه‌ای (حرارت اعمال شده زیاد در زمان کوتاه) کربونیزه می‌شود. ناحیه آسیب‌دیده لایه چسب مشارکت کمی در قابلیت باربری این اتصالات دارد. به خصوص زمانی که بار اعمال شده به اتصال به صورت عمود بر سطح باشد، این ناحیه به مانند ترک داخلی در مود بازشوندگی^{۳۷} عمل می‌کند به طوری که منجر به تمرکز تنش شدید و در نتیجه سبب گسترش ترک در لایه چسب می‌گردد. لذا این ناحیه آسیب‌دیده از چسب باید در مدلسازی ساختمان اتصال در نظر گرفته شود [۲]. ناگفته نماند که شرایط کاری موجود در کارخانه لزوماً برای ایجاد اتصالات چسبی ایده‌آل نیستند. از جمله این شرایط می‌توان به خطر آلودگی سطوح با روغن، بخار آب، چرک و لک، اثر انگشت و جز این‌ها اشاره کرد. همچنین در زمان بین اعمال چسب و زدن جوش نیز پراکندگی وجود دارد [۱۰].

۶. نتیجه‌گیری

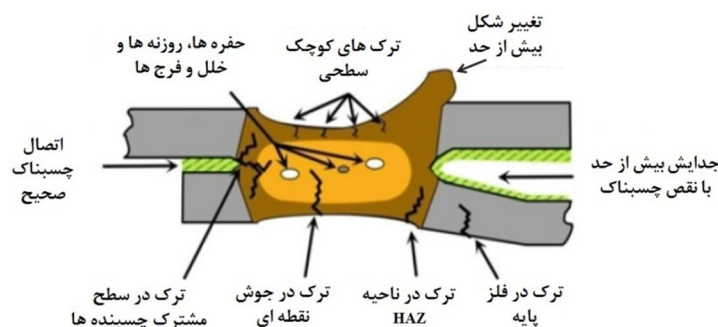
استفاده از اتصال ترکیبی چسب - جوش نقطه‌ای در سازه بدنه خودرو به سبب فراهم آوردن امکان استفاده از مواد غیرمشابه یا نازک‌تر، منجر به کاهش وزن آن می‌گردد. چونه وزن سازه بدنه خودرو تقریباً یک‌پنجم وزن خودرو کامل می‌باشد، لذا کاهش وزن آن منجر به دستیابی به خودروهای سبک‌تر و پاک‌تر می‌گردد.

بلافاصله بعد از اعمال چسب روی چسبنده‌ها می‌باشد. در نهایت نیز باید اذعان داشت که استفاده از اتصال ترکیبی چسب - جوش نقطه‌ای به‌واسطه افزایش عمر خستگی در سازه‌ها که ناشی از توزیع یکنواخت تنش و کاهش نقاط تکینگی است، استقبال چشمگیر و نوآورانه صنایع مختلف از جمله صنعت هوافضا و خودروسازی را به‌همراه داشته است.

به‌علاوه افزایش استحکام و سفتی ناشی از استفاده از چنین سازه‌هایی، ایمنی خودرو را نیز بهبود می‌بخشد. بدین ترتیب شناخت پارامترهای تأثیرگذار بر پاسخ‌های مکانیکی (پارامترهای طراحی) این اتصال بسیار حائز اهمیت است که در این نوشتار به آنها پرداخته شد. با توجه به این پارامترها و بحث‌های مطرح‌شده، باید اذعان داشت که بهترین زمان ایجاد اتصال چسب - جوش،



شکل ۷. چرخه زمانی جوش نقطه‌ای نمونه [۱۴]



شکل ۸. نقص‌های احتمالی اتصال چسب - جوش نقطه‌ای [۶]

۷. مآخذ

- [1] T. Sadowski, P. Golewski, M. Kneć, Experimental investigation and numerical modelling of spot welding–adhesive joints response, *Composite Structures*, vol. 112, pp. 66-77, 2014.
- [2] B. Chang, Y. Shi, S. Dong, Studies on a computational model and the stress field characteristics of weld-bonded joints for a car

body steel sheet, *Journal of Materials Processing Technology*, vol. 100, pp. 171-178, 2000.

- [3] S. Gomez, J. Onoro, J. Pecharroman, A simple mechanical model of a structural hybrid adhesive/riveted single lap joint, *International journal of adhesion and adhesives*, vol. 27, pp. 263-267, 2007.

- [4] W. Xu, L. Liu, Y. Zhou, H. Mori, D. Chen, Tensile and fatigue properties of weld-bonded and adhesive-bonded magnesium alloy joints, *Materials Science and Engineering: A*, vol. 563, pp. 125-132, 2013.
- [5] R. Campilho, A. Pinto, M. D. Banea, L. F. da Silva, Optimization study of hybrid spot-welded/bonded single-lap joints, *International Journal of Adhesion and Adhesives*, vol. 37, pp. 86-95, 2012.
- [6] A. Öchsner, L. F. da Silva, H. Altenbach, *Advanced Structured Materials*, vol. 6, Springer, 2012.
- [7] J. Esmaili, Adhesive intense body structure, Master's thesis, Blekinge Institute of Technology, 2011.
- [8] B. Bartczak, J. Mucha, T. Trzepieciński, Stress distribution in adhesively-bonded joints and the loading capacity of hybrid joints of car body steels for the automotive industry, *International Journal of Adhesion and Adhesives*, vol. 45, pp. 42-52, 2013.
- [9] V. Gonçalves, P. A. Martins, Joining stainless steel parts by means of weld bonding, *International Journal of Mechanics and Materials in Design*, vol. 3, pp. 91-101, 2006.
- [10] I. Santos, W. Zhang, V. Goncalves, N. Bay, P. Martins, Weld bonding of stainless steel, *International Journal of Machine Tools and Manufacture*, vol. 44, pp. 1431-1439, 2004.
- [11] R. W. Messler, Weld-bonding: the best or worst of two processes?, *Industrial Robot: An International Journal*, vol. 29, pp. 138-148, 2002.
- [12] S. Darwish, A. Al-Samhan, Design rationale of weld-bonded joints, *International journal of adhesion and adhesives*, vol. 24, pp. 367-377, 2004.
- [13] S. Hiermaier, *Predictive Modeling of Dynamic Processes*, Springer, 2009.
- [14] A. M. Pereira, J. A. M. Ferreira, F. V. Antunes, P. J. Bártolo, Tensile - shearing strength in aluminium resistance spot weld and weldbonded joints, 2007.
- [15] F. Hayat, Comparing Properties of Adhesive bonding, resistance spot welding, and adhesive weld bonding of coated and uncoated DP 600 steel, *Journal of Iron and Steel Research, International*, vol. 18, pp. 70-78, 2011.

پی نوشت

1. failure mode
2. hybrid joints
3. clinch
4. noise
5. peeling
6. weld nugget
7. damage tolerance
8. suppression
9. wheel house
10. floor panel
11. SKYACTIV platform
12. circular ring-like reinforcing structure
13. flow-in
14. weld-through
15. capillary action
16. resistance spot welding
17. gas tungsten spot welding
18. laser spot welding
19. electron beam spot welding
20. epoxy
21. modified epoxy
22. polyurethane
23. paste adhesive
24. film adhesive
25. metal filler
26. heat curing adhesive
27. malfunction
28. wettability
29. flow characteristic
30. working time, pot life
31. ageing
32. cap
33. electrode indentation
34. heterogeneity
35. squeezing time
36. welding time, holding time
37. opening mode