

Evaluation of the Tensile Strength of Spot Welding in DP590 Steel Sheets Using Ultrasonic Wave Attenuation

Hassan Ezadi^{1*}, Abbas Moghanizadeh², S. Barforoushan¹, A. Sharifpour¹

1- Research and Development Department, Iran Khodro Industrial Group, Tehran, Iran

2- Department of Materials Engineering, Isfahan University of Technology, Isafahan, Iran

*Mehdiizadi250@gmail.com

Abstract

Spot welding is a type of resistance welding that is used to weld sheets. In this method, the pressure of the electrodes and the heat generated by electrical current lead to welding two or more sheets. Although the use of ultrasonic waves is one of the most common methods for assessing the accuracy of spot welding, in this study, the mechanical properties of the weld, such as the tensile strength of the spot weld, is studied with ultrasonic waves attenuation. For this purpose, spot welding is created in sheets of DP590 by changing the electric current parameter in the range of 11 to 14 kA. Then the ultrasonic waves with the frequency of 20 MHz passed through the spot weld and then the attenuation of the ultrasonic waves is measured. After that, by using the tensile-shear test, the strength of the spot welding is measured. The microstructure of the welds has also been studied by electron microscopy. The results show that there is a direct relationship between ultrasonic wave attenuation and tensile-shear strength. Soby increasing ultrasonic wave attenuation, spot welding strength decreases, which can be attributed to the change in spot welding microstructure.

Keywords: Spot welding, Tensile strength, Ultrasonic waves, Ultrasonic wave attenuation.

ارزیابی استحکام جوش‌های مقاومتی نقطه‌ای فولاد استحکام بالای پیشرفته دوفازی DP590 با استفاده از استهلاک امواج فراصوتی

حسن ایزدی^{۱*}، عباس مغنی زاده^۲، سهراب برفرشان^۱، امیر شریف پور^۱

۱- شرکت ایران خودرو، تهران، ایران

۲- دانشکده مهندسی مواد، دانشگاه صنعتی اصفهان، اصفهان، ایران

*Mehdiizadi250@gmail.com

چکیده

جوشکاری نقطه‌ای، یکی از انواع جوشکاری مقاومتی است که از آن به منظور جوشکاری ورق‌ها استفاده می‌شود. در این روش، برای اتصال دو یا چند ورق از فشار الکترودها و گرمای حاصل از عبور جریان الکتریکی استفاده می‌شود. اگرچه استفاده از امواج فراصوتی یکی از رایج‌ترین روش‌های ارزیابی سالم بودن جوش نقطه‌ای است، در این پژوهش تلاش شده است با استفاده از امواج فراصوتی، علاوه بر ارزیابی سالم یا معیوب بودن جوش، ویژگی‌های مکانیکی جوش، مانند استحکام کششی جوش نقطه‌ای، با امواج فراصوتی مطالعه شود. برای این منظور، جوش‌های نقطه‌ای در ورق‌هایی از جنس DP590 با تغییر پارامتر جریان الکتریکی در محدوده KA 11-14 ایجاد شده است. سپس امواج فراصوتی با فرکانس ۲۰ MHz از داخل جوش نقطه‌ای عبور کرده و در ادامه استهلاک امواج فراصوتی عبوری از جوش نقطه‌ای اندازه‌گیری شده است. همچنین با استفاده از آزمون کششی-برشی، استحکام جوش‌ها نیز اندازه‌گیری شده است. به علاوه، ریز ساختار جوش‌ها نیز با میکروسکوپ الکترونی مطالعه گردیده است. نتایج نشان می‌دهند بین استهلاک امواج فراصوتی و استحکام کششی-برشی، رابطه مستقیم وجود دارد؛ به گونه‌ای که با افزایش استهلاک امواج فراصوتی، استحکام جوش نقطه‌ای کاهش پیدا می‌کند که علت این امر را می‌توان به تغییر ساختار جوش و درشت دانه شدن آن در منطقه جوش نسبت داد.

کلمات کلیدی: جوش نقطه‌ای، استحکام کششی، امواج فراصوتی، استهلاک امواج فراصوتی.

۱- مقدمه

جوش نقطه‌ای یک فرایند جوش مقاومتی است که در اثر حرارت حاصل از عبور جریان الکتریکی از محل اتصال فلزات و فشار حاصل از فشردن دو یا چند قطعه فلز توسط الکترودها ایجاد می‌شود. در این روش در ولتاژ مشخص، زمان کم، عبور جریان الکتریکی بالا از چند ورق باعث ایجاد حرارت در موضع اتصال و ذوب موضعی فلزها شده که نیروی اعمال شده بر ورق‌ها باعث حفظ جریان مدار و فشردن ورق‌های حرارت دیده به یکدیگر می‌شود [۱]. طبق قانون اهم هنگامی که جریان الکتریکی از یک مقاومت عبور کند تولید گرما می‌کند [۲] و این جریان حرارت لازم برای ذوب منطقه بین دو ورق را فراهم می‌کند ولی بعلاوه کوتاه بودن زمان برقراری جریان و مسیر کوتاه عبور جریان، جریان زیادی برای توسعه گرمای لازم برای ذوب نیاز است

[۳]. برای بازرسی جوش نقطه‌ای روش‌های متعددی وجود دارد که مانند روش آزمون اسکنه و چکش^۱، یا آزمون استحکام کششی مخرب می‌باشد یا روش‌هایی مانند استفاده از اشعه ایکس و یا گرمانگاری تنها بصورت کیفی جوش را مورد ارزیابی قرار می‌دهند. استفاده از امواج فراصوتی نیز یکی دیگر از روش‌های مرسوم برای ارزیابی جوش نقطه‌ای می‌باشد [۴].

در پژوهشی کیفیت جوش نقطه‌ای با استفاده از امواج فراصوتی مطالعه شده و با مقایسه نتایج تست غیرمخرب و مخرب با یکدیگر، جوش نقطه‌ای را به سه گروه قابل قبول، جوش چسبیده و قطر کم دکمه جوش تقسیم کرده‌اند که بالغ بر ۹۵ درصد نتایج آزمون فراصوتی با نتایج مخرب

¹ Hammer-Chisel Test

ابتدا جوش در ورق های از جنس DP590 ایجاد و سپس توسط پروپ جوش نقطه ای تست گردیده و در نهایت استحکام کششی نمونه ها سنجیده شده است که به جزییات در قسمت بعدی پرداخته شده است.

۲- تجهیزات و روش آزمایش ها

۱-۲- ماده اولیه

برای انجام آزمایشات از ورق های فولادی DP590 استفاده شده است که دارای کاربرد زیادی در صنایع خودروسازی می باشد. ضخامت ورق ها ۱/۷۵ mm می باشد. ترکیب شیمیایی، نمونه ایی از ورق ها مورد آنالیز قرار گرفته که ترکیب شیمیایی آن در جدول ۱ آمده است.

جدول ۱- ترکیب شیمیایی ورق DP590 مورد استفاده در آزمایشات

Steel type	C	Fe	Mn	P	S
DP590	۰/۰۸	۹۷	۱/۲۴	۰/۰۱۸	۰/۰۰۵

۲-۲- متغیر های دستگاه جوش

نقطه جوش با استفاده از یک دستگاه جوشکاری مقاومتی ترانس سرخود با جریان AC و ۵۰ KVA انجام شد. جوش با استفاده از الکترود Artrode-11 تقویت و پراکنده شده با پودر آلومینا در سره مسی مخروطی شکل ناقص، تحت زاویه ۴۵ درجه و با قطر ۸mm انجام شد. در تمامی آزمایشات، نیروی الکترود در ۴ kN و زمان جوش ۰/۳۳ S ثابت نگه داشته شد. جریان جوشکاری از 11KA تا ۱۴ KA تغییر یافت.

۳-۲- تجهیزات آزمون فراصوتی مورد استفاده در

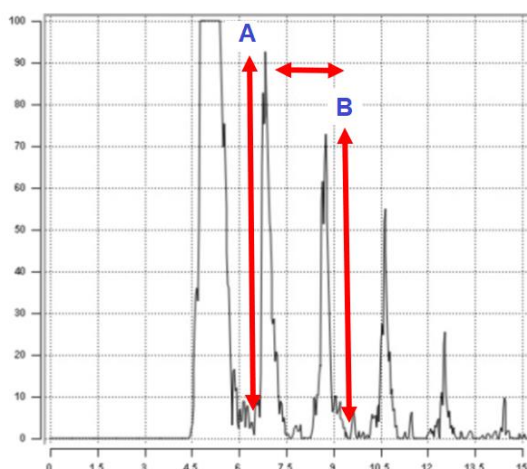
آزمایش

در این آزمایش، آزمون های فراصوتی با استفاده از دستگاه عیب یاب فراصوتی Sitiescan ساخت شرکت Sonatest انگلستان استفاده شده است (شکل ۱). همچنین تراگذار (پروپ) مخصوص آزمون فراصوتی نقطه جوش با قطر ۴mm و فرکانس ۲۰MHz ساخت شرکت کروت کرامر آلمان استفاده گردید (شکل ۲).

مطابقت داشته است [۵]. یولبریچ^۱ از روش آزمون فراصوتی برای ارزیابی جوش نقطه ای استفاده کرده و هزینه آن را با سایر روش های مخرب نیز مطالعه کرده است [6]. همچنین از امواج فراصوتی برای ارزیابی کمی اندازه و شکل قطعات جوش مقاومت در فولاد ضد زنگ با استفاده از دامنه پالس-اکو اولتراسونیک استفاده شده است و نشان داده شد که قابلیت اطمینان و همچنین دقت معادله تجربی با مقایسه نتایج محاسبه شده بر اساس پاسخ اولتراسونیک با نتایج به دست آمده توسط اشعه ایکس (پرتونگاری) و آزمایش مخرب تأیید شده است [۷]. بعلاوه محققان یک تکنیک را برای ارزیابی غیر مخرب جوش های نقطه ای با استفاده از تکنیک انتقال موج سطحی ایجاد کردند و نشان دادند که قطر دکمه جوش را می توان با اندازه گیری عرض ناحیه ای که امواج ارسالی ضعیف شده مشاهده می شود، ارزیابی کرد. همچنین یک سیستم اندازه گیری با استفاده از مبدل های آرایه ای توسط محققان پیشنهاد داده است. نتایج اندازه گیری با استفاده از این سیستم به خوبی با قطره ای قطعه اندازه گیری شده توسط مشاهدات مقطعی مطابقت دارد [8]. بعلاوه در تحقیق دیگری، سیستم جستجوی یکپارچه به عنوان یک رویکرد جدید برای ارزیابی مقاومت در برابر کشش و خستگی اتصالات جوش داده شده با امواج فراصوتی توسعه داده شد. به همین منظور، نمونه های سه صفحه ای مقاومت نقطه ای جوش از انواع مختلف فولاد کم کربن ساخته شده است. پس از آن، آزمایشات اولتراسونیک انجام شد و داده های پالس اکو از هر نمونه با استفاده از روش پردازش تصویر استخراج شد. این تحقیق، رویکرد جدید برای ارزیابی قدرت استاتیکی و طول عمر خستگی اتصالات سه ورقه ای بر اساس نتایج فراصوتی با استفاده از شبیه سازی شبکه عصبی مصنوعی آرایه داده است [۲]. همچنین محققان برای تخمین سختی جوش نقطه ای از استهلاک امواج فراصوتی استفاده کرده اند. در این روش جوش های نقطه ای با سختی های مختلف ایجاد شده و نشان داده شد که بین سختی جوش نقطه ای و استهلاک امواج فراصوتی رابطه وجود دارد [4]. در این پژوهش تلاش شده است تا استحکام جوش نقطه ای با استفاده از روش غیرمخرب امواج فراصوتی مورد مطالعه قرار گیرد. برای این منظور

¹Ulbrich

A_0 دامنه اولیه موج فراصوت است ($x = 0$) و A_x دامنه پس از طی مسافت x است.



شکل ۳- اندازه‌گیری طول دومین و سومین پژواک و فاصله عمودی بین آنها برای محاسبه استهلاک

۴-۲- آزمون کشش-برش

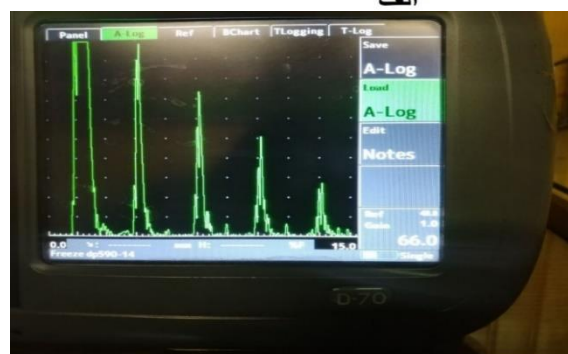
نمونه های تست کشش-برش طبق استاندارد ANSI/AWS/SAE/D8.9-97 تهیه شدند. به منظور بررسی رفتار شکست و خواص مکانیکی نمونه های جوش داده شده، تست شبه استاتیکی کششی-برشی با سرعت 2 mm/min با یک دستگاه یونیورسال Zwick انجام شد (شکل ۴). نمونه ها در ابعاد $45 \times 105\text{ mm}$ در شابلون مخصوصی چیده شد و یک جوش نقطه ای در مرکز محدوده ورقدر فاصله 45 mm از لبه انجام شد (شکل ۵).



شکل ۴- دستگاه تست کشش-برش مورد استفاده در آزمایش

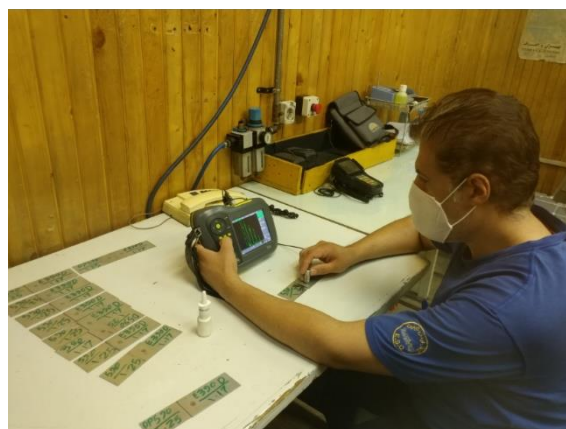


الف



ب

شکل ۱- الف: تراگذار (پروپ) مخصوص آزمون فراصوتی نقطه جوش با قطر 4 میلی متر و فرکانس 20 MHz ؛ ب: دستگاه عیب یاب فراصوتی استهلاک امواج

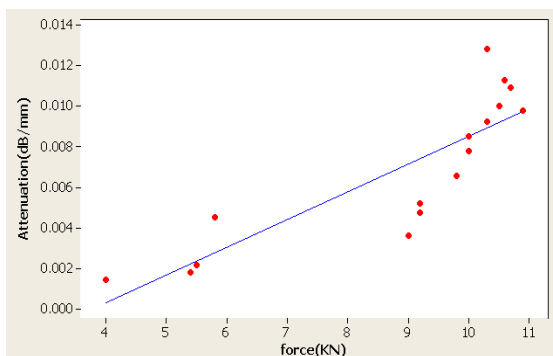


شکل ۲- ارزیابی استحکام نقاط جوش مقاومتی نقطه ای توسط اپراتور با استفاده از دستگاه عیب یاب فراصوتی

از معادله ۱ برای محاسبه استهلاک امواج فراصوتی استفاده شده است [۹] (استهلاک امواج فراصوتی مطابق شکل ۳ اندازه گیری شده است).

$$\alpha = -\frac{1}{x} 20 \log \frac{A_x}{A_0} \quad (1)$$

است برای ایجاد استحکام‌های مختلف در چوش نقطه‌ای، جریان جوشکاری از ۱۴-۱۱ kA تغییر یافت.



شکل ۶- رابطه بین استهلاک امواج فراصوتی و استحکام جوش نقطه‌ای

همانطور که در شکل ۶ نشان داده شده است، هنگامی که امواج فراصوتی در دکمه جوش بیشتر مستهلک شوند، استحکام جوش نیز بیشتر شده است. علت این پدیده را میتوان به تغییرات ریز ساختار داخل جوش نسبت داد که در ادامه بحث خواهد شد. در واقع در دکمه جوش که فرایندهای متالورژیکی بیشتر رخ می‌دهد، ریز ساختار تغییر کرده و از یک ساختار ریزدانه در فلز پایه به سمت دشت دانه در مرکز جوش خواهد بود و ساختارهای درشت دانه نیز بیشتر باعث مستهلک شدن امواج فراصوتی می‌گردند بنابراین در دکمه جوش، شاهد افزایش استهلاک امواج فراصوتی خواهیم بود. از طرف دیگر، در دکمه جوش ساختار فلز پایه از فریت ریز دانه به ساختار مارتنزیت یا پرلیت درشت دانه استحاله شده که باعث افزایش استحکام دکمه جوش خواهد شد. البته هنگامی که از بالاترین جریان الکتریکی برای ایجاد جوش استفاده می‌گردد، سبب می‌گردد که ساختار بی‌نظمی در جوش ایجاد شده و حتی خلل و فرجی نیز ایجاد شود که باعث افزایش استهلاک امواج فراصوتی شده در حالیکه کمتر باعث افزایش استحکام دکمه جوش می‌گردد. بنابراین میتوان انتظار داشت بتوان به کمک محاسبه استهلاک امواج فراصوتی، استحکام جوش را بدون تخریب آن تخمین زد.

یکی دیگر از اطلاعات دریافتی از امواج فراصوتی، طول مسیر طی شده امواج فراصوتی در داخل جوش می‌باشد. امواج فراصوتی قبل از اینکه مستهلک شوند، بارها بین دیواره بالایی و پایینی جوش، بازتاب می‌شوند (تا در نهایت



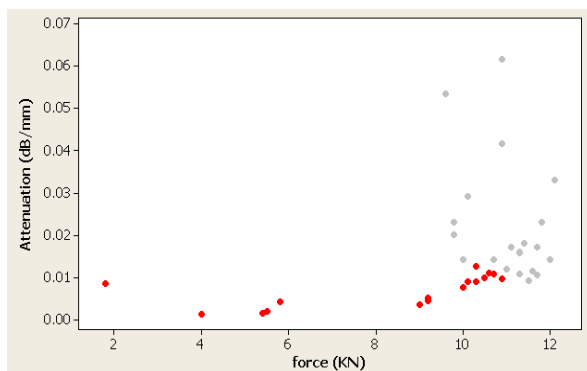
شکل ۵- حالت‌های شکست جوش مقاومتی نقطه‌ای فولاد DP590، (الف) گسیختگی در محل جوش، (ب) گسیختگی در ورق

۳- تحلیل نتایج

این مطالعه، به بررسی تاثیر خصوصیات فیزیکی جوش نقطه‌ای بر امواج فراصوتی و همچنین پارامترهای موثر بر جوش نقطه‌ای می‌پردازد.

۳-۱- رابطه استحکام جوش و امواج فراصوتی

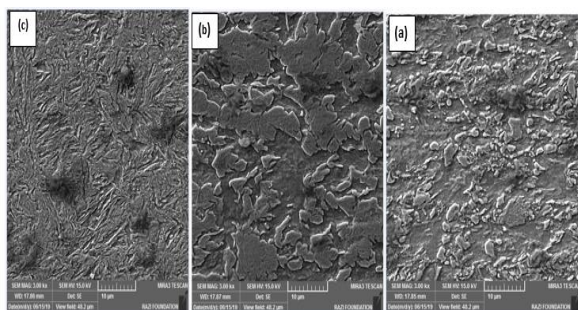
در این پژوهش، به بررسی روشی برای تخمین استحکام جوش نقطه‌ای با استفاده از امواج فراصوتی پرداخته شده است. ایده اصلی این روش بر اساس رابطه استهلاک امواج فراصوتی و استحکام جوش نقطه‌ای می‌باشد. ضخامت دکمه جوش بر استحکام جوش تاثیر مستقیم دارد و از طرفی بر خصوصیات امواج فراصوتی نظیر استهلاک امواج فراصوتی نیز تاثیر گذار می‌باشد. بسته به ضخامت دکمه جوش، میزان استهلاک موج متفاوت بوده و تعداد پژواک‌های دیواره پستی فرق می‌کند. با افزایش ضخامت دکمه جوش میزان استهلاک افزایش یافته و تعداد پژواک‌های دیواره پستی کاهش می‌یابد. ضخامت دکمه جوش تاثیر زیادی بر استهلاک امواج فراصوتی دارد که علت آن تغییر عمق نفوذ دکمه جوش می‌باشد. بنابراین با افزایش ضخامت دکمه جوش میزان استهلاک نیز افزایش می‌یابد. رابطه بین استهلاک امواج فراصوتی و نیروی کششی-برشی ثبت شده از آزمایشات در شکل ۶ آورده شده است. از نتایج آزمایش‌ها (شکل ۶) می‌توان استنتاج نمود که رابطه مستقیمی بین خصوصیات امواج فراصوتی نظیر استهلاک و استحکام جوش نقطه‌ای وجود دارد و نتایج آزمایشات انجام شده بیانگر این مطلب می‌باشد. به آسانی می‌توان مشاهده کرد که با افزایش استهلاک امواج فراصوتی، استحکام جوش نیز افزایش می‌یابد. لازم به ذکر



شکل ۸- رابطه بین استحکام جوش نقطه‌ای جوش‌های سالم (نقاط طوسی رنگ)، جوش‌های ناسالم (نقاط قرمز رنگ)

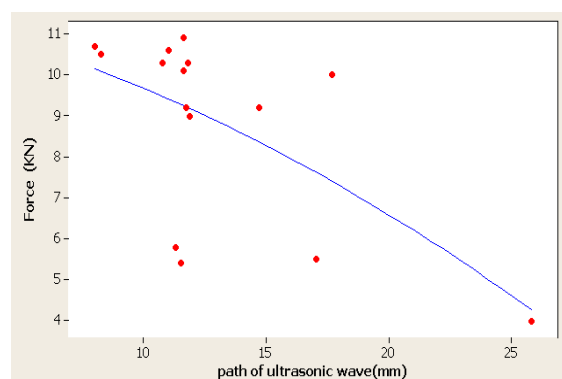
۳-۲- مشخصات ریز ساختار دکمه جوش

یکی از دلایل استهلاک امواج فراصوتی در اجسام، ریز ساختار ماده می باشد. در جوش‌ها، ریز ساختار در منطقه جوش تغییر پیدا میکند و حتی در منطقه متأثر از حرارت نیز شاهد تغییراتی در ریز ساختار هستیم. بنابراین برای مطالعه دقیق تر علت تغییر استهلاک امواج فراصوتی، مطالعه ریز ساختار جوش و منطقه متأثر از حرارت می تواند مفید باشد. تغییرات سختی در سطح مقطع عرضی اتصال را می‌توان از لحاظ ریزساختار نیز آنالیز کرد. ریزساختار فلز پایه همانطور که در تصویر ۹(a) مشاهده می شود، شامل مارتنزیت تمپر شده در زمینه فریتی است و سختی مربوطه حدود ۲۵۲HV می‌باشد. ریزساختار منطقه ذوب تصویر ۹(b) به طور عمده از مارتنزیت تمپر شده با سختی متوسط ۴۱۰HV تشکیل می‌دهند. تشکیل مارتنزیت در منطقه ذوب به دلیل نرخ سرمایش بالا در طی فرایند جوشکاری مقاومتی نقطه‌ای با حضور آب سرد در الکتروود مسی و در اثر کوئنچ شدن، در سیکل جوشکاری کوتاه نسبت داده می‌شود [۱].



شکل ۹- ریزساختار مناطق مختلف جوش مقاومتی نقطه‌ای فولاد DP590 (a) فلز پایه، (b) ریزساختار منطقه HAZ، (c) ریزساختار دکمه جوش

مستهلاک شوند). در واقع طول مسیر حرکت امواج فراصوتی نیز بیانگر خصوصیات ماده و ریزساختار آن می باشد. از آنجایی که تغییر ریزساختار ماده، بر میزان استهلاک امواج فراصوتی تأثیرگذار خواهد بود. بنابراین هنگامی که ریز ساختار ماده، دانه ریز باشد، امواج فراصوتی قبل از استهلاک، مسافت بیشتری را طی خواهند کرد، و اگر ماده درشت دانه باشد امواج فراصوتی قبل از مستهلاک شدن مسافت کمتری را طی خواهند کرد. بنابراین از میزان مسافتی که یک موج فراصوتی قبل از استهلاک، در داخل جوش طی کرده است نیز میتوان به تغییرات ریز ساختار پی برد. رابطه بین این پارامتر و استحکام جوش در شکل ۷ آورده شده است.



شکل ۷- رابطه بین استحکام جوش نقطه‌ای و مسافت طی شده توسط امواج فراصوتی

همانطور که در شکل ۷ نشان داده شده است با افزایش میزان مسافت طی شده توسط امواج فراصوتی در داخل جوش، استحکام جوش نقطه‌ای کاهش می یابد که علت آنرا میتوان به تغییر ریز ساختار در ناحیه جوش نسبت داد که در ادامه به آن پرداخته خواهد شد.

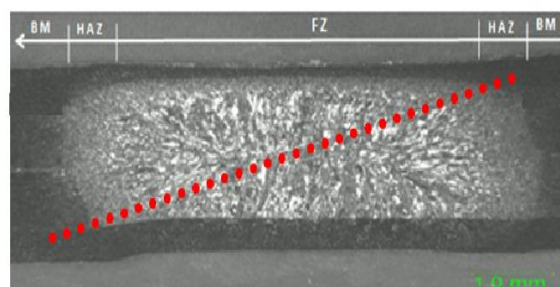
همچنین حالت گسیختگی دکمه جوش‌های سالم، در آزمون مخرب کشش-برش، که گسیختگی از ورق ایجاد شده، دارای ضریب استهلاک بیشتری نسبت به جوش‌های ناسالم می باشد که گسیخته شدن در دکمه جوش‌ها، از فصل مشترک ورق‌ها و از جوش رخ داده، می‌باشند. نتایج مقایسه میزان استهلاک امواج فراصوتی جوش‌های سالم و ناسالم در شکل ۸ آورده شده است.

توان استحکام جوش نقطه‌ای را تخمین زد. آزمایش‌ها نشان دادند که رابطه‌ای مستقیم بین استهلاک امواج فراصوتی و استحکام جوش نقطه‌ای برقرار است به گونه‌ای که با افزایش استهلاک امواج فراصوتی استحکام جوش نقطه‌ای افزایش پیدا کرده است و علت این امر را می‌توان به ریز ساختار منطقه جوش نسبت داد. در صورت استفاده از این روش به عنوان جایگزین و یا مکمل روش مخرب می‌توان با عدم تخریب مجموعه‌ها و قرار دادن این مجموعه‌ها در چرخه تولید از صرف هزینه‌های اضافی در کنترل کیفیت نقاط جوش جلوگیری کرد. همچنین پیشنهاد می‌گردد از هوش مصنوعی مانند شبکه‌های عصبی برای تخمین استحکام جوش نقطه‌ای با کمک امواج فراصوتی استفاده کرد تا هزینه‌های آزمایش‌ها نیز کاهش پیدا کند. بعلاوه پژوهش در مورد پیش‌بینی تغییر خواص مکانیکی جوش مانند سختی نیز می‌تواند مفید واقع گردد.

۵- منابع

- [1] Chao, Y.J., "Ultimate strength and failure mechanism of resistance spot weld subjected to tensile, shear, or combined tensile/shear loads", *J. Eng. Mater. Technol.*, Vol. 125, No. 2, pp. 125-132, 2003.
- [2] Pouranvari, M., Asgari, H., Mosavizadch, S., Marashi, P. and Goodarzi, M., "Effect of weld nugget size on overload failure mode of resistance spot welds", *Science and Technology of Welding and Joining*, Vol. 12, No. 3, pp. 217-225, 2007.
- [3] Tsai, C., Papritan, J., Dickinson, D. and Jammal, O., "Modeling of resistance spot weld nugget growth", *Welding Journal (USA)*, Vol. 71, No. 2, pp. 47, 1992.
- [4] Moghanizadeh, A., "Evaluation of the physical properties of spot welding using ultrasonic testing", *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, Vol. 85, No. 1-4, pp. 535-545, 2016.
- [5] Moghanizadeh, A. *Ultrasonic assessment of tension shear strength in resistance spot welding*, in *Smart Materials and Nondestructive Evaluation for Energy Systems 2015*. 2015. International Society for Optics and Photonics.
- [6] Ulbrich, D., Kowalczyk, J., Jósko, M. and Selech, J., "The analysis of spot welding joints of steel sheets with closed profile by ultrasonic method", *Case Studies in Nondestructive Testing and Evaluation*, Vol. 4, No. pp. 8-14, 2015.
- [7] Safi, A., Akanda, M.S., Sadique, J. and Alam, M.S., "Nondestructive evaluation of spot weld in stainless steel using ultrasonic immersion method", *Procedia Engineering*, Vol. 90, No. pp. 110-115, 2014.
- [8] Takada, H. and Hirose, T., "An ultrasonic method for testing spot-welds", *Technical Report*, Vol. No. pp. 2007.
- [9] Arguelles, A.P. and Turner, J.A.J.T.I.o.t.A.S.o.A., "Ultrasonic attenuation of polycrystalline materials with a distribution of grain sizes", Vol. 141, No. 6, pp. 4347-4353, 2017.

همچنین تصویر (۱۰) پروفیل ریز سختی سنجی اتصالات در داخل دکه جوش، برای جوش‌های ساخته شده با استفاده از جریان جوشکاری ۱۲/۵ کیلو آمپر را نشان می‌دهد.



شکل ۱۰- پروفیل ریز سختی سنجی اتصالات در داخل دکه جوش مقاومتی نقطه‌ای فولاد DP590

همچنین بیشتر بودن میزان سختی دکه جوش به دلیل میزان بیشتر مارتنزیت در سختی می‌باشد. سختی HAZ با توجه به تشکیل فازهای غیر تعادلی بالاتر از BM می‌باشد. ناهمگنی ریزساختار HAZ بیشتر از منطقه ذوب توسط پروفیل سختی تایید شده است.

همانطور که بالاتر نیز توضیح داده شد، تغییر ریز ساختار دکه جوش، یکی از مهم‌ترین علل تاثیر بر استهلاک امواج فراصوتی و استحکام جوش می‌باشد. در واقع تبدیل ساختار دانه ریز فلز پایه به ساختار دانه درشت در منطقه جوش باعث خواهد شد که امواج فراصوتی بیشتر مستهلک شوند و از طرف دیگر، تغییر ساختار همزمان باعث افزایش استحکام جوش نیز خواهد شد. در واقع ریزساختار بطور همزمان بر امواج فراصوتی و خصوصیات مکانیکی و فیزیکی جوش تاثیر گذار می‌باشد.

۴- نتیجه گیری

در این تحقیق ارزیابی و تخمین استحکام جوش نقطه‌ای با استفاده از استهلاک امواج فراصوتی مورد مطالعه قرار گرفته است. هدف از انجام این پروژه بررسی امکان جایگزینی روش غیرمخرب فراصوتی به جای روش مخرب در بازرسی کیفی نقاط جوش در شرکت خودروسازی ایران خودرو و تعمیم آن به دیگر مجموعه‌های تولیدی در این شرکت و صنایع مختلف تولیدی کشور بوده است. نتایج آزمایش‌ها نشان می‌دهند که روش فراصوتی، نه تنها توانایی بالایی از خود در کشف و شناسایی انواع عیوب جوش نقطه‌ای دارد، بلکه با استفاده از اطلاعات دریافتی از امواج فراصوتی می-