

# بررسی ریزساختار و خواص مکانیکی اتصال جوشکاری اصطکاکی فولاد CK35 به فولاد 18CrMo4

کامران امینی<sup>۱\*</sup>، علی فاتحی<sup>۲</sup>، علی بروجردی<sup>۳</sup>

۱- استادیار، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد شهرمجلسی، باشگاه پژوهشگران جوان، اصفهان، ایران

۲- کارشناس ارشد، شرکت آزمون فولاد، اصفهان، ایران

۳- کارشناس ارشد، شرکت فرمان خودرو سپاهان، اصفهان، ایران

\*k.amini@iaumajlesi.ac.ir

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۰/۰۲/۲۰، تاریخ پذیرش: ۱۳۹۰/۰۶/۲۸)

## چکیده

قطعات ماشین آلات به کمک روش‌های مختلف نظیر فورجینگ، ماشین‌کاری، ریخته‌گری و جوشکاری تولید می‌شوند. انتخاب روش‌های تولید وابسته به هزینه تولید است. در این بین جوشکاری اصطکاکی با توجه به هزینه‌های پایین تولید و امکان اتصال قطعات از جنس غیر مشابه اهمیت فراوانی پیدا کرده است. در این تحقیق ریزساختار و خواص مکانیکی جوش اصطکاکی بین دو فولاد غیر مشابه CK35 و 18CrMo4 مورد ارزیابی قرار می‌گیرد بدین منظور از آزمون‌های مکانیکی نظیر کشش، خمش و سختی و بررسی‌های ریزساختاری به کمک میکروسکوپ الکترونی روبشی و میکروسکوپ نوری کمک گرفته شد. نتایج نشان داد بالاترین استحکام کششی (۵۷۶ مگاپاسکال) و حداکثر زاویه خمش (۳۰ درجه) در زمان اصطکاک ۱۳ ثانیه و زمان فورج ۳ ثانیه بدست می‌آید. بررسی‌های ریزساختاری حاکی از حضور نواحی فلز پایه، ناحیه متأثر از حرارت و ناحیه ترمومکانیکال در دو طرف ناحیه جوش اصطکاکی است. همچنین بالاترین سختی در ناحیه جوش بدست می‌آید.

## واژه‌های کلیدی

جوشکاری اصطکاکی، فولاد CK35 و 18CrMo4، خواص مکانیکی، ریز ساختار

## ۱- مقدمه

جوشکاری اصطکاکی می‌تواند به زمان تولید بسیار کم، صرفه جویی بالا از طریق مواد مصرفی پایین و امکان جوشکاری فلزات و آلیاژهای غیرهمجنس اشاره نمود [۲]. از پارامترهای موثر بر جوشکاری اصطکاکی می‌توان به زمان اصطکاک، فشار در هنگام اصطکاک دو قطعه، زمان و فشار فورجینگ و سرعت

جوشکاری اصطکاکی یکی از روش‌های اقتصادی و پرمصرف در اتصال فلزات و آلیاژهای غیرهمجنس در صنعت است. در این روش جوشکاری، گرما از طریق تبدیل انرژی مکانیکی به انرژی حرارتی در فصل مشترک اتصال دو قطعه کار در اثر چرخش با سرعت بالا و اعمال فشار بوجود می‌آید [۱]. از مزایای

مورد جوشکاری اصطکاکی انجام پذیرفته است. در تحقیق حاضر جوشکاری اصطکاکی فولاد کم آلیاژ کروم، مولیبدن و انادیوم دار به فولاد ساده کربنی CK35 که در تهیه محور فرمان نیسان کاربرد دارد بررسی گردیده و شرایط بهینه در تولید این قطعه نظیر زمان اصطکاک و زمان فورج مشخص می گردد.

## ۲- مواد و روش تحقیق

ترکیب شیمیایی فولادهای مورد مصرف در تحقیق شامل 18CrMo4 و CK35 به ترتیب در جدول (۱) و (۲) آورده شده است. در این تحقیق پارامترهای فشار فورج اولیه، فشار فورج ثانویه و سرعت چرخش بترتیب برابر با ۲۵ بار، ۴۵ بار و ۱۵۰۰ دور بر دقیقه در نظر گرفته شد. عملیات جوشکاری اصطکاکی در دو زمان فورج ۳ و ۵ ثانیه و زمانهای اصطکاک ۸، ۱۱، ۱۶، ۱۳، ۱۷ و ۱۹ ثانیه انجام گردید.

برای بررسی خواص مکانیکی ناحیه جوش اصطکاکی از آزمونهای کشش مطابق با استاندارد EN10002-1 (توسط دستگاه Zim مدل YMM)، سختی (توسط دستگاه کوپا مدل MH1 و نیروی ۵ کیلوگرم) و خمش مطابق با استاندارد ENISO15620 استفاده گردید. نحوه انجام آزمون خمش بر روی نمونههای محور فرمان نیسان تولیدشده به روش جوشکاری اصطکاکی در شکل (۱) آورده شده است.

برای بررسی ریز ساختار ناحیه جوش، نمونهها پس از (اچ) در محلول نایتال ۴٪ توسط میکروسکوپ نوری Olympus مدل PGM3 و میکروسکوپ الکترونی روبشی (SEM) ساخت شرکت JEOL استفاده گردید. همچنین برای بررسی نمونهها در حالت ماکرو از محلول (اچ) با ترکیب کلرور مس (۲۰ گرم) و اسید کلریدریک (۱۰۰ گرم) و آب (۱۰۰ گرم) استفاده گردید.

چرخش اشاره نمود. فاکتورهای ذکر شده در بالا برای رسیدن به یک اتصال با خواص مناسب بایستی تحت کنترل درآیند. در این روش در مرحله فورج مقداری زائده ایجاد می شود که بایستی در مرحله ماشین کاری حذف شود. فرآیند جوشکاری اصطکاکی به دو دسته تقسیم می شود: ۱- جوشکاری اصطکاکی لحظه ای<sup>۱</sup> و ۲- جوشکاری اصطکاکی مداوم<sup>۳</sup> در جوشکاری اصطکاکی مداوم یکی از اجزاء در حال چرخش با سرعت ثابت و دیگری ثابت است و بنابراین حرارت در سطوح تحت اصطکاک بوجود می آید. هنگامی که حرارت کافی ایجاد گردید، حرکت دورانی با ترمز متوقف می شود و فشار نهایی اعمال می شود [۱ و ۴].

تحقیقات زیادی در مورد جوشکاری اصطکاکی انجام شده است. به عنوان مثال Dobrovidov شرایط بهینه در جوشکاری اصطکاکی فولاد تندبر را به فولاد ساده کربنی با ۰/۴۵ درصد کربن را بررسی نمود [۵]. در تحقیق دیگری که توسط Sahin بر روی جوشکاری اصطکاکی قطعات از جنس فولاد CK40 انجام پذیرفت، مشاهده گردید استحکام کششی در ناحیه جوش در حدود ۹۵٪ فلز پایه می باشد. همچنین استحکام ضربه در ناحیه جوش کمی بالاتر از فلز پایه می باشد [۶]. در تحقیق دیگری همین محقق پارامترهای موثر بر جوشکاری اصطکاکی فولاد تندبر را به فولاد ساده کربنی بررسی نمود. نتایج این محقق نشان داد بالاترین استحکام کششی در زمان اصطکاک ۳/۷ ثانیه و فشار اصطکاک ۶۰۰ مگاپاسکال بدست می آید [۷]. در تحقیق دیگری که توسط Satyanarayana بر روی جوشکاری اصطکاکی غیر همجنس فولاد زنگ نزن آستنیتی به فولاد زنگ نزن فریتی انجام پذیرفت، مشاهده گردید انرژی ضربه و خواص استحکامی در ناحیه جوش در مقایسه با فلز پایه (فولاد زنگ نزن فریتی) بهبود یافت [۸]. در داخل کشور تحقیقات بسیار کمی در

جدول (۱) ترکیب شیمیایی فولاد CK35 (درصد وزنی)

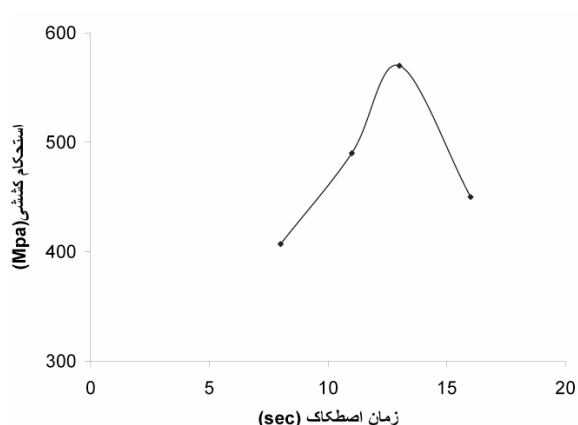
%C	%Si	%Mn	%P	%S	%Cr	%Ni	%Fe
۰/۳۶۲	۰/۲۹۶	۰/۵۶۱	۰/۰۰۸	۰/۰۲۷	۰/۰۷۸	۰/۰۸۹	Bal.

جدول (۲) ترکیب شیمیایی فولاد 18CrMo4 (درصد وزنی)

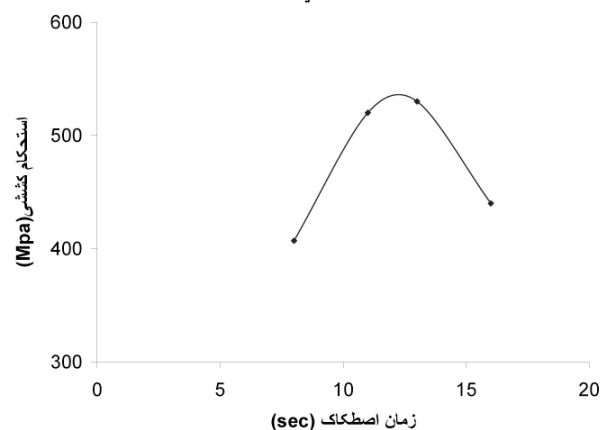
%C	%Si	%Mn	%P	%Mo	%Cr	%Ni	%Fe
۰/۱۶۶	۰/۱۶۲	۰/۸۳۲	۰/۰۱۲	۰/۲۴۳	۱/۱۹۶	۰/۱۱۸	Bal.

جوش است (شکل ۴ و ۵). از بررسی این مناطق (با توجه به شکل ۴ و ۵)، نتایج زیر حاصل می شود:

۱- ساختار فلز پایه: در فولاد ساده کربنی شامل فریت و پرلیت و در فولاد کم آلیاژ مارتنزیت تمپر شده است.



شکل (۲): ارتباط بین زمان اصطکاک و استحکام کششی در زمان فورج ۳ ثانیه.



شکل (۳): ارتباط بین زمان اصطکاک و استحکام کششی در زمان فورج ۵ ثانیه.

۲- ساختار ناحیه متأثر از حرارت: وسعت این ناحیه بسیار کم و دارای ساختاری درشت دانه تر در مقایسه با فلز پایه است.

۳- ساختار ناحیه ترمومکانیکال: ساختار این ناحیه بدلیل تغییر فرم پلاستیک، ریزدانه تر و ظریف تر می باشد.



شکل (۱): نحوه انجام آزمون خمش

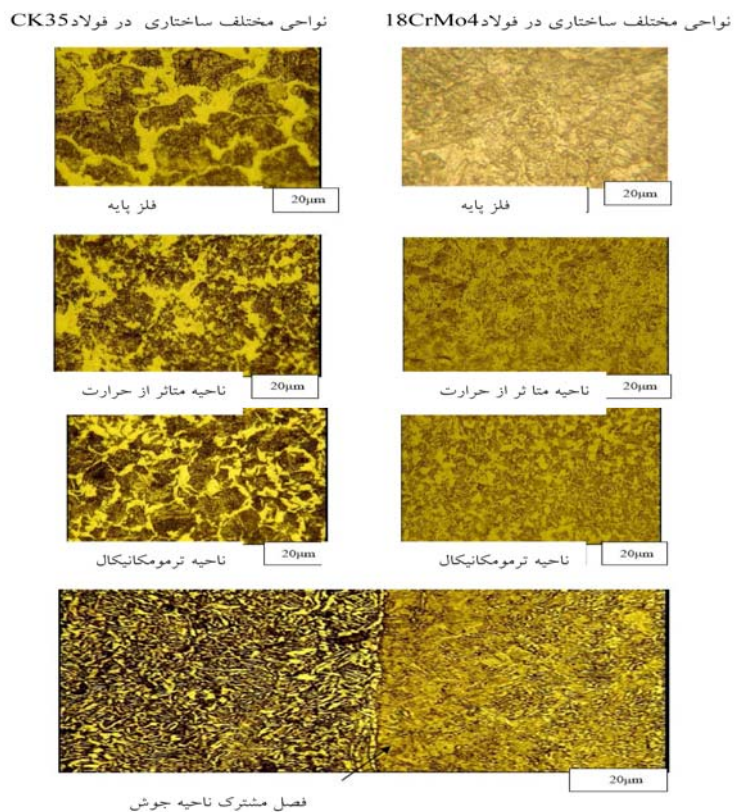
### ۳- نتایج و بحث

در شکل (۲) و (۳) ارتباط بین زمان اصطکاک و استحکام کششی در زمان فورج ۳ و ۵ ثانیه آورده شده است. همان طوریکه مشاهده می گردد، در زمان فورج ۳ ثانیه و زمان اصطکاک ۱۳ ثانیه بالاترین استحکام کششی (۵۷۰ Mpa) بدست آمده است. دلیل این مسئله در ارتباط با آن است که در زمان های اصطکاک کم حرارت تولیدی بسیار کم است و بنابراین منجر به جوش با استحکام بالا نمی شود.

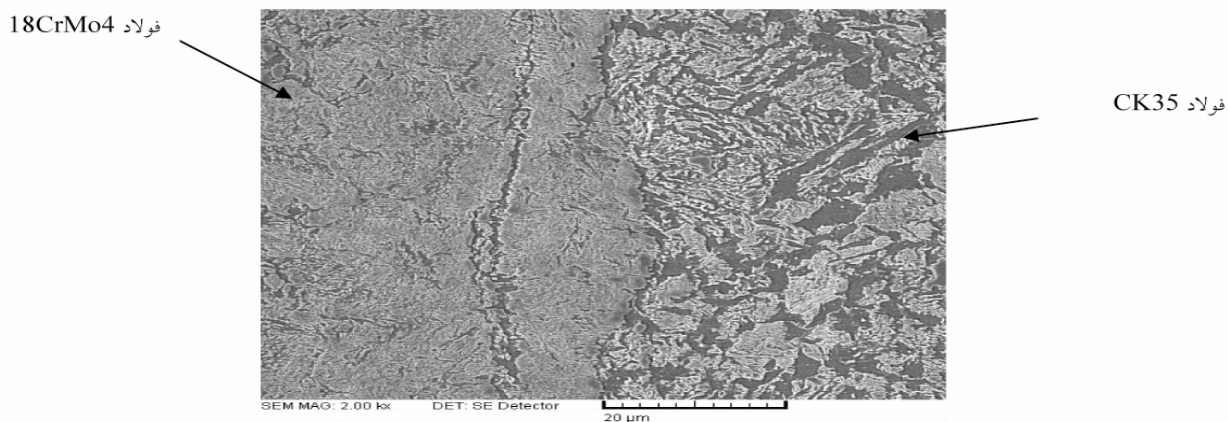
همچنین در زمان های اصطکاک یا فورج بالاتر، دمای ناحیه جوش افزایش یافته و بنابراین پهنای ناحیه متأثر از حرارت افزایش یافته (همراه با درشت شدن دانه ها) و بنابراین استحکام کاهش می یابد. بنابراین بالاترین استحکام کششی (۵۷۰ Mpa) مربوط به زمان اصطکاک ۱۳ ثانیه و زمان فورج ۳ ثانیه است که منجر به دمای ۹۳۰ درجه سانتی گراد در لحظه فورج می شود. نتایج بالا توسط محققین دیگر و در مورد آلیاژهای دیگر اثبات شده است [۷ و ۹]. بررسی نتایج حاصل از آزمون خمش بیانگر بالاترین زاویه خمش در لحظه شکست (۳۰ درجه) برای نمونه با زمان اصطکاک ۱۳ ثانیه و زمان فورج ۳ ثانیه می باشد. بررسی های ریزساختاری حاکی از حضور سه ناحیه فلز پایه، ناحیه متأثر از حرارت و ناحیه ترمومکانیکال در دو طرف ناحیه

در طرف  $18CrMo_4$ ،  $2/9$  میلی متر است که با توجه به کمتر بودن استحکام کششی فولاد CK35 در مقایسه با فولاد  $18CrMo_4$  قابل توجیه است.

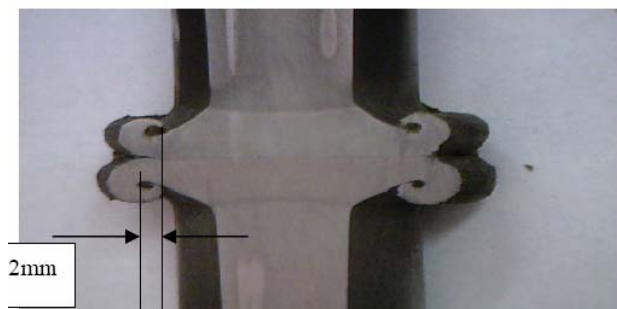
۴- ناحیه جوش: وسعت این ناحیه بسیار کم می باشد. دلیل این مسئله آن است که در اثر جوشکاری قسمت زیادی از این ناحیه به بیرون پس زده می شود و زائده جوش را تشکیل می دهد (شکل ۶). همچنین اندازه زائده جوش در طرف CK35،  $3/1$  میلی متر و



شکل (۴): ریزساختار نواحی مختلف جوش اصطکاکی دو فولاد  $18CrMo_4$  و CK35 در نمونه با زمان فورج ۳ ثانیه و زمان اصطکاک ۱۳ ثانیه.



شکل (۵): ریزساختار تهیه شده توسط میکروسکوپ الکترونی روبشی از نواحی مختلف جوش اصطکاکی دو فولاد  $18CrMo_4$  و CK35 در نمونه با زمان فورج ۳ ثانیه و زمان اصطکاک ۱۳ ثانیه.



شکل (۶): تصویر ماکرو از جوش اصطکاکی و اندازه زائده جوش

نتایج حاصل از بررسی سختی نمونه‌ها در جدول (۳) آورده شده است. همان‌طوریکه مشاهده می‌گردد سختی در نواحی متأثر از حرارت و ناحیه ترمومکانیکال در مقایسه با فلز پایه کاهش یافته است. همچنین بالاترین سختی در ناحیه جوش بدست آمده است. دلیل این مسئله در ارتباط با ریزشدن دانه‌ها و تاثیر عملیات فورج در این ناحیه می‌باشد.

جدول (۳): مقدار سختی (ویکرز) در مناطق مختلف جوش اصطکاکی فولاد 18CrMo4 و CK35 در نمونه با زمان فورج ۳ ثانیه و زمان اصطکاک ۱۳ ثانیه.

فولاد پایه	ناحیه متأثر از حرارت فولاد پایه CK35	ناحیه ترمومکانیکال CK35	ناحیه جوش	ناحیه ترمومکانیکال فولاد کم آلیاژ	ناحیه متأثر از حرارت فولاد کم آلیاژ	فولاد پایه کم آلیاژ
۳۰۰	۲۴۲	۲۶۵	۳۱۱	۲۸۹	۲۵۶	۲۸۳

#### ۵- مراجع

- [1] VL. Vill, "Friction welding of Metals". New York: AWS, 1962.
- [2] S. Tsang, "Friction welding", Metal Handbook, 10 th Ed., Vol.6, Welding, Brazing and Soldering, pp. 444-449, ASM, Metals park, Ohio 1995.
- [3] S. Allabhakshi, G. Madhusudhan Reddy, V.V. Ramarao, C. Phani,Babu, C.S. Ramachandran, "Studies on Weld Overlaying of Austenitic Stainless Steel (AISI 304) with Ferritic Stainless Steel (AISI 430)". National Welding Conference, Chennai, India, January 2002, Indian Institute of Welding, Paper 8.
- [4] K. Jayabharath, M. Ashfaq, P. Venugopal, D.R.G. Achar, "Investigations on the Continuous Drive Friction welding of Sintered Powder Metallurgical (P/M) Steel and wrought Copper Parts. Materials Science and Engineering A, Vol. 454-455, PP. 114-123, 2007.
- [5] A.N. Dobrovidov, " Selection of Optimum Conditions for the Friction Welding of High Speed Steel 45", Weld production, Vol. 22, PP. 22-26, 1975.
- [6] M. Sahin, H.E. Akata, T. Gulmez, "Characterization of Mechanical Properties in AISI 1040 Parts Welded by Friction Welding". Materials Characterization, Vol. 58, PP. 1033-1038, 2007.
- [7] M. Sahin, "Joining with Friction Welding Of High Speed Steel And Medium – Carbon Steel". Journal of Materials Processing Technology, Vol. 168, PP. 202-210, 2005.
- [8] V.V. Satyanarayana, G. Madhusudhan Reddy, T. Mohandas, "Dissimilar Metal Friction Welding Of Austenitic-Ferritic Stainless Steels". Journal of Materials Processing Technology, Vol. 160, PP. 128-137, 2005.

#### ۴- نتیجه‌گیری

در تحقیق حاضر اتصال از طریق جوشکاری اصطکاکی فولاد CK35 به فولاد 18CrMo4 که در ساخت محور فرمان نیشان کاربرد دارد انجام پذیرفته و نتایج زیر حاصل گردید.

۱- بالاترین استحکام کششی (۵۷۶ مگاپاسکال) و حداکثر زاویه خمش (۳۰ درجه) در زمان اصطکاک ۱۳ ثانیه و زمان فورج ۳ ثانیه بدست آمد که با توجه به استحکام کششی فولاد CK35 در حالت آنیل شده (۶۵۰ مگاپاسکال)، استحکام کششی ناحیه جوش ۰/۸۸ فلز پایه است.

۲- بالاترین سختی در ناحیه جوش بدست می‌آید که با توجه به تاثیر عملیات فورج بر ریزشدن دانه‌ها قابل توجیه است.

۳- بررسی‌های ریزساختاری حضور نواحی فلز پایه، ناحیه متأثر از حرارت و ناحیه ترمومکانیکال را در دو طرف ناحیه جوش اصطکاکی تایید می‌نماید.

۴- با توجه به کمتر بودن استحکام کششی فولاد CK35 در مقایسه با فولاد 18CrMo4 تغییر فرم بیشتری در آن رخ داده و بنابراین اندازه زائده جوش در طرف CK35 بزرگتر است.

- [9] P. Sathiya, S. Aravindan, A. Noorul Haq, "Some Experimental Investigations on Friction Welded Stainless Steel Joints". Materials and Design, Vol. 29, PP. 1099-1109, 2008.

## ۶- پی نوشت

- 
- 1- Flash
  - 2- Inertial friction welding
  - 3- Continuous friction welding