

## بررسی ریزساختار و خواص مکانیکی اتصال جوشکاری اصطکاکی فولاد ck35 به فولاد CrMo418

قطعات ماشین آلات به کمک روش های مختلف نظیر فروجینگ، ماشین کاری، ریخته گری و جوشکاری تولید می شوند. انتخاب روش های تولید وابسته به هزینه تولید است. در این بین جوشکاری اصطکاکی با توجه به هزینه های 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 مورد ارزیابی قرار می گیرد CrMo4 فولاد (۱۱۸۱) و ck35 فولاد غیر مشابه

بدین منظور از آزمون های مکانیکی نظیر کشش، خمش و سختی. و بررسی های 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 می آید. بررسی های 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 می آید

جوشکاری اصطکاکی یکی از روش های اقتصادی و پر مصرف در اتصال فلزات و آلیاژهای غیر همجنس در صنعت است. در این روش جوشکاری، گرما از طریق تبدیل انرژی مکانیکی به انرژی حرارتی در فصل مشترک اتصال در قطعه کار. در اثر چرخش با سرعت بالا و اعمال فشار بوجود می آید. از مزایای جوشکاری اصطکاکی می توان به زمان تولید بسیار کم. صرفه جویی بالا از طریق مواد مصرفی پایین و امکان جوشکاری فلزات و آلیاژهای غیر همجنس اشاره نمود. از پارامترهای مؤثر بر جوشکاری اصطکاکی می توان به زمان اصطکاک. فشار در هنگام اصطکاک دو قطعه، زمان و فشار فروجینگ و سرعت چرخش اشاره نمود. فاکتورهای مورد بیان در بالا برای رسیدن به یک اتصال با خواص مناسب بایستی تحت کنترل در آیند

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 و ۲- جوشکاری اصطکاکی مداوم 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

شرایط بهینه در جوشکاری اصطکاکی Dobrovidov تحقیقات زیادی در مورد جوشکاری اصطکاکی انجام پذیرفت. بعنوان مثال بر روی جوشکاری Sahin فولاد تندبر را به فولاد ساده کربنی با ۰,۴۵ درصد کربن را بررسی نمود. در تحقیق دیگری که توسط انجام پذیرفت، مشاهده گردید. استحکام کششی در ناحیه جوش در حدود ۹۰ درصد ck40 اصطکاکی قطعات از جنس فولاد فلز پایه می باشد. همچنین استحکام ضربه در ناحیه جوش کمی بالاتر از فلز پایه می باشد

در تحقیق دیگری همین محقق پارامترهای مؤثر بر جوشکاری اصطکاکی فولاد تندبر را به فولاد ساده کربنی بررسی نمود. نتایج این تحقیق نشان داد بالاترین استحکام کششی در زمان اصطکاک ۳,۷ ثانیه و فشار اصطکاک ۶۰۰ مگاپاسکال بدست می آید. در بر روی جوشکاری اصطکاکی غیر همجنس فولاد زنگ نزن آستینیتی به فولاد زنگ نزن Satyanarayana تحقیق دیگری که توسط فریتی انجام پذیرفت. مشاهده گردید انرژی ضربه و خواص استحکامی در ناحیه جوش در مقایسه با فلز پایه (فولاد زنگ نزن فریتی) بهبود یافت. و در داخل کشور تحقیقات بسیار کمی در مورد جوشکاری اصطکاکی انجام پذیرفت. در تحقیق حاضر (فولاد ۱۱۸۱). که در تهیه محور ( Ck35 جوشکاری اصطکاکی فولاد کم آلیاژ کروم، مولیبدن وانادیوم دار به فولاد ساده کربنی

فرمان نیشان کاربرد دارد بررسی گردیده. و شرایط بهینه در تولید این قطعه نظیر زمان اصطکاک و زمان فورج مشخص می گردد.

## مواد و روش تحقیق

به ترتیب در جدول (۱) و (۲) مشخص است. در CK35 و CrMo4 ترکیب شیمیایی فولادهای مورد مصرف در تحقیق شامل ۱۸ این تحقیق پارامترهای فشار فورج اولیه، فشار فورج ثانویه. و سرعت چرخش بترتیب برابر با ۲۵ بار. ۴۵ بار و ۱۵۰۰ دور بر دقیقه مد نظر قرار گرفت. عملیات جوشکاری اصطکاکی در دو زمان فورج ۳ و ۵ ثانیه و زمان های اصطکاک ۸،۱۱،۱۶،۱۳،۱۷،۱۹.

توسط دستگاه (EN10002-1 برای بررسی خواص مکانیکی ناحیه جوش اصطکاکی از آزمون های کشش مطابق با استاندارد ENISO15620 و نیروی ۵ کیلو گرم) و خمش مطابق با استاندارد MH1 سختی (توسط دستگاه کوپا مدل ZIM مدل YMM). استفاده گردید. نحوه انجام آزمون خمش بر روی نمونه های محور فرمان نیشان تولیدی به روش جوشکاری اصطکاکی در شکل (۱) نمایان است.

مدل Olympus برای بررسی ریزساختار ناحیه جوش، نمونه ها پس از (اچ) در محلول نایتال ۴٪ توسط میکروسکوپ نوری استفاده گردید. همچنین برای بررسی نمونه هادر JEO1 ساخت شرکت (SEM) و میکروسکوپ الکترونی روبشی PGM3. حالت ماکرو از محلول (اچ) با ترکیب کلرور مس (۲۰ گرم). و اسید کلریدریک (۱۰۰ گرم) و آب (۱۰۰ گرم) استفاده گردید.

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.



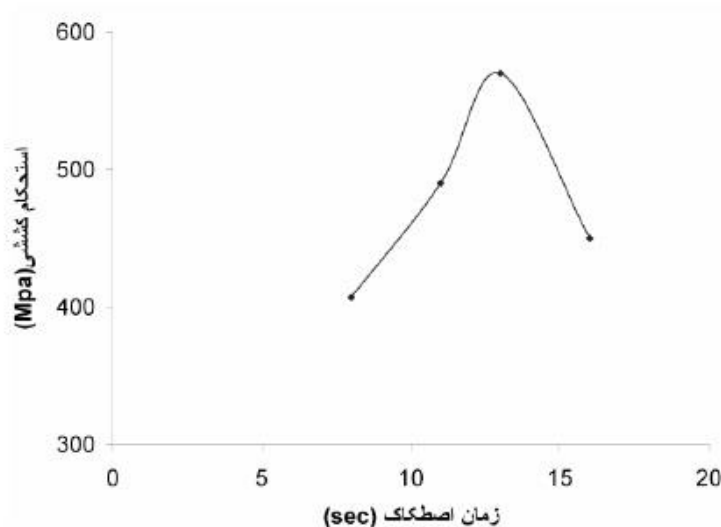
شکل (۱): نحوه انجام آزمون خمش

## نتایج و بحث

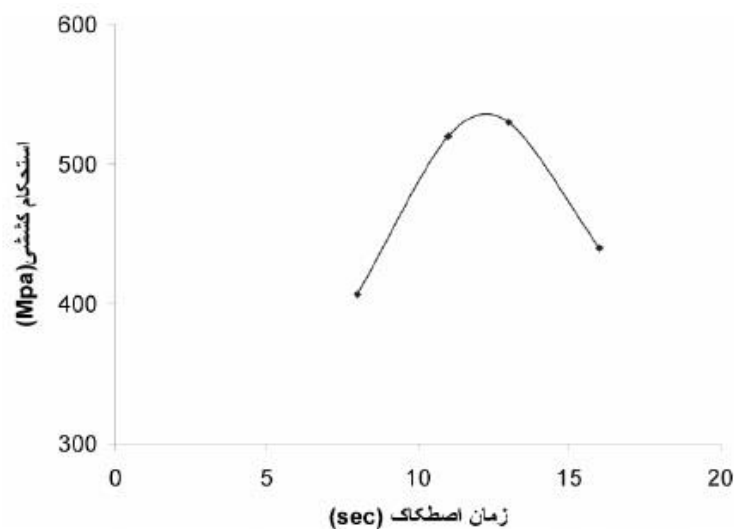
در شکل (۲) و (۳) ارتباط بین زمان اصطکاک و استحکام کششی در زمان فورج ۳ و ۵ ثانیه نمایان است. همانطوریکه مشاهده حاصل گردید. دلیل این (570 Mpa) می گردد. در زمان فورج ۳ ثانیه و زمان اصطکاک ۱۳ ثانیه بالاترین استحکام کششی مسئله در ارتباط با آن است. که در زمان های اصطکاک کم حرارت تولیدی بسیار کم است. و بنابراین منجر به جوش با استحکام بالا نمی شود.

همچنین در زمان های اصطکاک یا فورج بالاتر، دمای ناحیه جوش افزایش یافت. و بنابراین پهنای ناحیه متأثر از حرارت افزایش می یابد (همراه با درشت شدن دانه ها) و بنابراین استحکام کاهش می یابد. بنابراین بالاترین استحکام کششی (۵۷۰) 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 مورد اثبات قرار دارد. بررسی نتایج حاصل از آزمون خمشی بیانگر بالاترین زاویه خمشی 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 جوش است. (شکل ۴ و ۵) از بررسی این مناطق (با توجه به شکل ۴ و ۵)، نتایج زیر حاصل می شود

ساختار فلز پایه : در فولاد ساده کربنی شامل فریت و پرلیت و در فولاد کم آلیاژ مارتنزیت تمپر هستند -1



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



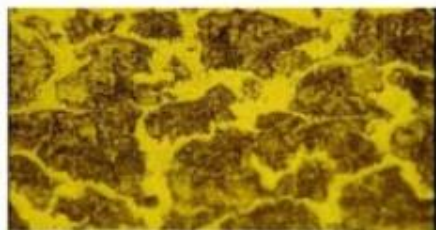
شکل (۳): ارتباط بین زمان اصطکاک و استحکام کششی در زمان فورج ۵ ثانیه.

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

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

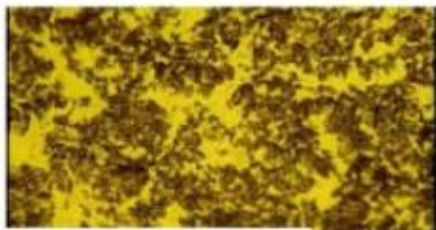
4- ناحیه جوش: وسعت این ناحیه بسیار کم می باشد. دلیل این مسئله آن است که در اثر جوشکاری قسمت زیادی از این ناحیه میلی ، ۱، ck35 به بیرون پس زده می شود. و زائده جوش را تشکیل می دهد (شکل ۶). همچنین اندازه زائده جوش در طرف در مقایسه با فولاد ck35 میلی متر است. که با توجه به کمتر بودن استحکام کششی فولاد ، ۹، CrM04۲متر و در طرف ۱۸ قابل توجیه است ۱۸CrMo4.

نواحی مختلف ساختاری در فولاد CK35



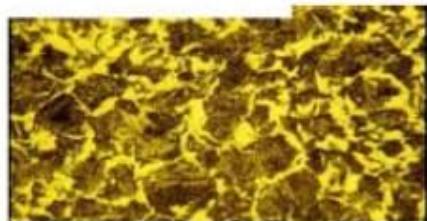
فلز پایه

20µm



ناحیه متأثر از حرارت

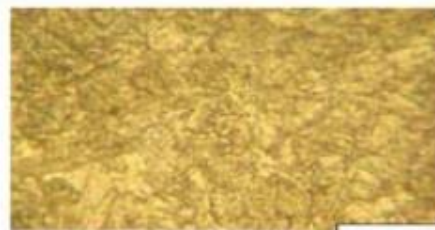
20µm



ناحیه ترمومکانیکال

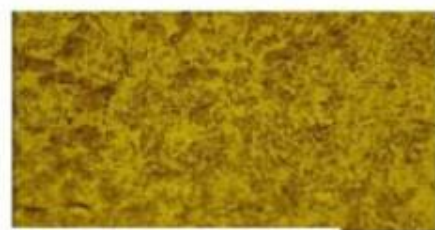
20µm

نواحی مختلف ساختاری در فولاد 18CrMo4



فلز پایه

20µm



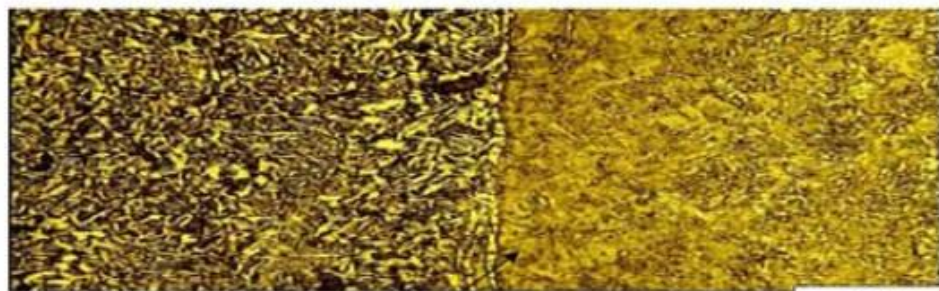
ناحیه متأثر از حرارت

20µm



ناحیه ترمومکانیکال

20µm



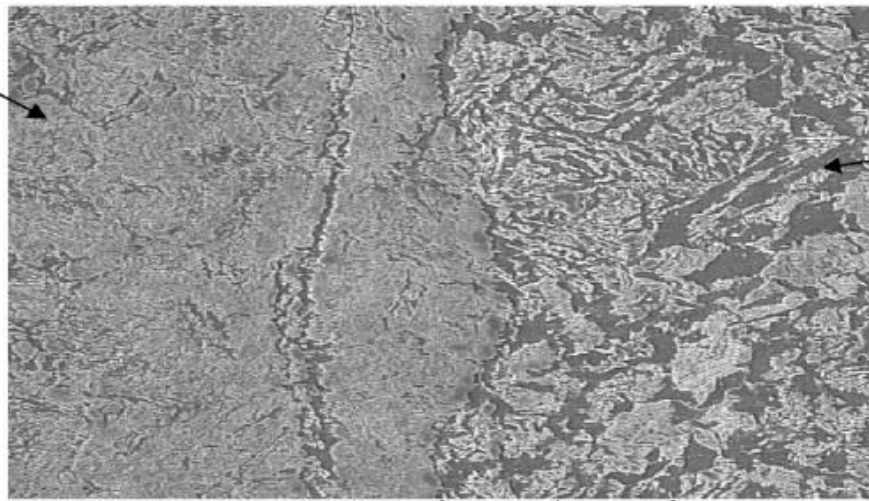
فصل مشترک ناحیه جوش

20µm

در نمونه با زمان فورج ۳ ثانیه و زمان  $18CrMo4$  و  $CK35$  شکل (۴): ریزساختار نواحی مختلف جوش اصطکاکی دو فولاد ۱۸ اصطکاکی ۱۳ ثانیه.



۱۸CrMo۴ فولاد

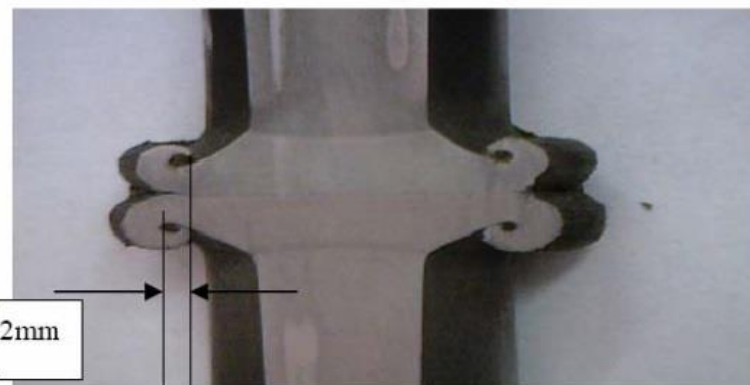


CK35

SEM MAG: 2.00 kx DET: SE Detector 20 μm

و CrMo شکل (۵): ریز ساختار تهیه شده توسط میکروسکوپ الکترونی روبشی. از نواحی مختلف جوش اصطکاکی دو فولاد ۱۸ CrMo و CK35 در نمونه با زمان فورج ۳ ثانیه و زمان اصطکاک ۱۳ ثانیه

نتایج حاصل از بررسی سختی نمونه ها در جدول (۳) نمایان است. همانطوریکه مشاهده می گردد سختی در نواحی متأثر از حرارت و ناحیه ترمومکانیکال در مقایسه با فلز پایه کاهش یافته است. همچنین بالاترین سختی در ناحیه جوش حاصل گردید. دلیل این مسئله در ارتباط با ریز شدن دانه ها و تأثیر عملیات فورج در این ناحیه می باشد



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

جدول (۳): مقدار سختی (ویکرز) در مناطق مختلف جوش اصطکاکی فولاد ۱۸CrMo۴ و CK35 در نمونه با زمان فورج ۳ ثانیه و زمان اصطکاک ۱۳ ثانیه.

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

نتیجه گیری

که در ساخت محور فرمان نیشان 4CrMo به فولاد 18 ck35 در تحقیق حاضر اتصال از طریق جوشکاری اصطکاکی فولاد کاربرد دارد انجام پذیرفته و نتایج زیر حاصل گردید.

1- بالاترین استحکام کششی (۵۷۶ مگاپاسکال) و حداکثر زاویه خمشی (۳۰ درجه). در زمان اصطکاک ۱۳ ثانیه و زمان فورج ۳- در حالت آنیل شده (۶۵۰ مگاپاسکال). استحکام کششی ناحیه ck35 ثانیه بدست آمد. که با توجه به استحکام کششی فولاد جوش ۸۸/۰ فلز پایه است.

2- بالاترین سختی در ناحیه جوش بدست می آید که با توجه به تأثیر عملیات فورج بر ریز شدن دانه ها قابل توجه است -

3- بررسی های ریزساختاری حضور نواحی فلز پایه، ناحیه متأثر از حرارت و ناحیه ترمومکانیکال را در دو طرف ناحیه جوش - اصطکاکی تأیید می نماید

4- تغییر فرم بیشتری در آن رخ داده و 4CrMo در مقایسه با فولاد 18 ck35 با توجه به کمتر بودن استحکام کششی فولاد - بزرگتر است ck35 بنابراین اندازه زائده جوش در طرف

کامران امینی-علی فاتحی، علی بروجردی

دانشگاه آزاد اسلامی، واحد شهر مجلسی-شرکت فرمان خودرو سپاهان اصفهان-شرکت آزمون فولاد اصفهان

### استیل دی (Steel day)

با سالها تجربه در زمینه عرضه و توزیع انواع استیل بگیر و استیل نگیر. و همچنین انواع فولادهای نسوز و فولادهای دریایی و ساختمانی توانسته است رضایت مشتریان خویش را فراهم نماید. زیرا کارشناسان مجرب استیل دی آماده اند تا در زمینه مشاوره و ارائه دادن بهترین پیشنهادات خرید محصول به مشتریان عزیز خدمات رسانی نمایند.

صنعتگر محترم و گرامی از اینکه استیل دی را جهت خرید فولاد آلیاژی مورد نیاز خویش انتخاب می نمایید از شما سپاسگزاریم. تمام محصولات استیل دی بر حسب نوع کالا دارای گواهینامه ها و آنالیزهای معتبر داخلی و خارجی می باشند.

ارتباط با ما

09922704358

02166396590

واتس آپ: ۰۹۹۲۲۷۰۲۲۵۸

(ارتباط با ما در شبکه های اجتماعی (با کلیک بر روی لینک های زیر به ما بپیوندید

تلگرام [https://t.me/steel\\_day](https://t.me/steel_day)

اینستاگرام [https://www.instagram.com/steel\\_day.ir](https://www.instagram.com/steel_day.ir)

توییتر <https://twitter.com/MDlakan>

پینترست [pinterest](https://www.pinterest.com/steel_day)

ایمیل: [steelday.foolad@gmail.com](mailto:steelday.foolad@gmail.com)