

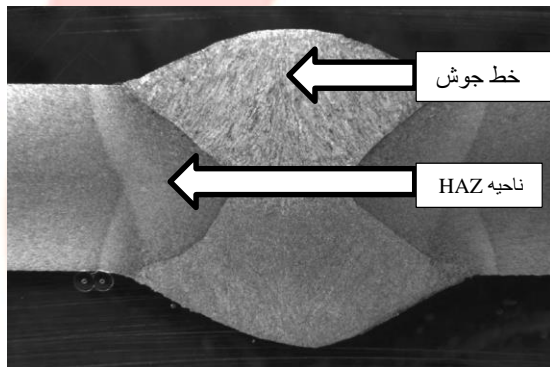
supplementary information about Alform welding**جوشکاری انواع ورقهای فولادی ALFORM®**

ترکیب شیمیایی مواد (میزان کربن معادل) و نمودار دما - زمان در طول جوشکاری از عوامل بسیار مهم برای خواص مکانیکی بدست آمده در اتصالات جوشکاری می باشد. نمودار دما - زمان به کمک پارامترهای زیر محاسبه می شود

- ضخامت ورق
- شکل جوش
- انرژی قوس
- دمای پیش گرم
- جوش تقویت کننده

زمان سرد کردن ($t_8/5$) برای توصیف نمودار دما - زمان در طول عملیات جوشکاری استفاده می شود که همان مدت زمان سرد شدن از دمای 800 تا 500°C در محیط آستنیت شده ی HAZ (heat-affected zone) است. این مدت زمان در نحوه ی شکل گیری ناحیه جوش، ریزساختار ناحیه HAZ و همچنین خواص بدست آمده برای جوش بسیار تاثیرگذار است که جزئیات نحوه محاسبه آن در استاندارد EN 1011-2 آورده شده است.

تصویر خط اتصال یک جوش



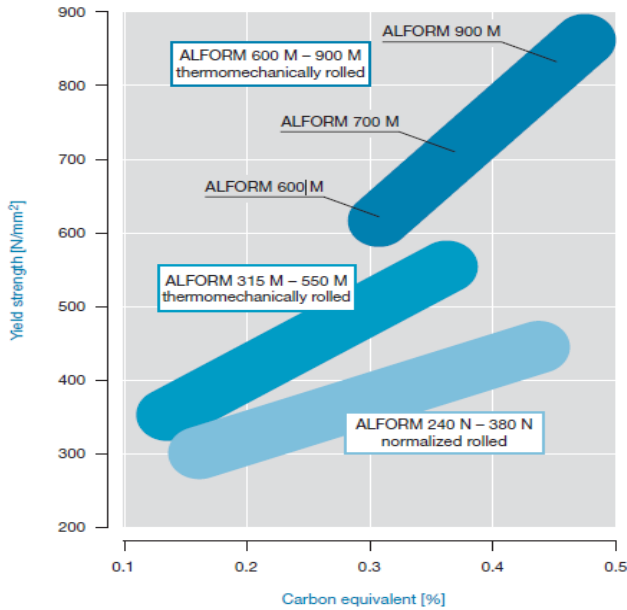
(خط جوش و منطقه HAZ)

ورق های ALFORM® نه تنها دارای خاصیت فرم پذیری بالا به کمک کار سرد هستند بلکه بدلیل داشتن ترکیب شیمیایی خاص (دارا بودن کمترین میزان کربن معادل) دارای خاصیت جوش پذیری بسیار مناسبی نیز هستند. البته این نکته را نیز باید ذکر نمود که ورق های تولید شده به روش ترمومکانیکال بدلیل کم بودن میزان کربن معادل ورق و دست یابی به ریزساختار ریز و یکنواخت تر در مقایسه با سایر ورق های میکروآلیاژ ، دارای خاصیت جوش پذیری مناسب تری می باشند بنابراین در حین انجام عملیات جوشکاری هیچ گونه مشکلی رخ نمی دهد.



نکته

بطور کلی اتصالات جوشکاری در ورق های فولادی با توجه انجام می شود (برای EN 1011 به استانداردهای سری برای جوشکاری قوس الکتریکی EN 1011-2 مثال ورقهای فولادی فریتی)



نمودار میزان استحکام تسلیم گروه های مختلف ورقهای فولادی براساس میزان کربن معادل ورق ها حاکی از این نکته است که ورق های تولید شده به روش ترمومکانیکال در مقایسه با ورقهای کوئنچ - تمپر شده دارای میزان کمتری از کربن معادل می باشند درحالیکه میزان استحکام تسلیم آنها برابر است (نمودار 1). نکته قابل توجه خاصیت جوش پذیری بسیار بالای ورقهای ALFORM 600 M تا ALFORM 900 M می باشد.

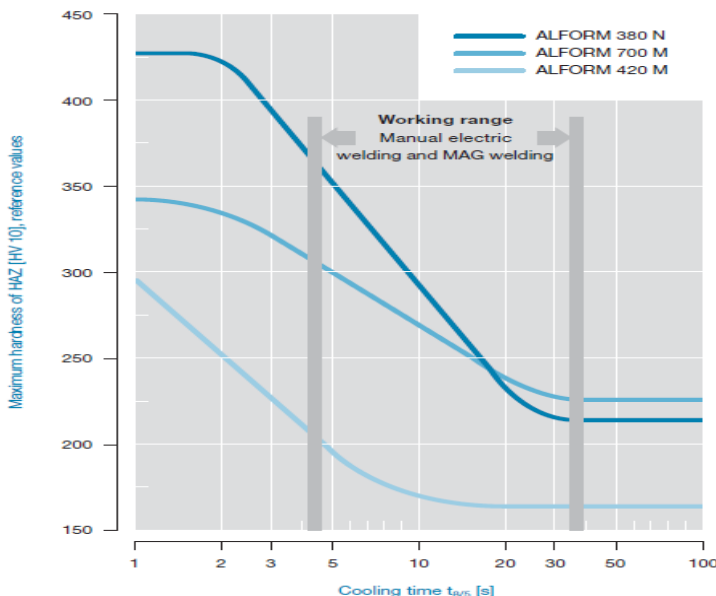
نمودار 1- استحکام تسلیم و کربن معادل برای انواع درجه بندی ورق و انواع روش تولید

$$CEV = C + \frac{Mn}{6} + \frac{Cr + Mo + V}{5} + \frac{Cu + Ni}{15}$$

Hardness at HAZ

بدلیل وجود کربن معادل بسیار کم در ورق های تولید شده به روش ترمومکانیکال، در اتصالات جوشکاری این ورقها، میزان سختی بوجود آمده در ناحیه HAZ بسیار کاهش یافته است. حتی ورق استحکام بالای ALFORM 700 M تولید شده به روش ترمومکانیکال دارای میزان سختی ایجاد شده بسیار کمتر از ورق ALFORM 380 N تولید شده به روش کوئنچ - تمپر می باشد بنابراین احتمال رخ دادن ترک سرد در ناحیه HAZ تا بیشترین میزان ممکن کاهش می یابد.

سختی پذیری در ناحیه (Heat-Affected Zone) HAZ

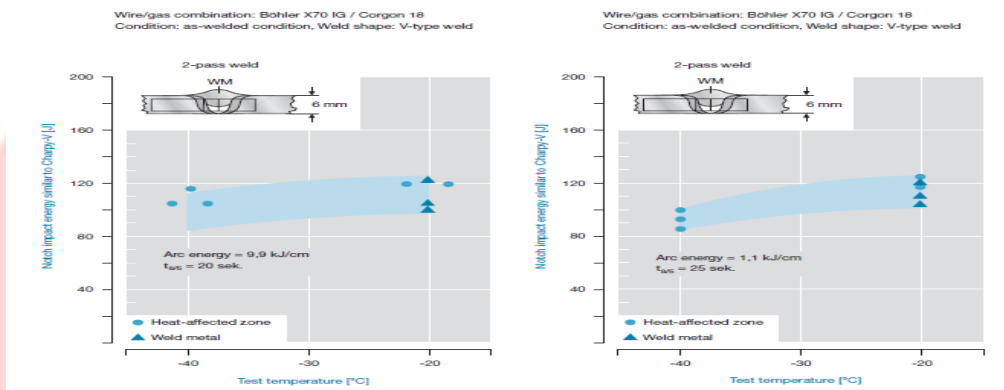


نمودار 2- تاثیر پارامترهای جوشکاری بر سختی پذیری (خواص ناحیه HAZ)

Toughness

چقرمگی در ناحیه HAZ به نوع ورق فولادی و اندازه دانه ریزساختار آن در ناحیه بستگی دارد. افزایش سایز دانه ها و همچنین ایجاد نواحی مارتنزیتی در ریزساختار آستنیتی ورق باعث کاهش میزان چقرمگی می شود در نتیجه کم بودن میزان پرلیت در مناطق مارتنزیتی در ناحیه HAZ برای ورقهای فولادی ALFORM[®] سری M در مقایسه با ورقهای متداول فولادی کمتر است و نواحی مربوط به مارتنزیت های باقی مانده با توجه به میزان کمتر کربن در آنها، نرم تر و با چقرمگی بیشتر می باشند. با توجه به میکروآلیاژی بودن ورقهای تولید شده به روش ترمومکانیکال، در مقایسه با میزان رشد دانه ها و ته نشین شدن ذرات در آنها مقدار بسیار بالایی از چقرمگی برای ورق بدست می آید. برای مثال در نمودارهای انرژی ضربه - دما برای ورق ALFORM 700 M (نمودار 3) نشان داده شده است که نزدیک بودن میزان چقرمگی¹ به مقادیر استاندارد پیشنهاد داده شده برای باعث جلوگیری از بروز هرگونه مشکلی، حتی در نمونه هایی با ضخامت 5mm^2 می شود.

چقرمگی در ناحیه HAZ



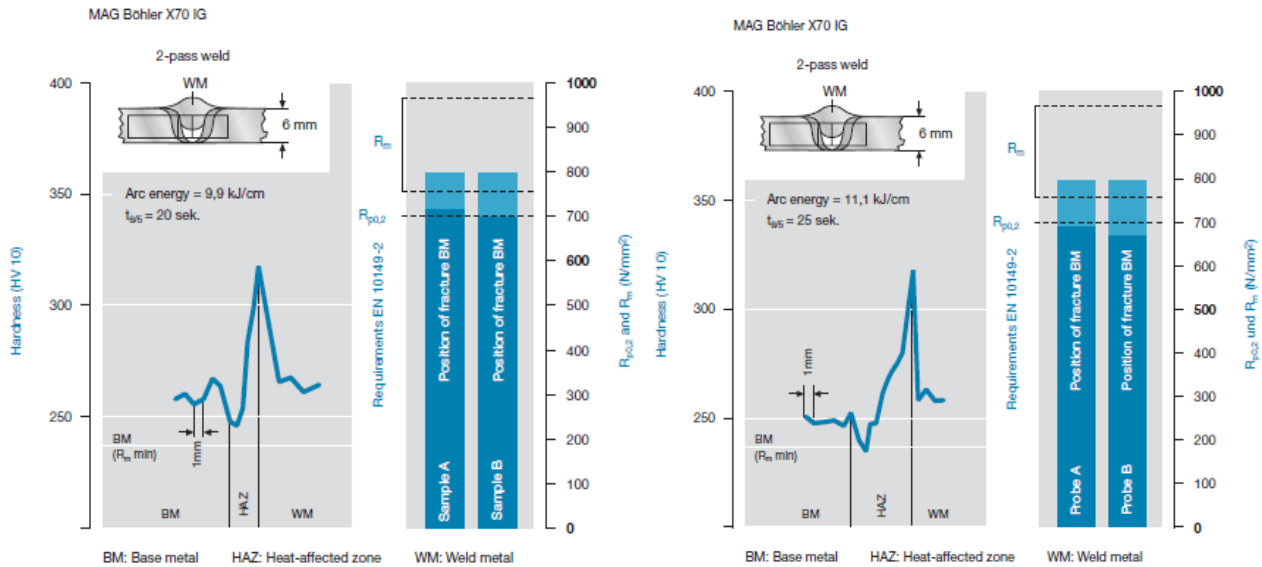
نمودار 3- خاصیت چقرمگی در ناحیه HAZ برای ورق ALFORM 700 M در نمودار انرژی ضربه - دما نشان داده شده است. مقادیر انرژی ضربه در ابتدا برای نمونه هایی با ابعاد کوچک محاسبه شده و سپس مقادیر موردنظر برای نمونه های اصلی بدست آمده است.

Strengths in welding point

خواص استحکامی در اتصالات جوشکاری

با توجه به استحکام در اتصالات جوشکاری ورقهای استحکام بالا، فولادهای عملیات حرارتی پذیر و یا ترمومکانیکال با توجه به پدیده ای که در ناحیه HAZ بعثت وجود حرارت بیش از حد (بوجود آمدن مقادیر کم آستنیت) بوجود می آید و "منطقه نرم" نامیده می شود، مشخص می شوند که با افزایش میزان گرمای وارده، پهنای این ناحیه نیز افزایش می یابد (معادل با مدت زمان سرد شدن $t_{8/5}$ طولانی تر). با توجه به اینکه ورقهای فولادی ALFORM[®] دارای مقاومت به تمپر بالایی می باشند، بنابراین قابلیت افزایش استحکام در آنها وجود دارد. تغییر در سختی و خواص استحکامی ورق ALFORM 700 M در شکل 4 نشان داده شده است. عملاً هیچگونه ناحیه نرم شده ی مشخصی و در نتیجه آن کاهش میزان استحکام به کمتر از مقادیر پیشنهاد داده شده حتی با وجود مدت زمان سرد شدن ($t_{8/5}$) طولانی و به مدت 20 ثانیه رخ نمی دهد. به منظور جلوگیری از بروز هرگونه مشکل، مدت زمان سرد شدن طولانی و/یا انرژی قوس بالا نباید انتخاب شود چراکه با گذشت مدت زمان بیشتر بدلیل وجود بار حرارتی اضافی موجود در نمونه، باعث افزایش پهنای ناحیه نرم بوجود آمده در منطقه HAZ می شود. مدت زمان سرد شدن ($t_{8/5}$) برای ورق ALFORM 900 M نباید از 10 ثانیه تجاوز کند چرا که باعث افزایش سختی ورق و در نتیجه جلوگیری کردن از افزایش استحکام می شود. این محدودیت ها بالای $t_{8/5}$ نیز با توجه به خواص استحکامی رضایت بخش در جوش و نیاز به خواص چقرمگی خاص در مفاصل جوش داده شده، لازم است.

¹ 40 J در دمای $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$ با توجه به استاندارد EN 10149 برای آزمون ضربه کامل V



برش عرضی از ورق ALFORM 700 M برای نشان دادن میزان سختی در اتصالات جوش و خواص استحکامی بدست آمده در آن

دستورالعمل کلی برای جوشکاری welding instructions

نحوه آماده سازی خط جوش prepring

آماده سازی جوش می تواند در قالب ماشینکاری و یا برش حرارتی باشد. در طول برش حرارتی (برش اکسی گاز ، برش اکسی لیزر ، برش پلاسما) منطقه حرارت دیده در مجاورت سطح برش تحت تاثیر قرار میگیرد ، با این حال اگر پارامترهای انتخابی برای برش بصورت بهینه و با توجه به ضخامت ورق انتخاب شوند، عرض ناحیه متأثر از حرارت از 2mm بیشتر نمی شود. سخت شدن یک خط باریک از کناره لبه برش با عرضی در حدود چند دهم میلیمتر به راحتی قابل تشخیص است. سختی پذیری به میزان کربن معادل و بطور کلی به میزان سختی بدست آمده در ناحیه HAZ در طول جوشکاری بستگی دارد. در نتیجه مقدار کم کربن معادل(بخصوص با کاهش میزان کربن در ورق) باعث کاهش میزان سختی پذیری ورقهای فولادی ترمومکانیکال ALFORM® در مقایسه با سایر ورقهای فولادی کوئنچ - تمپر شده عملیات حرارتی پذیر، با استحکام تسلیم یکسان می شود.

فرآیند جوشکاری welding process

هر دو نحوه اتصال در جوشکاری با تمام تکنیک های جوشکاری ذوبی ثابت (دستی و ماشینی) جوش لب به لب، جوشکاری فرکانس بالا و جوشکاری مقاومتی برای ورقهای فولادی ALFORM® قابل انجام است، دستورالعمل جوشکاری برای ورقها آورده شده است.

مواد پرکننده و شرایط جوشکاری filler metal

انتخاب مواد پرکننده به خواص مکانیکی و تکنولوژیکی فلز پایه موردنظر برای جوشکاری بستگی دارد(استحکام کششی، استحکام تسلیم و انرژی ضربه). از انتخاب مواد پرکننده ای که باعث افزایش استحکام بی دلیل جوش می شوند باید اجتناب نمود.

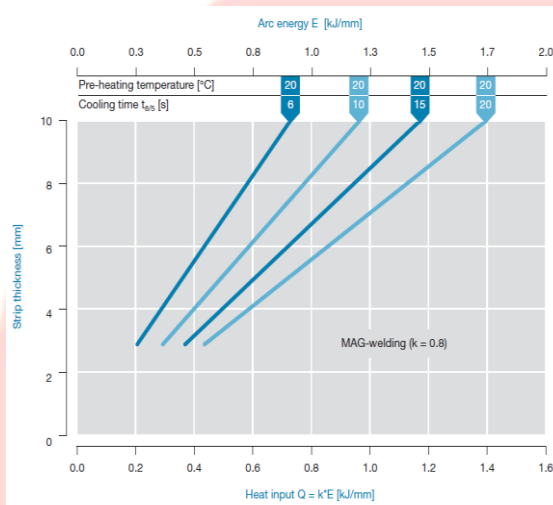
دمای پیشگرم pre heating temp.

برای ورقهایی با ضخامت $12\text{mm} \geq$ نیازی به پیشگرم نمودن ورق نیست. اگر دمای محیط کمتر از 5°C + بوده و یا رطوبت در محیط جوش وجود داشته باشد، پیشگرم کردن باید در دمای $80 - 100^\circ\text{C}$ برای جلوگیری از رخ دادن ترک سرد انجام پذیرد. برای ورقهایی که استحکام تسلیم آنها $< 500\text{ N/mm}^2$ باشد، نیاز است روش جوش به گونه ای انتخاب شود که میزان هیدروژن وارد شده به ناحیه جوش از مقدار مشخصی ($\text{DHM} < 5$) تجاوز نکند که این امر با استفاده از گازهای محافظ بی اثر و سیم جوشهای جامد امکانپذیر است.

الکترودهای پایه، سیم جوش های پوشش دار و/یا پودرهای جوشکاری مورد استفاده در جوشکاری قوسی زیرپودری باید با توجه به دستورالعمل کارخانه سازنده مورد خشک کردن مجدد قرار بگیرند.

انرژی قوس - تعداد لایه های جوشکاری Arc energy and Heat input

با توجه به میزان چقرمگی فلز جوش و/یا ناحیه HAZ این موضوع مورد توجه قرار گرفته است که کاهش میزان استحکام تسلیم باعث افزایش میزان چقرمگی جوش می شود بعلاوه مقادیر بالاتری برای استحکام جوش بدست می آید. برای بدست آوردن استحکام و چقرمگی بالاتر انرژی قوس باید محدود شده و تکنیک مهره جوش باید انجام شود. برای اتصالات جوش ضعیف تر (دارای استحکام و چقرمگی کمتر) در برخی موارد باید تعداد لایه های جوش کاهش یابد. در نتیجه ی شرایط جوشکاری مورد استفاده برای این نوع ورق ها سرعت سرد شدن (t8/5) مناسب بین 7-25 ثانیه است. بیشترین مدت زمان سرد شدن برای ورق های استحکام بالای ترمومکانیکال ALFORM 550 M تا ALFORM 700 M به 20 ثانیه محدود می شود. نمودار زیر (شکل 5 یا EN 1011-2) را می توان برای تعیین انرژی قوس مجاز با توجه به ضخامت ورق و تطابق آن با مقادیر استاندارد، استفاده نمود.



روش تقریبی زیر برای بدست آوردن اتصال جوش با استحکام و انرژی و فولادهایی با $TM_{0.2} > 500 \text{ N/mm}^2$ (فولادهایی با $TM_{0.2}$ تضریریه بالا در ورق های فولادی استاندارد) دارند $TM_{0.2} > 500 \text{ N/mm}^2$ که استحکام تسلیم $TM_{0.2} > 500 \text{ N/mm}^2$ بزرگتر بهبود یافته استفاده می شود.

$$\text{minimum number of layers} = \frac{\text{strip thickness [mm]}}{3}$$



برای انجام فرآیند جوشکاری ورق های پرکاربرد ALFORM® می توانید به جدولی که شامل اطلاعاتی از قبیل روش جوشکاری، نوع مواد پرکننده، دمای پیشگرم و... می باشد، مراجعه نمایید.