

**Supplementary information for welding**

**ورق های ضد سایش Durostat**

انواع ورقهای فولادی ضد سایش Durostat با بهترین روشهای تولید آنلاین، توسط شرکت Voestalpine Grobblech تولید می شوند. این ورقهای فولادی بصورت خاص برای قطعاتی که در معرض تنشهای مکانیکی بالا و یا سایش و خوردگی زیاد هستند، مناسب میباشد که از کاربردهای آنها می توان به استفاده از این ورقها در تولید تجهیزات حمل بار، بیل مکانیکی لودر، بدنه واگن ها، بالابر، اجزای ماشین خاکبرداری، ماشین جاده ای، دستگاه غربال و دستگاه سنگ خرد کن اشاره نمود.



**Durostat benefits**

**مزایای استفاده از ورق ضد سایش Durostat**

1. عمر بیشتر : بعلت بالا بودن میزان سختی ورق ضد سایش فولادی Durostat، میزان مقاومت به سایش در این ورق به مراتب از فولادهای معمولی بالاتر است.
  2. وزن کمتر : با توجه به بالا بودن بسیار زیاد میزان سختی در این ورق ها در مقایسه با فولادهای معمولی، ضخامت ورق های Durostat را تا حد زیادی می توان کاهش داد که این موضوع سبب کاهش میزان هدر رفتن ورق و همچنین افزایش تحمل ورق در برابر بارهای اعمال شده می شود.
  3. قابلیت جوشکاری مناسب : ورق Durostat قابلیت انجام جوشکاری بدون ایجاد شدن هیچ گونه عیبی را دارد. با توجه به مقدار کم کربن معادل در این ورق ها، برای ضخامت های کم نیازی به پیش گرم کردن ورق نیست.
  4. سطح مناسب : ورق های 450 , 400 Durostat با ضخامتهای بیشتر از 30 mm بصورت آنلاین و پس از عملیات نورد داغ بصورت مستقیم به کمک روش سرمایش تسریع شده خنک می شوند که در نتیجه آن ورق نازک و یکنواختی ایجاد می شود که سطح آن در مقایسه با ورق های فولادی معمولی تفاوت زیادی دارد.
- فولادهای تولید شده به کمک روش TMCP دارای مزیت های زیادی نسبت به فولادهای تولید شده به کمک روش کونچ تمپر شده می باشد که برخی از این موارد در جداول زیر آورده شده است.

مزایا	دلایل
○ جوش پذیری بهتر	• مقدار کم کربن معادل • ریزساختار ریزتر
○ شکل پذیری بهتر	• ریزساختار ریزتر
○ انعطاف پذیری بیشتر	• ریزساختار ریزتر
○ کاهش زمان انجام فرآیند	• عدم نیاز به عملیات حرارتی
○ یکدست بودن سطح ورق	• کوچک و یکدست بودن ساختار

خواص مکانیکی ورق ضد سایش DUROSTAT

جدول 1. طبقه بندی ورقهای ضد سایش DUROSTAT

طبقه بندی ورق ضد سایش DUROSTAT	Thickness	Maximum width mm	Maximum length mm	Hardness HB
DUROSTAT 400	2.5 – 100 mm	3000	13200	360 – 440
DUROSTAT 450	2.5 – 50 mm	2500	13200	410 - 490
DUROSTAT 500	10 – 30 mm	2500	13200	460 - 540

جدول 2. ترکیب شیمیایی ورقهای ضد سایش DUROSTAT

Steel grades	Mass in %									
	C Max.	Si Max.	Mn Max.	P Max.	S Max.	Al <sub>tot</sub> Min.	Cr Max.	Mo Max.	B Max.	Ti Max.
DUROSTAT 400	0.18	0.60	2.10	0.025	0.010	0.020	1.00	0.50	0.005	0.050
DUROSTAT 450	0.22	0.60	2.10	0.025	0.010	0.020	1.00	0.50	0.005	0.050
DUROSTAT 500	0.30	0.60	2.10	0.025	0.010	0.020	1.00	0.50	0.005	0.050

جدول 3. کربن معادل ورقهای ضد سایش DUROSTAT

Steel grades	Mass in %	
	CEV <sup>1)</sup>	CET <sup>2)</sup>
DUROSTAT 400	0.47	0.30
DUROSTAT 450	0.68	0.43
DUROSTAT 500	0.53	0.41

<sup>1)</sup> CEV = C + Mn/6 + (Cr + Mo + V)/5 + (Ni + Cu)/15, according to IIW

<sup>2)</sup> CET = C + (Mn + Mo)/10 + (Cr + Cu)/20 + Ni/40, according to SEW 088

جدول 4. مقادیر استاندارد برای خواص مکانیکی ورقهای ضد سایش Durostat (ضخامت 20mm)

Steel grades	Yield strength MPa	Tensile strength MPa	Fracture elongation L <sub>0</sub> = 5,65 VS <sub>0</sub> %
Durostat 400	1,000	1,250	10
Durostat 450	1,100	1,400	9
Durostat 500	1,200	1,550	8

**max working temp****دمای کارکرد ورق ضد سایش**

با توجه به اینکه این ورق ها دارای تنش باقی مانده، البته بصورت کنترل شده هستند و با توجه به میزان سختی ورق و برای حفظ این مقدار از سختی در آنها، باید به این نکته توجه نمود که دمای کارکرد ورقهای ضد سایش Durostat نباید به بالاتر از  $200^{\circ}\text{C}$  برسد چرا که با افزایش بیش از حد دمای کارکرد تنشهای باقی مانده موجود در ورق آزاد شده و این عاملی برای افت سختی در ورقهای ضد سایش می باشد البته لازم به ذکر است که دمای کارکرد ورق به ضخامت آن نیز بستگی دارد که با افزایش ضخامت، دمای کارکرد ورق نیز افزایش می یابد.

**cold cracking at HAZ****ترک سرد در ناحیه HAZ**

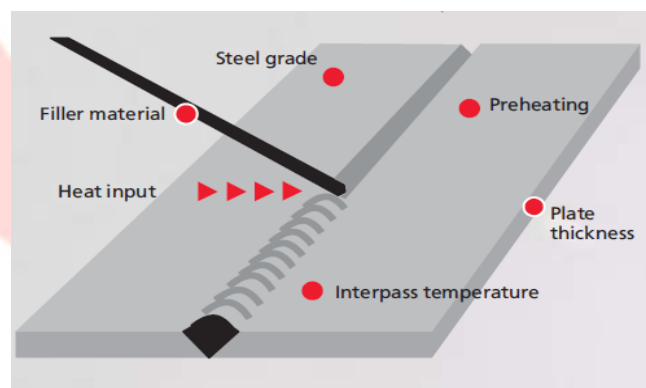
ترکهای ایجاد شده در حین جوشکاری به دو دسته تقسیم می شوند. دسته اول ترکهای سرد هستند که در حین سرد کردن و کاهش دمای نمونه ایجاد می شوند و دسته دوم نیز تحت عنوان ترکهای گرم نام برده می شوند که در خلال عملیات ذوب و انجماد بوجود می آیند. از ترکهای سرد ایجاد شده در حین جوشکاری می توان به ترک زیر جوش، ترک ریشه و میکرو ترکهای عرضی اشاره نمود. اگرچه این ترکها در فولادهای پر کربن بیشتر از فولادهای کم کربن رخ می دهد ولی در جوشکاری فولادهای کم کربن نیز برخی پارامترها همانند میزان سختی پذیری، نوع عملیات حرارتی انجام شده بر فلز پایه، گرمای ورودی در حین جوشکاری، تردی هیدروژنی، تنش باقیمانده و تمرکز تنش نیز در ایجاد ترک حین جوشکاری موثر هستند، که با توجه به آنها عملیات پیش گرم کردن و پس گرم کردن ورق، استفاده از الکترودهای دارای مقدار کم هیدروژن و شرایط انجام عملیات جوشکاری اهمیت زیادی دارد.

برای جلوگیری از ایجاد ترک سرد باید به سه پارامتر توجه نمود:

1. قابلیت سختی پذیری فلز پایه در حین جوشکاری
2. میزان تنش موجود
3. میزان هیدروژن قابل نفوذ

**important parameters on welding****پارامترهای موثر بر جوشکاری**

با توجه به نکات توضیح داده شده درباره جوشکاری ورق های ضد سایش Durostat و بوجود آمدن عیوبی همچون ترک سرد که متداول ترین عیب در جوشکاری این نوع ورقها می باشد، در این بخش به بررسی پارامترهای موثر بر جوش و مقادیر پیشنهادی آنها برای داشتن جوشی بدون عیب پرداخته شده است.



### پیشگرم کردن (Preheating Temperature)

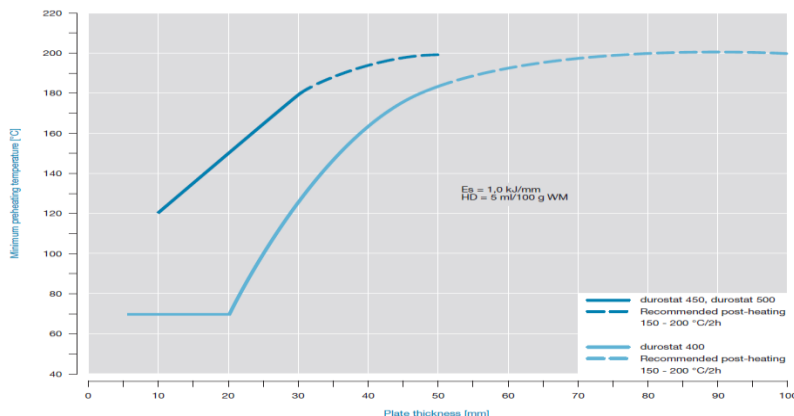
بالا بردن حرارت یک قطعه را قبل از شروع جوشکاری پیشگرمایی (preheating) می گویند. پیشگرمایی یکی از مهمترین روش های موثر در بهبود کیفی اتصالات است که می تواند روی قسمتی از اتصال یا تمامی آن انجام شود. مهمترین دلایلی که انجام پیشگرمایی روی اتصال را توجیه می کند به قرار زیر است:

1. کاهش نرخ سرد شدن جوش و منطقه HAZ
2. جلوگیری از بروز ترک سرد در ناحیه HAZ به ویژه در فولادهای سختی پذیر
3. افزایش چقرمگی جوش به ویژه در درجه حرارت های پایین و شرایط ضربه
4. کاهش مقدار انرژی ورودی که برای جوش نفوذی خوب مورد نیاز است
5. کاهش تنش های انقباضی پسماند
6. جلوگیری و کاهش ورود هیدروژن به جوش و ناحیه HAZ و کاهش تاثیرات ناشی از آن مانند تردی هیدروژنی
7. افزایش مقاومت در برابر خوردگی، به ویژه خوردگی تنشی "SCC"
8. ایجاد امکان جوشکاری فلزات و آلیاژهای غیر هم جنس
9. پاکسازی سطح قطعه کار از آلودگی بخصوص مواد چرب

پیشگرم سازی حداکثر اهمیت خود را در جوشکاری در پاس اول (ریشه جوش) دارد. هرچه دما طی جوشکاری و پس از آن بیشتر باشد، فرار هیدروژن از فولاد آسانتر خواهد بود. نیاز به پیشگرم سازی با افزایش ضخامت ورق بیشتر می شود، این بخاطر جبران سریع سرد شدن ورق ضخیم تر نسبت به ورق نازک می باشد. اگر فولادهایی با گرید مختلف بهم جوش داده شوند و یا در صورتیکه الکترودهایی که برای جوشکاری استفاده می شوند دارای کربن معادلی بالاتر از قطعه کار هستند، دمای پیش گرم کردن براساس فولاد (یا الکتروود) دارای بالاترین کربن معادل تعیین می شود. مهمترین قدم در پیشگرم انجام این عمل قبل از انجام نقطه جوش و گذرهای ریشه ای است. اگر گذرهای پرکن در زمانهای کوتاه بلافاصله پس از گذرهای قبلی انجام شوند، حرارت موجود در مرحله قبل می تواند بعنوان پیشگرم مرحله بعد مورد استفاده قرار بگیرد.

### پسگرم کردن (Post heating Temperature)

جوشکاری، به عنوان یک عملیات شدید حرارتی، در قطعه، ایجاد تنش های حرارتی داخلی می کند که این تنش ها به نوبه خود به تاب برداشتن، ترک خوردن و در نهایت شکستن قطعه جوشکاری به ویژه در قطعات ضخیم تر منجر می شود. حوضچه جوش که در طی جوشکاری به حالت مذاب درآمده، در ضمن انجماد، منقبض می شود. از آنجایی که فلز پایه سرد بوده و انعطاف پذیری نسبتا کمی دارد (در مقایسه با فلز جوش که در دمای بسیار بالاتری قرار دارد) در برابر تغییر شکل ناشی از انقباض منطقه جوش مقاومت کرده و منطقه جوش و تا حدودی مناطق مجاور آن را تحت تنش های کششی قرار می دهد. برای حذف یا کاهش تنش های باقی مانده ناشی از جوشکاری، قطعه مورد نظر را برای زمان مشخصی در درجه حرارتی زیر درجه حرارت بحرانی AC<sub>1</sub> حرارت می دهند. زمان حرارت دادن، به ابعاد قطعه و درجه حرارت تنش گیری بستگی دارد. هرچه درجه حرارت تنش گیری بالاتر انتخاب شود، زمان لازم برای انجام کامل تنش زدایی کمتر است. پسگرم سازی منطقه جوش بلافاصله پس از جوشکاری نیز فرار هیدروژن از فولاد را آسانتر می سازد. دمای پسگرم سازی بهتر است همانند دمای پیشگرم کردن باشد. زمان پسگرم سازی باید حداقل 5 دقیقه به ازاء هر میلیمتر ضخامت ورق بوده و از یک ساعت کمتر نباشد.



عملیات پس از جوشکاری (PWHT)

عملیات پس از جوشکاری بمنظور کاهش تنشهای پسماند بعد از فرآیند جوشکاری صورت می گیرد.

گرمای وارد شده در حین جوشکاری (Heat Input)

در جوشکاری های قوس الکتریکی، مجموع انرژی حرارتی که به وسیله منبع قدرت یا دستگاه جوشکاری تولید می شود هیچگاه به طور کامل وارد قطعه نمی شود و در عمل همواره مقداری از حرارت تولید شده توسط منبع قدرت در جریان جوشکاری هدر می رود. انجام عملیات جوشکاری با توجه به گرمای وارد شده پیشنهاد داده شده، سبب بدست آمدن خواص مکانیکی مناسب در ناحیه HAZ می شود. میزان گرمای ورودی در کنار روش انجام جوشکاری مکمل یکدیگر برای تاثیر گذاشتن بر خواص مکانیکی ناحیه HAZ می باشد. با توجه به این نکته میزان گرمای ورودی (Q) را می توان به کمک فرمول زیر محاسبه نمود.

جدول بازده حرارتی برای روشهای مختلف جوشکاری

$$Q = \frac{K \times U \times I \times 60}{V \times 1000}$$

Q = Heat input [KJ/mm]  
U = Voltage [V]  
I = Current [A]  
V = Welding speed [mm/min]  
K = Thermal efficiency [dimensionless]

Thermal efficiency	K [dimensionless]
MMA	0.8
MAG, all types	0.8
SAW	1.0
TIG	0.6

سرعت سرد شدن<sup>1</sup>

گرمای وارد شده در حین جوشکاری و سرعت سرد شدن هر دو دارای تاثیر مستقیم بر اتصال جوش می باشند. با افزایش میزان گرمای وارده در حین جوشکاری سرعت سرد شدن کاهش یافته و در حالت عکس با کاهش میزان گرما، سرعت سرد شدن افزایش می یابد. سرعت کاهش دما در بازه 500-800 °C که با t<sub>8/5</sub> نشان داده می شود، تاثیر بسیار زیادی بر ریزساختار ناحیه HAZ دارد.

Amperشدت جریان جوشکاری (آمپر)

در یک بیان کلی، شدت جریان، مقدار نفوذ جوش را کنترل می کند و بجز مواردی استثنایی، جریان با نفوذ رابطه مستقیمی دارد. تغییر جریان مقدار ولتاژ را نیز تحت تاثیر قرار می دهد. در طول قوس ثابت، با افزایش جریان ولتاژ نیز افزایش می یابد.

Voltajولتاژ

ولتاژ به اختلاف پتانسیل بین الکترود و قطعه تحت جوشکاری اطلاق می شود و برحسب تعریف عبارت از مقدار فشار الکتریکی است که موجب انتقال شدت جریان از طریق کابل ها و فاصله هوایی بین الکترود و قطعه کار برای ایجاد قوس الکتریکی در جوشکاری می شود. یافته های آزمایشگاهی درباره اثرات ولتاژ جوشکاری، حاکی از این است که در هر مقدار ولتاژ معین، افزایش ولتاژ باعث صافتر شدن بستر جوش و افزایش پهنای منطقه ذوب می شود. کاهش در ولتاژ قوس، باعث بوجود آمدن بستر جوش باریکتر و نفوذ عمیق تر می شود.

speedسرعت جوشکاری

برحسب تعریف، سرعت جوشکاری عبارتست از پیشروی قوس برحسب میلیمتر بر دقیقه. به عبارت بهتر برای یک جریان و ولتاژ معین، سرعت جوشکاری مقدار انرژی ورودی به واحد طول جوش را تعیین می کند و عمدتاً به عوامل زیر بستگی دارد.

- میزان ذوب فلز پرکننده (Filler metal)

<sup>1</sup> t<sub>8/5</sub>

- نوع شیارها یا پخ های تعبیه شده در محل جوش
- اندازه شیارهای اتصالات جوش
- ضخامت قطعه
- ترکیب شیمیایی قطعه

### splashing

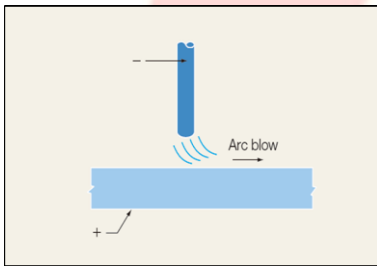
### پاشش قوس مغناطیسی در حین جوشکاری

پاشش قوس مغناطیسی در مواد دارای خاصیت مغناطیسی، در حین جوشکاری به کمک جریان مستقیم باعث ایجاد مشکل می شود. البته برای ورقهای فولادی با استحکامی در حدود  $400-490 \text{ N/mm}^2$  مشکلی ایجاد نمی شود. ورقهای فولادی که میزان نیکل در آنها بالاست، به راحتی مغناطیس می شوند که در نتیجه آن پاشش قوس مغناطیسی در فولادهایی با استحکام  $780-950 \text{ N/mm}^2$  که حدودا دارای 9٪ نیکل هستند، بوجود می آید که روشهای مقابله با این مشکل به شرح زیر می باشد:

#### 1. تغییر در روش جوشکاری

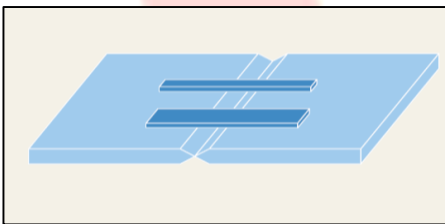
- تغییر جریان مستقیم به جریان تناوبی

با انجام عملیات جوشکاری به کمک جریان مستقیم، پاشش قوس مغناطیسی بالاست. اگر جوشکاری به کمک روش دستی در حال انجام است، باید به این نکته توجه نمود که می توان از جریان متناوب هم کمک گرفت بخصوص در شرایطی که جریان بیشتر از 250 amps باشد.



#### 2. تغییر روش سنگ زنی

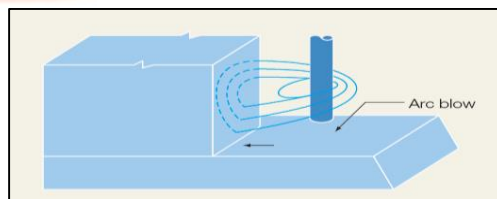
- مغناطیس باقی مانده در ورق های فولادی به روش سنگ زنی بستگی دارد.
- افزایش شماره سنگ زنی از 1 به 2
- تغییر در موقعیت سنگ زنی (پاشش قوس مغناطیسی در جهت مخالف با سنگ زنی رخ می دهد)



3. برای کوتاه شدن مدار مغناطیسی ورقهای فولادی جوش داده شده میتوان از نوارهای باریک ورق به عنوان پل استفاده نمود که بواسطه موقعیت موجود برای پل ها، مغناطیس باقی مانده در پخ لبه کاهش می یابد.

4. با نزدیک کردن یک آهن ربا و یا ماده مغناطیسی به ورق مورد نظر می توان مغناطیس باقی مانده در داخل شیار را، به کمک تعویض جهت مغناطیس باقی مانده، کاهش داد.

5. در این روش می توان برای کاهش میزان پاشش قوس مغناطیسی، از یک ماده تکمیلی (فولاد) کمک گرفت. با اتصال مواد و روی هم قرار گرفتن قطعات، پاشش قوس مغناطیسی ایجاد می شود بنابراین با قرار دادن یک ورق فولادی در خلاف جهت جوشکاری می توان باعث کاهش مغناطیس باقی مانده در ورق شد.



6. مغناطیس باقی مانده را می توان با حرارت دادن (حتی با دمایی کمتر از دمای نقطه انتقال مغناطیس) کاهش داد.

7. مغناطیس زدا ها شکلهای متفاوتی دارند که با توجه به نوع ماده تولید شده موردنظر انتخاب می شود.



8. برای مغناطیس زدایی ناحیه جوش، ابتدا سطح ورق را به کمک کابل الکتریکی پوشانده و سپس کابل را به منبع برق DC متصل می کنیم. به آهستگی جریان را افزایش می دهیم، با افزایش قدرت میدان مغناطیسی قطبیت درون کابل عوض شده و با تنظیم شدن جریان، مقدار کمی از اثر میدان مغناطیسی در ناحیه جوش باقی می ماند.
9. برای چک کردن چگالی شار مغناطیسی در طول عملیات جوشکاری می توان از یک دستگاه گاوس سنج کمک گرفت. اولین پاس جوشکاری در محلی که کمترین میزان چگالی شار مغناطیسی را دارد، انجام می شود که میدان مغناطیسی بوجود آمده باعث کاهش و یا تغییر در میدان مغناطیسی اولیه می شود.
10. در جوشکاری MMA در صورت امکان باید از جریان AC برای جوشکاری پاس ریشه کمک گرفت.
11. در صورت استفاده از دو یا چند اتصال به زمین نتایج بهتری بدست می آید ولی اتصالات به زمین نباید به اتصال جوش نزدیک باشند. تغییر مکان اتصالات به زمین باعث بهبود روند مغناطیسی شدن ورق می شود.
12. نگه داشتن قوس در کوتاهترین مقدار ممکن، باعث خنثی کردن پاشش مذاب به کمک نیروی قوس می شود.
13. انجام یک لایه جوشکاری بر روی لبه های انتهایی درزها و انجام جوش مکرر در طول درز بخصوص اگر اتصال جوش محکم نباشد.
14. استفاده از تکنیک برگشت به عقب در حین جوشکاری
15. جریان AC را می توان به DC تغییر داد چرا که با توجه به جریانات گردابی ناشی از قطعه کار اثرات مغناطیسی کاهش می یابد.

### STUD welding

### جوش Stud برای ورق های Durostat 400

جوش stud روشی سریع، ساده و اقتصادی برای چفت های محکم، پیچ ها، ستون ها و... بر روی سطح یک فلز می باشد. این روش توانایی جایگزین شدن بجای روشهای گرانیقیمت ماشین کاری مثل سوراخ کاری، یخ سازی و قلاویز کاری را دارد. پروسه تولید به این روش از روشهای متداول جوشکاری آسانتر است و دیگر نیازی به حضور تعداد زیادی از افراد برای انجام پروسه جوشکاری نیست و انجام آن بصورت فردی امکانپذیر است. ورق های ضد سایش Durostat 400 برای انجام جوش stud بسیار مناسب هستند و برای جوشکاری در دمای اتاق نیازی به پیش گرم کردن ندارند. این روش می تواند بصورت مستقیم بر روی ورق انجام شود و تنها نکته مهم برای انجام آن خشک بودن سطح ورق و عاری بودن آن از هرگونه آلودگی همانند اکسید، چربی، رنگ و... است.



**Plate: DUROSTAT 400**  
**Current: 1300 A**  
**Welding time: 0.7 sec.**

**Bolt: S355 D16 mm**  
**Thickness: 100 mm**

