

برشکاری حرارتی ورق‌های هارداکس و ولداکس

برشکاری هارداکس و ولداکس

روش‌های برشکاری سرد، فیچی‌کاری و پانچ (سوراخکاری)، مختص گریدهای هارداکس (۴۵۰ و ۴۰۰) و گریدهای ولداکس تا ضخامت ۱۰ میلی‌متر می‌باشد. واترجت یک روش برشکاری سرد محسوب می‌شود، (AWJ) برشکاری با واترجت که می‌تواند برای تمامی گریدهای هارداکس و ولداکس، تا ضخامت ۱۵۰ میلی‌متر، مورد استفاده قرار گیرد.

همه روش‌های متداول برشکاری حرارتی، از جمله هوا-گاز، پلاسما و لیزر را می‌توان برای برش ورق‌های هارداکس و ولداکس به کار گرفت. البته می‌توان از فرآیندهای برشکاری سرد نیز استفاده نمود. توصیه‌های مندرج در این مجموعه عمدتاً به برشکاری حرارتی مربوط است و به سه فصل فرعی، شامل برشکاری هوا-گاز، پلاسما و لیزر تقسیم می‌شود.



برشکاری با پلاسما



برشکاری با لیزر

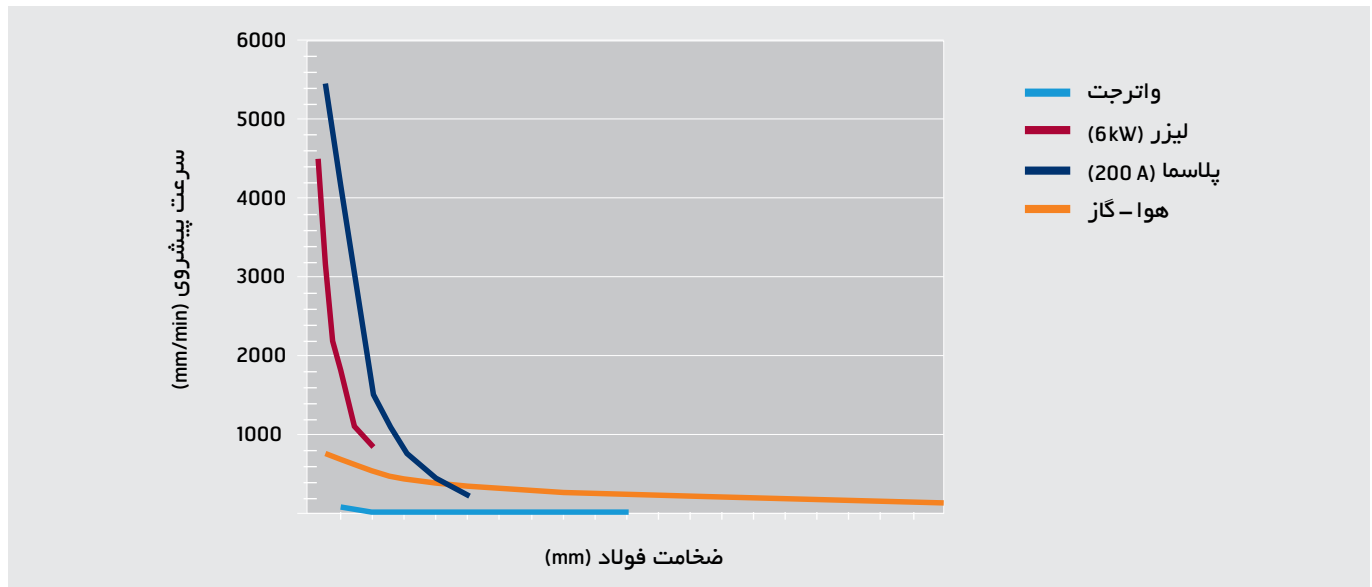


شکل ۱. برشکاری هوا-گاز



شکل ۲. تصویر برشکاری واترجت

برشکاری هوا-گاز به همان آسانی برشکاری فولادهای معمولی است، گرچه لازم است در هنگام برش ورق‌های ضخیم هارداکس، با توجه به احتمال پدید آمدن ترک در لبه‌های برش خورده دقت بیشتری اعمال گردد. از آنجا که ورق‌های هارداکس و ولداکس به خانواده فولادهای کوئنچ و تمپر شده (QT) تعلق دارند، در مقایسه با فولادهای معمولی واکنش‌های متفاوتی از خود بروز می‌دهند. فولادهای QT مستعد از دست دادن سختی ناشی از برشکاری هوا-گاز و گاه مستعد ترک برداشتن لبه‌ها هستند. هر دو فولاد هارداکس و ولداکس را می‌توان با رعایت دستورالعمل‌ها و توصیه‌های زیر با ابزار و وسایل سنتی برش حرارتی، برشکاری نمود. توضیحات بیشتر در کتاب راهنمای جوشکاری SSAB ارائه شده است.



شکل ۳. سرعت پیشروی، تابعی از ضخامت ورق برای هر یک از فرآیندهای برشکاری

ترك خوردن لبه‌ها

بهترین راه پیش گرم، حرارت دهی در کوره است زیرا حرارت یک دستی را در سراسر ورق به دست می‌دهد. پیش گرم را می‌توان با مشعل‌های لوله‌ای چند شعله نیز بر روی هارداکس و ولداکس اجرا نمود.

(شکل ۴). قابلیت جابجایی این مشعل‌ها حائز اهمیت است تا حرارت وارده به ورق‌ها از حداکثر مجاز فراتر نرود. در ضمن اندازه‌گیری حرارت پیش گرم بایستی در طرف مقابل منطقه‌ای باشد که حرارت دهی می‌شود.



شکل ۴. پیش گرم با مشعل‌های لوله‌ای چند شعله

پیش گرم با تشکچه‌های برقی به کندی صورت می‌گیرد، لذا برای ۱۵۰-۱۲۰ درجه سانتی‌گراد بهتر است این فرآیند در طول شب آغاز رسیدن به دمای و برشکاری صبح بعد اجرا شود.

پس گرم

پس گرم مطمئن‌ترین روش برای اجتناب از ترک‌های اطراف برش محسوب می‌شود. این کار در کوره یا با مشعل انجام می‌گردد. آسان‌ترین روش، استفاده از مشعل است که بسیار متداول می‌باشد، حال آنکه قرار دادن در کوره چندان معمول نیست. نکته مهم در اجرای پس گرم آن است که این فرآیند هرچه زودتر بلافاصله پس از برش آغاز شود. حداکثر طول مدت مجاز ۳۰ دقیقه از آغاز برشکاری تا شروع عملیات پس گرم است.

ترك خوردن لبه‌ها پدیده‌ای است که ارتباط نزدیکی با مقوله ترك‌های هیدروژنی در برش دارد و هنگام اجرای یکی از روش‌های برشکاری حرارتی حادث می‌شود. چنانچه این ترك‌ها به وجود آیند، ظرف مدتی بین ۴۸ ساعت تا چند هفته پس از برشکاری قابل مشاهده خواهند بود. لذا ترك‌های ایجاد شده در لبه برش را می‌توان ترك‌های تاخیری نامید. خطر بروز ترك در لبه‌های برش خورده با بالا رفتن سختی و ضخامت فولاد افزایش می‌یابد. راهکارهای کاستن از خطر بروز اینگونه ترك‌ها در زیر توضیح داده شده‌اند.

شکل‌گیری این ترك‌ها رابطه نزدیکی با میزان هیدروژن و تنش‌های پسماند موجود در ورق دارد. بنابراین کاستن از میزان هیدروژن و تنش‌های پسماند مفید خواهد بود که این کار را می‌توان به طرق مختلف انجام داد:

۱. پیش گرم

۲. پس گرم

۳. کاستن از سرعت پیشروی برشکاری

۴. ترکیبی از سه مورد فوق همراه با طولانی‌تر کردن فرآیند خنک‌کاری در منطقه حرارت دیده (HAZ)

پیش گرم

چنانچه برشکاری با هوا-گاز اجرا شود، پیش گرم راهکار مناسبی برای اجتناب از ترك‌های هیدروژنی به شمار می‌رود. اجرای پیش گرم در برشکاری با پلاسما و لیزر، با توجه به تاثیر منفی که بر کیفیت لبه‌های برش برجا می‌گذارد، توصیه نمی‌گردد. در موارد مختلف و بسته به وضعیت می‌توانیم یک قسمت معین از ورق یا تمامی آن را حرارت دهیم. روش‌های اجرای پیش گرم عبارتند از:

- درون کوره
- با مشعل‌های لوله‌ای چند شعله
- با تشکچه‌های برقی

پوشانده شوند. سپس مبر کنید تا خنک کاری قطعات بطور تدریجی و به آهستگی صورت گیرد و دمای آنها با دمای اتاق برابر شود.

برشکاری با هوا-گاز

هارداکس و ولداکس به آسانی با روش هوا-گاز برشکاری می‌شوند. با این روش هر دو ورق فولادی مذکور را تقریباً با هر ضخامتی، از ۱ تا ۱۰۰ میلی‌متر، می‌توان برشکاری نمود. گرچه امکان برش ورق‌های نسبتاً نازک وجود دارد، اما معمولاً ورق‌هایی با ضخامت‌های بالاتر از ۲۰ میلی‌متر با این روش برشکاری می‌شوند. مختصات برشکاری هوا-گاز در جدول شماره ۱ درج شده است.

روش برشکاری	پهنای شکاف برش	منطقه حرارت دیده (HAZ)	تولرانس ارقام
برشکاری هوا-گاز	2-5 mm	4-10 mm	± 2.0 mm

جدول ۱. مختصات عمومی برای برش هوا-گاز

هارداکس

مقادیر توصیه شده برای پیش‌گرم در روش هوا-گاز را در جدول ۲ مشاهده فرمایید.

گرمی	ضخامت ورق	حداقل دمای پیش گرم (°C)	حداکثر دمای پیش گرم (°C)
هارداکس های تاف	< 90 mm ≥ 90 mm	No preheating 100	300
هارداکس ۴۰۰	< 44.9 mm 45 – 59.9 mm 60 – 80 mm < 80 mm	No preheating 100 150 175	225
هارداکس ۴۵۰	< 39.9 mm 40 – 49.9 mm 50 – 69.9 mm ≥ 70 mm	No preheating 100 150 175	225
هارداکس ۵۰۰	< 25 mm 25 – 49.9 mm 50 – 59.9 mm 60 – 80 mm	No preheating 100 150 175	225
هارداکس ۵۵۰	10 – 19.9 mm 20 – 50 mm	No preheating 150	225
هارداکس ۶۰۰	50 – 12 mm	175	225
هارداکس اکستریم*	8 – 25 mm	100 + کاهش سرعت برشکاری	100

جدول ۲. دمای پیش گرم برای برشکاری هوا-گاز گریدهای هارداکس * SSAB برشکاری با واتر جت را توصیه می‌کند. چنانچه فقط امکانات با برشکاری هوا-گاز موجود باشد، توصیه‌های مندرج در جدول ۲ را مراعات نمایید.

همانطور که در مبحث ترک خوردگی لبه برش توضیح داده شد، برای کاستن از احتمال بروز ترک، بهتر است عملیات پس گرم لبه برش خورده انجام شود. در صورت اجرای پس گرم در کوره، مقادیر (حداکثری) مندرج در جدول ۲ را اعمال نمایید. ورق یا قطعه کار بایستی تا رسیدن دمای درونی آن به دمای ارائه شده در جدول ۲، در کوره بماند.

پس گرم هرگز نباید با حرارت بیش از حد اجرا گردد. چنانچه پس گرم در کوره انجام می‌گیرد درجه حرارت ۲۰۰ درجه سانتی‌گراد باشد. لذا لازم است ورق تا رسیدن به این دما در کوره باقی بماند. مدتی که ورق در کوره می‌ماند به ضخامت ورق بستگی دارد، اما به عنوان یک قاعده کلی حداقل زمان پس گرم پنج دقیقه برای هر میلی‌متر ضخامت ورق (مثلاً ۵ دقیقه برای ورق ۱۰ میلی‌متری) خواهد بود. هنگام به کارگیری مشعل برای پس گرم (شکل ۵)، مراقب باشید که لبه‌های برش خورده بیش از اندازه حرارت داده نشوند. حداکثر حرارت در لبه‌های برشکاری شده، ۷۰۰ درجه سانتی‌گراد (و ترجیحاً ۵۰۰-۳۰۰ درجه سانتی‌گراد) توصیه شده است. معمولاً پس گرم با مشعل به صورت دستی اجرا می‌گردد که البته کنترل حرارت در این مورد بسیار حائز اهمیت است. رنگ لبه برشکاری شده که در پشت مشعل قرار دارد، بایستی قرمز خونی باشد. اگر رنگ آن آب انگوری روشن یا نارنجی تیره بود یعنی حرارت بیش از حد مجاز بوده و پس گرم نتیجه مطلوب نخواهد داشت.



شکل ۵- پس گرم دستی

کاستن از سرعت پیشروی برشکاری

هرگاه از سرعت برشکاری کاسته شود، حرارت در اطراف لبه کار بالا گسترش می‌یابد. تاثیر این امر بر میزان تنش‌های پسماند به HAZ می‌رود و منطقه گونه‌ای است که احتمال ترک خوردگی در لبه برشکاری شده را کاهش می‌دهد. اما باید توجه داشت که کاستن از سرعت برشکاری نمی‌تواند به اندازه پیش گرم یا پس گرم اطمینان بخش باشد و فقط در مواردی همچون وقتی که ابزار و تجهیزات مناسب برای پیش/پس گرم در دسترس نباشد، می‌توان به عنوان راهکار جایگزین از آن استفاده نمود.

خنک کاری تدریجی

فارغ از اینکه پیش گرم بر روی قطعات برش خورده اجرا شده یا نشده باشد، خنک کاری آهسته و تدریجی لبه برشکاری شده موجب می‌شود تا خطر ترک خوردن لبه‌ها کاهش یابد. خنک کاری آهسته اینگونه محقق می‌گردد که قطعات، درحالی که هنوز گرم هستند، روی هم انبار و با یک پتو

گريد فولاد	حداکثر دمای پیش گرم (C°)
ولداکس ۷۰۰	۳۰۰
ولداکس ۹۰۰	۳۰۰
ولداکس ۹۶۰	۳۰۰
ولداکس ۱۱۰۰	۱۵۰
ولداکس ۱۳۰۰	۱۵۰

جدول ۳. حداکثر دمای مجاز برای پیش گرم

برای پس گرم ولداکس، به مبحث پس گرم هارداکس در بالا مراجعه کنید.

برشکاری با پلاسما

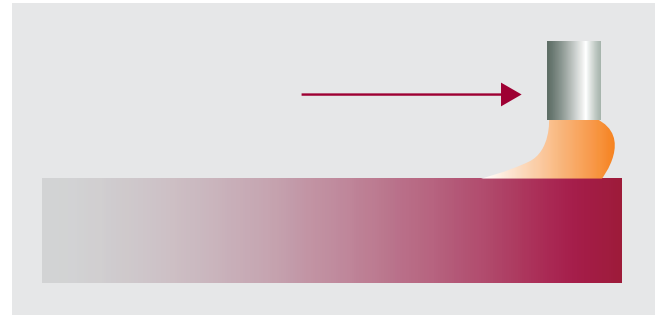
هارداکس و ولداکس را می توان به آسانی با پلاسما برشکاری نمود. این روش برشکاری در مورد ضخامت های بالا دارای محدودیت است. بسته به نوع دستگاه برش پلاسما، ورق ها یا قطعات با ضخامت کمتر از ۵۰ میلی متر با این نوع دستگاه برش پلاسما، برشکاری می شوند. مختصات عمومی مربوط به برش با پلاسما را در جدول ۴ مشاهده فرمایید.

روش برشکاری	پهنای شکاف برش	منطقه حرارت دیده (HAZ)	تولرانس ارقام
پلاسما	2-4 mm	2-5 mm	± 10 mm

جدول ۴. مختصات برشکاری با پلاسما

سرعت برش مربوط به منابع مختلف نیروی پلاسما در شکل ۷ ارائه شده است.

چنانچه عملیات پس گرم با مشعل اجرا شده باشد مراقب باشید که درجه حرارت از ۷۰۰ درجه سانتی گراد فراتر نرود. بدین معنی که رنگ لبه برش خورده در پشت مشعل، قرمز خونی باشد. (شکل ترسیمی ۶).

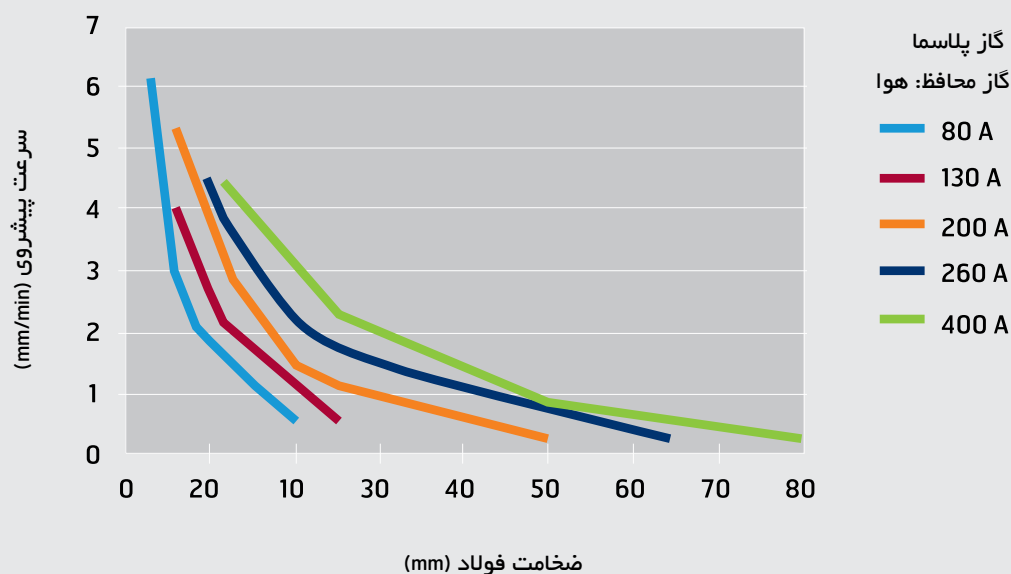


شکل ۶. رنگ لبه برش خورده در پشت مشعل پس گرم

شکل ۶. در ضمن، لازم است عملیات پس گرم هر چه زودتر / بلافاصله پس از برشکاری اجرا گردد. (حداکثر ۳۰ دقیقه فاصله زمانی بین آغاز عملیات برشکاری و شروع پس گرم).

ولداکس

اغلب گریدهای هارداکس از مقاومت کافی در برابر ترک های هیدروژنی برخوردارند و نیازی به اقدامات اضافی همچون پیش گرم، به منظور زدودن هیدروژن از منطقه HAZ ندارند. با این حال چنانچه پیش گرم به اجرا در آمده باشد، دمای آن نباید از مقادیر مندرج در جدول ۳ تجاوز نماید.



شکل ۷. سرعت پیشروی برشکاری با آمپرهای مختلف نیرو

هارداکس و ولداکس

در برشکاری با پلاسما، تفاوتی میان هارداکس و ولداکس با فولاد معمولی وجود ندارد، زیرا پارامترهای اجرای برشکاری آنها یکسان است.

پیش‌گرم یا پس‌گرم برای تسهیل خروج هیدروژن از HAZ در فرآیند برشکاری اکثر گریدهای هارداکس و ولداکس مورد نیاز نیست، اما به منظور اجتناب از پیدایش ترک‌های هیدروژنی، لازم است هارداکس ۶۰۰ و هارداکس اکستریم پیش‌گرم یا پس‌گرم شوند (رجوع شود به توصیه‌های مربوط به برشکاری هوا-گاز).

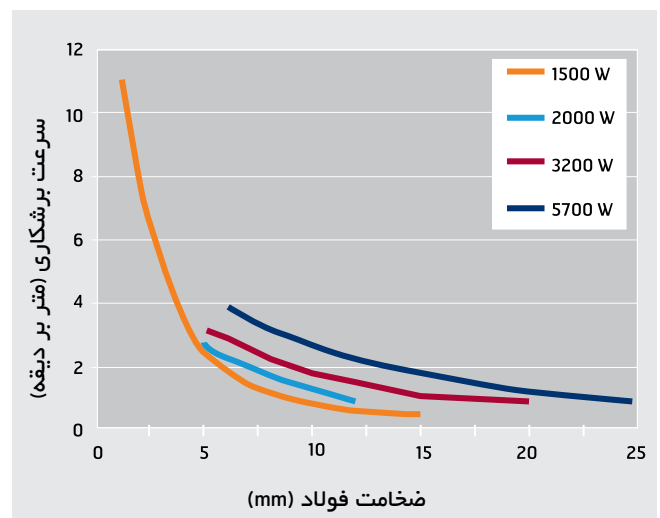
برشکاری با لیزر

برشکاری لیزری هارداکس و ولداکس با همان پارامترهای معمول که برای هر ضخامت تعیین شده است، به آسانی صورت می‌گیرد. حداکثر ضخامت بسته به نوع دستگاه برش لیزری تقریباً ۲۵ میلی‌متر است. بیشترین موارد برشکاری لیزری بر روی ورق‌ها / قطعات کمتر از ۱۵ میلی‌متر اجرا می‌گردد. مختصات برشکاری با لیزر را در جدول ۵ ملاحظه فرمایید.

روش برشکاری	پهنای شکاف برش	منطقه حرارت دیده (HAZ)	ترانس ارقام
لیزری	<1 mm	0.2-2 mm	± 2.0 mm

جدول ۵. مختصات برشکاری با لیزر

یکی از مزایای برشکاری لیزری، سرعت بالای آن است. شکل ۸ سرعت برشکاری را برای ضخامت‌های مختلف و نیروی لیزر نشان می‌دهد.



شکل ۸. سرعت برشکاری با لیزر

هارداکس

برشکاری هارداکس با لیزر تفاوتی با برشکاری فولاد معمولی ندارد، یعنی همان پارامترها به کار گرفته می‌شود. لایه پرایمر از سرعت برشکاری می‌کاهد، اما این مشکل با زدودن پرایمر قبل از آغاز کار برطرف می‌شود.

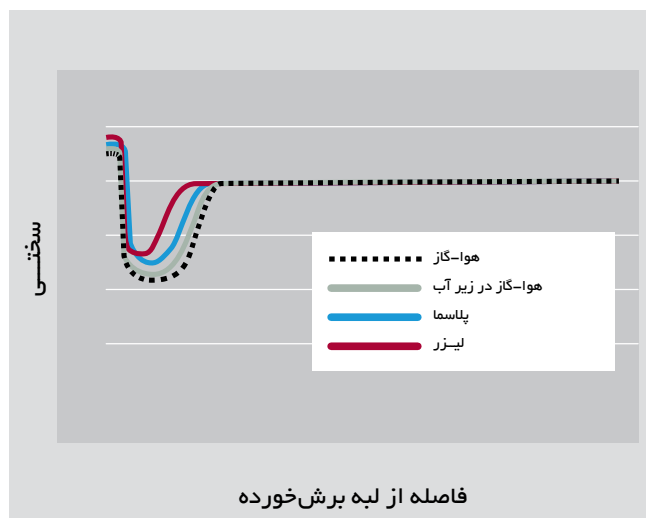
ولداکس

در مورد ولداکس نیز مانند هارداکس، فرآیند برشکاری با لیزر تفاوتی با برشکاری فولاد معمولی ندارد. گاه لازم می‌شود که به منظور دستیابی به بالاترین سرعت ممکن نخست پرایمر زدوده شود. در غیر این صورت سرعت برشکاری پایین خواهد آمد.

خواص سختی در منطقه حرارت دیده (HAZ)

خواص منطقه حرارت دیده بستگی دارد به:

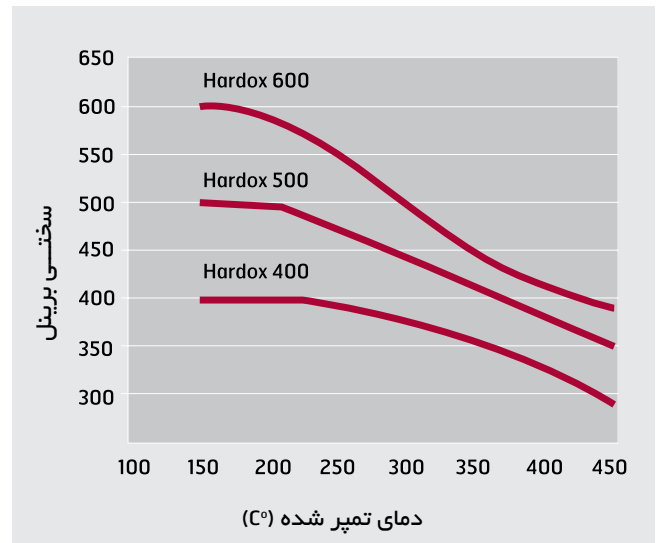
- این که فولاد در مراحل ساخت تمپر شده یا نشده باشد، و اگر شده، چگونه اجرا شده است.
 - ترکیب شیمیایی فولاد.
 - تاثیر عملیات حرارتی ناشی از فرآیند برشکاری.
- گستره منطقه حرارت دیده (HAZ)، همگام با بالا رفتن حرارت حاصل از فرآیند برشکاری افزایش می‌یابد. به عنوان مثال برشکاری با یک نیروی ثابت همراه با کاهش سرعت برشکاری، منطقه حرارت‌دیده وسیع‌تری را پدید می‌آورد. فرآیندهای مختلف برشکاری حرارتی، آثار حرارتی متفاوتی را برجا می‌گذارد و در نتیجه به گسترده‌تر شدن یا محدودتر شدن منطقه حرارت دیده می‌انجامد. برشکاری هوا-گاز دارای بیشترین تاثیر و پس از آن به ترتیب برشکاری با پلاسما و لیزر قرار می‌گیرد. شکل ۹ نمودار گستره HAZ را برای ولداکس ۱۳۰۰ - ۱۱۰۰ و هارداکس ۴۰۰ اکستریم نمایش می‌دهد.



شکل ۹. نمودار سختی در HAZ پس از برشکاری حرارتی هارداکس و ولداکس با روش‌های مختلف برشکاری.

کاستن از خطر نرم شدن

مقاومت فولاد در برابر نرم شدن به ترکیب شیمیایی، ریز ساختار و چگونگی فرآیند تولید آن بستگی دارد. هرچه قطعه بریده شده به روش حرارتی کوچکتر باشد، احتمال این که تمامی قطعه دچار نرمی شود بیشتر خواهد بود. چنانچه دمای فولاد از ۲۵۰-۲۰۰ درجه سانتی گراد بالاتر رود، سختی آن طبق شکل ۱۰ کاهش می‌یابد. (رجوع شود به برگ اطلاعات فنی مربوط به هر گرید فولاد).



شکل ۱۰. سختی سطوح به ازای دمای تمپرینگ

روش برشکاری

هنگام برشکاری قطعات کوچک، حرارتی که توسط مشعل برشکاری و پیش‌گرم ایجاد می‌شود، در قطعه کار تجمع می‌گردد. هر چه اندازه قطعه بریده شده کوچکتر باشد خطر نرم شدن بیشتر خواهد بود. چنانچه برشکاری هوا-گاز بر روی ورق به ضخامت ۳۰ میلی‌متر یا ضخیم‌تر اجرا گردد، اگر فاصله میان دو قطعه‌ای که بریده می‌شود کمتر از ۲۰۰ میلی‌متر باشد، قاعده بر این است که بخشی از سختی در تمامی آن قطعه از دست برود.

بهترین راه جلوگیری از نرم شدن، اجرای برشکاری به روش‌های سرد، نظیر برش با واترجت است. در صورتی که برشکاری حرارتی ضرورت داشته باشد، روش‌های لیزری و پلاسما به روش هوا-گاز ترجیح دارد. زیرا برشکاری هوا-گاز حرارت بیشتری تولید می‌نماید و در نتیجه حرارت در قطعه کار نیز بالا می‌رود.

برشکاری شناور

یک راهکار موثر برای محدود کردن و کاستن از گسترش منطقه‌ای که در معرض نرم شدن قرار دارد آن است که ورق و سطوح برشکاری شده در حین برشکاری به وسیله آب خنک کاری شود. این کار را می‌توان با شناور کردن ورق در آب (شکل ۱۱) یا با پاشیدن آب بر روی قطعه کار در مدت برشکاری و پس از آن انجام داد. امکان اجرای برشکاری شناور، در هر دو روش برشکاری پلاسما و هوا-گاز وجود دارد.

برخی مزایای برشکاری شناور به شرح زیر است:

- منطقه حرارت دیده، وسعت کمتری خواهد داشت.
- پایین افتادن سختی در تمام قطعه کمتر خواهد بود.
- پیچش و خمش کمتری در قطعه بریده شده مشاهده می‌شود.
- خنک‌کاری قطعات بلافاصله پس از برشکاری صورت می‌گیرد.
- بخارات و غبار تولید نمی‌شود.
- مدهای ناهنجار کاهش می‌یابد.



شکل ۱۱. برشکاری شناور

اجتناب از نرمی و ترك خوردن لبه‌ها در هنگام برشکاری هوا-گاز بر روی قطعات کوچکی که از ورق ضخیم هارداکس بریده شده‌اند

آنگاه که قطعات کوچک از ورق ضخیم هارداکس با روش هوا-گاز بریده می‌شوند، احتمال نرم شدن فولاد و بروز ترک‌هایی در لبه برشکاری شده وجود دارد. بهترین راه حل این مشکل، انجام برشکاری شناور با سرعت کم است.

فولاد ساب‌کاران



52 Moghadas Ardebili St, Zaferanieh St, Valiasr Ave.
Shemiran, Tehran 19869-55511, Iran
Tel: (+9821) 23599000 Fax: (+9821) 23599300
Web: www.fswco.com Email: info@fswco.com

تهران. شهمیران. خیابان ولیعصر. خیابان زعفرانیه
خیابان مقدس اردبیلی. پلاک ۵۲ کدپستی: ۱۹۸۶۹-۵۵۵۱۱
تلفن: ۲۳۵۹۹۰۰۰ (۰۲۱) نمابر: ۲۳۵۹۹۳۰۰ (۰۲۱)