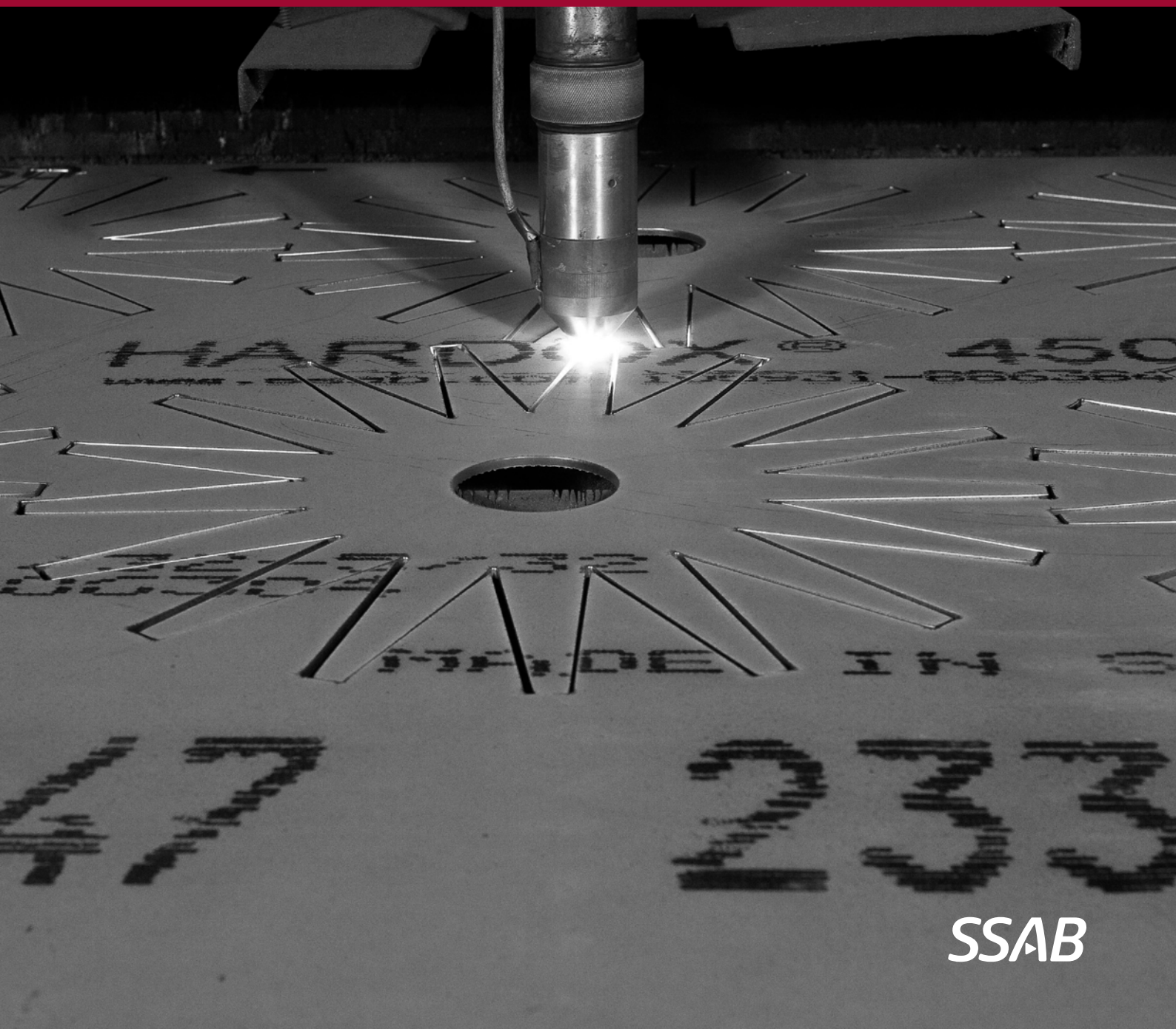
HARDOX®
WEAR PLATE

CORTE DO HARDOX®



SSAB

ÍNDICE

Corte das chapas antidesgaste Hardox® 3

Métodos de corte 4
Oxicorte 4
Corte a plasma 5
Corte a laser 6

Propriedades de dureza na zona termicamente afetada (ZTA) 7

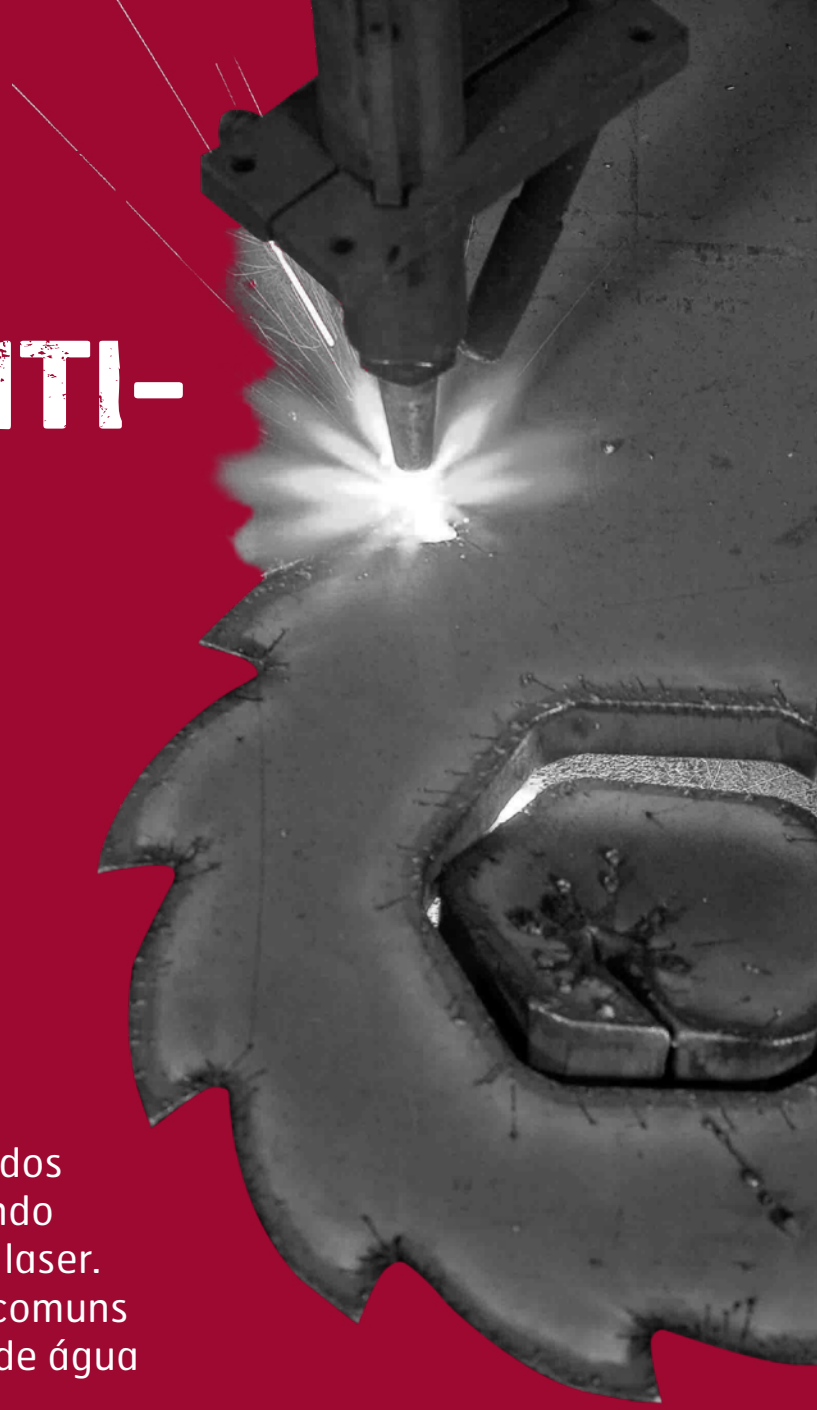
Riscos de corte 8
Trincas por hidrogênio 8
Hidrogênio 12

Medidas para evitar trincas por hidrogênio 12
Pré-aquecimento 13
Pós-aquecimento 14
Velocidade reduzida de corte 15
Resfriamento lento 15

Amaciamento 16
Como reduzir o risco de amaciamento 17

Dicas práticas 18
Manuseio de chapas 18
Pré-aquecimento e pós-aquecimento 19

CORTE DAS CHAPAS ANTI-DESGASTE HARDOX®



OS GRAUS HARDOX®

Os graus Hardox® são ideais para todos os métodos de corte térmico, incluindo oxicorte, corte por plasma e corte a laser. Você também pode usar processos comuns de corte a frio, como corte por jato de água abrasivo (AWJ) e corte por serra.

O desempenho aprimorado de corte térmico dos graus Hardox® é derivado principalmente de seu baixo teor de elementos de liga e baixíssimos teores de impurezas. Outras propriedades favoráveis que podem ser utilizadas para o corte a laser incluem as rigorosas tolerâncias de espessura do aço e as superfícies lisas das chapas. Muitos dos graus Hardox® podem, em espessuras moderadas, ser cortados termicamente usando os mesmos parâmetros dos aços doces. Em alguns casos, você precisa adaptar os parâmetros para minimizar o risco de trincas por hidrogênio. Outros problemas a serem observados relacionados às características do aço são:

- A alteração nas propriedades mecânicas na parte do aço afetada pelo calor – a zona termicamente afetada (ZTA) – devido ao corte.
- As distorções causadas pelo corte térmico. Devido aos níveis mais altos de tensões, as chapas Hardox® são propensas a mais movimentos durante o corte térmico do que os aços comuns.

Os gases para os diferentes métodos de corte térmico são selecionados e aplicados da mesma maneira que para aços carbono e baixo teor de liga, com limites de escoamento de até 355 MPa. Há diferentes composições de gás e parâmetros de aplicação que são adequados para os métodos de corte térmico. A SSAB não possui quaisquer outras recomendações a esse respeito para os graus Hardox®. Os métodos de corte a frio, corte e perfuração, são limitados ao Hardox® 400 e Hardox® 450 em chapas de até 10 mm (0,394") de espessura. O corte AWJ é um método de corte a frio que fornece propriedades mecânicas vantajosas, uma vez que não resulta em uma ZTA.

MÉTODOS DE CORTE

OXICORTE

O aço antidesgaste Hardox® é facilmente cortado usando o processo de oxicorte. O oxicorte não tem quase nenhuma limitação em relação à espessura do material, de modo que materiais com até 1000 mm (39,370") de espessura podem ser cortados. A espessura mínima recomendada para o corte é de 10 mm (0,394"). O corte de materiais mais finos deve ser realizado com métodos de baixo calor, como corte a plasma ou a laser, para minimizar o risco de deformação e perda de dureza. As características gerais para o oxicorte podem ser vistas na Tabela 1.

Um equívoco comum é que é preciso uma maior pressão do oxigênio para cortar aços duros. O oxicorte é um processo térmico cujo desempenho não é afetado pela dureza do aço. A chapa antidesgaste Hardox® possui um conceito de baixos teores de elementos de liga, que, juntamente com a pureza do aço, facilita o corte.

Método de corte	Largura do entalhe	Zona termicamente afetada (ZTA)	Tolerâncias de dimensão
Oxicorte	2-5 mm (0,079-0,197")	4-10 mm (0,157-0,394")	± 2,0 mm (0,079")

Tabela 1: Características gerais do oxicorte.

CORTE A PLASMA

O aço Hardox® é facilmente cortado através do processo de corte a plasma. O corte a plasma tem uma limitação quando se trata da espessura do material. A espessura principal a ser cortada deve ser inferior a 50 mm (1,969") (dependendo da máquina de corte a plasma). As características gerais do corte a plasma podem ser vistas na Tabela 2.

A Figura 1 mostra a velocidade de corte como uma função da espessura do material e da potência disponível para o corte a plasma.

Não há diferença no corte a plasma do aço antidesgaste Hardox® em comparação com o aço carbono. Existe uma necessidade reduzida de pré-aquecimento ou pós-aquecimento ao cortar a plasma em comparação com o oxicorte. No entanto, ao cortar a plasma uma chapa grossa Hardox® utilizando o oxigênio como gás de plasma, pode ser necessário o pré-aquecimento ou pós-aquecimento. Use os mesmos parâmetros do oxicorte (Tabela 6) para evitar trincas na borda cortada.

Método de corte	Largura do entalhe	Zona termicamente afetada (ZTA)	Tolerâncias de dimensão
Corte a plasma	2-6,5 mm (0,079-0,256")	2-6,5 mm (0,079-0,256")	± 1,0 mm (0,039")

Tabela 2: Características gerais do oxicorte.

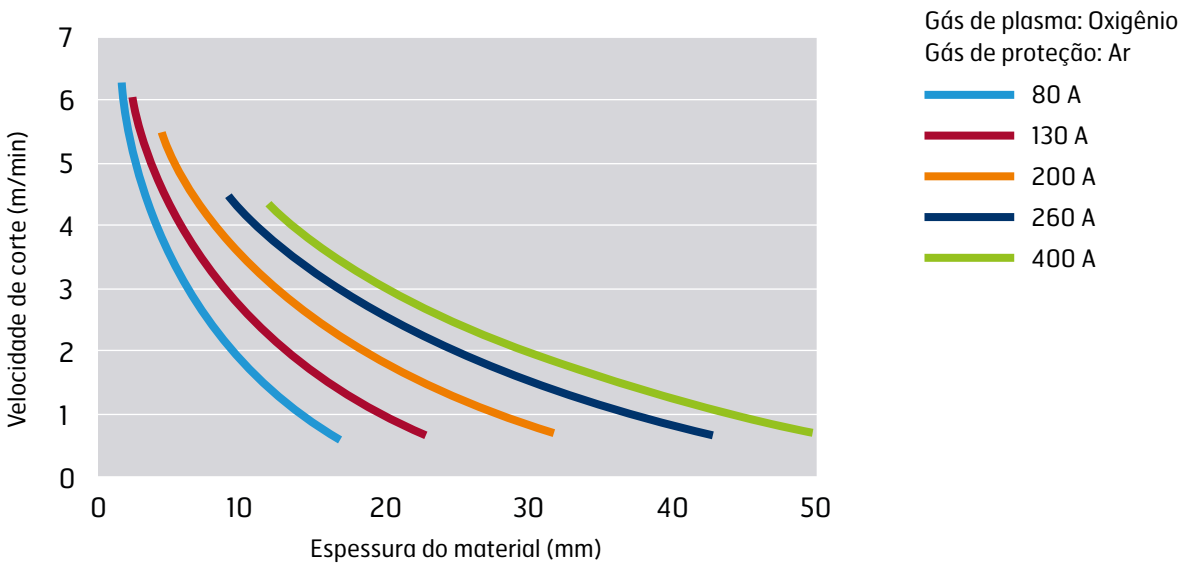
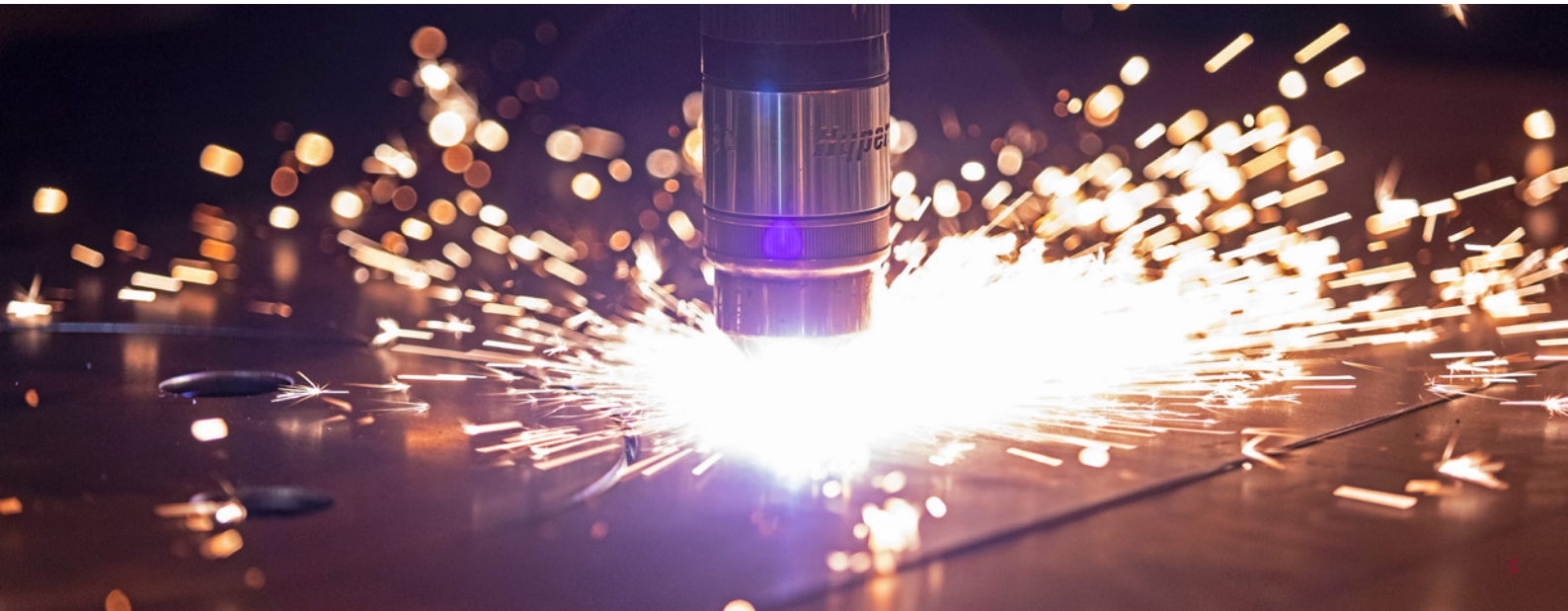


Figura 1: Velocidades gerais de corte para diferentes fontes de energia do plasma.



CORTE A LASER

O corte a laser de materiais Hardox® pode ser feito facilmente usando os parâmetros normais de processamento para a espessura do material em questão. A espessura máxima deve ser de aproximadamente 30 mm (1,181"), dependendo do equipamento de corte a laser. As espessuras mais comumente cortadas são aquelas abaixo de 25 mm (0,984"). As características gerais do corte a laser podem ser vistas na Tabela 3.

Um dos benefícios do corte a laser é a alta velocidade de corte. A Figura 2 mostra a velocidade de corte como uma função da espessura do material, do tipo de laser e da potência do laser.

Devido às espessuras relativamente finas e ao pequeno impacto térmico, o pré-aquecimento ou pós-aquecimento não é necessário durante o corte a laser dos aços Hardox®. O pré-aquecimento nesse caso, é, prejudicial à qualidade da borda cortada.

Não há diferença no corte a laser do aço Hardox® em comparação com o aço doce convencional. Portanto, você pode usar os mesmos parâmetros de processo. O primer reduz a velocidade de corte, mas isso pode ser resolvido vaporizando, primeiro, o primer e, em seguida, cortando o contorno com velocidade máxima.

Método de corte	Largura do entalhe	Zona termicamente afetada (ZTA)	Tolerâncias de dimensão
Corte a laser	< 1 mm (0,039")	0,2-2 mm (0,008-0,079")	± 0,2 mm (0,008")

Tabela 3: Características gerais do corte a laser.

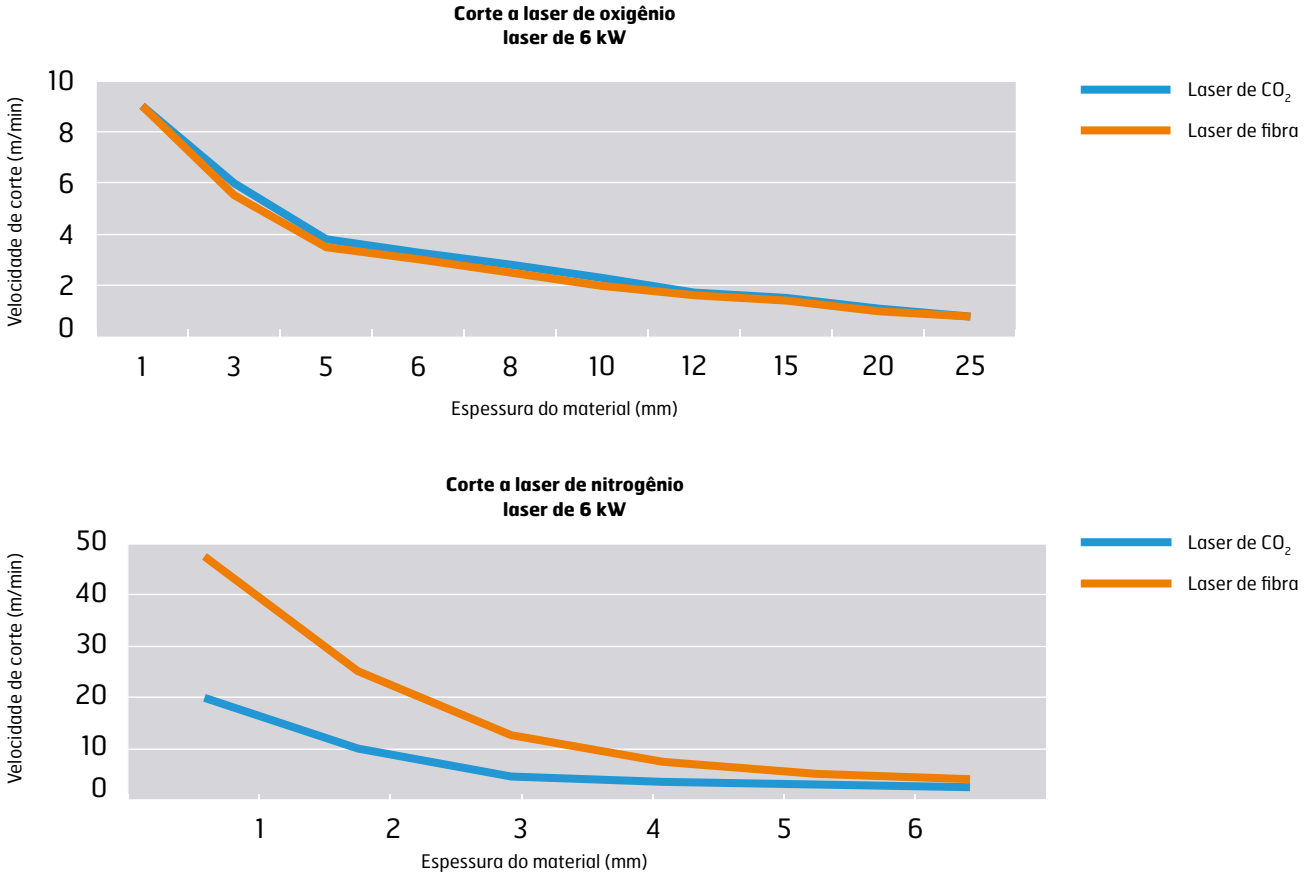


Figura 2: Velocidades de corte a laser.

PROPRIEDADES DE DUREZA NA ZONA TERMICAMENTE AFETADA (ZTA)

As propriedades da ZTA dependem de:

- Se o aço foi ou não revenido durante a fabricação e, em caso positivo, como isso foi feito
- A composição química do aço
- O impacto do tratamento térmico do processo de corte

A largura da ZTA aumenta com o aumento do aporte térmico do processo de corte. Por exemplo, o corte com a mesma potência e a redução da velocidade de corte leva a uma ZTA mais ampla. Diferentes processos de corte térmico têm um aporte térmico diferente, resultando em ZTA mais ampla ou mais estreita. O oxicorte apresenta o maior aporte térmico, seguido pelo corte a plasma e corte a laser. A Figura 3 ilustra a ZTA para os graus Hardox® cortados através de diferentes métodos de corte térmico.

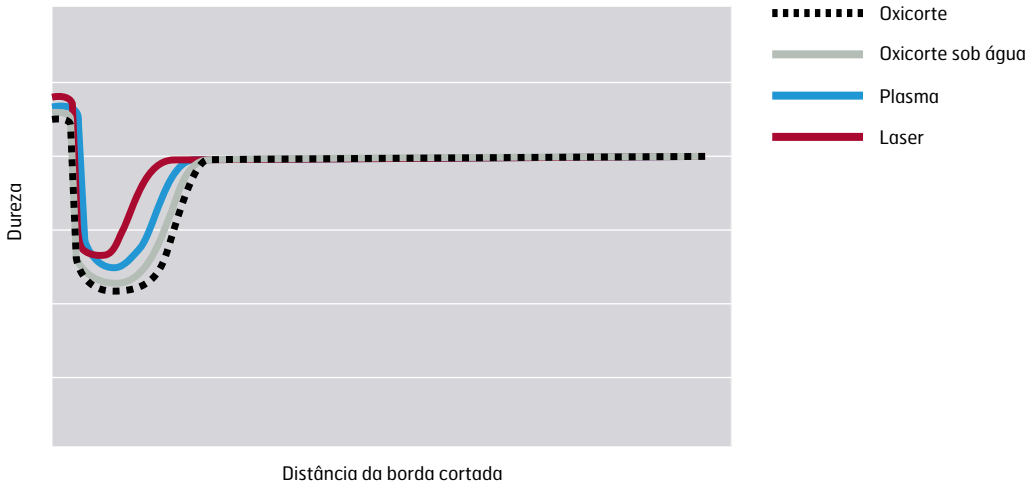


Figura 3: Perfis esquemáticos de dureza na ZTA após o corte térmico do aço antidesgaste Hardox® com diferentes métodos de corte.

RISCOS DO CORTE

TRINCAS POR HIDROGÊNIO

Trincas nas bordas cortadas são um fenômeno que está intimamente relacionado com as trincas por hidrogênio em soldas, e mais comumente ocorre quando são usados métodos de corte térmico. Se ocorrerem trincas na borda cortada, elas ficarão visíveis entre 48 horas e até várias semanas após o corte. O risco do aparecimento de trincas nas bordas cortadas aumenta com a dureza do aço e a espessura da chapa, conforme mostrado na Tabela 4. Mesmo que a trinca das bordas cortadas esteja normalmente relacionada ao corte térmico, ela pode surgir do corte por serra ou do corte por jato de água abrasivo em materiais muito duros.

Na primeira fase da formação de trincas, pequenas trincas se formam no centro da chapa, que se deslocam horizontalmente dentro da ZTA. Elas se formam logo atrás da borda cortada e normalmente aparecem algumas horas após o corte. Neste momento, as trincas não são visíveis a olho nu.

Na segunda fase, que ocorre tipicamente após alguns dias, as trincas se propagam até a superfície da borda cortada e formam trincas horizontais mais longas, tipicamente de até 5-10 cm (1,969-3,937").

Uma terceira fase pode ocorrer, normalmente após algumas semanas, onde a propagação das trincas continua, muda de direção e se espalha até a superfície da chapa. Embora trincas verticais sejam incomuns, o risco disso ocorrer aumenta com o aumento da dureza e da espessura do aço. Trincas por hidrogênio devido ao corte estão ilustradas na Figura 4.

Tabela 4: Suscetibilidade a trincas de bordas causadas pelo corte térmico

Espessura da chapa mm (pol.)	10 (0,394)	15 (0,591)	20 (0,787)	30 (1,181)	40 (1,575)	50 (1,969)	60 (2,362)	70 (2,756)	80 (3,150)	90 (3,543)	100 (3,937)	125 (4,921)	160 (6,299)
Hardox® HiTemp													
Hardox® HiTuf													
Hardox® 400													
Hardox® 450													
Hardox® HiAce													
Hardox® 500													
Hardox® 550													
Hardox® 600													
Hardox® Extreme													

Insensível
Menos sensível
Mais sensível
Altamente sensível

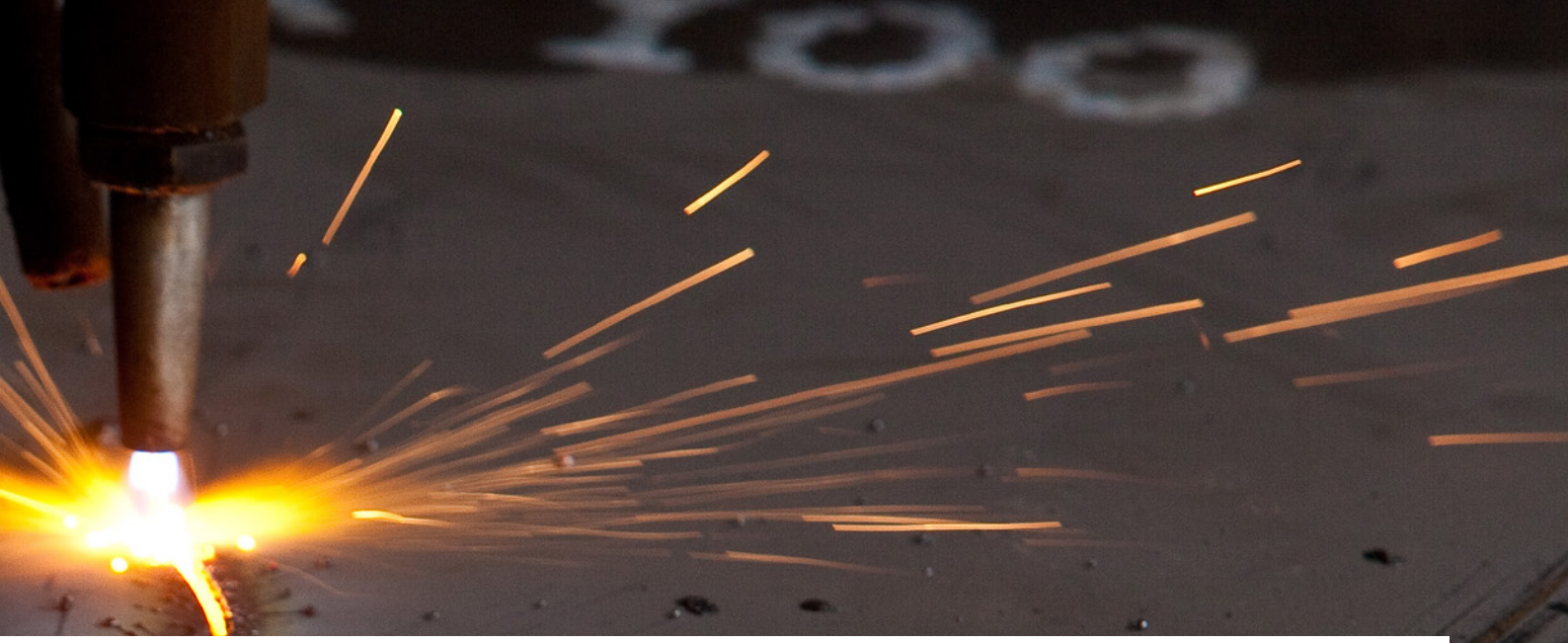
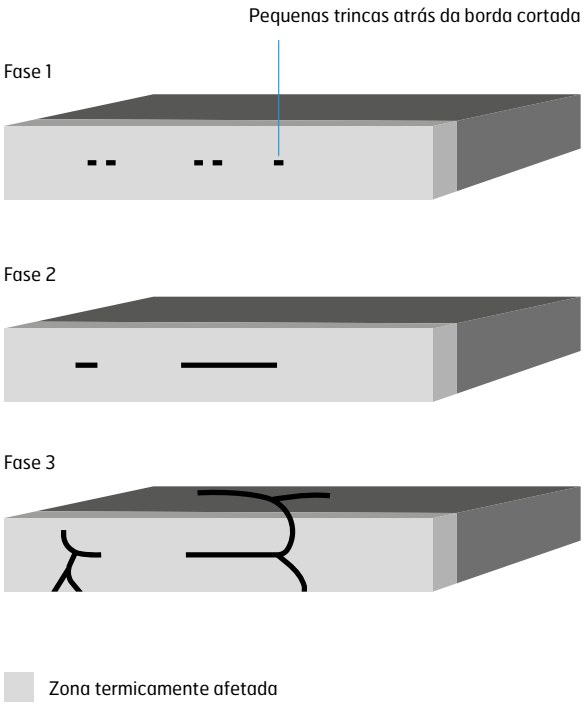


Figura 4: Formação de trincas por hidrogênio na borda cortada e ao redor dela.



Se uma chapa for cortada em peças, as suas tensões residuais padrão serão aliviadas. Quanto menor o componente, menor será o permanecimento das tensões residuais padrão. Um componente pequeno o suficiente conterá apenas as tensões residuais do processo de corte térmico. Além disso, um componente pequeno tem um comprimento de corte menor do que um componente grande. Portanto, o acaso também favorece os componentes pequenos. É improvável que um componente cortado suficientemente pequeno trinque (Tabela 5).

As bordas biseladas são mais suscetíveis a trincas de borda do que as bordas retas.

Devido à sua natureza probabilística, não é possível prever com precisão trincas em bordas cortadas termicamente. Mas podemos influenciar fortemente as chances de trinca por meio de nossa escolha de procedimento de corte.

Três condições devem estar presentes ao mesmo tempo no aço para que as trincas por hidrogênio se formem. São elas:

- Um teor relativamente alto de elementos de liga.
- Um alto nível de tensões residuais.
- Um teor relativamente alto de hidrogênio no material.

Esses fatores interagem entre si. Manter seus níveis adequadamente baixos minimiza o risco de trincas por hidrogênio.

Tabela 5: Influência do tamanho do componente na probabilidade de aparecer trincas na borda cortada daquela peça

Tamanho do componente	200x200 mm (7,874x7,874″)	400x400 mm (15,748x15,748″)	800x800 mm (31,496x31,496″)	1600x1600 mm (62,992x62,992″)	Maior
Risco relativo de trincas na borda no caso de um componente	1	10	100	1000	5000

A influência dos elementos de liga no aço

A influência dos elementos de liga é a mesma, seja para o corte térmico quanto para a soldagem. Isso significa que os valores de carbono equivalente mais altos no aço correspondem à maior sensibilidade a trincas por hidrogênio. Em termos gerais, o carbono equivalente aumenta com o aumento da espessura, dureza e resistência do grau Hardox®.

Por conseguinte:

- Há mais restrições em relação ao corte dos graus Hardox® conforme aumentam os valores de dureza.

Espessuras de chapa maiores para um determinado grau Hardox® apresentam mais restrições para minimizar o risco de trincas por hidrogênio durante o corte.

Certas ligas podem promover a formação de trincas por hidrogênio. À medida que o nível de teor desses elementos aumenta, também aumenta a sensibilidade do aço, tornando necessárias mais restrições de corte para minimizar o risco de trincas por hidrogênio.

As recomendações para a prevenção de trincas por hidrogênio no aço antidesgaste Hardox® são baseadas em avaliações cuidadosas realizadas pela SSAB. A finalidade desses estudos é obter recomendações otimizadas em relação às características individuais de cada grau de aço Hardox®.

Como complemento às recomendações da SSAB, outros modelos gerais podem ser usados para avaliar as trincas por hidrogênio em diferentes tipos de aços de alta resistência. Os modelos estabelecidos descrevem a resistência a trincas por hidrogênio de uma determinada chapa de aço de acordo com o seu equivalente de carbono, que é calculado a partir do conteúdo químico da chapa de aço. Um valor menor de carbono equivalente corresponde a uma maior resistência ao aparecimento de trincas por hidrogênio.

Existem vários modelos para o equivalente de carbono, e cada fórmula é derivada de estudos baseados em aços específicos. Os equivalentes de carbono internacionais mais comuns estão de acordo com os modelos CET e CEV.

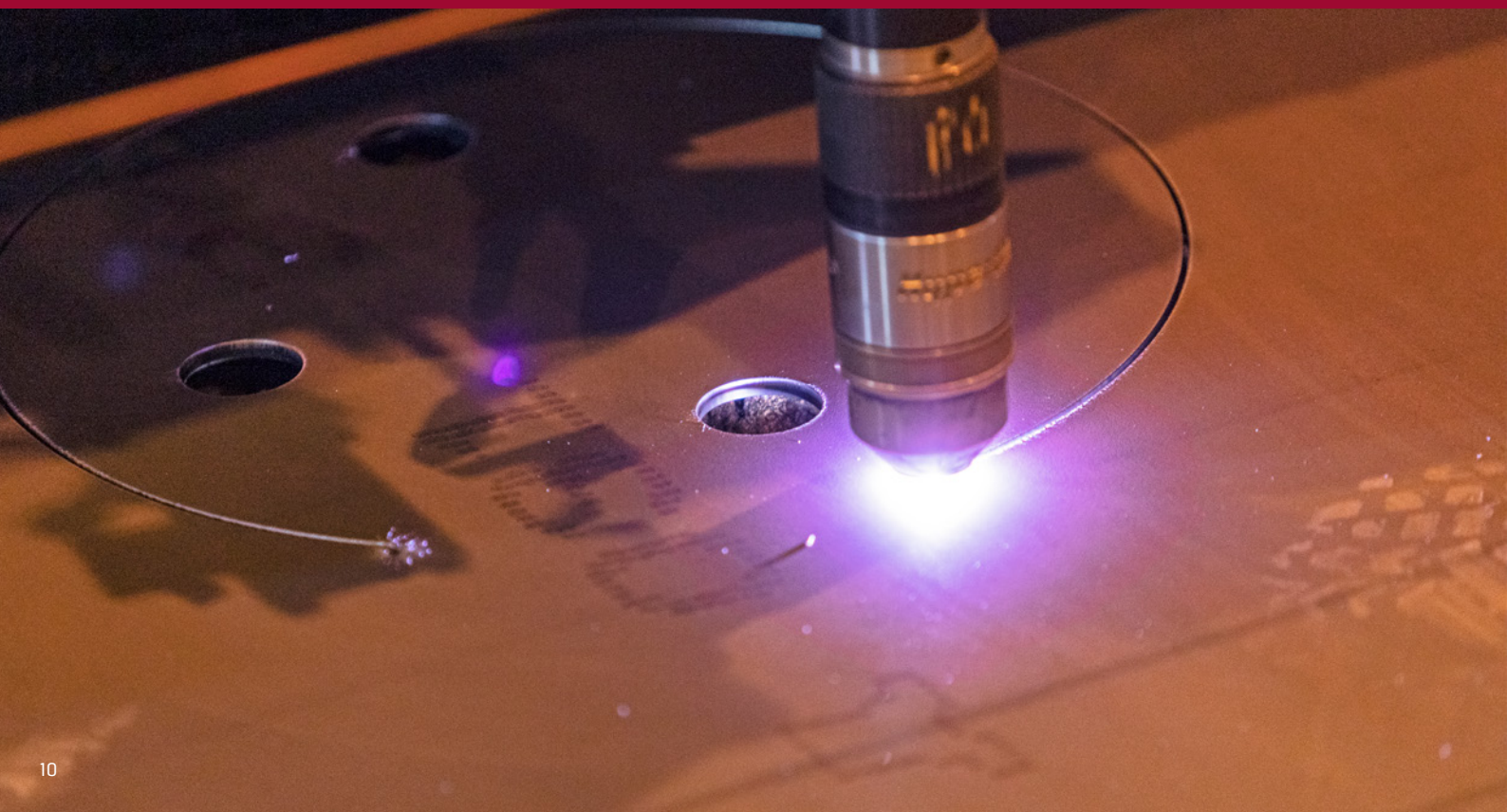
A SSAB prefere a fórmula CET para o aço antidesgaste Hardox® porque esse equivalente de carbono é especialmente projetado para se adequar aos aços de alta resistência, tais como a chapa antidesgaste Hardox®. A fórmula CEV também é válida para aços de alta resistência; no entanto, o seu carbono equivalente concentra-se em aços sem liga e com elementos de liga de baixo teor, com resistências mais baixas do que as do aço antidesgaste Hardox®.

As fórmulas para calcular o valor CET e CEV estão definidas abaixo. Um sinônimo de CEV é CE. Quando um valor equivalente de carbono é calculado, o teor de liga declarado no certificado de inspeção da chapa deve ser usado. Todos os elementos de liga são declarados por sua porcentagem em peso nas fórmulas apresentadas abaixo.

CET = C + (Mn + Mo) / 10 + (Cr + Cu) 20+ Ni / 40 [%]
Fórmula 4.1

CEV = C + (Cr + Mo + V) / 5 + Mn / 6 + (Ni + Cu) / 15 [%]
Fórmula 4.2

O cálculo de um carbono equivalente é um meio para determinar se – e até que nível – o pré-aquecimento é necessário para evitar as trincas por hidrogênio. Os métodos para determinar a temperatura de pré-aquecimento neste contexto são o método CET e o método CEV, que se referem aos respectivos equivalentes de carbono. Esses dois métodos são descritos na Norma Europeia EN1011-2.



Tensões
Tensões de tração devido ao corte

A operação de corte causa um tratamento térmico não uniforme da borda cortada e seus arredores. Por exemplo, as temperaturas de pico no aço diminuem à medida que a distância da borda cortada aumenta. Esse tratamento térmico não uniforme faz com que as propriedades mecânicas na ZTA variem. Os métodos de corte térmico sempre induzem tensões de tração dentro e ao redor da área a ser cortada. O corte térmico do aço antidesgaste Hardox® resultará em uma ZTA que pode ser dividida em duas zonas, uma zona revenida e uma zona temperada.

A parte externa da ZTA, localizada a aproximadamente 1-2 mm (0,039-0,079") da borda cortada, foi aquecida até acima de 900°C (482°F) durante o procedimento de corte. Após a passagem do maçarico de corte, o calor se espalha rapidamente para a chapa, resfriando o material na zona 1 tão rapidamente a ponto de causar o revenimento do material.

A dureza, assim como a resistência nesta zona é maior do que em outras partes da ZTA e do metal de base não afetado.

A zona 2, posicionada entre a zona 1 e o material original não afetado, é aquecida a temperaturas abaixo de 900 °C (1.652 °F) durante o corte. Os valores de dureza nesta zona variam dependendo do grau do aço e do desempenho de corte. O material nessa zona é temperado pelo calor da operação de corte.

Durante o resfriamento, a zona 1 tenta se expandir na direção da espessura, enquanto a zona 2 não é afetada ou até mesmo encolhe. Como resultado, são criadas tensões de tração residuais na direção da espessura na zona 2. É nessa zona com altas tensões de tração onde são iniciadas as trincas por hidrogênio. A tendência geral é que esses níveis de tensão aumentam com chapas com espessuras maiores.

A figura 5 ilustra as diferentes zonas da ZTA em um Hardox® 450 termicamente cortado.

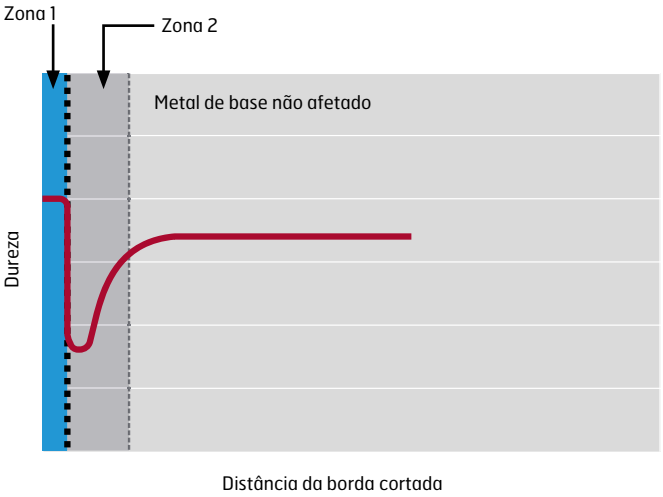


Figura 5: Perfil esquemático de dureza da ZTA devido ao corte térmico do Hardox® 450.

Tensões de tração devido ao campo de tensão global

A têmpera do aço antidesgaste introduz tensões residuais. Quando peças com cantos agudos são cortadas, as tensões residuais oriundas da fabricação estão concentradas em tais áreas. Essas tensões concentradas podem ser altas o suficiente para iniciar trincas por hidrogênio e, portanto, a presença de cantos agudos aumentará o risco de trincas na borda cortada. Isso é verdadeiro para os métodos de corte térmico e a frio, como o corte AWJ. Considerando as seguintes ações, o risco de trincas será menor (ver Figura 6):

1. Se possível, evite cantos agudos voltados para dentro.
2. Se possível, use geometrias suaves.
3. Quando cantos agudos não puderem ser evitados, faça círculos em torno de cantos voltados para fora, quando possível.
4. Se a operação de corte tiver que ser interrompida (isto é, durante a noite), faça um corte limpo para remover os elevadores de tensão.

Com exceção do Hardox® HiTuf e do Hardox® HiTemp, todos os graus Hardox® são sensíveis a trincas de bordas cortadas em geometrias agudas.

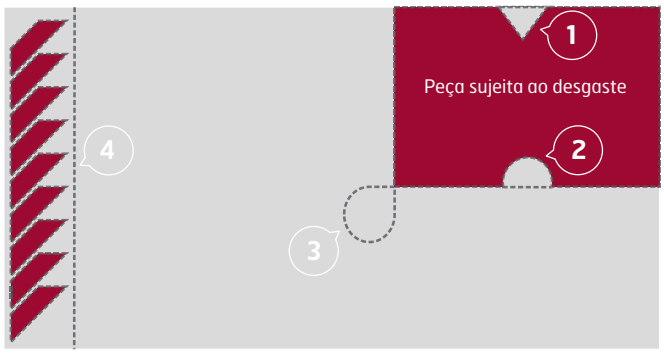
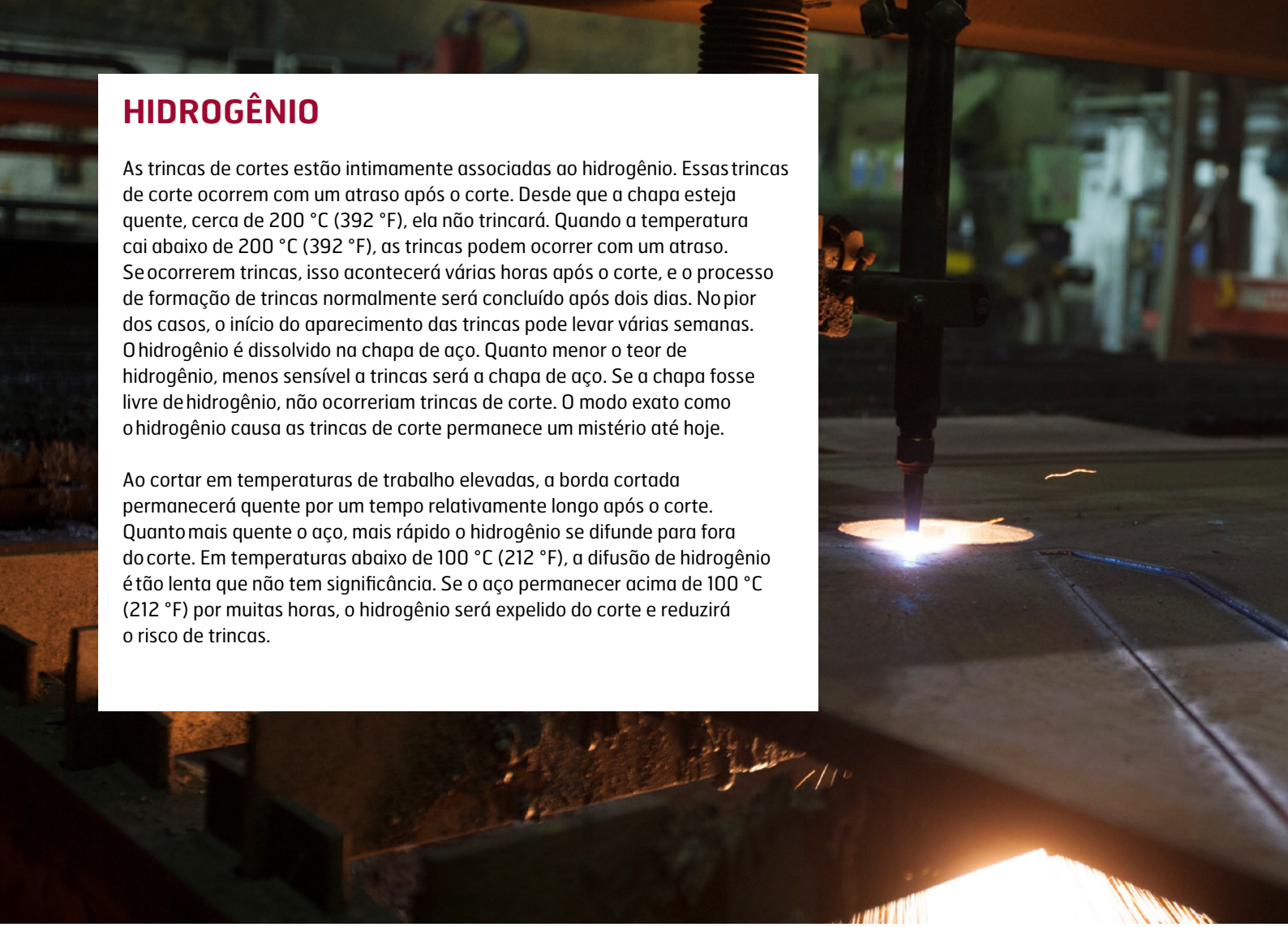


Figura 6: Um procedimento adequado para o corte de cantos. Leve em consideração que a velocidade de corte normalmente é reduzida na seção transversal, onde o trajeto do corte se encontra, para obter uma operação de corte estável.



HIDROGÊNIO

As trincas de cortes estão intimamente associadas ao hidrogênio. Essas trincas de corte ocorrem com um atraso após o corte. Desde que a chapa esteja quente, cerca de 200 °C (392 °F), ela não trincará. Quando a temperatura cai abaixo de 200 °C (392 °F), as trincas podem ocorrer com um atraso. Se ocorrerem trincas, isso acontecerá várias horas após o corte, e o processo de formação de trincas normalmente será concluído após dois dias. No pior dos casos, o início do aparecimento das trincas pode levar várias semanas. O hidrogênio é dissolvido na chapa de aço. Quanto menor o teor de hidrogênio, menos sensível a trincas será a chapa de aço. Se a chapa fosse livre de hidrogênio, não ocorreriam trincas de corte. O modo exato como o hidrogênio causa as trincas de corte permanece um mistério até hoje.

Ao cortar em temperaturas de trabalho elevadas, a borda cortada permanecerá quente por um tempo relativamente longo após o corte. Quanto mais quente o aço, mais rápido o hidrogênio se difunde para fora do corte. Em temperaturas abaixo de 100 °C (212 °F), a difusão de hidrogênio é tão lenta que não tem significância. Se o aço permanecer acima de 100 °C (212 °F) por muitas horas, o hidrogênio será expelido do corte e reduzirá o risco de trincas.

MEDIDAS PARA EVITAR TRINCAS POR HIDROGÊNIO

Para evitar trincas nas bordas cortadas, é importante manter tanto o teor de hidrogênio quanto as tensões de tração na ZTA no menor nível possível.

As ações a seguir podem ser usadas para minimizar o teor de hidrogênio, bem como as tensões residuais na ZTA.

1. Pré-aquecimento da chapa
2. Pós-aquecimento
3. Velocidade de corte reduzida (oxicorte)
4. Uma combinação de pré-aquecimento, pós-aquecimento e redução da velocidade de corte, juntamente com um processo de resfriamento prolongado da ZTA

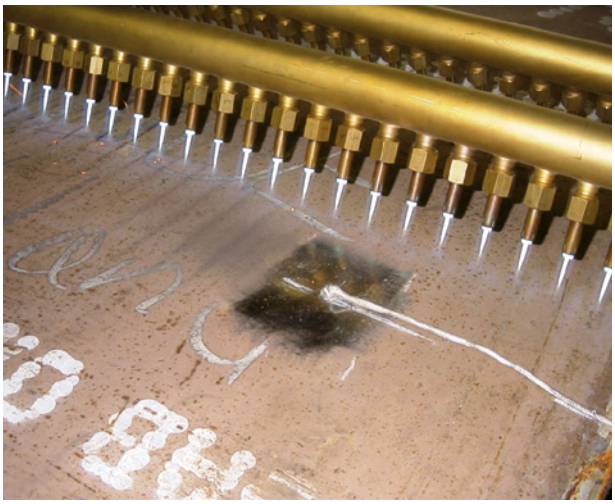


Figura 7: Lanças de pré-aquecimento.

PRÉ-AQUECIMENTO

Um método para evitar trincas por hidrogênio ao cortar é pré-aquecer o material. O calor permitirá que mais hidrogênio se difunda para longe da borda cortada, reduzindo a sua velocidade de resfriamento, o que reduz as tensões de tração introduzidas. O pré-aquecimento pode ser usado, de preferência, antes do oxicorte e corte por plasma que utiliza o oxigênio como gás de plasma.

Em relação a todos os tipos de corte a laser e corte a plasma com nitrogênio, o pré-aquecimento não é recomendado devido ao seu efeito negativo na qualidade da borda cortada.

Dependendo da situação, qualquer parte da chapa ou toda a chapa pode ser aquecida. As maneiras mais comuns de pré-aquecer a chapa são:

- Forno de aquecimento
- Lanças de pré-aquecimento
- Mantas elétricas

O aquecimento em fornos é a melhor maneira de pré-aquecer a chapa, pois fornece uma temperatura uniforme para toda a chapa. As lanças de pré-aquecimento também podem ser aplicadas para o pré-aquecimento da chapa antidesgaste Hardox®, veja a Figura 7. É importante que as lanças estejam em movimento, para que a temperatura da chapa antidesgaste não exceda a temperatura máxima de pré-aquecimento. Além disso, a temperatura de pré-aquecimento é medida no lado oposto do local onde o pré-aquecimento é aplicado.

As mantas elétricas são um método de pré-aquecimento lento; portanto, uma boa prática para pré-aquecer a 150-200 °C (302-392 °F) é realizar o pré-aquecimento durante a noite e iniciar a operação de corte na manhã seguinte.

As recomendações de pré-aquecimento para o oxicorte podem ser encontradas na Tabela 6.

Tabela 6: Temperaturas de pré-aquecimento para o oxicorte dos graus Hardox®.

Grau	Espessura da chapa, mm (pol.)	Temperatura mínima de pré-aquecimento, °C (°F)	Temperatura máxima de pré-aquecimento, °C (°F)
Hardox® HiAce	4 < 25 mm (0,157" < 0,984")	Sem pré-aquecimento	
Hardox® HiTemp	5 – 51 mm (0,197 – 2,008")	Sem pré-aquecimento	500 (932)
Hardox® HiTuf	< 90 mm (3,543")	Sem pré-aquecimento	300 (572)
	≥ 90 mm (≥ 3,543")	100 (212)	
Hardox® 400	< 45 mm (< 1,772")	Sem pré-aquecimento	225 (437)
	45-59,9 mm (1,772 – 2,358")	100 (212)	
	60-80 mm (2,362-3,150")	150 (302)	
	> 80 mm (> 3,150")	175 (347)	
Hardox® 450	< 40 mm (< 1,575")	Sem pré-aquecimento	225 (437)
	40-49,9 mm (1,575-1,965")	100 (212)	
	50-69,9 mm (1,969-2,752")	150 (302)	
	≥ 70 mm (≥ 2,756")	175 (347)	
Hardox® 500 Tuf	4 – 25,4 mm (0,157 – 1")	Sem pré-aquecimento	
Hardox® 500	< 25 mm (< 0,984")	Sem pré-aquecimento	225 (437)
	25-49,9 mm (0,984-1,965")	100 (212)	
	50-59,9 mm (1,969-2,358")	150 (302)	
	≥ 60 mm (≥ 2,362")	175 (347)	
Hardox® 550	< 20 mm (< 0,787")	Sem pré-aquecimento	200 (392)
	20-51 mm (0,787-2,008")	150 (302)	
	> 51 mm (> 2,008")	175 (347)	
Hardox® 600	< 12 mm (< 0,472")	Sem pré-aquecimento	180 (356)
	12-65 mm (0,472-2,559")	170 (338)	
Hardox® Extreme*	8-19 mm (0,315-0,748")	100 (212)	100 (212)

* A SSAB recomenda o corte AWJ. Se apenas o oxicorte estiver disponível, siga as recomendações da Tabela 6.

PÓS-AQUECIMENTO

O pós-aquecimento é um método confiável para evitar o aparecimento de trincas em bordas cortadas. Isso pode ser feito em um forno ou com maçarico. É importante que o processo de pós-aquecimento ocorra o mais rápido possível após o corte da peça. O tempo entre o início do procedimento de corte e o início do procedimento de pós-aquecimento deve ser o mais curto possível e nunca exceder 60 minutos.

Ao usar fornos, a temperatura não deve exceder a temperatura máxima permitida indicada na Tabela 6 e a chapa deve permanecer no forno até atingir essa temperatura. Dependendo da espessura da chapa, o tempo de permanência variará; como regra geral, a duração do pós-aquecimento deve ser de pelo menos 5 minutos para cada mm de espessura da chapa (isto é, 50 minutos para uma chapa com 10 mm (0,394") de espessura). O pós-aquecimento em um forno permitirá mais migração do hidrogênio da ZTA, bem como uma pequena redução das tensões de tração na ZTA.

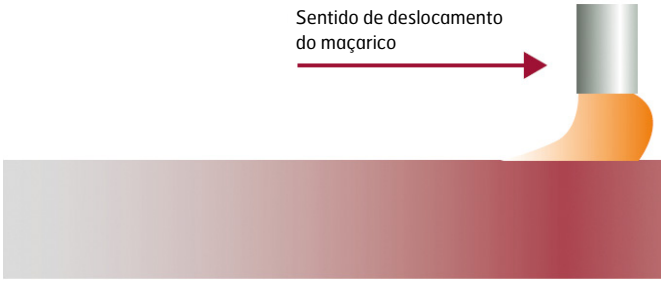


Figura 8: Cor da borda cortada atrás do maçarico de pós-aquecimento.

Ao utilizar maçaricos (Figura 9), é importante não superaquecer. A temperatura da borda cortada não deve exceder os 700 °C (1.292 °F), preferencialmente 300 a 500 °C (572-932 °F). Normalmente, o tratamento com pós-aquecimento usando maçaricos é feito manualmente e, nesse caso, é importante saber como controlar a temperatura. Isso é feito olhando para a cor da borda cortada na altura do maçarico; ela deve começar a ficar levemente incandescente (um vermelho bem escuro). Se a cor for vermelho cereja vivo ou laranja escuro, a temperatura estará muito alta e o pós-aquecimento não será bem-sucedido, veja a Figura 8.

Também é possível controlar a temperatura com um termômetro infravermelho, apontado diretamente para a borda cortada na chama (Figura 10).

O calor do maçarico irá revenir a zona retemperada da ZTA, o que reduzirá as tensões de tração na borda cortada. O maçarico utilizado deve ter uma chama grande e de baixa intensidade. Isso permitirá que o calor alcance ainda mais o material, sem aquecê-lo demais.

Figura 9: Pós-aquecimento manual.

Figura 10: Medição da temperatura durante o pós-aquecimento.

VELOCIDADE DE CORTE REDUZIDA

A velocidade de corte reduzida é um método conveniente para reduzir o risco de trincas durante o oxicorte. Quando a velocidade de corte é reduzida, o material aquece-se na região do corte, e a zona termicamente afetada será mais larga. Isso afeta as tensões residuais a ponto de reduzir o risco de trincas na borda cortada. No entanto, tenha em mente que a velocidade de corte reduzida não é tão confiável quanto o pré-aquecimento ou pós-aquecimento, só devendo ser usada como alternativa caso, por exemplo, a oficina não possua o equipamento de pré-aquecimento ou pós-aquecimento adequado.

A SSAB recomenda veementemente o uso do pré-aquecimento, em vez de reduzir a velocidade de corte. A SSAB não garante que uma trinca não aparecerá ao cortar com uma velocidade de corte reduzida; no entanto, o risco de tais trincas será reduzido em comparação com um corte em velocidade normal em chapas frias.

Se for usada a velocidade de corte reduzida, é importante que a velocidade de corte não exceda a indicada na Tabela 7. Caso contrário, o risco de trincas no corte não será reduzido.

Não use um bico muito grande. Use um bico de 25-50 mm (1-2"), em vez de um bico de 50-100 mm (2-4"), para uma chapa Hardox® com 50 mm (1,969") de espessura. Para obter uma boa qualidade da borda cortada, a pressão do oxigênio de corte precisa ser reduzida. A quantidade de pressão necessária depende do tipo e do tamanho do bico. Sempre faça um teste de corte e ajuste a pressão do oxigênio de corte até obter uma boa qualidade da borda cortada.

Certifique-se de que a chapa de aço Hardox® esteja o mais quente possível antes do corte. Por exemplo, durante o inverno, armazene a chapa dentro da oficina por algum tempo antes do corte.

A velocidade de corte reduzida não é aplicável para o corte a plasma.

Espessura máx. da chapa	Hardox® HiTemp	Hardox® HiTuf	Hardox® 400	Hardox® 450	Hardox® 500	Hardox® 550	Hardox® 600	Hardox® Extreme
12 mm (0,472")	sem restrições	sem restrições	sem restrições	sem restrições	sem restrições	sem restrições	sem restrições	**
15 mm (0,591")	sem restrições	sem restrições	sem restrições	sem restrições	sem restrições	sem restrições	300	**
20 mm (0,787")	sem restrições	sem restrições	sem restrições	sem restrições	sem restrições	sem restrições	200	**
25 mm (0,984")	sem restrições	sem restrições	sem restrições	sem restrições	300	270	180	
30 mm (1,181")	sem restrições	sem restrições	sem restrições	sem restrições	250	230	150	
35 mm (1,378")	sem restrições	sem restrições	sem restrições	sem restrições	230	190	140	
40 mm (1,575")	sem restrições	sem restrições	sem restrições	230	200	160	130	
45 mm (1,772")	sem restrições	230	230	200	170	140	120	
50 mm (1,969")	sem restrições	210	210	180	150	130	110	
60 mm (2,362")		200	200	170	140	*	*	
70 mm (2,756")		190	190	160	135	*	*	
80 mm (3,150")		180	180	150	130			
>80 mm (3,150")		*	*	*	*			

Tabela 7: Velocidade máxima de corte (mm/min) (pol/min) no caso de oxicorte sem pré-aquecimento. O corte lento, por si só, não é um método suficiente para neutralizar as trincas de corte no Hardox® Extreme. Se o único método disponível for o oxicorte, use o pré-aquecimento juntamente com o pós-aquecimento com um maçarico. *Apenas o pré-aquecimento é aplicável. **A SSAB recomenda o corte AWJ.

RESFRIAMENTO LENTO

Independentemente de as peças cortadas serem ou não pré-aquecidas, um resfriamento lento reduzirá o risco do aparecimento de trincas nas bordas cortadas. O resfriamento lento pode ser obtido se as peças forem empilhadas juntas enquanto ainda estiverem quentes devido ao processo de corte, e forem cobertas com uma manta isolante. Deixe as peças esfriarem lentamente até alcançarem a temperatura ambiente.

AMOLECIMENTO

A resistência do aço ao amaciamento depende de sua composição química, da microestrutura e da forma de ter sido processado. Quanto menor for a peça cortada termicamente, maior o risco de amaciamento de todo o componente. Se a temperatura do aço ficar muito alta, a dureza do aço será reduzida, como na Figura 11 (Verifique a temperatura máxima permitida na Tabela 6).

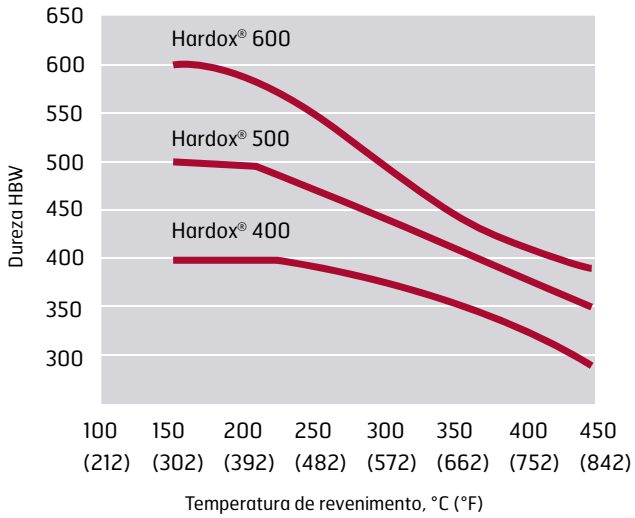
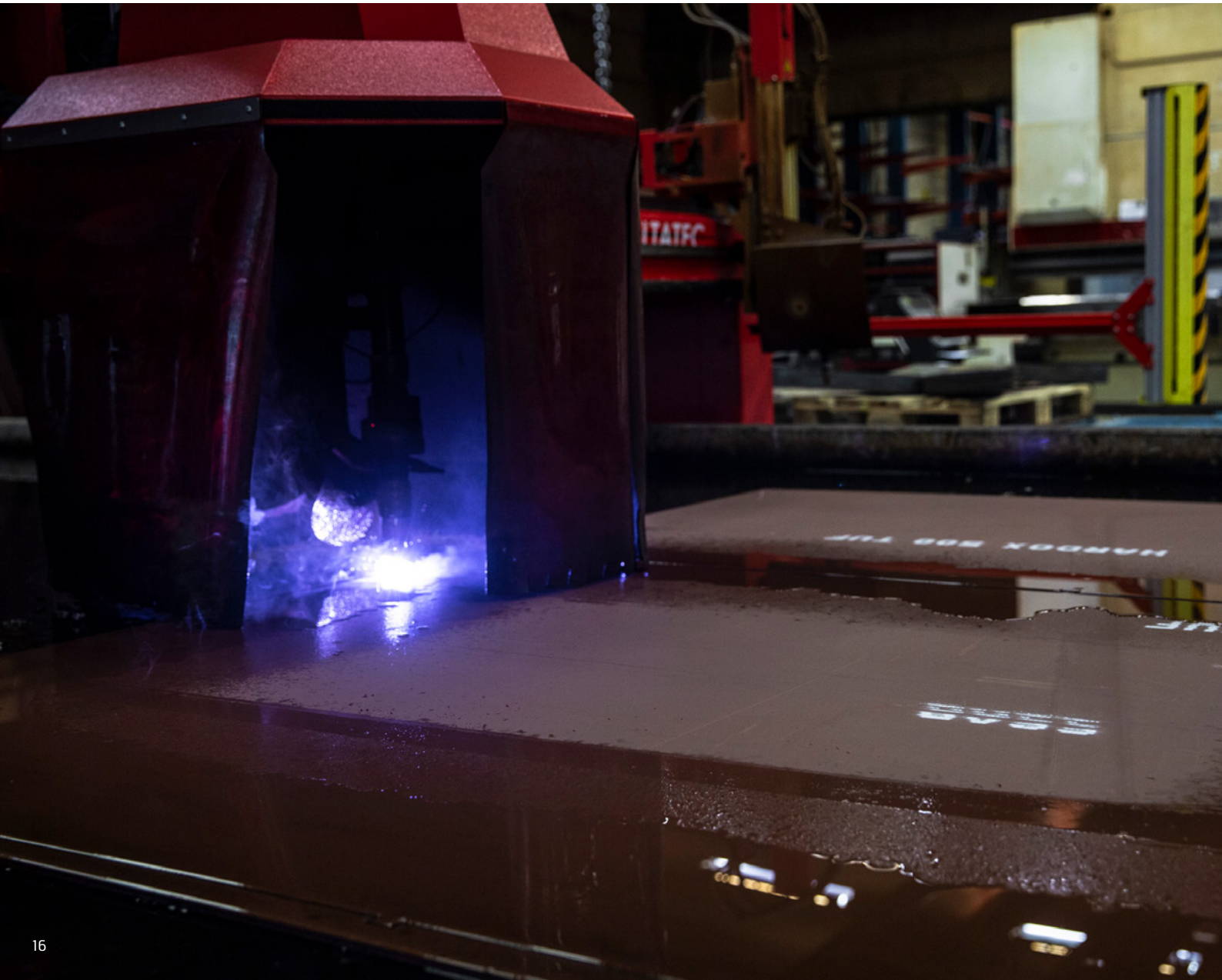


Figura 11: Dureza da superfície vs. temperatura de revenimento.



REDUÇÃO DO RISCO DE AMACIAMENTO

Método de corte

Quando peças pequenas forem cortadas, o calor fornecido pelo maçarico de corte e pelo pré-aquecimento será acumulado na peça. Quanto menor o tamanho da peça cortada, maior o risco de amaciamento. Quando o oxicorte é usado para cortar chapas de 30 mm (1,181") ou mais grossas, a regra geral é: Existe o risco de perda de dureza de todo o componente, se a distância entre dois cortes for menor que 200 mm (7,874"). No caso de espessuras abaixo de 30 mm (1,181"), é possível cortar peças menores sem haver perda de dureza. Uma maneira conveniente de determinar se a peça é muito pequena é medir a temperatura da peça diretamente após ela ter sido cortada. As temperaturas máximas permitidas estão na Tabela 6.

A melhor maneira de eliminar o risco de amaciamento é usar métodos de corte a frio, como o corte por jato de água abrasivo. Se for preciso realizar o corte térmico, o corte a laser ou a plasma é preferível ao oxicorte. Isso ocorre porque o oxicorte introduz mais calor à peça em comparação com o corte a plasma ou a laser.

Corte submerso

Uma maneira eficaz de limitar e reduzir a extensão da zona de amaciamentoo é resfriar com água a placa e a superfície de corte durante a operação de corte. Isso pode ser feito submergindo a placa em água (Figura 12) ou pulverizando água na peça durante e após o corte.

Mesmo se o corte for feito por submersão ou pulverização de água sobre a peça durante e após o corte, uma zona macia ainda ocorrerá na borda cortada a uma distância de aproximadamente 5-10 mm (0,197 - 0,394").

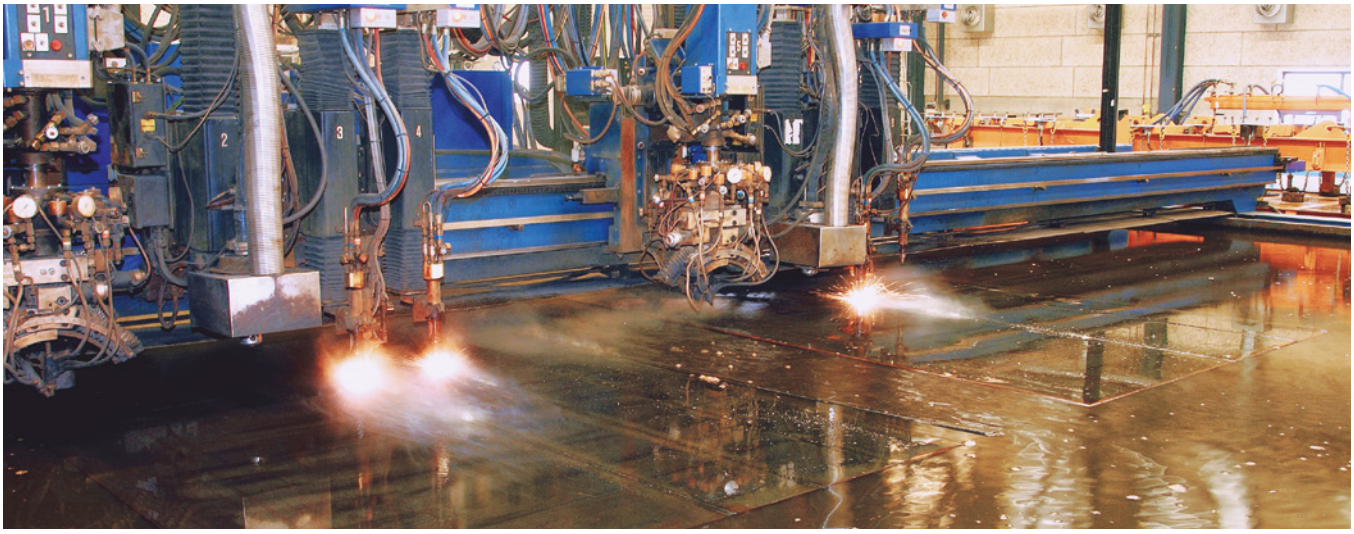
Qualquer resquício de água é repelido pela chama de ignição e pelo jato de oxigênio de corte, de modo que a água não consiga resfriar a região do corte. Quando a água finalmente chega, a borda de corte já amaciou. Por outro lado, o resfriamento a água evita que o componente sofra um amaciamento "global".

O corte submerso pode ser feito tanto com o corte a plasma quanto com o oxicorte. Algumas vantagens do corte submerso são:

- Evita a perda de dureza de todo o componente
- Menor distorção da peça cortada
- As peças são resfriadas diretamente após o corte
- Não produz fumaça ou poeira
- Menor nível de ruído

Como o pré-aquecimento não é aplicável para o corte submerso, as únicas medidas disponíveis para neutralizar o risco de trincas por hidrogênio são o pós-aquecimento e a redução da velocidade de corte. Quando peças pequenas são cortadas de uma chapa antidesgaste Hardox® grossa através do oxicorte, há o risco de amaciamento, bem como o aparecimento de trincas nas bordas cortadas. A melhor maneira de evitar isso é através do corte submerso em baixas velocidades de corte, ou com um tratamento de pós-aquecimento das peças cortadas. O pós-aquecimento pode ser feito com umo maçarico ou em um forno.

Figura 12: Corte submerso.



DICAS PRÁTICAS

MANUSEIO DAS CHAPAS

Ao armazenar o Hardox® 550, o Hardox® 600 e o Hardox® Extreme, certifique-se de que as chapas de aço não estejam sujeitas à dobra de três pontos. Pode ocorrer uma dobra de três pontos se as chapas forem empilhadas com calços de suporte entre as camadas e a madeira não for colocada corretamente. Certifique-se sempre de que a madeira em cada camada seja colocada sobre a madeira existente na camada abaixo dela.

Figura 13a: Chapas devidamente empilhadas.

Figura 13b: Chapas incorretamente empilhadas.

Nunca retorne uma chapa ao estoque que ainda apresente cantos agudos cortados. Esses cantos atuarão como concentradores de tensão e podem causar o aparecimento retardado de trincas na chapa. Sempre faça um corte limpo para remover esses cantos agudos antes de retornar a chapa ao estoque. Isso é verdadeiro para todos os métodos de corte, tanto térmicos e a frio, como o corte AWJ. O Hardox® 550, o Hardox® 600 e o Hardox® Extreme são especialmente sensíveis a isso.

PRÉ-AQUECIMENTO E PÓS-AQUECIMENTO

Uma solução muito simples e barata para o pré-aquecimento é usar elementos de aquecimento elétrico e mantas isolantes (Rockwool ou um produto isolante similar).

Solução improvisada para o pré-aquecimento

1. Coloque a proteção térmica para o piso (caso possua um piso sensível ao calor)

2. Coloque os suportes da chapa por cima (neste caso, as vigas em U)

3. Cubra com o material isolante

4. Coloque as almofadas elétricas de aquecimento

5. Coloque a chapa e os acoplamentos térmicos que registrarão a temperatura ao longo do tempo

6. Cubra tudo com o material isolante

Outra solução econômica e prática é construir uma caixa de tratamento térmico e usá-la com aquecimento elétrico.

Ela poderia ser usada facilmente para o pré-aquecimento, o pós-aquecimento e o resfriamento lento.

HARDOX®
WEAR PLATE

A SSAB é uma empresa siderúrgica com sede na região Nórdica e nos Estados Unidos. Ela oferece produtos de valor agregado e serviços desenvolvidos em cooperação próxima com seus clientes para criar um mundo mais forte, leve e sustentável. A SSAB conta com funcionários em mais de 50 países. A SSAB possui unidades produtivas na Suécia, na Finlândia e nos EUA. A SSAB está listada na Nasdaq OMX de Estocolmo e possui uma listagem secundária na Nasdaq OMX de Helsinque. www.ssab.com. Siga-nos também nas mídias sociais: Facebook, Instagram, LinkedIn, Twitter e YouTube.

106 - Pt-br - Cutting Hardox® - V1 - 2021 - AplusM - Österbergs Tryckeri

Explore o mundo das chapas antidesgaste Hardox®

SSAB
Rod. BR 280 S/N Km 34
Araquari/ SC

Tel.: +55 11 3303 0800
Fax: +55 11 3303 0830
contact@ssab.com

www.hardox.com

Hardox® é uma marca registrada do grupo de empresas SSAB. Todos os direitos reservados. As informações contidas neste documento são fornecidas apenas para fins gerais. A SSAB AB não aceita responsabilidade pela adequação dele a qualquer aplicação específica. É de responsabilidade do usuário determinar independentemente a adequação de todos os produtos e aplicativos, bem como testar e verificar os mesmos. As informações dadas pela SSAB AB neste documento são fornecidas "conforme se encontram, onde se encontram" e com todos os erros, e as todos os riscos associados a tais informações são do usuário.

Copyright © 2021 SSAB AB. Todos os direitos reservados.

SSAB