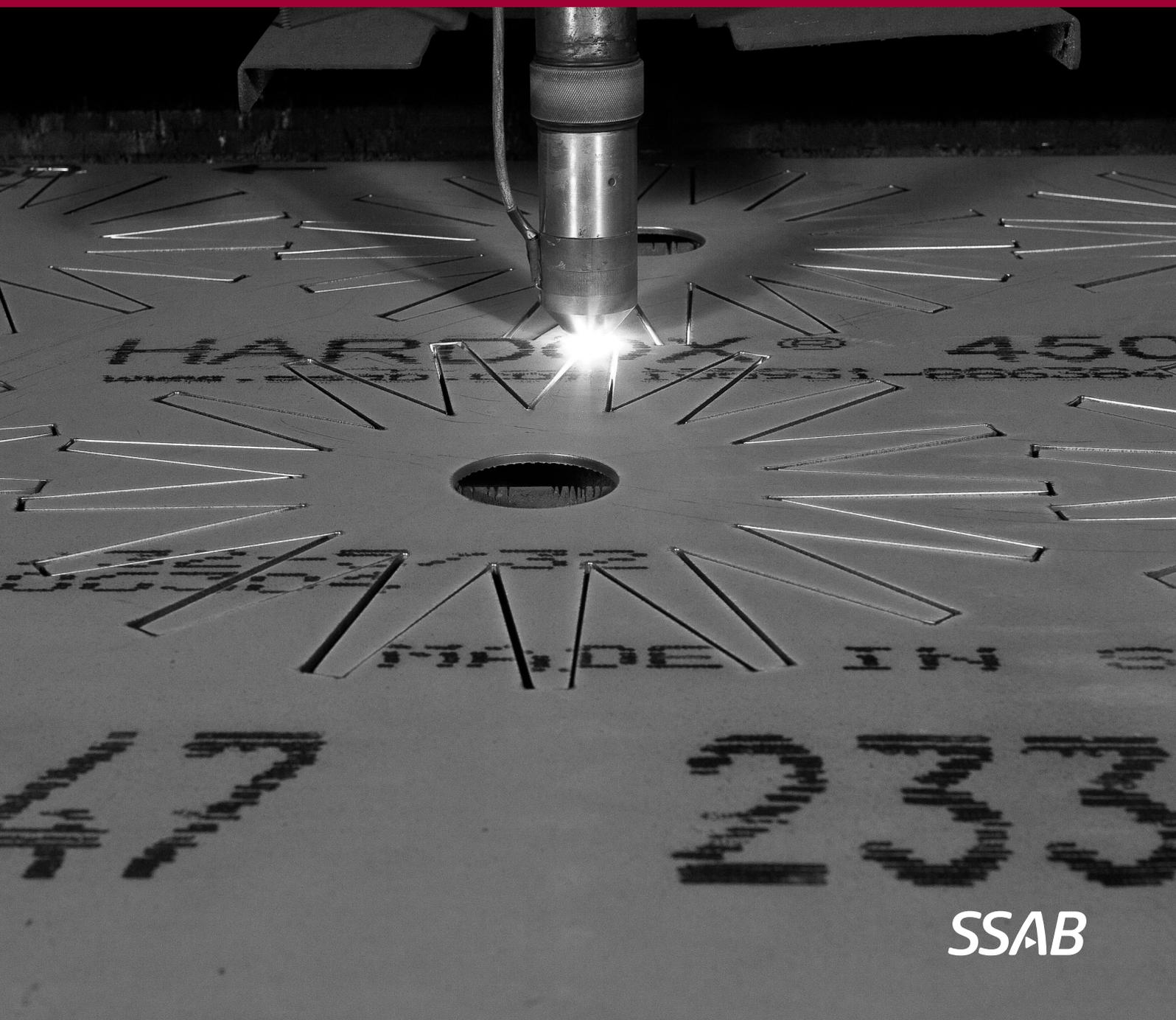


HARDOX®
WEAR PLATE

SCHNEIDEN VON HARDOX®



SSAB

INHALT

Schneiden von Hardox® Verschleißblech	3
Schneidverfahren	4
<i>Autogenes Brennschneiden</i>	4
<i>Plasmaschneiden</i>	5
<i>Laserschneiden</i>	6
Härteeigenschaften in der Wärmeeinflusszone (WEZ)	7
Risiken beim Schneiden	8
<i>Wasserstoffrisse</i>	8
<i>Wasserstoff</i>	12
Maßnahmen zur Vermeidung von Wasserstoffrisen	12
<i>Vorwärmen</i>	13
<i>Nachwärmen</i>	14
<i>Verringerung der Schnittgeschwindigkeit</i>	15
<i>Langsames Abkühlen</i>	15
Entfestigung	16
<i>Entfestigung vermeiden</i>	17
Praktische Tipps	18
<i>Handhabung der Bleche</i>	18
<i>Vorwärmen und Nachwärmen</i>	19

SCHNEIDEN VON HARDOX® VERSCHLEISS- BLECH

HARDOX® GÜTEN

Hardox® Güten können mit allen thermischen Schneidverfahren geschnitten werden, darunter autogenes Brennschneiden, Plasmaschneiden und Laserschneiden. Selbstverständlich können Sie auch viele übliche Kaltschneidverfahren wie abrasives Wasserstrahlschneiden (AWJ) und Sägen verwenden.

Das optimierte thermische Schneidverhalten der Hardox® Güten ist in erster Linie auf ihren niedrigen Legierungsgehalt in Verbindung mit dem sehr niedrigen Niveau an Verunreinigungen zurückzuführen. Weitere günstige Eigenschaften, die für das Laserschneiden genutzt werden können, sind die engen Dickentoleranzen und die glatten Blechoberflächen. Viele der Hardox® Güten können bei moderaten Dicken mit denselben Parametern wie für unlegierte Stähle thermisch geschnitten werden. In einigen Fällen müssen Sie die Parameter anpassen, um das Risiko für Wasserstoffrisse zu minimieren. Weitere Aspekte, die im Zusammenhang mit den Eigenschaften des Stahls zu beachten sind, sind:

- ▶ Die Veränderung der mechanischen Eigenschaften des thermisch betroffenen Bereiches des Stahls – der Wärmeeinflusszone (WEZ) – durch das Schneiden.

- ▶ Der Bauteilverzug durch das thermische Schneiden. Aufgrund der höheren Eigenspannungen neigen Hardox® Bleche eher zu Verzug während des thermischen Schneidens als normale Stähle.

Die Gase für die verschiedenen thermischen Schneidverfahren werden auf dieselbe Weise ausgewählt und angewandt wie für unlegierte und niedriglegierte Stähle mit Streckgrenzen bis 355 MPa. Es gibt verschiedene Gaszusammensetzungen und Anwendungsparameter, die für die thermischen Schneidverfahren geeignet sind. SSAB hat hierfür keine genauer ausformulierten Empfehlungen für die Hardox® Güten. Die Kaltschneidverfahren Scheren und Stanzen sind auf Hardox® 400 und Hardox® 450 mit Blechdicken bis 10 mm begrenzt. Abrasives Wasserstrahlschneiden ist ein Kaltschneidverfahren, das vorteilhafte mechanische Eigenschaften bietet, da keine WEZ gebildet wird.





SCHNEIDVERFAHREN

AUTOGENES BRENSCHNEIDEN

Hardox® Verschleißblech lässt sich mit autogenem Brennschneiden leicht schneiden. Autogenes Brennschneiden hat nahezu keine Einschränkungen bezüglich der Materialdicke, sodass Materialdicken bis 1.000 mm geschnitten werden können. Die empfohlene Mindestdicke für das Schneiden ist 10 mm. Das Schneiden von dünnerem Material sollte mit Verfahren mit weniger Wärmeeinfluss wie Plasma- oder Laserschneiden ausgeführt werden, um Bauteilverzug und Härteverlust zu minimieren. Allgemeine Merkmale für autogenes Brennschneiden finden Sie in Tabelle 1.

Ein häufiges Missverständnis ist, dass zum Schneiden von harten Stählen ein höherer Schneidsauerstoffdruck erforderlich sei. Autogenes Brennschneiden ist ein thermischer Prozess, bei dem die Härte des Stahls keinen Einfluss auf die Schneidleistung hat. Hardox® Verschleißblech hat einen geringen Legierungsgehalt, was es in Kombination mit der Reinheit des Stahls leicht zu schneiden macht.

Tabelle 1: Allgemeine Merkmale für autogenes Brennschneiden.

Schneidverfahren	Schnittfugenbreite	Wärmeeinflusszone (WEZ)	Maßtoleranzen
Autogenes Brennschneiden	2–5 mm	4–10 mm	± 2,0 mm

PLASMASCHNEIDEN

Hardox® Verschleißblech lässt sich einfach durch Plasmaschneiden schneiden. Beim Plasmaschneiden gibt es eine Begrenzung bei der Materialdicke, die üblicherweise unter 50 mm liegt (abhängig von der Plasmaschneidmaschine). Die allgemeinen Merkmale für das Plasmaschneiden sind in Tabelle 2 zu finden.

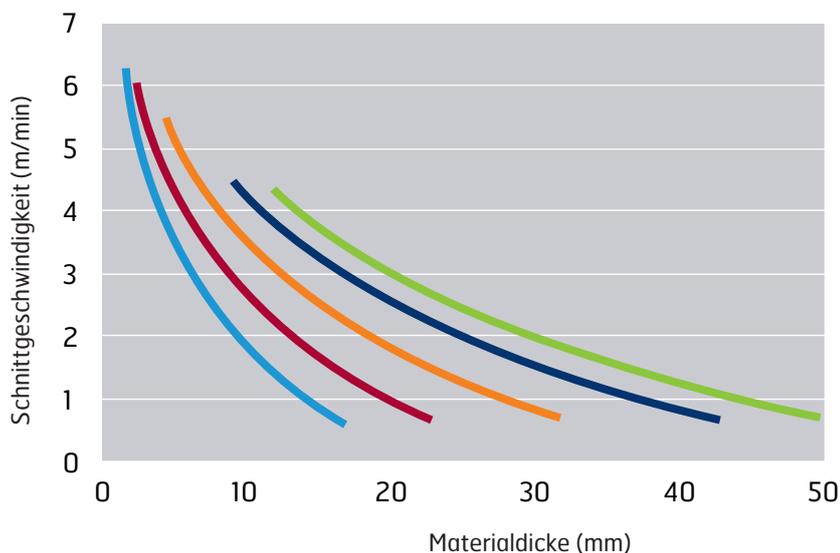
Abb. 1 zeigt die Schnittgeschwindigkeit in Abhängigkeit von Materialdicke und Stromstärke für das Plasmaschneiden.

Beim Plasmaschneiden von Hardox® gibt es keinen Unterschied zu normalem unlegiertem Stahl, d. h. es sind dieselben Prozessparameter zu verwenden. Ein Vorwärmen oder Nachwärmen, um die Diffusion des Wasserstoffs aus der WEZ zu fördern, ist beim Plasmaschneiden der meisten Hardox® Güten nicht nötig. Beim Plasmaschneiden von dicken Hardox® Blechen mit Sauerstoff als Plasmagas kann jedoch entweder Vor- oder Nachwärmen erforderlich sein. Verwenden Sie dieselben Parameter wie bei autogenem Brennschneiden (Tabelle 6), um Rissbildung an der Schnittkante zu vermeiden.

Tabelle 2: Allgemeine Merkmale für autogenes Brennschneiden.

Schneidverfahren	Schnittfugenbreite	Wärmeeinflusszone (WEZ)	Maßtoleranzen
Plasmaschneiden	2–6,5 mm	2–5 mm	± 1,0 mm

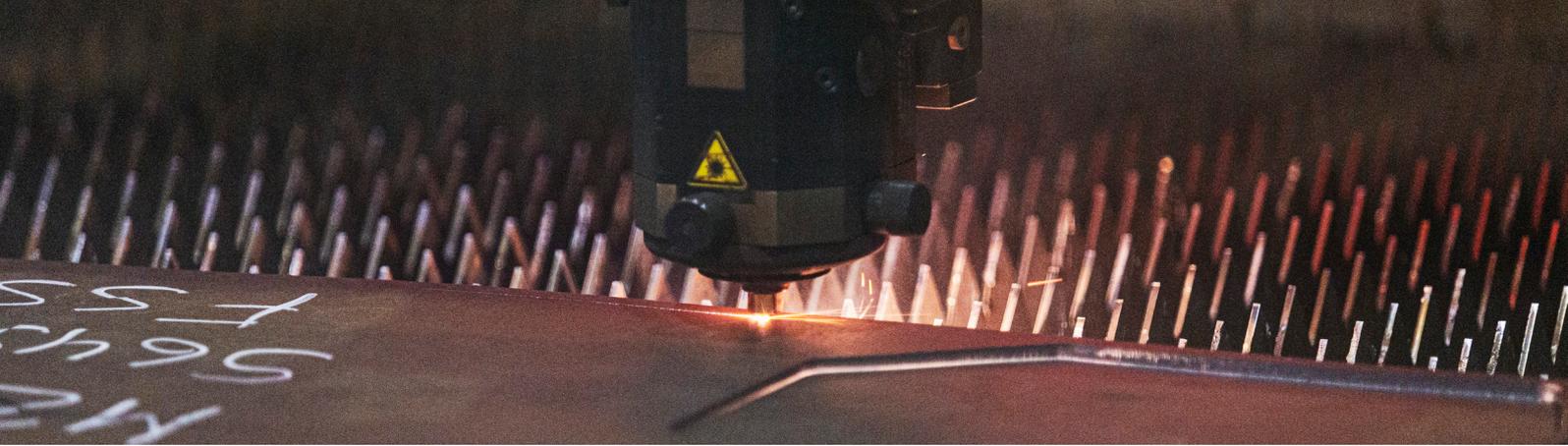
Abb. 1: Übliche Schnittgeschwindigkeiten für verschiedene Plasmastromquellen.



Plasmagas: Sauerstoff
Schutzgas: Luft

- 80 A
- 130 A
- 200 A
- 260 A
- 400 A





LASERSCHNEIDEN

Das Laserschneiden von Hardox® kann mit den üblichen Verarbeitungsparametern für die betreffende Materialdicke erfolgen. Die maximale Dicke beträgt etwa 30 mm, abhängig von der Laserschneidanlage. Die üblichsten Schneiddicken liegen unter 25 mm. Die allgemeinen Merkmale für das Laserschneiden sind in Tabelle 3 zu finden.

Einer der Vorteile von Laserschneiden ist die hohe Schnittgeschwindigkeit. Abb. 2 zeigt die Schnittgeschwindigkeit als Funktion von Materialdicke, Lasertyp und Laserleistung.

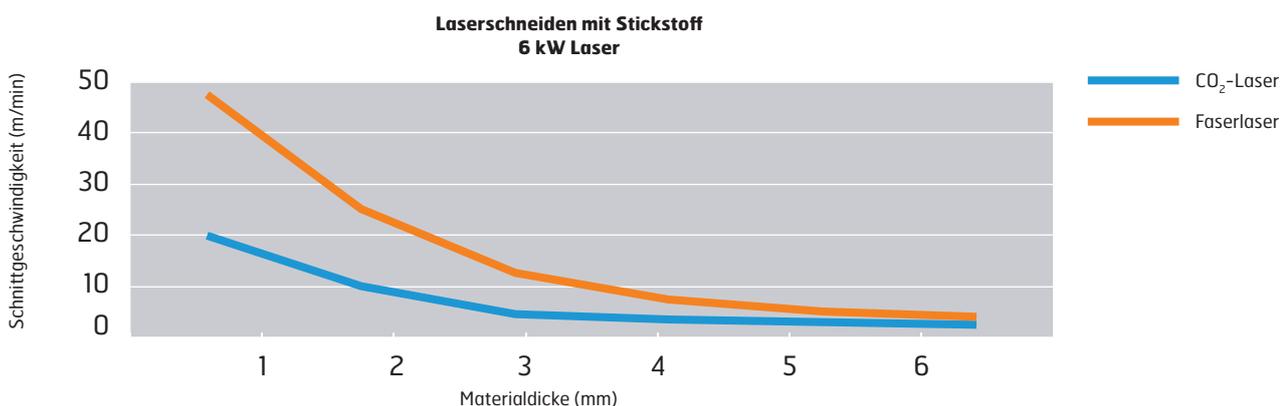
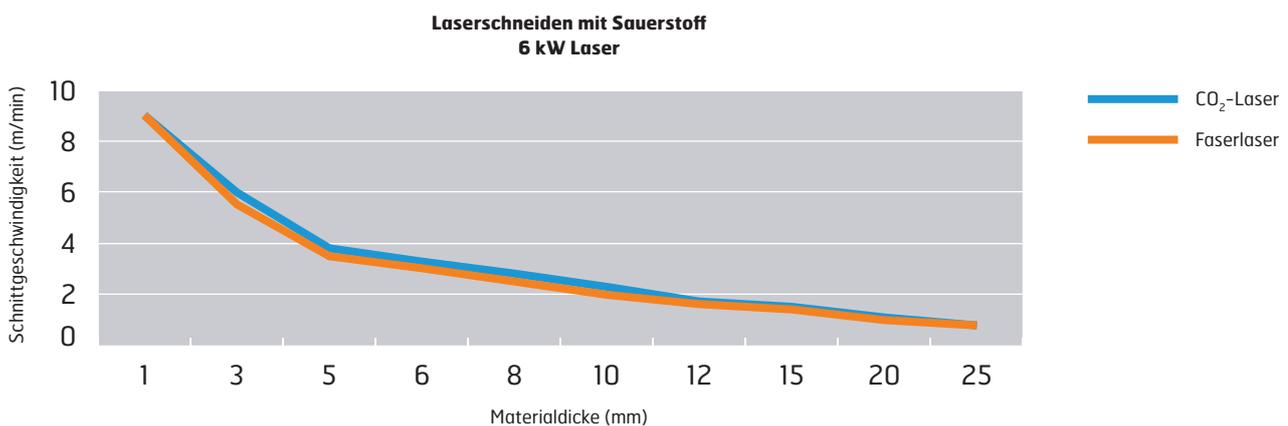
Aufgrund der relativ geringen Blechdicken und der niedrigen thermischen Wirkung ist Vorwärmen oder Nachwärmen beim Laserschneiden von Hardox® Stählen nicht nötig. Vorwärmen hat zudem eine nachteilige Wirkung auf die Schnittkantenqualität.

Beim Laserschneiden von Hardox® Stahl gibt es keinen Unterschied zu normalem unlegiertem Stahl, sodass Sie dieselben Prozessparameter verwenden können. Der Shopprimer reduziert die Schnittgeschwindigkeit, doch dies kann gelöst werden, indem zuerst der Primer verdampft und dann die Kontur mit voller Geschwindigkeit geschnitten wird.

Tabelle 3: Allgemeine Merkmale für das Laserschneiden.

Schneidverfahren	Schnittfugenbreite	Wärmeeinflusszone (WEZ)	Maßtoleranzen
Laserschneiden	< 1 mm	0,2–2 mm	± 0,2 mm

Abb. 2: Laser-Schnittgeschwindigkeiten.



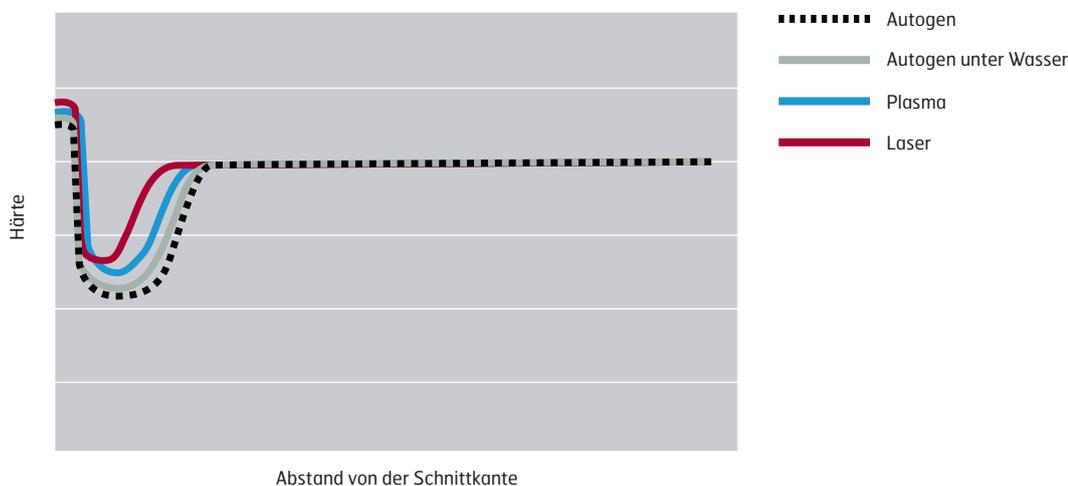
HÄRTEEIGENSCHAFTEN IN DER WÄRMEEINFLUSSZONE (WEZ)

Die Eigenschaften der WEZ hängen ab von:

- ▶ ob der Stahl bei der Herstellung angelassen wurde oder nicht, und wenn ja, wie dies ausgeführt wurde
- ▶ der chemischen Zusammensetzung des Stahls
- ▶ der Auswirkung der Wärmeeinbringung durch das Schneidverfahren

Die Breite der WEZ nimmt mit zunehmender thermischer Auswirkung vom Schneidprozess zu. So führt ein Schneiden mit gleicher Leistung und Verringerung der Schnittgeschwindigkeit zu einer breiteren WEZ. Verschiedene Brennschneidverfahren haben unterschiedliche thermische Auswirkungen, was zu einer breiteren oder schmaleren WEZ führt. Autogenes Brennschneiden hat die höchste thermische Auswirkung, gefolgt von Plasmaschneiden und Laserschneiden. Abb. 3 zeigt schematisch die WEZ für Hardox® Güten, die mit verschiedenen thermischen Schneidverfahren geschnitten wurden.

Abb. 3: Schematische Härteprofile in der WEZ nach dem thermischen Schneiden von Hardox® Verschleißblech mit verschiedenen Schneidverfahren.



RISIKEN BEIM SCHNEIDEN

WASSERSTOFFRISSE

Rissbildung an Schnittkanten ist ein Phänomen, das eng mit wasserstoffbedingten Rissen in Schweißnähten verwandt ist und am häufigsten bei der Anwendung von thermischen Schneidverfahren auftreten. Wenn Risse an Schnittkanten auftreten, werden sie zwischen 48 Stunden und mehreren Wochen nach dem Schneiden sichtbar, man spricht daher von verzögerter Rissbildung. Das Risiko nimmt mit der Stahlhärte und der Blechdicke zu, wie in Tabelle 4 gezeigt. Obwohl Rissbildung an Schnittkanten in der Regel auf Brennschneiden zurückzuführen ist, kann diese auch durch Sägen oder abrasives Wasserstrahlschneiden von sehr hartem Material verursacht werden.

In der ersten Phase der Rissbildung bilden sich kleine Risse in der Mitte des Bleches, die horizontal innerhalb der WEZ verlaufen. Sie bilden sich unmittelbar hinter

der Schnittkante und treten zumeist innerhalb von wenigen Stunden nach dem Schneiden auf. Die Risse sind zu diesem Zeitpunkt mit dem bloßem Auge nicht zu erkennen.

In der zweiten Phase, die zumeist nach mehreren Tagen auftritt, wandern die Risse zur Schnittkantenoberfläche weiter und bilden lange horizontale Risse, in der Regel bis zu 5 bis 10 cm.

Es kann eine dritte Phase geben, die normalerweise nach ein paar Wochen auftritt, in der sich die Rissausdehnung fortsetzt, ihre Richtung ändert und sich über die Blechoberfläche verbreitet. Vertikale Risse sind zwar unüblich, aber das Risiko nimmt mit zunehmender Härte und Dicke des Stahls zu. Die Bildung von Wasserstoffrissen durch das Schneiden ist schematisch in Abb. 4 dargestellt.

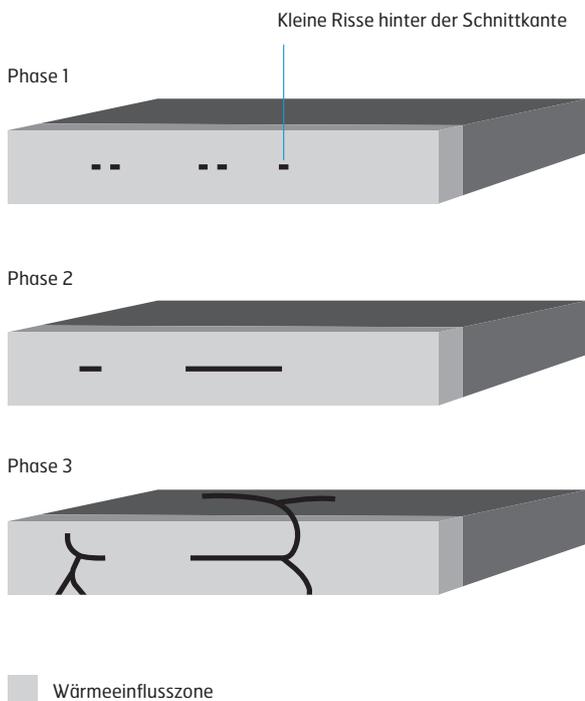
Tabelle 4: Anfälligkeit für thermisch bedingte Kantenrisse

Blechdicke mm	10	15	20	30	40	50	60	70	80	90	100	125	160
Hardox® HiTemp	Unempfindlich	Unempfindlich	Unempfindlich	Unempfindlich	Unempfindlich	Unempfindlich	Unempfindlich	Unempfindlich	Unempfindlich	Unempfindlich	Unempfindlich	Wenig empfindlich	Wenig empfindlich
Hardox® HiTuf	Unempfindlich	Unempfindlich	Unempfindlich	Unempfindlich	Unempfindlich	Unempfindlich	Unempfindlich	Unempfindlich	Unempfindlich	Unempfindlich	Unempfindlich	Wenig empfindlich	Wenig empfindlich
Hardox® 400	Unempfindlich	Unempfindlich	Unempfindlich	Unempfindlich	Unempfindlich	Wenig empfindlich	Wenig empfindlich	Recht empfindlich					
Hardox® 450	Unempfindlich	Unempfindlich	Unempfindlich	Unempfindlich	Wenig empfindlich	Recht empfindlich							
Hardox® HiAce	Unempfindlich	Unempfindlich	Unempfindlich	Unempfindlich	Wenig empfindlich	Recht empfindlich							
Hardox® 500	Unempfindlich	Unempfindlich	Unempfindlich	Wenig empfindlich	Recht empfindlich								
Hardox® 550	Unempfindlich	Unempfindlich	Wenig empfindlich	Recht empfindlich									
Hardox® 600	Unempfindlich	Unempfindlich	Wenig empfindlich	Recht empfindlich									
Hardox® Extreme	Unempfindlich	Wenig empfindlich	Recht empfindlich										

	Unempfindlich
	Wenig empfindlich
	Recht empfindlich
	Sehr empfindlich



Abb. 4: Bildung von Wasserstoffrissen an und in der Umgebung der Schnittkante.



Wenn ein Blech in Komponenten geschnitten wird, werden die im Lieferzustand vorliegenden Eigenspannungen freigesetzt. Je kleiner die Komponente, desto weniger Eigenspannungen verbleiben. Eine ausreichend kleine Komponente enthält nur Eigenspannungen aus dem Brennschneidvorgang. Hinzu kommt, dass eine kleine Komponente eine kürzere Schnittlänge hat als eine große Komponente. Eine ausreichend kleine Komponente neigt nicht zu Rissen (Tabelle 5).

Gefaste Kanten sind empfindlicher für Rissbildung als gerade Kanten.

Aufgrund seines probabilistischen Charakters lässt sich Rissbildung an thermisch geschnittenen Kanten nicht genau vorherbestimmen. Durch die Wahl des Schneidverfahrens lässt sich die Wahrscheinlichkeit von Rissbildung aber deutlich beeinflussen.

Damit sich Wasserstoffrisse bilden, müssen im Stahl gleichzeitig drei Bedingungen vorhanden sein. Diese sind:

- ▶ ein relativ hoher Gehalt an Legierungselementen.
- ▶ ein hohes Niveau an Zugspannungen.
- ▶ ein relativ hoher Wasserstoffgehalt im Material.

Diese drei Faktoren interagieren miteinander. Indem das Niveau dieser Faktoren angemessen niedrig gehalten wird, lässt sich das Risiko von Wasserstoffrissen minimieren.

Tabelle 5: Einfluss der Komponentengröße auf die Wahrscheinlichkeit von Rissen an der Schnittkante

Komponentengröße	200 x 200 mm	400 x 400 mm	800 x 800 mm	1.600 x 1.600 mm	Größer
Relatives Risiko von Kantenrissen für eine Komponente	1	10	100	1.000	5.000

Der Einfluss der Legierungselemente im Stahl

Der Einfluss der Legierungselemente ist beim thermischen Schneiden derselbe wie beim Schweißen. Dies bedeutet, dass höhere Kohlenstoffäquivalentwerte mit einer erhöhten Empfindlichkeit für Wasserstoffrisse korrespondieren. Im Allgemeinen steigt das Kohlenstoffäquivalent mit zunehmender Dicke und Härte der Hardox® Güte.

Daraus folgt:

- ▶ Es gibt mehr Einschränkungen im Hinblick auf das Schneiden von Hardox® Güten mit höheren Härtewerten.

Für größere Blechdicken einer Hardox® Güte gibt es mehr Einschränkungen, um das Risiko von Wasserstoffrisen beim Schneiden zu minimieren.

Bestimmte Legierungen können die Bildung von Wasserstoffrisen fördern. Wenn der Gehalt dieser Elemente zunimmt, nimmt auch die Empfindlichkeit des Stahls zu. Dies macht mehr Schneideinschränkungen erforderlich, um die Gefahr von Wasserstoffrisen zu minimieren.

Die Empfehlungen für die Vermeidung von Wasserstoffrisen in Hardox® Verschleißblech basieren auf sorgfältigen Evaluationen, die von SSAB durchgeführt wurden. Der Zweck dieser Untersuchungen ist die Aufstellung von optimierten Empfehlungen im Hinblick auf die einzelnen Merkmale einer jeden Hardox® Stahlgüte.

Als Ergänzung zu den Empfehlungen von SSAB können andere allgemeine Modelle zur Bewertung von Wasserstoffrisen in verschiedenen Typen von hochfesten Stählen verwendet werden. Die eingeführten Modelle beschreiben die Beständigkeit gegen Wasserstoffrisse für ein bestimmtes Stahlblech entsprechend seines Kohlenstoffäquivalents, welches aus der chemischen Zusammensetzung des Stahlblechs berechnet wird. Ein niedrigeres Kohlenstoffäquivalent entspricht einer höheren Beständigkeit gegen Wasserstoffrisse.

Es gibt mehrere Modelle für das Kohlenstoffäquivalent und jede Formel ist aus Untersuchungen auf Grundlage von spezifischen Stählen gewonnen worden.

Die üblichsten internationalen Kohlenstoffäquivalente werden nach den CET- und CEV-Modellen bezeichnet.

SSAB bevorzugt die CET-Formel für Hardox® Verschleißblech, weil dieses Kohlenstoffäquivalent speziell auf hochfeste Stähle wie Hardox® Verschleißblech ausgelegt ist. Auch die CEV-Formel gilt für hochfeste Stähle. Ihre Kohlenstoffäquivalente richten sich jedoch eher an unlegierte und niedriglegierte Stähle mit geringerer Festigkeit als Hardox® Verschleißblech.

Die Formeln zur Berechnung der CET- und CEV-Werte sind unten dargestellt. Eine synonyme Bezeichnung für CEV ist CE. Zur Berechnung eines Kohlenstoffäquivalent-Werts muss der auf dem Prüfzertifikat für das Blech angegebene Legierungsgehalt verwendet werden. Alle Legierungselemente werden in den nachstehenden Formeln in Gewichtsprozent angegeben.

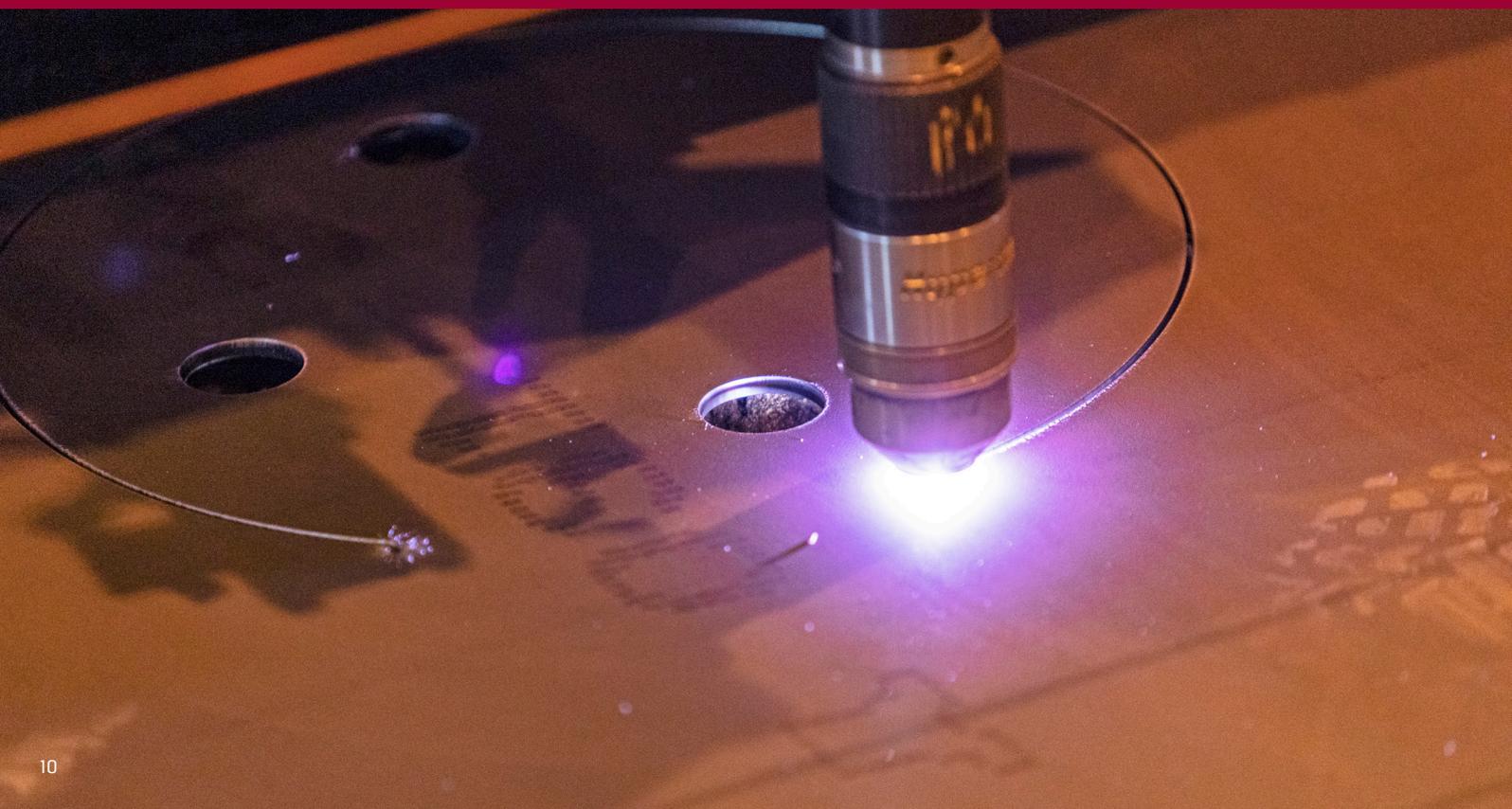
$$\text{CET} = \text{C} + (\text{Mn} + \text{Mo}) / 10 + (\text{Cr} + \text{Cu}) 20 + \text{Ni} / 40 [\%]$$

Formel 4.1

$$\text{CEV} = \text{C} + (\text{Cr} + \text{Mo} + \text{V}) / 5 + \text{Mn} / 6 + (\text{Ni} + \text{Cu}) / 15 [\%]$$

Formel 4.2

Die Berechnung eines Kohlenstoffäquivalents ist ein Mittel, um zu bestimmen, ob und in welchem Umfang Vorwärmen erforderlich ist, um Wasserstoffrisse zu vermeiden. Die Methoden zur Bestimmung der Vorwärmtemperatur sind in diesem Zusammenhang die CET-Methode und die CEV-Methode, die sich auf die jeweiligen Kohlenstoffäquivalente beziehen. Diese beiden Methoden sind in der europäischen Norm EN 1011-2 beschrieben.



Zugspannungen durch das Schneiden

Der Schneidvorgang verursacht eine uneinheitliche Wärmebehandlung der Schnittkante und ihrer Umgebung. So nehmen zum Beispiel die Spitzentemperaturen im Stahl mit zunehmendem Abstand von der Schnittkante ab. Diese uneinheitliche Wärmebehandlung führt dazu, dass die mechanischen Eigenschaften in der WEZ variieren. Thermische Schneidverfahren verursachen immer Zugspannungen im Schneidbereich und seiner Umgebung. Das thermische Schneiden von Hardox® Verschleißblech führt zu einer WEZ, die in zwei Zonen unterteilt werden kann, eine erneut gehärtete und eine angelassene Zone.

Der äußere Bereich der WEZ, der sich etwa 1 bis 2 mm von der Schnittkante befindet, ist beim Schneidvorgang auf über 900 °C erhitzt worden. Nach dem Durchgang des Schneidbrenners verbreitet sich die Wärme schnell im Blech, wodurch sich das Material in Zone 1 so rasch abkühlt, dass das Material erneut gehärtet wird.

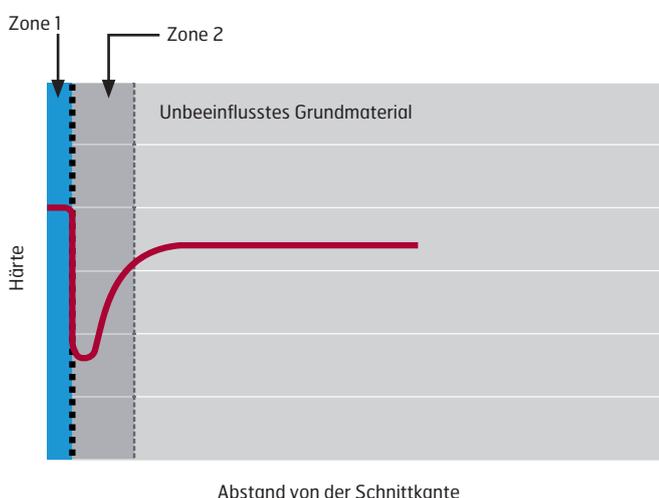
Die Härte in dieser Zone ist höher als in anderen Teilen der WEZ und des unbeeinflussten Grundmaterials.

Die Zone 2 zwischen Zone 1 und dem Grundmaterial wird beim Schneiden auf Temperaturen unter 900 °C erwärmt. Die Härtewerte in dieser Zone variieren je nach Stahlgüte und Schneidleistung. Das Material in dieser Zone wird durch die Wärme aus dem Schneidvorgang angelassen.

Während des Abkühlens tendiert Zone 1 zu einer Ausdehnung in Dickenrichtung, während Zone 2 nicht betroffen ist oder sogar schrumpft. Dies führt zur Bildung von Zugeigenspannungen in Dickenrichtung in Zone 2. In dieser Zone mit hohen Zugspannungen werden die Wasserstoffrisse initiiert. Tendenziell nehmen die Spannungsniveaus bei größeren Blechdicken zu.

Abb. 5 zeigt schematisch die verschiedenen Zonen der WEZ für thermisch geschnittenes Hardox® 450.

Abb. 5: Schematische Härteprofile in der WEZ nach dem thermischen Schneiden von Hardox® 450.



Zugspannungen aufgrund des Gesamtspannungsfeldes

Das Härten von Verschleißblech führt zu Eigenspannungen. Wenn Werkstücke mit scharfen Ecken geschnitten werden, konzentrieren sich die Eigenspannungen aus der Fertigung in diesen Bereichen. Diese konzentrierten Spannungen können hoch genug sein, um Wasserstoffrisse zu initiieren. Deshalb erhöhen scharfe Ecken das Risiko von Rissen an der Schnittkante. Dies gilt sowohl für thermische Schneidverfahren als auch für Kaltschneidverfahren wie Abrasivwasserstrahlschneiden. Folgende Maßnahmen verringern das Rissrisiko (siehe Abb. 6):

1. Nach Möglichkeit scharfe, nach innen weisende Ecken vermeiden.
2. Nach Möglichkeit glatte kontinuierliche Geometrien verwenden.
3. Wenn scharfe Ecken nicht vermieden werden können, nach Möglichkeit kreisförmige Schleifen um nach außen weisende Ecken ausführen.
4. Wenn der Schneidvorgang unterbrochen werden muss (z. B. über Nacht), einen sauberen Trennschnitt vornehmen, um scharfe Kanten am Reststück zu entfernen.

Mit Ausnahme von Hardox® HiTuf und Hardox® HiTemp sind alle Hardox® Güten empfindlich für Risse an der Schnittkante bei scharfen Geometrien.

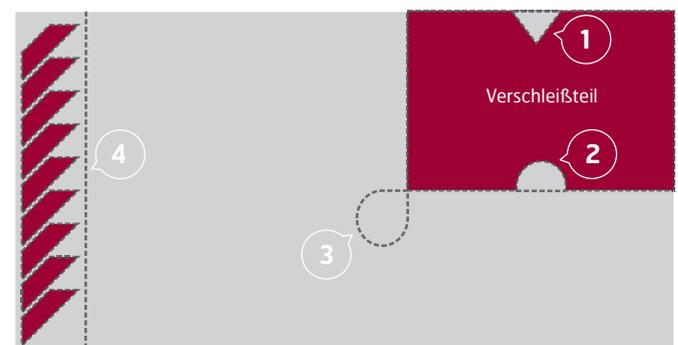


Abb. 6: Ein geeignetes Vorgehen zum Schneiden von Ecken. Berücksichtigen Sie, dass die Schnittgeschwindigkeit am Übergang, an dem sich der Schneidpfad überschneidet, in der Regel reduziert wird, um einen stabilen Schneidvorgang zu erzielen.

WASSERSTOFF

Risse beim Schneiden sind eng mit Wasserstoff verbunden. Diese Risse treten mit zeitlicher Verzögerung nach dem Schneiden auf. So lange das Blech warm ist, um 200 °C, reißt es nicht. Wenn die Temperatur unter 200 °C sinkt, können die Risse mit einer zeitlichen Verzögerung auftreten. Wenn Risse auftreten, treten sie mehrere Stunden nach dem Schneiden auf.

Der Prozess der Rissbildung ist in der Regel nach zwei Tagen abgeschlossen. Die Rissinitiation kann im schlimmsten Falle mehrere Wochen lang dauern. Der Wasserstoff ist im Stahlblech gelöst. Je geringer der Wasserstoffgehalt, desto weniger rissempfindlich ist das Stahlblech. Wenn das Blech wasserstofffrei ist, treten keine Risse durch das Schneiden auf. Wie genau Wasserstoff Rissbildung verursacht, ist bis heute unbekannt.

Beim Schneiden mit erhöhter Arbeitstemperatur ist die Schnittkante für eine relativ lange Zeit nach dem Schneiden warm. Je wärmer der Stahl ist, desto schneller diffundiert Wasserstoff aus der Schnittfläche. Bei Temperaturen unter 100 °C ist die Wasserstoffdiffusion so langsam, dass sie ohne Bedeutung ist. Wenn der Stahl für viele Stunden über 100 °C bleibt, wird Wasserstoff aus der Schnittfläche verdrängt, was das Risiko für Rissbildung verringert.



MASS- NAHMEN ZUR VERMEIDUNG VON WASSER- STOFFRISSEN

Um Rissbildung an Schnittkanten zu vermeiden, müssen sowohl der Wasserstoffgehalt als auch die Zugspannungen in der WEZ so niedrig wie möglich gehalten werden.

Dies kann durch folgende Maßnahmen erreicht werden.

1. Vorwärmen des Bleches
2. Nachwärmen
3. Verringerung der Schnittgeschwindigkeit (autogen)
4. Eine Kombination aus Vorwärmen, Nachwärmen und verringerter Schnittgeschwindigkeit sowie eines verlängerten Abkühlvorgangs der WEZ

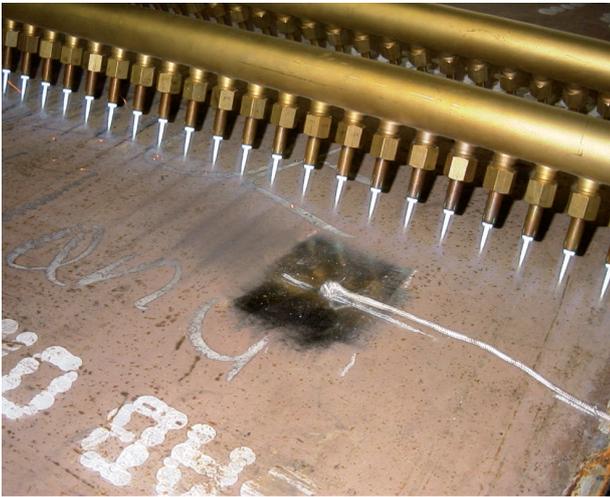


Abb. 7: Vorwärm Brenner.

VORWÄRMEN

Eine Methode zur Vermeidung von Wasserstoffrisen beim Schneiden ist das Vorwärmen des Materials. Die Wärme sorgt dafür, dass mehr Wasserstoff aus der Schnittkante diffundiert, und sie reduziert die Abkühlgeschwindigkeit der Schnittkante, was die eingebrachten Zugspannungen reduziert.

Vorwärmen empfiehlt sich vor allem bei autogenem Brennschneiden und Plasmaschneiden mit Sauerstoff als Plasmagas. Bei allen Laserschneid-Verfahren sowie Plasmaschneiden mit Stickstoff ist Vorwärmen aufgrund der nachteiligen Auswirkungen auf die Schnittkantenqualität nicht zu empfehlen.

Je nach Situation können beide Seiten des Bleches oder das gesamte Blech vorgewärmt werden. Die üblichen Verfahren zum Vorwärmen des Bleches sind:

- ▶ Wärmeofen
- ▶ Vorwärm Brenner
- ▶ Elektrische Vorwärm matten

Das Vorwärmen im Wärmeofen ist die beste Methode zum Vorwärmen des Bleches, da so eine gleichmäßige Temperatur des gesamten Bleches erreicht wird.

Zum Vorwärmen von Hardox® Verschleißblech können auch Vorwärm Brenner verwendet werden, siehe Abb. 7. Wichtig ist, dass die Brenner in Bewegung sind, so dass die Temperatur des Verschleißbleches nicht die maximale Vorwärmtemperatur übersteigt.

Messen Sie zudem die Vorwärmtemperatur an der gegenüberliegenden Seite von der Stelle, an der das Vorwärmen erfolgt. Elektrische Vorwärm matten sind eine langsame Vorwärm methode. Um das Blech auf 150 bis 200 °C zu erwärmen, empfiehlt sich ein Vorwärmen über Nacht, um am folgenden Morgen mit dem Schneiden zu beginnen.

Die Vorwärmempfehlungen für autogenes Brennschneiden sind in Tabelle 6 zu finden.

Tabelle 6: Vorwärmtemperaturen für autogenes Brennschneiden der Hardox® Güten.

Güte	Blechdicke, mm	Mindestvorwärmtemperatur, °C	Maximale Vorwärmtemperatur, °C
Hardox® HiAce	< 40	Kein Vorwärmen	225
	40–49,9	100	
	50–69,9	150	
	≥ 70	175	
Hardox® HiTemp	5–51	Kein Vorwärmen	500
Hardox® HiTuf	< 90	Kein Vorwärmen	300
	≥ 90	100	
Hardox® 400	< 45	Kein Vorwärmen	225
	45–59,9	100	
	60–80	150	
	> 80	175	
Hardox® 450	< 40	Kein Vorwärmen	225
	40–49,9	100	
	50–69,9	150	
	≥ 70	175	
Hardox® 500 Tuf	4–25,4	Kein Vorwärmen	
Hardox® 500	< 25	Kein Vorwärmen	225
	25–49,9	100	
	50–59,9	150	
	≥ 60	175	
Hardox® 550	< 20	Kein Vorwärmen	200
	20–51	150	
	> 51	175	
Hardox® 600	< 12	Kein Vorwärmen	180
	12–65	170	
Hardox® Extreme*	8–19	100	100

*SSAB empfiehlt Abrasivwasserstrahlschneiden. Wenn nur autogenes Brennschneiden möglich ist, befolgen Sie die Empfehlungen in Tabelle 6.

NACHWÄRMEN

Nachwärmen ist eine zuverlässige Methode, um Rissbildung an Schnittkanten zu vermeiden. Dies kann entweder in einem Ofen oder mit Brennern erfolgen. Wichtig ist, das Nachwärmen möglichst bald nach Beenden des Schneidvorgangs vorzunehmen. Der Zeitraum zwischen dem Beginn des Schneidvorgangs und dem Beginn des Nachwärmens sollte so kurz wie möglich sein und niemals 60 Minuten übersteigen.

Wenn ein Ofen genutzt wird, darf die Temperatur nicht die in Tabelle 6 angegebene zulässige Höchsttemperatur übersteigen und das Blech muss im Ofen bleiben, bis es diese Temperatur erreicht. Je nach Dicke des Bleches variiert die Haltezeit, doch als Faustregel sollte die Nachwärmzeit mindestens 5 Minuten pro mm Blechdicke betragen (d. h. 50 Minuten für ein 10 mm dickes Blech). Nachwärmen in einem Ofen ermöglicht mehr Wasserstoffmigration aus der WEZ sowie eine geringfügige Reduzierung der Zugspannungen in der WEZ.

Bei Verwendung von Brennern (Abb. 9) ist es wichtig, nicht zu überhitzen. Die Temperatur der Schnittkante darf 700 °C

nicht überschreiten und sollte am besten 300 bis 500 °C betragen. Normalerweise wird das Nachwärmen mit Brennern manuell ausgeführt und hierbei ist es wichtig zu wissen, wie die Temperatur kontrolliert wird. Hierfür sehen Sie auf die Farbe der Schnittkante am Brenner. Diese sollte gerade anfangen zu glühen (sehr dunkles Rot).

Wenn die Farbe hellkirschrot oder dunkelorange ist, ist die Temperatur zu hoch und das Nachwärmen wird zu keinem Erfolg führen, siehe Abb. 8.

Es ist auch möglich, die Temperatur mit einem Infrarot-Thermometer zu überwachen, das direkt auf die Schnittkante an der Flamme gerichtet ist (Abb. 10).

Die Wärme vom Brenner lässt die erneut gehärtete Zone der WEZ an, wodurch die Zugspannungen an der Schnittkante reduziert werden. Der verwendete Brenner sollte eine recht große Flamme mit geringer Intensität haben. Auf diese Weise kann die Wärme weiter ins Material gelangen, ohne es zu stark zu erwärmen.

Abb. 8: Farbe der Schnittkante hinter dem Nachwärbrenner.



Abb. 9: Manuelles Nachwärmen.



Abb. 10: Temperaturmessung während des Nachwärmens.



VERRINGERUNG DER SCHNITTGESCHWINDIGKEIT

Die Verringerung der Schnittgeschwindigkeit ist eine praktische Methode, um das Risiko der Rissbildung während des autogenen Brennschneidens zu reduzieren. Wenn die Schnittgeschwindigkeit verringert wird, erwärmt sich das Material an der Schneidfront und die Wärmeeinflusszone wird breiter. Dies beeinflusst die Eigenspannungen so, dass das Risiko einer Rissbildung an der Schnittkante verringert wird. Denken Sie daran, dass eine Verringerung der Schnittgeschwindigkeit nicht so zuverlässig ist wie Vorwärmen oder Nachwärmen. Es sollte nur als Ersatz verwendet werden, etwa wenn es in der Werkstatt keine geeignete Vor-/Nachwärmausrüstung gibt.

SSAB empfiehlt ausdrücklich das Vorwärmen anstelle einer Verringerung der Schnittgeschwindigkeit. SSAB übernimmt keine Garantie, dass beim Schneiden mit verringerter Schnittgeschwindigkeit keine Risse auftreten. Das Risiko solcher Risse wird jedoch im Vergleich zum Schneiden kalter Bleche mit normaler Geschwindigkeit reduziert.

Die verringerte Schnittgeschwindigkeit darf die in der Tabelle 7 angegebenen Werte nicht übersteigen, weil sonst das Rissrisiko überhaupt nicht reduziert wird.

Verwenden Sie keine zu großen Düsen. Verwenden Sie daher eine 25–50 mm Düse anstelle einer 50–100 mm Düse für ein 50 mm dickes Hardox® Blech. Um eine gute Schnittkantenqualität zu erzielen, muss der Schneidsauerstoffdruck reduziert werden. Wie stark der Schneidsauerstoffdruck reduziert werden muss, hängt von Typ und Größe der Düse ab. Nehmen Sie zum Einstellen des Schneidsauerstoffdrucks immer einen Probeschnitt vor, bis eine gute Schnittkantenqualität erreicht ist.

Achten Sie darauf, dass das Hardox® Verschleißblech vor dem Schneiden so warm wie möglich ist. Lagern Sie das Blech zum Beispiel im Winter vor dem Schneiden einige Zeit in der Werkstatt.

Die Verringerung der Schnittgeschwindigkeit ist für das Plasmaschneiden nicht geeignet.

Tabelle 7: Maximale Schnittgeschwindigkeit (mm/min) für autogenes Brennschneiden ohne Vorwärmen. Langsames Schneiden ist allein keine ausreichende Methode, um Rissbildung bei Hardox® Extreme entgegenzuwirken. Wenn autogenes Brennschneiden die einzige mögliche Methode ist, verwenden Sie Vorwärmen zusammen mit Nachwärmen mit Brenner.

Max. Blechdicke, mm	Hardox® HiTemp	Hardox® HiTuf	Hardox® 400	Hardox® 450	Hardox® 500	Hardox® 550	Hardox® 600	Hardox® Extreme
12	keine Begrenzung	**						
15	keine Begrenzung	300	**					
20	keine Begrenzung	200	**					
25	keine Begrenzung	keine Begrenzung	keine Begrenzung	keine Begrenzung	300	270	180	
30	keine Begrenzung	keine Begrenzung	keine Begrenzung	keine Begrenzung	250	230	150	
35	keine Begrenzung	keine Begrenzung	keine Begrenzung	keine Begrenzung	230	190	140	
40	keine Begrenzung	keine Begrenzung	keine Begrenzung	230	200	160	130	
45	keine Begrenzung	230	230	200	170	140	120	
50	keine Begrenzung	210	210	180	150	130	110	
60		200	200	170	140	*	*	
70		190	190	160	135	*	*	
80		180	180	150	130			
>80		*	*	*	*			

*Nur Vorwärmen ist geeignet. **SSAB empfiehlt Abrasivwasserstrahlschneiden.

LANGSAMES ABKÜHLEN

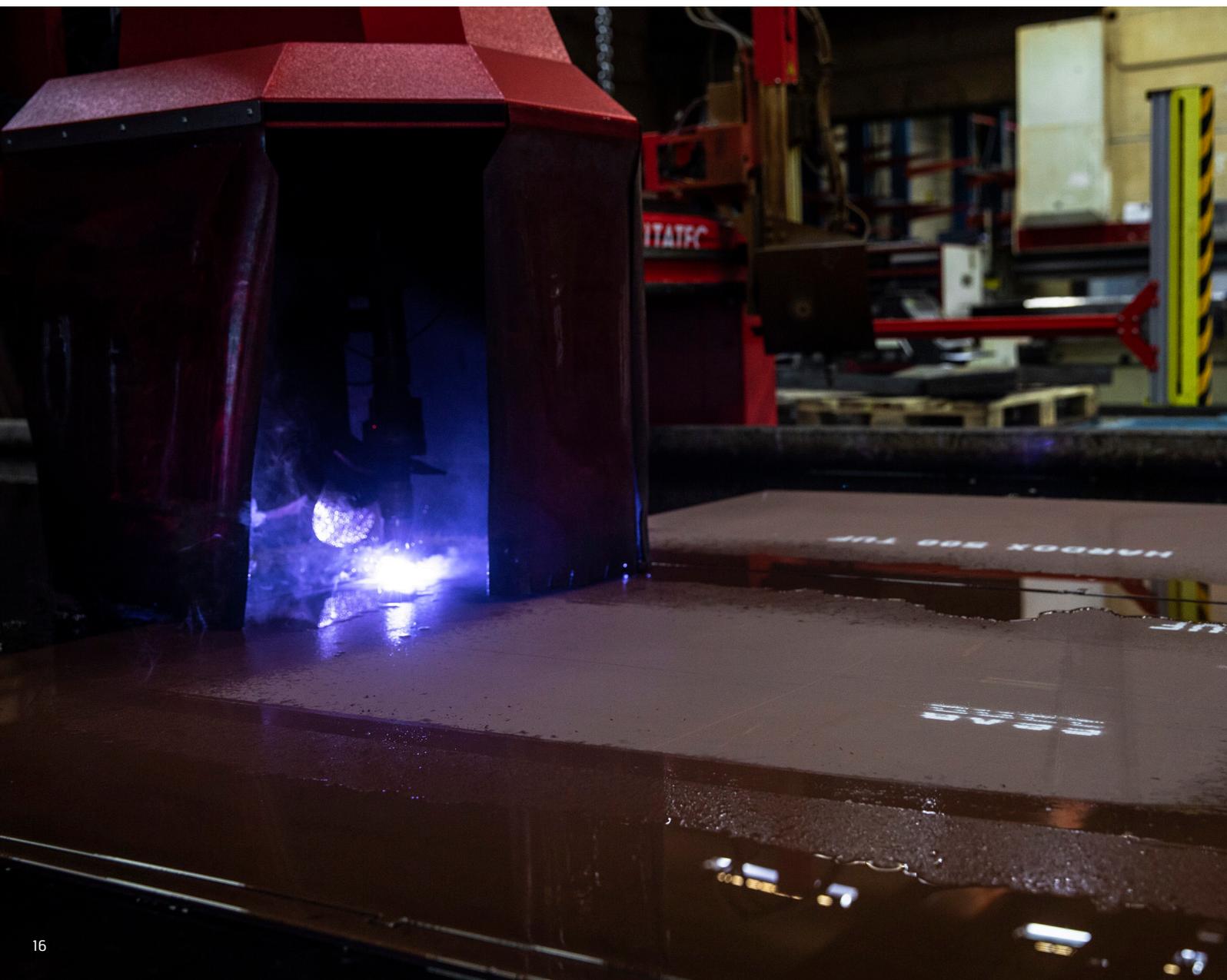
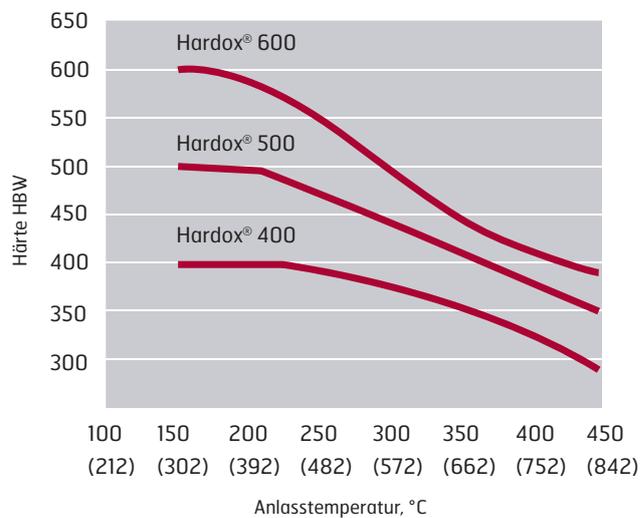
Ungeachtet dessen, ob vorgewärmt wurde oder nicht, verringert ein langsames Abkühlen das Risiko von Rissbildung an der Schnittkante. Ein langsames Abkühlen lässt sich erzielen, indem die Teile in noch warmem Zustand nach dem Schneiden aufgeschichtet und mit einer Isolierdecke abgedeckt werden. Dann lassen Sie die Teile langsam auf Zimmertemperatur abkühlen.



ENTFESTIGUNG

Die Beständigkeit eines Stahls gegen thermisch bedingte Entfestigung ist von seiner Legierung, seinem Mikrogefüge und seinem Herstellungsprozess abhängig. Je kleiner das thermisch zu schneidende Teil ist, desto größer ist das Risiko, dass die gesamte Komponente entfestigt. Falls die Temperatur des Stahls zu hoch wird, verringert sich die Härte des Stahls, siehe Abb. 11. (Die maximal zulässige Temperatur finden Sie in Tabelle 6.)

Abb. 11: Oberflächenhärte bezogen auf Anlasstemperatur.



ENTFESTIGUNGSRIKIRO VERRINGERN

Schneidverfahren

Wenn kleine Teile geschnitten werden, führt die vom Schneidbrenner und durch die Vorwärmung zugeführte Energie zur Erwärmung des Werkstückes. Je kleiner das geschnittene Teil ist, desto größer ist das Entfestigungsrisiko. Beim autogenen Brennschneiden von Blech mit einer Dicke von 30 mm oder mehr gilt als Faustregel, dass ein Härteverlust-Risiko der gesamten Komponente besteht, wenn der Abstand zwischen zwei Schnitten weniger als 200 mm beträgt. Für Dicken unter 30 mm ist es möglich, kleinere Teile ohne Härteverlust zu schneiden. Ein praktischer Weg, um zu bestimmen, ob das Teil zu klein ist, ist die Messung der Bauteiltemperatur direkt nach dem Schneidvorgang. Die zulässige Höchsttemperatur ist in Tabelle 6 zu finden.

Die beste Maßnahme zur Vermeidung von Härteverlust ist die Anwendung von Kaltschneidverfahren wie Abrasivwasserstrahlschneiden. Wenn thermisches Schneiden durchgeführt werden muss, ist Laser- oder Plasmaschneiden gegenüber autogenem Brennschneiden vorzuziehen. Der Grund dafür ist, dass beim autogenen Brennschneiden dem Werkstück mehr Wärme zugeführt wird als beim Plasma- oder Laserschneiden.

Unterwasserschneiden

Eine effektive Methode zur Begrenzung und Verringerung der Größe der Wärmeeinflusszone ist die Kühlung des Blechs und der Schnittflächen beim Schneiden mit Wasser. Dies kann bewerkstelligt werden, indem man das Blech in Wasser taucht (Abb. 12) oder indem man beim Schneiden und danach Wasser auf die geschnittene Komponente sprüht.

Auch wenn das Schneiden durch Eintauchen oder Besprühen des Werkstücks mit Wasser während und nach dem Schneiden ausgeführt wird, tritt immer noch eine weiche Zone an der Schnittkante in einem Abstand von etwa 5 bis 10 mm auf.

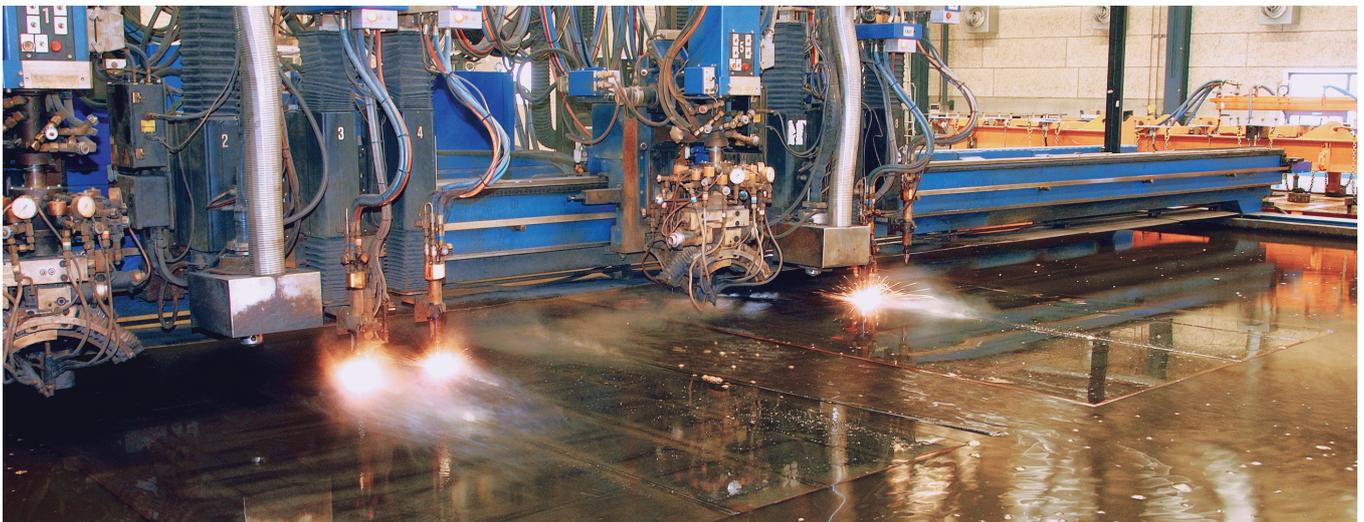
Das Wasser wird durch die Zündflame und den Sauerstoff-Schneidstrahl verdrängt, sodass das Wasser nicht die Schnittfront kühlen kann. Wenn das Wasser schließlich ankommt, ist die Schnittkante bereits entfestigt. Andererseits schützt die Wasserkühlung vor einem Härteverlust des gesamten Bauteils.

Unterwasserschneiden kann sowohl beim Plasmaschneiden als auch beim autogenen Brennschneiden vorgenommen werden. Einige Vorteile des Unterwasserschneidens sind:

- ▶ Verhindert Härteverlust der gesamten Komponente
- ▶ Geringerer Verzug der geschnittenen Teile
- ▶ Die Teile werden unmittelbar nach dem Schneiden gekühlt
- ▶ Keine Dämpfe und kein Staub
- ▶ Verringerter Lärmpegel

Da ein Vorwärmen beim Unterwasserschneiden nicht möglich ist, sind Nachwärmen und Verringerung der Schnittgeschwindigkeit die einzigen Maßnahmen, um dem Risiko einer wasserstoffbedingten Rissbildung entgegenzuwirken. Wenn kleine Teile durch autogenes Brennschneiden aus dickem Hardox® Verschleißblech geschnitten werden, besteht die Gefahr des Härteverlustes und der Rissbildung an der Schnittkante. Dies lässt sich am besten durch Unterwasserschneiden bei niedrigen Schnittgeschwindigkeiten oder mit einer nachträglichen Wärmebehandlung der geschnittenen Teile verhindern. Das Nachwärmen kann mit einem Brenner oder in einem Ofen erfolgen.

Abb. 12: Unterwasserschneiden.



PRAKTISCHE TIPPS

HANDHABUNG DER BLECHE

Achten Sie beim Lagern von Hardox® 550, Hardox® 600 und Hardox® Extreme darauf, dass die Bleche nicht einer Dreipunktbiegung ausgesetzt sind. Dies kann auftreten, wenn die Auflagehölzer zwischen den Blechstapeln nicht genau übereinanderliegen.



Abb. 13a: Ordentlich gestapelte Bleche.



Abb. 13b: Unsachmäßig gestapelte Bleche.

Legen Sie niemals ein Blech mit scharfen Ecken aus dem Schneidprozess zurück auf den Stapel, weil an diesen Ecken erhöhte Spannungen auftreten, die eine verzögerte Rissbildung im Blech verursachen können. Nehmen Sie immer einen sauberen Trennschnitt vor, um solche scharfen Ecken zu entfernen, bevor Sie das Blech zurück auf den Stapel legen. Dies gilt für alle Schneidverfahren – Thermisches Schneiden und Kaltschneidverfahren wie Abrasivwasserstrahlschneiden. Hardox® 550, Hardox® 600 und Hardox® Extreme sind in diesem Zusammenhang besonders empfindlich.

VORWÄRMEN UND NACHWÄRMEN

Eine sehr einfache und kostengünstige Lösung zum Vorwärmen ist die Verwendung von elektrischen Heizelementen und Isolierdecken (Rockwool oder Ähnliches).

Improvisierte Lösung zum Vorwärmen



1. Legen Sie Hitzeschutz auf den Boden (wenn dieser hitzeempfindlich ist).



2. Legen Sie Auflagen für das Blech darauf (in diesem Fall U-Profile).



3. Abdeckung mit Isoliermaterial.



4. Legen Sie elektrische Heizkissen darauf.



5. Legen Sie das Blech darauf und Thermoelemente darüber, die die Temperatur mit der Zeit aufzeichnen.



6. Decken Sie alles mit Isoliermaterial ab.

Eine weitere kostengünstige und praktische Lösung ist der Bau eines Wärmebehandlungskastens und die Verwendung einer Elektroheizung.



Dies kann sehr einfach für Vorwärmen, Nachwärmen und langsames Abkühlen verwendet werden.

SSAB ist ein in Nordeuropa und den USA ansässiges Stahlunternehmen. SSAB bietet Produkte und Dienstleistungen mit Mehrwert an, die in enger Zusammenarbeit mit seinen Kunden entwickelt wurden – damit die Welt stärker, leichter und nachhaltiger wird. SSAB beschäftigt Mitarbeiter in über 50 Ländern. SSAB verfügt über Produktionsstätten in Schweden, Finnland und in den USA. SSAB ist an der Nasdaq Nordic Exchange Stockholm notiert und an der Nasdaq Helsinki zweitnotiert. www.ssab.com.

Erkunden Sie die Welt von Hardox® Verschleißblech



SSAB
SE-613 80 Oxelösund
Schweden

T+46 155 25 40 00
F+46 155 25 40 73
contact@ssab.com

hardox.com

Hardox® ist ein Warenzeichen der SSAB Unternehmensgruppe. Alle Rechte vorbehalten. Die Informationen in dieser Broschüre dienen ausschließlich einer allgemeinen Information. SSAB AB übernimmt keine Haftung für die Eignung oder Zweckmäßigkeit für bestimmte Anwendungen. Es obliegt dem Benutzer, selbstständig die Eignung für alle Produkte oder Anwendungsbereiche zu ermitteln sowie diese zu testen und zu überprüfen. Die von SSAB AB im Folgenden bereitgestellten Informationen sind ohne Mängelgewähr und die mit diesen Informationen verbundenen Risiken obliegen dem Benutzer.

Copyright © 2023 SSAB AB. Alle Rechte sind vorbehalten.

SSAB