

Verschleißfeste Stähle XAR[®]
Verarbeitungsempfehlungen
XAR[®] wear-resistant steels
Processing recommendations

ThyssenKrupp Steel Europe
Thinking the future of steel



Verschleißfeste Sonderbaustähle XAR®

ThyssenKrupp
high hard

XAR®

Verschleißfest, hart und widerstandsfähig

Verschleiß kostet Geld, manchmal viel Geld. In vielen Konstruktionen, wie z. B. LKW-Mulden, Transport- und Zerkleinerungsanlagen, Schrottpressen oder Abbau- und Erdbewegungsmaschinen, tritt eine schleifende und stoßende Beanspruchung, oft in nasser Umgebung und damit im Zusammenhang mit einem korrosiven Angriff, auf. Der resultierende Verschleiß, d. h. der Materialabtrag aus der Oberfläche, ist ein bedeutender Kostenfaktor. Die ThyssenKrupp Steel Europe AG hat Sonderbaustähle entwickelt, die einen hohen Verschleißwiderstand aufweisen. Wichtig für den Verschleißwiderstand ist vor allem die Härte des Stahles. Je höher die Härte, desto größer ist im Allgemeinen auch der Verschleißwiderstand. Verschleißbeständige Sonderbaustähle sind i. d. R. gehärtet oder vergütet und weisen ein feines martensitisches oder martensitisch-bainitisches Gefüge auf. Sie werden bei ThyssenKrupp Steel Europe in Dicken bis 100 mm im Grobblech-Zentrum Duisburg-Süd gefertigt.

Die gebräuchlichsten Verschleißstahlgüten sind der **XAR® 400**, mit dem bei einer Härte von 400 Brinell rund die fünffache Lebensdauer von konventionellem Baustahl erreicht werden kann, sowie der **XAR® 450**, welcher mit 450 Brinell noch längere Standzeiten ermöglicht (**Abb. 1**).

Der warmfeste Stahl **XAR® 400 W** zeichnet sich durch seine Verschleißbeständigkeit bei hohen Temperaturen aus und erweitert somit das Anwendungsspektrum der Grundgüte XAR® 400.

Für Konstruktionen, die einer niedrigen oder mittleren Verschleißbeanspruchung unterliegen, steht der normalisierte Sonderbaustahl **XAR® 300** zur Verfügung.



Entzunderungs- und Farbspritzanlage
Descaling and priming facility

Höchste Verschleißbeständigkeit zeichnen die Güte **XAR® 500** und die speziell auf abrasiven Verschleiß ausgelegte Güte **XAR® 600** aus.

Mit einem Härtespektrum von 300 bis 600 Brinell hält ThyssenKrupp Steel Europe somit für jede Verschleißbeanspruchung die passende Lösung bereit.

Die XAR®-Stähle sind in unseren Werkstoffblättern ausführlich beschrieben. Weitere Einzelheiten befinden sich auf unserer Internetseite und der Kunden-CD „Sonderbaustähle“.

Für die gehärteten oder vergüteten XAR®-Stähle ist zur Einstellung der hohen Härte ein bestimmter Mindestgehalt an Kohlenstoff

Inhalt

2	Verschleißfeste Sonderbaustähle XAR®
6	Umformen
10	Zerspanen
12	Thermisches Trennen
16	Schweißen
22	Verschleißschutz bei lokal extremer Beanspruchung
24	Anwendung
26	Ausblick
28	Schrifttum
30	Ihre Gesprächspartner / Allgemeiner Hinweis

Wear-Resistant Special Structural Steels XAR®

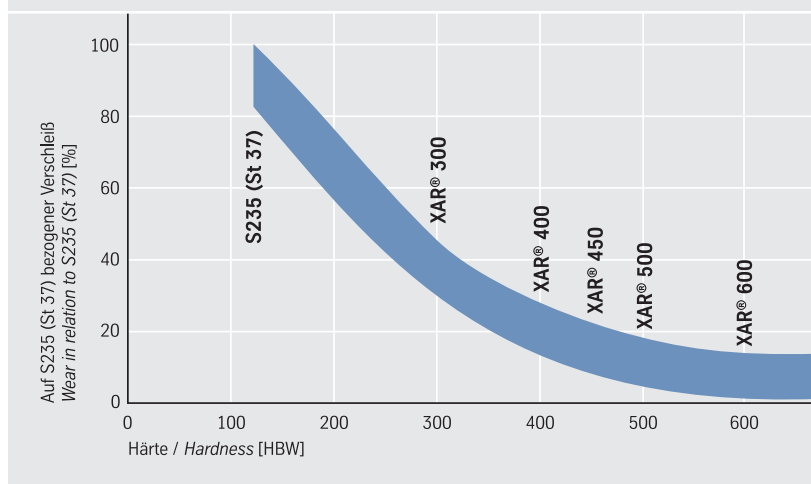
Wear-resistant, hard and robust

Wear costs money, sometimes a lot of money. Many structures, such as truck dump bodies, materials-handling and crushing equipment, scrap presses, or quarrying and earthmoving machinery, are exposed to abrasive and impact wear, often in a wet environment and consequently in combination with corrosive attack. The resulting wear, i. e. removal of surface material, is a significant cost factor. For this purpose, or rather to counteract this, ThyssenKrupp Steel Europe AG has developed special structural steels that have a high wear resistance. The hardness of the steel is of prime importance for the wear resistance. The higher the hardness is, the greater is also the wear resistance in general. Wear-resistant special structural steels are usually quenched, or quenched and tempered, and have a fine martensitic or martensitic-bainitic microstructure. ThyssenKrupp Steel Europe produces them in thicknesses up to 100 mm at the heavy plate center in south Duisburg.

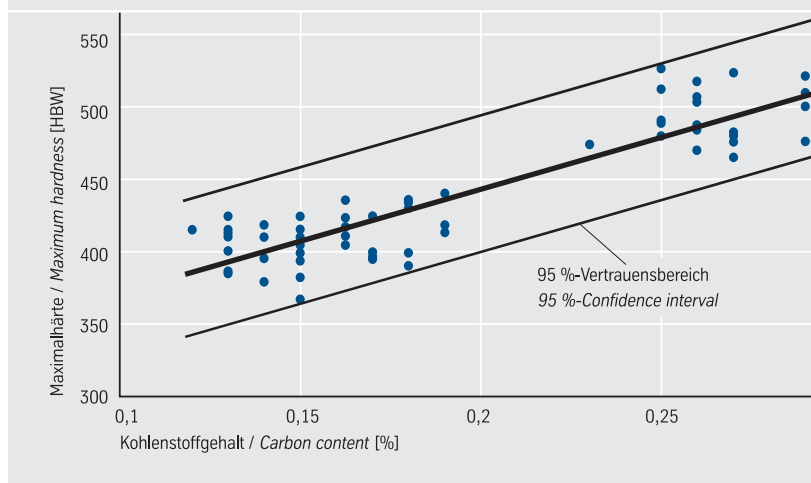
The most commonly used wear steel grades are **XAR® 400** which – with a hardness value of 400 Brinell – has a service life around five times longer than that of conventional structural steel, and **XAR® 450**, which enables even greater durability with a hardness value of 450 Brinell (Fig. 1).

The heat-resistant steel **XAR® 400 W** offers increased wear resistance at high temperatures, supplementing the range of applications for the basic XAR® 400 grade.

1. Strahlverschleiß in Abhängigkeit von der Härte (Ermüdungverschleiß) Solid-particle erosion as a function of hardness (fatigue wear)



2. Einfluss des Kohlenstoffgehaltes auf die Maximalhärte Influence of the carbon content on maximum hardness



The normalized special structural steel **XAR® 300** is available for structures exposed to low or moderate levels of wear.

Very high wear resistance is offered by the grades **XAR® 500** and **XAR® 600** – which is specially designed for abrasive wear.

With a hardness spectrum extending from 300 to 600 Brinell, ThyssenKrupp Steel Europe thus has a suitable solution for all wear applications.

Contents

- 3 Wear-Resistant Special Structural Steels XAR®
- 7 Forming
- 11 Machining
- 13 Thermal Cutting
- 17 Welding
- 23 Protection Against Extreme Local Wear Exposure
- 25 Application
- 27 Prospects
- 29 Literature
- 30 Please contacts / General note

3. Chemische Zusammensetzung Chemical composition

Stahlsorte Steel grade	Lieferzustand Delivery condition	Schmelzenanalyse / Heat analysis [%]							
		C max.	Si max.	Mn max.	Cr max.	Mo max.	Ni max.	B max.	typ. CET [%] *)
XAR® 300	N	0,22	0,65	1,50	1,20	0,30	–	0,005	0,36 – 0,44
XAR® 400	Q (+ T)	0,20	0,80	1,50	1,00	0,50	–	0,005	0,26 – 0,40
XAR® 400 W	Q (+ T)	0,26	0,80	1,30	1,20	0,60	–	0,005	0,38 – 0,44
XAR® 450	Q (+ T)	0,22	0,80	1,50	1,30	0,50	–	0,005	0,27 – 0,44
XAR® 500	Q (+ T)	0,28	0,80	1,50	1,00	0,50	1,50	0,005	0,38 – 0,50
XAR® 600	Q (+ T)	0,40	0,80	1,50	1,50	0,50	1,50	0,005	0,51 – 0,57

$CET = C + (Mn + Mo) / 10 + (Cr + Cu) / 20 + Ni / 40$

*) je nach Blechdicke / as a function of plate thickness

N = normalisiert / normalized

Q = gehärtet / quenched

T = angelassen / tempered

unverzichtbar. Denn für die Maximalhärte im Stahl gilt eine proportionale Beziehung zum Kohlenstoffgehalt (Abb. 2). So muss z. B. ein Stahl mit 400 HBW mittlerer Härte mit rund 0,14 % C legiert werden. Gleichzeitig wird durch Zulegieren von Molybdän, Nickel und Bor ein über die Dicke gleichbleibendes Eigenschaftsprofil sichergestellt. Wichtig für das Verschleißverhalten ist, dass die XAR®-Stähle mit zunehmender Blechdicke und Härte bis zu 1,5 % Cr enthalten. Bei Verschleißuntersuchungen hat sich Cr insbesondere für die Verschleißfestigkeit in schwach sauren Medien als sehr wirksam erwiesen. Das konnte durch umfangreiche Testreihen am Institut für Tribologie der Fachhochschule Mannheim bestätigt werden.

Der normalisierend gewalzte verschleißfeste Sonderbaustahl XAR® 300 ist im Werkstoffblatt 760 beschrieben. Er weist in Dicken von 6 bis 50 mm Härten von 270 bis 340 HBW auf. Er ist besonders für eine Warmformgebung geeignet.

Abb. 3 gibt einen Überblick über die chemische Zusammensetzung, den Lieferzustand, den Blechdickenbereich und die typischen Kohlenstoffäquivalente der XAR®-Stähle. Ergänzend zeigt Abb. 4 die in den Stählen

erreichten Härten, die auch wesentliche Grundlagen ihrer Namensgebung sind und deren typischen Streubereich.

Die verschleißfesten Sonderbaustähle XAR® sind High-Tech-Werkstoffe. Die optimale Kombination von gleichmäßiger und hoher Härte und guter Zähigkeit bei niedrigem Legierungsaufwand machen diese Stähle zum idealen Werkstoff für eine Vielzahl von Anwendungsbereichen.

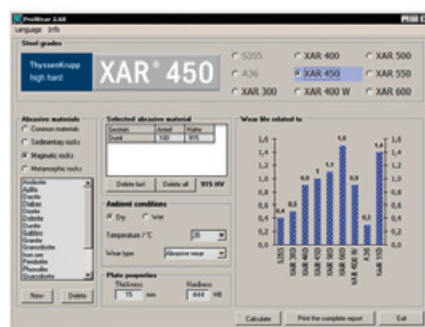
Eine gezielte und werkstoffkundlich fundierte Vorausberechnung des Verschleißverhaltens sowie der Lebensdauer von XAR®-Stählen ermöglicht das neu entwickelte Softwarepaket „ProWear“. „ProWear“ basiert auf der über 30-jährigen Erfahrung der ThyssenKrupp Steel Europe AG auf dem Sektor der Verschleißstähle. Einflussgrößen

sind neben der Härte des Verschleißstahls auch seine chemische Zusammensetzung, die Härte des verschleißend wirkenden Gegenstands und die Umgebungsbedingungen. Man kann also mit dem Softwarepaket die Eignung verschiedener Werkstoffe abschätzen und so eine wirkungsvolle Unterstützung bei der Stahlauswahl haben. Die Software „ProWear“ stellen wir Ihnen auf Anfrage kostenlos zur Verfügung.

Im Hinblick auf den effektiven und wirtschaftlichen Einsatz der XAR®-Stähle mit langen Betriebszeiten sowie zur Instandhaltung von Konstruktionen steht vor allem das Verarbeitungsverhalten im Vordergrund. In der vorliegenden Broschüre werden dazu für die wichtigsten Verarbeitungsverfahren Empfehlungen gegeben, die der Anwender bei der Verarbeitung beachten sollte:

- Warm- und Kaltumformen
- Zerspanen
- Thermisches Trennen
- Schweißen

Dem Anwender wird darüber hinaus empfohlen insbesondere bei der erstmaligen Verarbeitung der verschleißfesten Sonderbaustähle XAR® den direkten Dialog mit den Grobblechexperten von ThyssenKrupp Steel Europe zu suchen.



The XAR® steels are described in detail in our material specifications. Further details can be found on our website and the customer CD “Special Structural Steels”.

A certain minimum carbon content is indispensable to achieve such high hardness for the quenched, or quenched and tempered, XAR® steels. This is because the carbon content is proportional to the maximum hardness in steel (Fig. 2). A steel with a mean hardness of 400 HBW, for instance, has to be alloyed with roughly 0.14% C. The addition of molybdenum, nickel and boron alloys simultaneously ensures a uniform property profile in the through-thickness direction. It is important for the wear behavior that with increasing sheet gauge and hardness, the XAR® steels contain as much as 1.5% chromium. In wear testing, chromium has proven to be very effective against wear, especially in weak acid media. This has been confirmed by extensive tests at the Institute for Tribology at Mannheim University for Applied Sciences.

The normalizing rolled, wear-resistant special structural steel XAR® 300 is described in material specification 760. It has a hardness ranging from 270 to 340 HBW in thicknesses up to 50 mm and is characterized by a high surface quality. It is particularly suitable for hot forming applications.

Fig. 3 provides an overview of the chemical composition of the heat, of the delivery condition, and of the typical carbon equivalent for the wear-resistant special structural steels XAR®. Fig. 4 additionally shows the hardness levels achieved in the steels, which also are the main basis for their designated names, and their typical scatter.

The wear-resistant special structural steels XAR® are high-tech materials. The optimum combination of uniform high hardness, good toughness and low alloy contents make these steels ideal material for numerous fields of use.

The newly developed software package “ProWear” can be used to predict the wear behavior and service life of XAR® steels. “ProWear” is based on ThyssenKrupp Steel Europe’s over 30-year experience in the wear-resistant steel sector. Parameters include the hardness of the steel, its chemical composition, the hardness of the mating material causing the wear, and ambient conditions. The software can be used to estimate the suitability of various materials and is therefore an effective aid to steel selection. “ProWear” is available free of charge on request.

The processing behavior of plate made of XAR®, above all, is central to the effective and economical use over a long service life and to structure maintenance. This publication contains recommendations on the most important processing techniques; users should heed these when processing. The following techniques are featured here:

- Hot and cold forming
- Machining

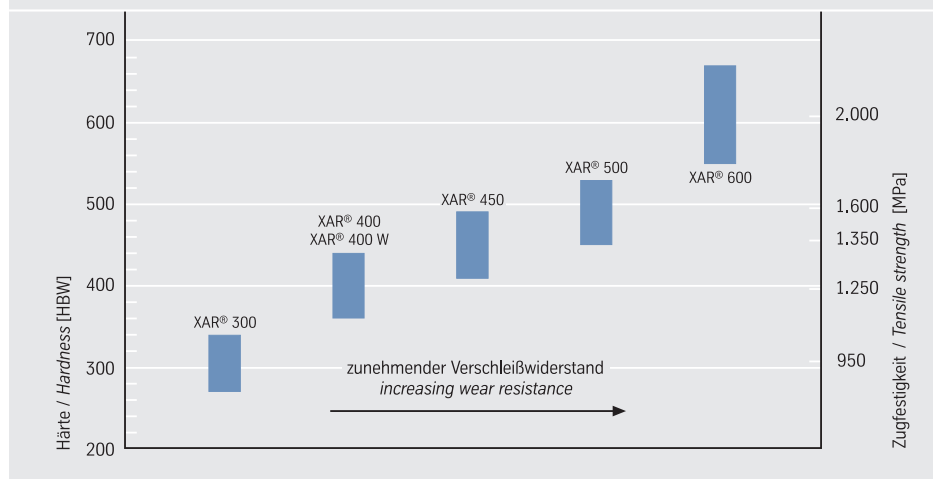


Radladerschaufel
Wheel excavator bucket

- Thermal cutting
- Welding

Users are also advised to consult ThyssenKrupp Steel Europe’s plate experts direct, especially if processing these wear-resistant special structural steels for the first time.

4. Härte und Zugfestigkeit der verschleißfesten Sonderbaustähle XAR® Hardness and tensile strength of wear-resistant special structural steels XAR®



Umformen

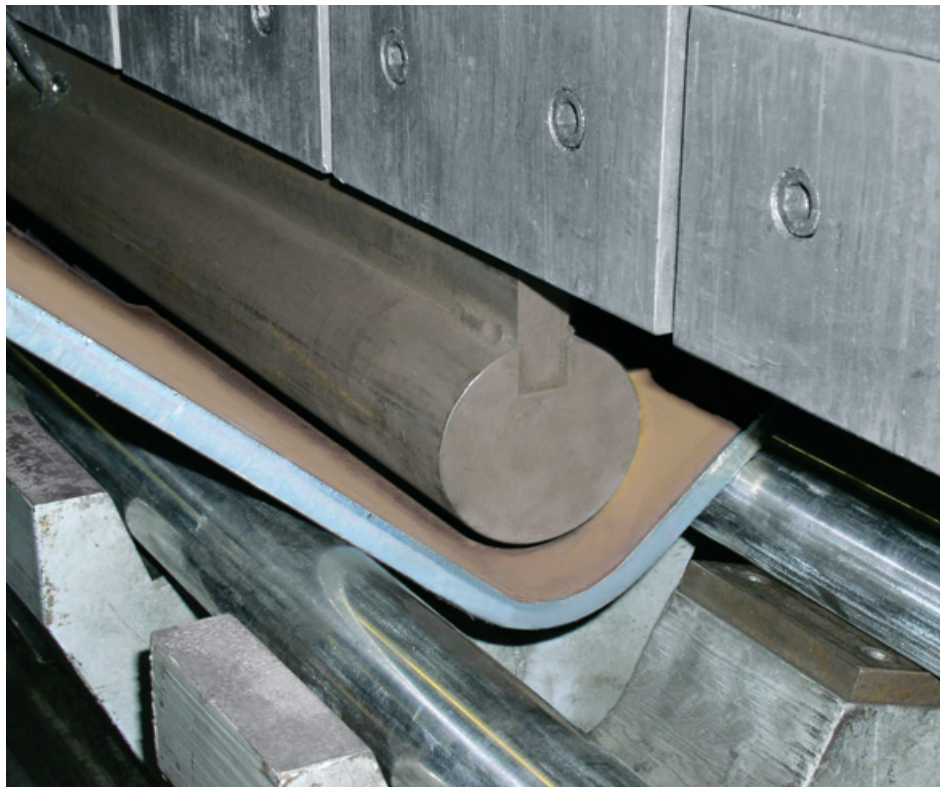
Warmumformen

Die Warmumformung der XAR®-Stähle ist bei Temperaturen zwischen 850 und 1.000 °C möglich. Bevorzugt zur Warmumformung wird der normalisierte Sonderbaustahl XAR® 300 eingesetzt, der seine hervorragenden Gebrauchseigenschaften des Lieferzustandes auch nach der Warmumformung mit Luftabkühlung nicht verliert. Bis zu einer Warmumformtemperatur von 400 °C eignet sich auch der warmfeste XAR® 400 W.

Bei den anderen XAR® 400- bis XAR® 600-Stählen ist dagegen zu beachten, dass der ursprüngliche Wärmebehandlungszustand des Werkstoffes durch eine Warmverformung wieder aufgehoben wird. Das bedeutet, dass dann der Verschleißwiderstand des Bleches und die Härte des Lieferzustandes erst durch eine komplette, neue Wärmebehandlung wieder eingestellt werden muss, wenn die Bauteile nicht direkt aus der Umformwärme gehärtet werden können. Erfahrungsgemäß ist dieses Verfahren für die genannten Stahlsorten nur in Sonderfällen von Bedeutung.

Kaltumformen

Die Kaltumformung, z. B. durch Abkanten oder Biegen auf Pressen und Walzen, ist weit verbreitet und gewinnt auch bei den verschleißfesten Sonderbaustählen eine immer größere Bedeutung. Die vorherrschenden Umformverfahren sind das Kaltbiegen auf Drei-Walzen-Biegemaschinen und das Abkanten im 90°-V-Gesenk auf Gesenkbiegepressen. Im Vergleich zu Stählen mit niedriger Streckgrenze müssen beim Umformen hochfester Stähle jedoch zwei zusätzliche Größen berücksichtigt werden: der erhöhte Kraftaufwand und die verstärkte Rückfederung. Höhere Kräfte sind erforderlich wegen des höheren Formänderungswiderstandes. Durch eine gute Schmierung der Matrizenkanten kann allerdings die Biegekraft um bis zu 25 % gesenkt werden.



Biegevorgang
Bending process

Forming

Hot forming

Hot forming of the XAR® steels is possible at temperatures between 850 and 1,000°C. Preferred for hot forming is the normalized special structural steel XAR® 300, which does not lose its outstanding delivery service properties even after hot forming and cooling in air. The heat-resistant XAR® 400 W is also suitable for hot forming temperatures up to 400°C.

It has to be noted for steels XAR® 400 to XAR® 600, however, that hot forming reverses the original heat treatment condition of the material. This means that it is then necessary to restore the wear resistance and hardness of the plate to its delivery condition by means of a complete, new heat treatment, unless hardening of the components is possible directly in the forming process. According to experience, this procedure becomes relevant for these steels only in exceptional cases.



Verschleißstahl bewährt sich bei der Rohstoffgewinnung
Wear-resistant steel in proven application of the primary industry

Cold forming

Cold forming e. g. by folding or bending on presses and rolls, is a wide-spread practice and is also gaining increasingly in importance for the wear-resistant special structural steels. The predominant forming techniques are cold bending on three-roll bending machines, and press-brake bending in a 90° V-shaped die on press brakes. When

forming high-strength steels, however, it is necessary, compared with steels of low yield strength, to make allowance for two additional factors: a greater force is required, and the springback is stronger. Greater forces have to be applied because of the higher deformation resistance. Good lubrication of the die edges, though, can reduce the bending force by as much as 25%.

Auch eine Vergrößerung der Matrizenweite verringert die Biegekraft. Die Rückfederung ist stärker als bei konventionellen Stählen, da der Anteil der elastischen Verformung an der Gesamtverformung größer ist. **Abb. 5** zeigt, welche Kaltumformung sich beim Abkanten und Biegen ergibt. Dabei wird vorausgesetzt, dass durch Scheren verfestigte oder durch thermisches Trennen aufgehärtete Blechkanten abgearbeitet werden.

Für Konstruktionen aus XAR®-Stählen, bei denen hoher Verschleißwiderstand gefordert ist und gleichzeitig im Zuge der Herstellung stärkere Kaltumformungen erfolgen, bevorzugt man die Güten XAR® 400 und XAR® 450, die durch ihr ausgewogenes Legierungskonzept trotz der hohen Härte besondere Anforderungen beim Biegen und Abkanten erfüllen. Unter günstigen Bedingungen haben sich Mindestbiegeradien und -matrizenweiten bei den XAR®-Stählen bewährt (**Abb. 6**).

Naturgemäß ist das Umformverhalten quer zur Hauptwalzrichtung günstiger als längs, da die sulfidischen und/oder oxidischen Einschlüsse weniger zur Auswirkung kom-

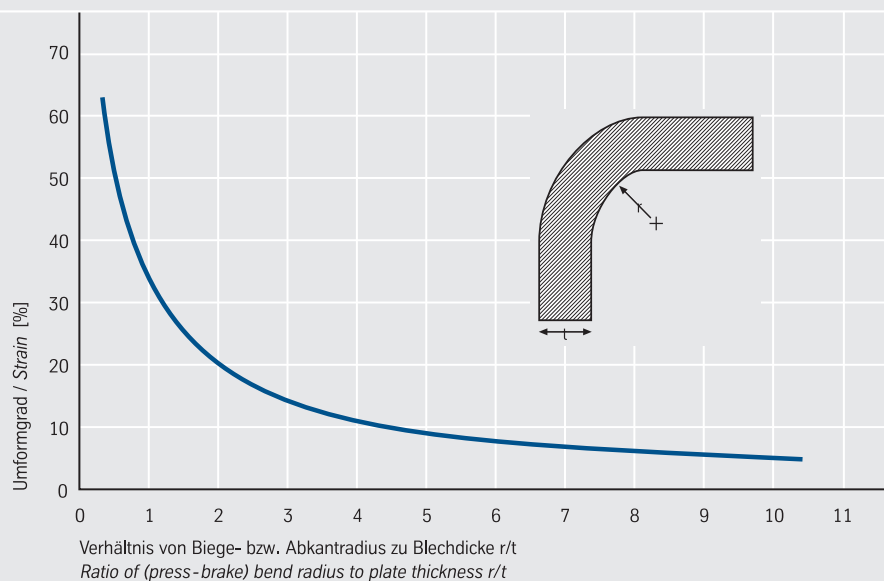


Schneidleisten
Cutting edges

men. Als zusätzliches Kriterium muss die Blechdicke berücksichtigt werden. Ein dünnes Blech weist wegen des geometrischen Einflusses ein wesentlich günstigeres Rissauslösungsverhalten und Rissauffangvermögen auf als ein dickeres. Es wird vorausgesetzt, dass die Blechkanten vor dem Umformen kerbfrei geschliffen und entgratet

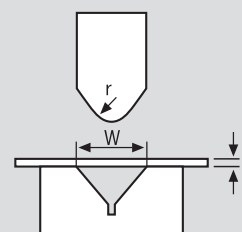
sind. Es ist auf ein gutes Gleiten der Bleche zu achten, d. h. auf Schmierung der Matrize und des Biegestempels sowie auf ständiges Säubern der Werkzeuge von loseem, abgeblättertem Glühzunder.

5. Umformgrade beim Kaltumformen Strain during cold forming



6. Biegeradien und Matrizenweiten beim Kaltbiegen und Abkanten Bending radii and die widths for cold bending and press brake bending

Stahlsorte Steel grade	Dicke Thickness [mm]	r/t		W ³⁾ /t	
		⊥ ¹⁾	∥ ²⁾	⊥ ¹⁾	∥ ²⁾
XAR [®] 300	t ≤ 8	2,5	3,0	8,5	10,0
	8 < t ≤ 20	3,0	4,0	10,0	10,0
XAR [®] 400	t > 20 ⁴⁾	4,5	5,0	12,0	12,0
XAR [®] 400 W	auf Anfrage / upon request				
XAR [®] 450	t ≤ 8	4,0	4,5	10,0	12,0
	8 < t ≤ 15	4,5	5,0	12,0	12,0
	t > 15 ⁴⁾	5,0	6,0	12,0	14,0
XAR [®] 500	t ≤ 8	5,0	6,0	12,0	13,0
	t > 8	auf Anfrage / upon request			
XAR [®] 600	auf Anfrage / upon request				



¹⁾ Biegelinie senkrecht zur Walzrichtung / Bending line transverse to the rolling direction

²⁾ Biegelinie parallel zur Walzrichtung / Bending line parallel to the rolling direction

³⁾ W = lichte Weite, empfohlenes W bei 3-Rollen-Biegemaschine $2r + 5t$ / W = clearance, recommended W for 3-roll bending machines $2r + 5t$

⁴⁾ abhängig von den Anlagen- und Prozessbedingungen sind Biegewinkel $\leq 60^\circ$ berücksichtigt / depending on plant and process conditions bending angles mainly $\leq 60^\circ$ are taken into account

An enlarged die width also lowers the required bending force. The springback is stronger than in conventional steels, since elastic strain accounts for a greater share of the total strain. Fig. 5 shows the strain resulting from cold forming by press brake and roll bending. It is presupposed in this connection that plate edges strain-hardened by shearing or hardened by thermal cutting are removed.

XAR[®] 400 and XAR[®] 450 are preferable for steel structures where high wear resistance is required and fabrication also involves extensive cold forming. Despite their high hardness the grades meet specific roll and press-brake bending requirements, which results from a well balanced alloying concept. The minimum bending

radii and minimum roll spacings and, respectively, minimum die widths shown in Fig. 6 have proven suitable for the XAR[®] steels under favorable conditions.

The values transverse to the direction of rolling are, of course, lower than in longitudinal direction, as the strain along the fiber is less favorable because of the unavoidable sulfide and/or oxide inclusions. The plate thickness requires consideration as an additional criterion. A thin plate exhibits a much better crack initiation behavior and crack arrest capability than a thicker plate because of the geometrical influence. This presupposes that the plate edges are ground notch-free and de-burred prior to forming. Good sliding conditions for the plates, i. e. lubrication of the die and bend-

ing punch, and regular cleaning of the tools and dies to remove any loose, flaked mill scale, have to be ensured.

Zerspanen

Die bei den verschleißfesten Sonderbaustählen vorliegenden martensitischen oder martensitisch-bainitischen Grundgefüge lassen sich grundsätzlich schlechter zerspanen als ferritisch/perlitische Stähle.

Bohren

Beim Bohren sind nachfolgende, erschwere Merkmale von Bedeutung:

- die bis auf Null abfallende Schnittgeschwindigkeit in der Bohrermitte
- der mit zunehmender Bohrtiefe schwierigere Abtransport der Späne
- die ungünstigere Wärmeverteilung in der Schnittstelle
- Stabilitäts- und Schwingungsprobleme des Werkzeugs

Für die Bearbeitung der Stähle bis 400 oder 450 HBW (Mittelwert) empfehlen wir den Einsatz hochwertiger kobaltlegierter HSS-E-Spiralbohrer. Für die Stähle XAR® 500 und XAR® 600 sind Hartmetallbohrer erforderlich. Der im normalisierten Zustand vorliegende Stahl XAR® 300 ist mit herkömmlichen Werkzeugen gut zerspanbar.

Bohrungen mit einem Durchmesser von mehr als 16 mm können auch mit Wendepplattenbohrern in speziellen Bohrmaschinen ausgeführt werden.



Bohren eines XAR® 400-Blech
Drilling of a XAR® 400 plate

Beim Bohren sind folgende Bedingungen zu beachten:

- Vibrationen sind zu vermeiden
- Werkstück möglichst dicht an der Bohrstelle fest einspannen
- Werkstück und Bohrkopf möglichst dicht an die Maschinensäule legen
- Kurze Bohrer in kurzer Maschinenspindel verwenden

Die empfohlene Schnittgeschwindigkeit (m/min) mit Drehzahl (Upm) und Vorschub (mm/U) für die XAR®-Stähle ist **Abb. 7** und **Abb. 8** zu entnehmen. Im gehärteten/angelegenen Zustand sind je nach Härte die Angaben für die XAR®-Stähle heranzuziehen.

Als Kühlmittel empfehlen wir Hochleistungs-Spezial-Schneidöl (z. B. Jokisch S 101). Die Verwendung von Kühl- und Schmiermitteln verlängert die Standzeit der Bohrer.

Senken

Beim Senken sollten Senkwerkzeuge mit zusätzlicher Spitzenführung, um ein Verlaufen des Werkzeugs zu verhindern, und eine gute Kühlung verwendet werden.

Gewindebohren

Die verschleißfesten Sonderbaustähle XAR® eignen sich auch für das Gewindebohren. In **Abb. 9** sind einige Richtwerte für gängige ISO-Gewinde ersichtlich.

Für die genannten Zerspanungsverfahren sowie für andere spezifische Weiterverarbeitungsverfahren unserer XAR®-Stähle empfehlen wir Ihnen den Kontakt mit einem vertrauten Werkzeughersteller aufzunehmen.

7. Richtwerte für das Bohren Guide values for drilling

Stahlsorte Steel grade	Schnittgeschwindigkeit Cutting speed [m/min]	Bohrer / Drill							
		6 mm Ø		8 mm Ø		10 mm Ø		12 mm Ø	
		Upm Rpm	Vorschub Feed ²⁾	Upm Rpm	Vorschub Feed ²⁾	Upm Rpm	Vorschub Feed ²⁾	Upm Rpm	Vorschub Feed ²⁾
XAR® 300	6 – 8	360	0,08	280	0,10	225	0,15	190	0,20
XAR® 400	3 – 5	210	0,05	160	0,08	130	0,10	100	0,15
XAR® 450	3 – 5	210	0,05	160	0,08	130	0,10	100	0,15
XAR® 500 ¹⁾	20 – 25	1.300	0,05	1.000	0,05	800	0,08	670	0,08
XAR® 600 ¹⁾	auf Anfrage / upon request								

¹⁾ Hartmetall-Bohrer / Carbide-tipped drill

²⁾ mm/U / mm/R

Machining

The martensitic/bainitic matrices of highly wear-resistant special steels are, in principle, more difficult to machine than ferritic/pearlitic matrices.

Drilling

Drilling is particularly conspicuous because of the following inhibiting features:

- cutting rate diminishing to zero at the drill centre
- more difficult removal of chips with increasing drilling depth
- less favorable heat distribution at the interface
- tool stability and vibration problems

To machine steels with a hardness up to 400 or 450 HBW (mean value), we recommend the use of high-grade cobalt-alloyed HSS E twist drills. Carbide-tipped drills are necessary for the XAR® 500 and XAR® 600 steels. XAR® 300 in the normalized condition is suitable for machining with conventional tools.

Drilling work involving a diameter of more than 16 mm is possible also using reversible carbide tip drills in special drilling machines.

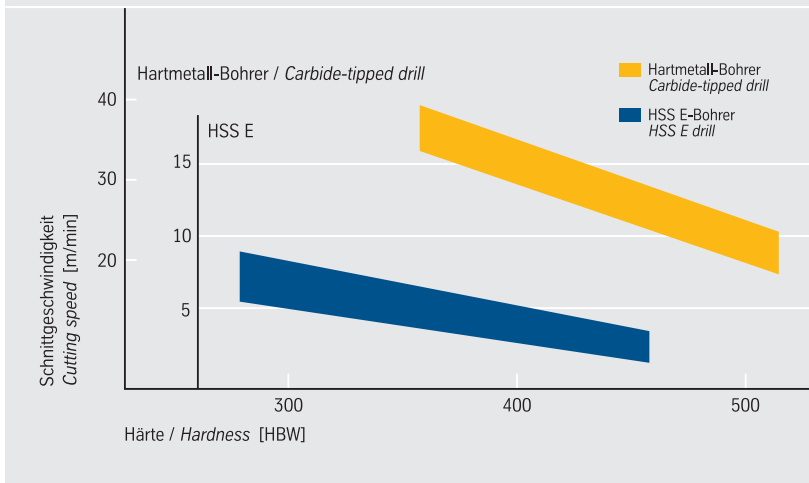
Attention should be paid to the following conditions for drilling:

- Avoidance of vibrations
- Firm clamping of the work piece as close to the point of drilling as possible
- Positioning of the workpiece and drilling head as close to the machine column as possible
- Use of short drills in a short machine spindle

Fig. 7 and Fig. 8 shows the cutting speed (m/min), rotational speed (Rpm) and feed rate (mm/R) recommended for XAR® steels. The values given for the quenched/tempered condition of the XAR® steels are applicable according to hardness.

We recommend heavy-duty special cutting oil, e. g. Jokisch S 101, as a coolant. The use of coolants and lubricants prolongs the life of the drills.

8. Schnittgeschwindigkeiten beim Bohren Cutting speeds in drilling



9. Richtwerte für das Gewindeschneiden mit TiCN-beschichtetem HSS-E-Gewindebohrer Guide values for thread cutting with TiCN-coated HSS-taps

Stahl-sorte Steel grade	Zug-festig-keit Tensile strength [N/mm ²]	Schnitt-geschwindig-keit*) Cutting speed*) [m/min]	Drehzahl verschiedener Gewinde [Upm] Revolutions for different threads [Rpm]			
			M 6	M 8	M 10	M 12
XAR® 300	950	6	318	239	191	159
XAR® 400	1.250	4	212	159	127	106
XAR® 450	1.350	3	159	119	95	80
XAR® 500	1.600	2	106	80	64	53
XAR® 600	2.000	auf Anfrage / upon request				

*) bei Verwendung von Schneidöl / under application of cutting oil

Counterboring and countersinking

For counterboring and countersinking, piloted tools should be used to prevent misalignment. Good cooling is also essential.

Tapping

XAR® wear-resistant special structural steels are also suitable for tapping. Fig. 9 shows some recommended values for common ISO threads. We recommend you contact a trusted tool manufacturer if you intend using these or other specific machining methods on our XAR® steels.

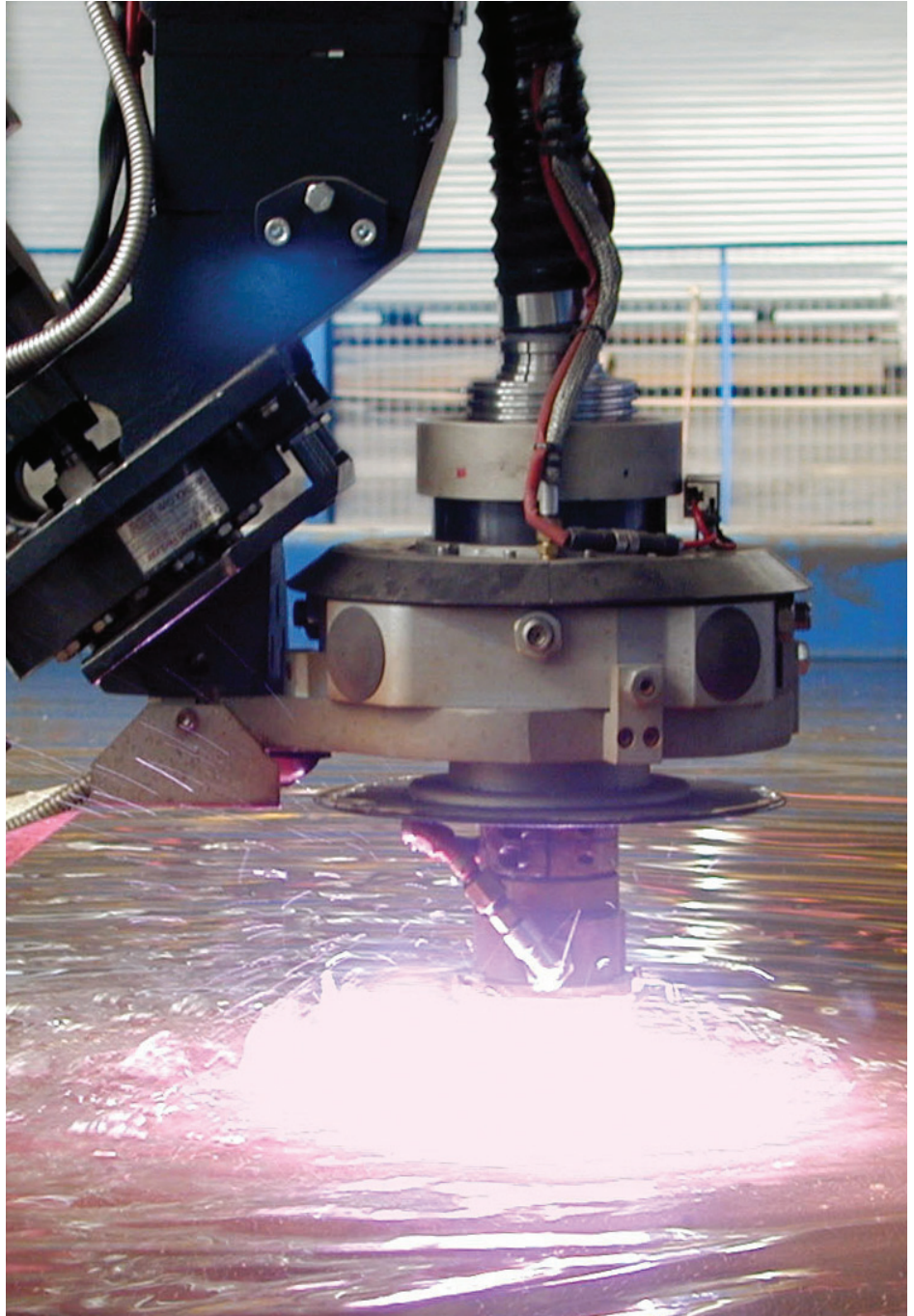
Thermisches Trennen

Für das thermische Trennen von Blechen aus verschleißfesten Stählen kommen vorzugsweise nachfolgende Verfahren in Betracht:

- Autogenes Brennschneiden
- Plasmaschneiden
- Laserstrahlschneiden

In jüngster Zeit tritt das Laserstrahlschneiden besonders in den Vordergrund. Mit einem 3-kW-CO₂-Laser werden Blechdicken bis etwa 20 mm verarbeitet. Je nach Laserleistung und Blechdicke lassen sich oft deutlich höhere Schneidgeschwindigkeiten als beim autogenen Brennschneiden realisieren. Ein weiterer Vorteil des Laserstrahlschneidens ist der geringere Verzug der Bauteile. Das Plasmaschneiden ermöglicht, wie aus **Abb. 10** hervorgeht, die höchsten Schneidgeschwindigkeiten mit gewissen Einschränkungen bezüglich der Schnittkantenausbildung.

Insbesondere beim Laserstrahlschneiden relativ dicker Bleche hängt das Schneidergebnis in starkem Maße von deren Oberflächenbeschaffenheit ab. An Blechen mit einer gleichmäßigen, dünnen Zunderschicht lassen sich die besten Schnittflächen bei einer Beurteilung gemäß DIN EN ISO 9013 erzielen. Auch bei geprimerten Blechen konnten mit dem bei ThyssenKrupp Steel Europe standardmäßig eingesetzten Zinksilikat-Shopprimer Schnittgüten erreicht werden, die Blechen mit einer gleichmäßig verzunderten Oberfläche vergleichbar sind. Kriterien sind dabei die Rautiefe der Schnittkanten und eine möglichst bartfreie Ausbildung der Unterkante.



Unterwasser-Plasmaschneiden
Underwater plasma cutting

Thermal Cutting

The following techniques are preferable for the thermal cutting of wear-resistant steel plates:

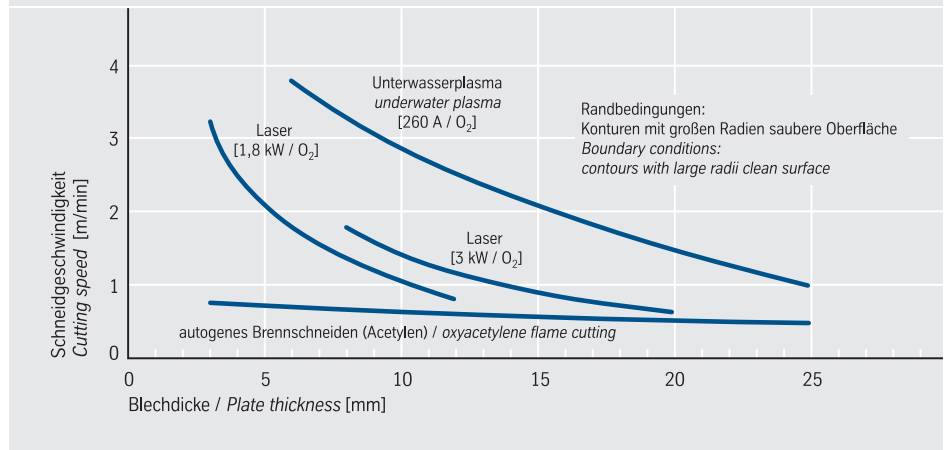
- Oxyacetylene flame cutting
- Plasma arc cutting
- Laser beam cutting

Laser beam cutting especially has come to the fore in very recent times, with plates up to some 20 mm in thickness being cut with 3 kW CO₂ lasers. Considerably higher cutting speeds are often realizable compared with oxyacetylene flame cutting, depending on the laser power and plate thickness. An additional advantage of laser beam cutting is the lower amount of component deformation. Plasma cutting, as Fig. 10 indicates, permits the highest cutting speeds, but with certain restrictions regarding the cut edge quality.

The cutting result depends to a strong extent on the plate's surface condition, particularly if relatively thick plates are cut. The best cut faces for assessment to EN ISO 9013 are achievable on plates with a uniform, thin scale layer. It has been possible, even on plates primed with the zinc silicate shop primer used as standard at ThyssenKrupp Steel Europe, to produce qualities of cut almost comparable to those on plates with a uniformly scale-covered surface. The criteria in this respect are the roughness depth of the drag lines and a bottom edge as devoid of burrs as possible.

During thermal cutting, a very high temperature is reached for a short time at the cut edge, followed by rapid cooling. The material changes ensuing from this manifest themselves in an increase in hardness directly at the cut edge and in a softened zone adjacent to it. Fig. 11 shows the typical hardness distribution in the heat-affected zone when thermally cutting the XAR[®] 400 steel. The smallest thermal influence occurs with laser beam cutting. Only a minimally stronger influence occurs with under-

10. Schneidgeschwindigkeiten beim thermischen Schneiden ferritischer Stähle
Thermal cutting speed for ferritic steels



Laserstrahlschneiden
Laser cutting

Beim thermischen Trennen kommt es im Bereich der Schnittkante kurzzeitig zu einer sehr hohen Temperatur und nachfolgend zu einer schnellen Abkühlung. Die hieraus resultierenden Werkstoffveränderungen äußern sich in der Aufhärtung unmittelbar an der Schnittkante und einer daran angrenzenden Erweichungszone. **Abb. 11** zeigt den typischen Härteverlauf in der Wärmeinflusszone beim thermischen Schneiden von XAR® 400. Die geringste thermische Beeinflussung tritt beim Laserstrahlschneiden auf. Eine nur geringfügig stärkere Beeinträchtigung erfolgt beim Plasmaschneiden unter Wasser. Hier führt die hohe Schneidgeschwindigkeit und die gute Wärmeableitung im Wasserbad ebenfalls zu einer sehr schmalen Erweichungszone. Alternativ stellt das Abrasiv-Wasserstrahlschneiden eine Möglichkeit dar, die Härte im Kantenbereich auch bei relativ kleinen Bauteilen bzw. engen Schnittkonturen vollständig zu erhalten.

Beim autogenen Brennschneiden dünnerer Bleche ist eine geeignete Schnittfolge zu wählen, um eine starke Durchwärmung der Bauteile zu vermeiden. Bei dicken Blechen sind demgegenüber die Schnittzonen zur Vermeidung von Rissen in einer Breite von mindestens 100 mm vorzuwärmen. Das Vorwärmen zum Brennschneiden der XAR®-Stähle lässt sich der **Abb. 12** entnehmen. Bei Werkstücktemperaturen unter + 5 °C empfiehlt es sich, auch bei dünneren Blechen die Schnittzonen in einer Breite von mindestens 100 mm handwarm vorzuwärmen. Bei langen Schnittkanten kommt der Einsatz von Vor- und Nachlaufbrennern in Betracht.



Brennen von
Betonsteinformen
*Cutting of concrete
block moulds*

Schweißen

Die verschleißfesten Sonderbaustähle XAR® wurden im Hinblick auf möglichst niedrige Kohlenstoffäquivalente optimiert und zeichnen sich deshalb durch eine hervorragende Eignung zum Schweißen aus. Sie lassen sich nach allen gängigen Verfahren schweißen, bevorzugt nach dem MAG- und dem Lichtbogenhandverfahren.

Geeignete Zusatzwerkstoffe für das Schweißen dieser Stähle sind in **Abb. 13 bis 15** aufgeführt. Die hier getroffene Auswahl bedeutet kein Werturteil hinsichtlich des Verhaltens anderer Schweißzusätze.

Vermeiden von Kaltrissen

Dem Kaltrissverhalten ist bei allen verschleißfesten Stählen eine besondere Beachtung zu schenken. Kaltrisse sind zeitlich verzögert auftretende Risse in der Wärmeinflusszone oder im Schweißgut, die sich unter Einwirkung von Wasserstoff und Spannungen bilden können. Das Vorwärmen ist ein wirksames Mittel, um diese Risse zu vermeiden. Es verzögert die Abkühlung des Nahtbereiches und begünstigt damit die Wasserstoffeffusion. Weiterhin sind Maßnahmen zu treffen, die einen möglichst

geringen Eintrag von Wasserstoff in das Schweißgut sicherstellen, z. B. die Säuberung und das Trocknen der Nahtfugen, die Einstellung eines stabilen Schutzgasstromes beim MAG-Schweißen und die Verwendung von rückgetrockneten basischen Stabelektroden beim Lichtbogenhandschweißen. Die Schweißfolge soll auf eine möglichst geringe Eigenspannung ausgerichtet sein.

Die Gefahr, dass Kaltrisse im Schweißgut entstehen, ist bei Verwendung von austenitischen Schweißzusätzen am geringsten.

13. Drahtelektroden für das MAG-Schweißen *Solid wires for MAG-welding*

Typ des Zusatzes <i>Type of welding filler metal</i>	Hersteller / <i>Manufacturer</i>				
	BÖHLER	ESAB	LINCOLN	OERLIKON	Thyssen-put
austenitisch <i>austenitic</i>	A 7 CN-IG	OK Autrod 16.95	LNM 307	Inertfil 18 8 6	Thermanit X
ferritisch / <i>ferritic</i> , $R_e < 500$ MPa	BÖHLER EMK 8 BÖHLER DMO-IG	OK AristoRod 12.63	LNM 27 LNM Ni 1	CARBOFIL 1 a CARBOFIL 2,5 Ni	Union K 56 Union K5 Ni
ferritisch / <i>ferritic</i> , $R_e = 500 - 700$ MPa*	BÖHLER NiMo 1-IG BÖHLER X 70-IG	OK AristoRod 13.29	LNM NiMo1 LNM MoNiVa	CARBOFIL NiMo 1 CARBOFIL NiMoCr	Union MoNi Union NiMoCr

R_e = Mindeststreckgrenze des reinen Schweißgutes
 $R_e = \text{minimum yield strength of weld metal}$

*) nicht empfohlen für XAR® 500 und XAR® 600
*) *not recommended for XAR® 500 and XAR® 600*

14. Fülldrähte zum MAG-Schweißen *Flux-cored wires for MAG-welding*

Typ des Zusatzes <i>Type of welding filler metal</i>	Hersteller / <i>Manufacturer</i>				
	Drahtzug Stein	ESAB	LINCOLN	OERLIKON	Thyssen-put
austenitisch <i>austenitic</i>	–	OK Tubrod 15.34	(Cor-A-Rosta 307)	Fuxinox 307 PF	Thermanit TG 307
ferritisch / <i>ferritic</i> , $R_e < 500$ MPa	Megafil 731 B Megafil 240 M	OK Tubrod 14.10	Outershield MC 715-H Outershield 81Ni1-H	Fluxofil 31	Union BA 70 Union MV 70
ferritisch / <i>ferritic</i> , $R_e = 500 - 700$ MPa*	Megafil 740 B Megafil 742 B	OK Tubrod 14.06 OK Tubrod 14.03	Outershield 81K2-H Outershield 690-H	Fluxofil 41	Union MV NiMoCr

R_e = Mindeststreckgrenze des reinen Schweißgutes
 $R_e = \text{minimum yield strength of weld metal}$

*) nicht empfohlen für XAR® 500 und XAR® 600
*) *not recommended for XAR® 500 and XAR® 600*

Welding

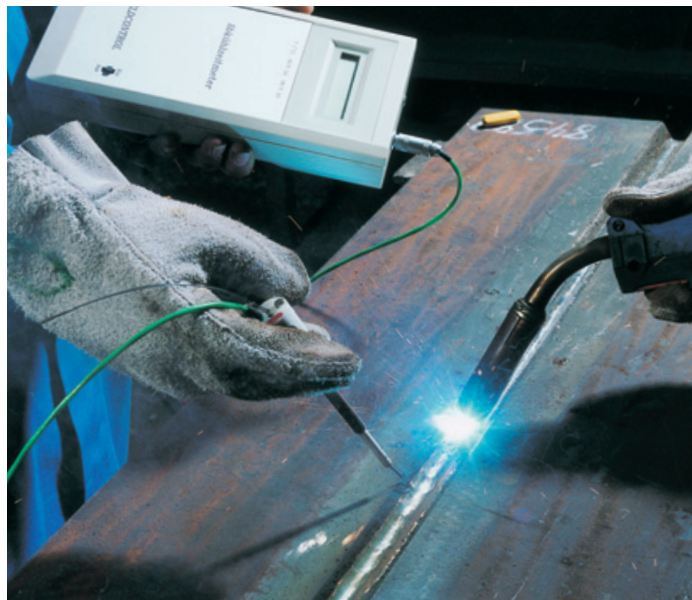
The wear-resistant special structural steels XAR® have been optimized with regard to lowest possible carbon equivalents and are therefore characterized by outstanding weldability. They can be welded by means of all prevalent methods, preferably the MAG and manual arc processes.

Fig. 13 to 15 list a selection of filler metals, which have proven suitable for welding these steels. The selection should not be taken as any devaluation of the suitability of other welding filler metals.

Avoidance of cold cracking

The cold cracking behavior requires special consideration for all the wear-resistant steels. Cold cracking is a time-delayed phenomenon in the heat-affected zone or in the weld metal that can occur under conditions of hydrogen and stress exposure. An effective means for avoiding such cracking is preheating. It delays the cooling of the weld region and is thereby conducive to hydrogen effusion. Measures to ensure a minimum input of hydrogen in the weld metal, such as cleaning and drying of the weld grooves, stable flow of shielding gas during MAG welding, and use of redried

Messung der Abkühlzeit $t_{9/5}$ beim Schweißen
Measuring of the cooling time $t_{9/5}$ during welding



basic coated electrodes for manual arc welding, are also necessary. The welding sequence should be tailored to minimum residual stress.

The risk of cold cracking occurring in the weld metal is at its lowest when using austenitic welding filler metals. Generally, it is possible to do without any preheating for

austenitic weld metal. If ferritic welding filler metals are used for cost reasons, preference should be given to the MAG welding method, as it offers appreciable advantages because of the comparatively low hydrogen content in the weld metal. A soft, unalloyed weld metal that has good ductility is also preferable. This applies especially to comparatively thin plates or fillet welds, because

15. Stabelektroden für das Lichtbogenhandschweißen Covered electrodes for manual metal-arc welding

Typ des Zusatzes Type of welding filler metal	Hersteller / Manufacturer				
	BÖHLER	ESAB	LINCOLN	OERLIKON	Thyssen-put
austenitisch austenitic	FOX A 7 CN	OK 67.43	Jungo 307	CITOCROMAX N	Thermanit X
ferritisch / ferritic, $R_e < 500$ MPa	FOX EV 50	OK 55.00 OK 73.68	Conarc 49C Kryo 1	TENACITO	Phoenix 120 K
ferritisch / ferritic, $R_e = 500 - 700$ MPa*	FOX EV 65 FOX EV 85	OK 75.75	Conarc 60G Conarc 80	TENACITO 65 R	Phoenix SH V 1 Phoenix SH Ni 2 K 100

R_e = Mindeststreckgrenze des reinen Schweißgutes
 R_e = minimum yield strength of weld metal

*) nicht empfohlen für XAR® 500 und XAR® 600
*) not recommended for XAR® 500 and XAR® 600

16. Typische Kohlenstoffäquivalente CET*) Typical carbon equivalents CET*)

Stahlsorte Steel grade	Blechdicke / Plate thickness [mm]												
	≤ 8	10	15	20	25	30	35	40	50	60	70	80	90
XAR® 300	0,42 %									–			
XAR® 400	0,27 %	0,31 %			0,32 %			0,36 %					
XAR® 400 W	0,41 %									–			
XAR® 450	0,35 %							0,42 %					
XAR® 500	0,41 %									0,44 %		0,46 %	
XAR® 600	0,54 %									–			

*) $CET = C + (Mn + Mo) / 10 + (Cr + Cu) / 20 + Ni / 40$

Auf ein Vorwärmen kann bei austenitischem Schweißgut im Allgemeinen verzichtet werden. Wird mit Rücksicht auf die Kosten ferritisch geschweißt, sollte das MAG-Schweißen bevorzugt werden. Es bietet wegen des vergleichsweise niedrigen Wasserstoffgehaltes im Schweißgut diesbezüglich beträchtliche Vorteile. Weiterhin ist ein weiches, unlegiertes Schweißgut zu bevorzugen, das ein gutes Verformungsvermögen aufweist. Dies gilt insbesondere bei vergleichsweise

dünnen Blechen oder Kehlnähten, weil hier das Schweißgut durch den höher legierten Grundwerkstoff aufgemischt wird. Bei einigen verschleißfesten Bauteilen wird im Schweißnahtbereich eine dem Grundwerkstoff weitgehend vergleichbare Streckgrenze und Zugfestigkeit angestrebt. In diesem Fall ist ein entsprechend abgestimmter Schweißzusatz (Streckgrenze im Schweißgut von 500 bis 700 MPa) zu verwenden.

Die Kaltrissempfindlichkeit eines Stahls lässt sich anhand seiner chemischen Zusammensetzung abschätzen. Dazu eignet sich in besonderem Maße das aus umfangreichen Kaltrissuntersuchungen abgeleitete Kohlenstoffäquivalent CET. Typische CET-Werte der verschleißfesten Sonderbaustähle XAR® sind in **Abb. 16** enthalten. Das Kaltrissverhalten wird neben der chemischen Zusammensetzung des Grundwerkstoffes und des Schweißgutes von der Blechdicke, dem Wasserstoffgehalt des Schweißgutes und durch das Wärmeerbringen beim Schweißen sowie durch den Eigenspannungszustand im Nahtbereich bestimmt. Die entsprechenden Untersuchungen der ThyssenKrupp Steel Europe AG zur Vermeidung von Kaltrissen haben als CET-Konzept Eingang in das Stahl-Eisen-Werkstoffblatt SEW 088 und in die DIN EN 1011 (Teil 2, 2001) gefunden.

Bei der Verarbeitung verschleißfester Sonderbaustähle kommen vorzugsweise Kehlnähte zum Einsatz. **Abb. 17** gibt Auskunft über die je nach Blechdicke und Kohlenstoffäquivalent erforderliche Vorwärmtemperatur beim MAG-Schweißen von Kehlnähten. Ein Vorwärmen ist im Allgemeinen mit zunehmender Blechdicke erforderlich, wenn das CET über 0,32 % liegt und eine dem

17. Vorwärmtemperatur beim Schutzgasschweißen (Wärmeerbringen Q = 1,0 kJ/mm, Wasserstoffgehalt HD = 2 ml/100 g) Preheat temperatures for gas metal-arc welding (Heat input Q = 1.0 kJ/mm, hydrogen content HD = 2 ml/100 g)

Stahlsorte Steel grade	Blechdicke / Plate thickness [mm]															
	≤ 5	≤ 10	≤ 15	≤ 20	≤ 25	≤ 30	≤ 35	≤ 40	≤ 45	≤ 50	≤ 55	≤ 60	≤ 65	≤ 70	> 70	
XAR® 300	–	75 °C	100 °C	125 °C	150 °C	175 °C										
XAR® 400	–				75 °C			125 °C			150 °C					
XAR® 450	–			75 °C	100 °C	175 °C										200 °C
XAR® 500	–	100 °C	125 °C	150 °C	175 °C		200 °C								200 °C + PH*	
XAR® 600	150 °C	175 °C	200 °C	Austenitische Schweißzusätze austenitic filler metals ohne/without 100 – 150 °C												

*) Nachwärmen 200 °C, 1 Stunde / Post-heating 200°C, 1 hour

here the weld metal is diluted by the higher-alloy parent metal. A yield strength and tensile strength largely comparable to that of the parent metal is striven for in the weld region for some wear-resistant components. In such cases a suitably matched welding filler metal (weld metal yield strength from 500 to 700 MPa) should be used.

A steel's susceptibility to cold cracking can be estimated on the basis of its chemical composition. Particularly suitable for this is the carbon equivalent CET derived from extensive cold cracking tests. Fig. 16 lists CET values typical of the wear-resistant special structural steels XAR®. The cold cracking behavior is governed by the plate thickness, the hydrogen content of the weld metal, the heat input during welding, the residual stress state in the weld region, and the chemical composition of the parent metal and weld metal. The relevant research work conducted by ThyssenKrupp Steel Europe AG on the avoidance of cold cracking has led to the CET concept and its adoption in Stahl-Eisen material specification SEW 088-1993 and EN 1011 (part 2, 2001).

Fillet welds are preferable when welding wear-resistant steels. Fig. 17 gives information on the preheat temperature required for the MAG welding of fillet welds, as a function of the plate thickness and carbon equivalent. Preheating is generally necessary if the CET is over 0.32% and the plate thickness increases. In regard to the residual welding stresses, the preheat temperature required for butt welds should be selected for those weld shapes that behave less favorably than a single fillet on a tee or overlap joint. We will, upon request, gladly make our new "ProWeld" CD-ROM available for the easy calculation of suitable preheat temperatures for butt welds and in cases where the hydrogen content and heat input essentially deviate from the levels assumed here (Fig. 18).

Choice of welding conditions

The properties in the heat-affected zone of the weld undergo a change as a result of the temperature-time cycle during welding. The temperature-time cycle is dependent on the welding conditions, which can be characterized by the cooling time $t_{8/5}$. This is the time that is necessary to pass through the temperature range from 800 to 500°C while a weld bead cools after deposition. Excessively rapid cooling of the weld beads leads to a high hardness at the fusion line and increases the risk of cold cracking in the weld region. Excessively slow cooling, on the other hand, results in the heat-affected zone near to the fusion line having poorer toughness and in the hardness in this zone being able to fall well below that of the parent metal, as Fig. 19 shows for the XAR® 400 steel. The welding conditions, expressed by the cooling time, influence the



Baggerlöffel
Excavator bucket

18. Berechnungsmöglichkeiten mit dem Computer-Programm „ProWeld“ Calculation possibilities with the "ProWeld" computer program



19. Schweißen von XAR® 400 (Härteverlauf in der Wärmeeinflusszone) Welding of XAR® 400 (Hardness distribution in the heat-affected zone)

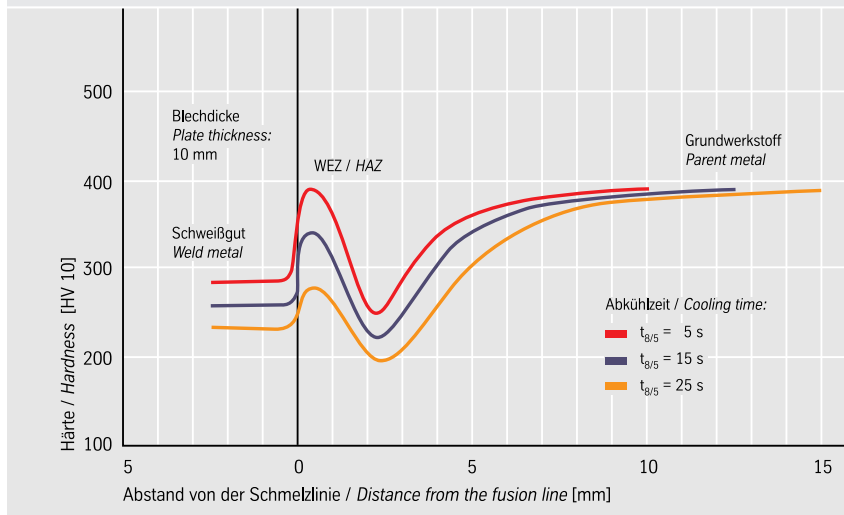


Diagramm zu entnehmende Blechdicke überschritten wird. Bei Nahtformen, die sich in Bezug auf die verbleibenden Schweiß-eigenspannungen ungünstiger als die einseitige Kehlnaht am T- bzw. Überlapstoß verhalten, sollten die bei Stumpfnähten erforderlichen Vorwärmtemperaturen gewählt werden. Für die einfache Berechnung geeigneter Vorwärmtemperaturen bei Stumpfnähten und in Anwendungsfällen, in denen wesentlich von dem hier angenommenen Wasserstoffgehalt und Wärmeeinbringen abgewichen wird, stellen wir auf Anfrage gern unsere neue CD-ROM „ProWeld“ zur Verfügung (Abb. 18). Die Hauptfunktionen des Programms dienen der Bestimmung von Kohlenstoffäquivalenten, der Vorwärmtemperatur, der Abkühlzeit, der Streckenergie und der Höchststärke in der Wärmeeinflusszone.

Wahl der Schweißbedingungen

In der Wärmeeinflusszone der Schweißnaht ergibt sich infolge des Temperatur-Zeit-Verlaufes beim Schweißen eine Veränderung der Eigenschaften. Der Temperatur-Zeit-Verlauf ist abhängig von den Schweißbedingungen, die sich durch die Abkühlzeit $t_{8/5}$ kennzeichnen lassen. Das ist die Zeit, die während des Abkühlens nach dem Schweißen einer Raupe benötigt wird, um den Temperaturbereich von 800 auf 500 °C zu durchlaufen. Eine zu schnelle Abkühlung der Schweißraupen führt zu einer hohen Härte an der Schmelzlinie und erhöht die Kaltrissgefahr im Schweißnahtbereich. Eine zu langsame Abkühlung hat dagegen zur Folge, dass die Wärmeeinflusszone nahe der Schmelzlinie eine schlechtere Zähigkeit aufweist und die Härte in der Anlasszone, wie in Abb. 19 für den XAR® 400 dargestellt, deutlich unter die des Grundwerkstoffes abfallen kann. Die Schweißbedingungen, ausgedrückt durch die Abkühlzeit, beeinflussen zum einen das Härteminimum, zum anderen die Breite der Erweichungszone. Das Schweißen mit angemessener Streckenergie, die gemäß Abb. 20 berechnet wird, erweist sich in diesem Zusammenhang als vorteilhaft.

Für die verschleißfesten Sonderbaustähle finden im Allgemeinen die in Abb. 21 aufgeführten Abkühlzeiten Anwendung. Ausgehend von der Nahtgeometrie, der Blechdicke und -temperatur sowie dem thermischen Wirkungsgrad des Schweißverfahrens kann man die geeignete Streckenergie festlegen, wie z. B. für das Schutzgasschweißen von Stumpfnähten in Abb. 22 gezeigt wird. Dabei ist sicherzustellen, dass die gewählte Vorwärm- bzw. Zwischenlagentemperatur ausreicht, um Kaltrisse zu vermeiden. Kehlnähte lassen aufgrund der stärkeren Wärmeableitung höhere Streckenergien als Stumpfnähte zu. Bei der Kehlnaht am T-Stoß führt eine etwa um 20 bis 40 % höhere Streckenergie zur gleichen Abkühlzeit wie bei der Stumpfnäht.

In vielen Fällen kann die Bestimmung der Abkühlzeit nicht mit genügender Genauigkeit erfolgen, da die Randbedingungen nicht hinreichend bekannt sind. In diesen Fällen empfiehlt es sich, die Abkühlzeit $t_{8/5}$ mit einem Thermoelement zu messen.

Das zur Ermittlung der Abkühlzeit $t_{8/5}$ bei ThyssenKrupp Steel Europe entwickelte Konzept findet inzwischen weltweit Anwendung und hat Eingang in das Regelwerk gefunden, u. a. im SEW 088 und in der DIN EN 1011-2 (2001). Dort finden sich zahlreiche nützliche Hinweise für die Anwendung des Abkühlzeitkonzeptes in der Praxis. Für die einfache Berechnung der Abkühlzeit und weiterer wichtiger Kenngrößen beim Lichtbogenschweißen kann das Computerprogramm „ProWeld“ herangezogen werden. Allgemeine Empfehlungen für das Lichtbogenschweißen sind weiterhin in der DIN EN 1011-1 (1998) enthalten.

hardness minimum on the one hand, and the width of the softened zone on the other. Welding with a suitable heat input, as shown by Fig. 20, proves to be advantageous in this context.

The cooling times listed in Fig. 21 generally apply to the wear-resistant special structural steels. It is possible to determine the suitable heat input per unit length of weld on the basis of the weld geometry, plate thickness and temperature, and thermal efficiency of the welding procedure, as shown e. g. for the gas metal-arc welding of butt joints in Fig. 22. It has to be ensured here that the selected preheat and interpass temperature is sufficient to avoid cold cracking. Fillet welds permit higher heat inputs than butt welds because of the greater dissipation of the welding heat. A roughly 20 to 40% higher heat input for a fillet weld on a tee joint leads to the same cooling time as for a butt weld.

Calculation of the cooling time with sufficient accuracy cannot take place in many cases as the welding boundary conditions are inadequately known. In such cases it is advisable to measure the cooling time $t_{8/5}$ with a thermocouple.

The concept for determining the cooling time $t_{8/5}$, developed at ThyssenKrupp Steel Europe, meanwhile finds application around the world and has become accepted in relevant codes, among them Stahl-Eisen material specification SEW 088 (1993) and EN 1011-2 (2001) where there is much useful advice on how to apply the cooling time concept in practice. The "ProWeld" PC program can also be used for the simple calculation of the cooling time and other important parameters for manual arc welding. General recommendations on arc welding are given in DIN EN 1011-1 (1998).

20. Definition der Streckenergie E [kJ/mm] Definition of heat input E [kJ/mm]

$E = \frac{U \cdot I \cdot 60}{v \cdot 10000}$	U	Schweißspannung Welding voltage	[V]
	I	Schweißstrom Welding current	[A]
	v	Schweißgeschwindigkeit Welding speed	[cm/min]

21. Empfohlener Abkühlzeitbereich Recommended cooling time range

Stahlsorte Steel grade	Abkühlzeit / Cooling time $t_{8/5}$	
	min.	max.
XAR® 400, XAR® 450	5 s	20 s
XAR® 300, XAR® 500	6 s	15 s
XAR® 600	8 s	15 s

22. Streckenergie beim MAG-Schweißen von XAR® 500 Heat input during MAG welding of XAR® 500

Streckenergie bei einer Stumpfnahht im empfohlenen Abkühlzeitbereich
Heat input for a butt weld in the recommended cooling time range

Min. Streckenergie
Min. heat input [kJ/mm]

Blechedicke / Plate thickness

≥ 15 mm

10 mm

5 mm

$t_{8/5} = 6$ s

0

1

2

0

50

100

150

200

250

300

Max. Streckenergie
Max. heat input [kJ/mm]

Blechedicke / Plate thickness

≥ 25 mm

20 mm

15 mm

10 mm

5 mm

$t_{8/5} = 15$ s

0

1

2

3

4

0

50

100

150

200

250

Vorwärm-/Zwischenlagentemperatur / Preheat/interpass temperature [°C]

Vorwärm-/Zwischenlagentemperatur / Preheat/interpass temperature [°C]

Verschleißschutz bei lokal extremer Beanspruchung

Nitrierhärten

Das Gasnitrocarburieren und das Nitrieren im Ammoniakgasstrom stellen wirtschaftliche Verfahren zum Oberflächenhärten dar. Durch die Diffusion von Stickstoff und Kohlenstoff beim Nitrocarburieren bzw. von Stickstoff beim Nitrieren in die Stahloberfläche bei Temperaturen zwischen 500 und 600 °C lassen sich Oberflächenhärten bis zu 850 HV bei Nitriertiefen bis zu 0,8 mm (DIN 50190 Blatt 3) erreichen (**Abb. 23**). Damit ermöglichen beide Verfahren eine Verbesserung des Verschleißschutzes insbesondere bei lokal extremer Beanspruchung. Dabei ist zu berücksichtigen, dass sich die Härte der verschleißfesten Stähle durch die Glühbehandlung beim Nitrieren verringert. Die Härte entspricht somit nicht mehr der des Lieferzustandes.

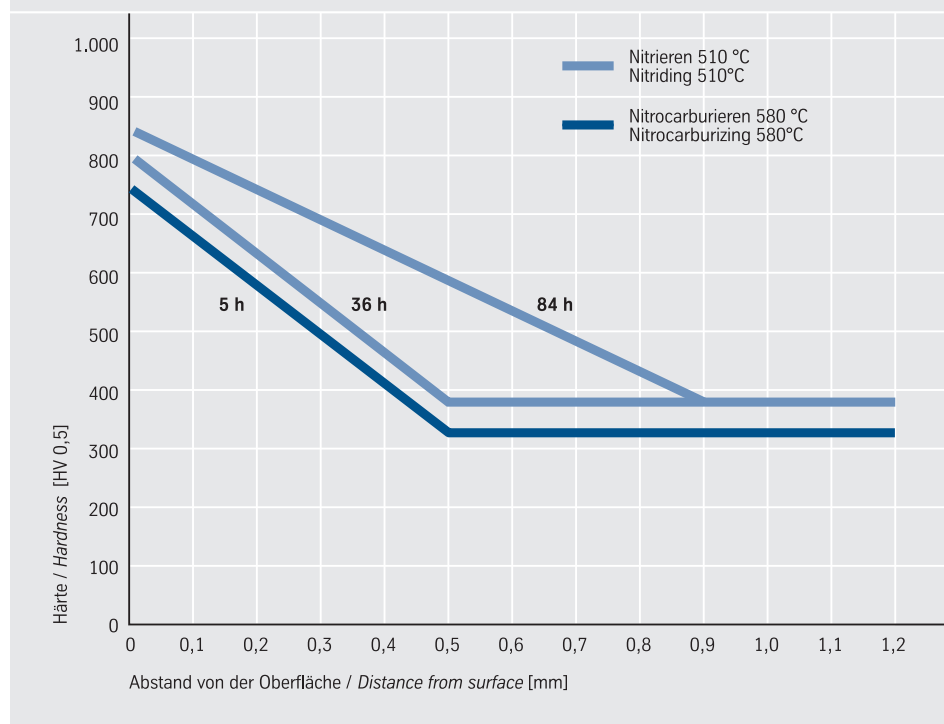
Auftragsschweißen

In Konstruktionen, die ein gutes Zähigkeitsverhalten des verschleißwiderstandsfähigen Stahls, z. B. XAR® 400, erfordern, aber auch bei Einsatz des verschleißfesten Sonderbaustahls XAR® 500, können sich örtlich Beanspruchungen ergeben, die einen zusätzlichen Schutz erforderlich machen.

Dieser Schutz lässt sich durch Auftragschweißen sowohl von Hand als auch automatisch aufbringen. Die Flächen müssen frei von Rost, Zunder, Fett und anderen Verunreinigungen sein. Bewährte Zusatzwerkstoffe sind **Abb. 24** zu entnehmen.

Um den Charakter einer Auftragschweißung und die Verschleißigenschaften des Auftragswerkstoffes nicht zu verändern, muss die Vermischung des Schweißgutes mit dem Blechwerkstoff so gering wie möglich bleiben. Dies bedeutet für das Lichtbogenschweißen niedrige Stromstärken, die das Schweißverfahren bei geringstem Einbrand eben noch gestatten.

23. Typischer Härteverlauf beim Nitrieren
Typical hardness distribution achieved with nitriding



Protection Against Extreme Local Wear Exposure

Nitriding

Gas nitrocarburizing and nitriding in an ammonia gas stream are economic surface hardening methods. The diffusion of nitrogen and carbon (nitrocarburizing) and of nitrogen (nitriding) into the steel surface at temperatures between 500 and 600°C produces surface hardnesses up to 850 HV with nitriding depths of up to 0.8 mm (DIN 50190 Sheet 3) (Fig. 23). Both methods therefore improve wear protection, particularly against extreme local wear. It should be noticed that the hardness of wear-resistant steels decrease due to the heat treatment necessary for nitriding. The hardness of the parent metal does not correspond to that in the as delivered condition.

Hard facing

In structures where good toughness behavior of the wear-resistant steel is required, e. g. XAR® 400, yet also when using wear-resistant special structural steel XAR® 500, exposure conditions can arise locally which necessitate additional protection.

Such protection can be applied by means of hard facing, both manually and automatically. The surfaces must be free from rust, scale, grease and any other contaminants. Fig. 24 shows a selection of proven welding filler metals.

So as not to alter the character of the overlay and the wearing properties of the welding material, the dilution of the weld metal with the parent plate metal must be kept to a minimum. For manual arc welding this means low amperages that just allow the welding process to take place with the lowest amount of penetration.

24. Schweißzusatzwerkstoffe für das Auftragsschweißen Welding filler metals for surface layer welding

Bezeichnung Brand name	Verfahren Process	Belastung Load	Chemische Zusammensetzung/Chemical composition [%]										Bemerkung Remark	
			C	Si	Mn	Cr	Mo	Ni	Nb	W	Ti	B		
SK 900-0	FD	R	3,0	0,3	0,35	3,0					50,0			62 – 67 HRC
SK 785-0	FD	R	5,0	0,8	0,3	30,0								57 – 62 HRC
Thermanit 600 Violett	E	S + R	0,35	3,2	1,0	8,5								57 – 62 HRC
SK 258-0	FD	S + R	0,45	0,9	1,6	6,0	1,5			1,5				52 – 57 HRC
SK 600-G	FD	S + R	0,55	1,0	1,6	6,0	0,75							57 – 62 HRC
Union A600 IG	MAG	S	0,45	3,0	0,4	9,5								57 – 62 HRC
SK TO 43	FD	R	5,0	1,5	0,2	22,0				7,0				57 – 62 HRC
SK 258 TiC-0	FD	S + R	1,7	0,5	1,2	6,5	1,4					5,0		52 – 57 HRC
SK A 45-0	FD	R	5,3	0,7	0,2	21,0	6,3			6,0	1,9			63 HRC
SK 600-G	FD	R	0,4	0,6	0,9	5,5	1,4				1,6			58 HRC
SK A 70-G	FD	R	2,6	0,6	1,7	14,8				4,7			2,2	67 HRC
Thermanit X	WIG/E/MAG		0,1		7,0	18,5			8,0					175 – 225 HBW kaltverfestigt/ strain-hardened 400 HBW R _{p0,2} ≥ 320 N/mm ² R _m ≥ 600 N/mm ² A ₅ ≥ 40 %
SK 402-0	FD		0,1		6,5	18,5			8,0					

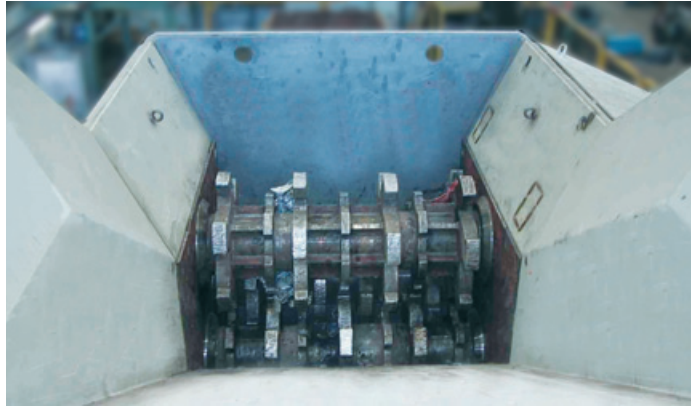
Lieferant / Supplier: Böhler Thyssen Schweißtechnik Deutschland GmbH, Hamm, Germany

Zeichenerklärung: E/G = Stabelektrode/Gasschweißstab, FD = Fülldraht,
WIG/E/MAG = WIG-Stab/Stabelektrode/MAG-Massivdrahtelektrode,
S = Schlagverschleiß, R = Reibverschleiß

Explanation of symbols: E/G = Coated electrode/Gas welding rod,
FD = Flux-cored wire, WIG/E/MAG = WIG rod/coated electrode/MAG solid-wire electrode,
S = Impact induced wear, R = Abrasive wear

Anwendung

Das breite Eigenschaftsspektrum der verschleißfesten Sonderbaustähle XAR® bietet dem Konstrukteur die Möglichkeit, über Berücksichtigung der Beanspruchungs- und Fertigungsbedingungen die optimale Stahlsorte auszuwählen. XAR®-Stähle haben sich dadurch ein weites Feld an Einsatzmöglichkeiten in wichtigen Bereichen der Technik geschaffen.



Zerkleinerungsanlage
Shredder



Abrisszange
Demolition tool

Typische Anwendungsbeispiele sind:

- **Bergbau**
 - Kippermulden
 - Seitenpanzerungen
 - Schilde
 - Siebe
 - Rutschen
 - Bohrgeräte für Gründungspfähle
 - Steinmühlen
 - Förderer
 - Mischelemente
 - Schaufelmesser
 - Seitenschneiden
 - Bodenbleche
 - Schrapper
 - Brecherbacken
 - Lager- und Versteifungsbleche
 - LKW-Mulden
 - Prallmühlenplatten
- **Erdbewegungsmaschinen**
 - Schaufelbagger
 - Greifer
 - Planiertrappen
 - Baggerzähne
 - Schneidleisten
 - Schleißbleche
- **Stahlindustrie**
 - Zerkleinerungsanlagen
 - Schrottpressen
 - Förderrutschen
 - Rüttelsiebe
- **Zementfabriken**
 - Brecher
 - Trichter
 - Siebe
 - Mischer
 - Rutschen
 - Betonsteinformen
- **Kohlekraftwerke**
 - Kohlemühlen
- **Landmaschinen**
 - Pflüge
 - Eggen

Dabei bewähren sich die besonderen Eigenschaften dieser Stahlgruppe: Härte gegen Verschleiß, ausreichende Zähigkeit und hoher Verformungswiderstand gegen häufig auftretende Überlastung. So lassen sich ungünstige Verformungen im Bodenblech oder einer Mulde oder das Ausbeulen ganzer Bodenfelder durch den Einsatz unserer verschleißfesten Sonderbaustähle XAR® besser beherrschen, und man kann auf den Einsatz dickerer Bleche verzichten.

Application

The broad property spectrum of the wear-resistant special structural steels XAR® offers design engineers the possibility to select the optimum steel grade while making due allowance for the service and fabrication conditions. XAR® steels have thereby created for themselves a wide range of possible applications in important engineering domains.

Typical application examples of use include:

- **Mining equipment**
molds
wear plates
blades
riddles
chutes
drilling equipment for foundation piles
stone crushers
conveyors
mixer parts
shovel blades
bottom plates
scrapers
crusher jaws
supporting and reinforcing plates
truck dump moulds
pulverizer plates
- **Earth moving equipment**
bucket excavators
grabs
bulldozers
shovel teeth
cutting edges
wear plates
- **Steel plants**
shredders
scrap presses
chutes
vibrating sieves
- **Cement plants**
crushers
hoppers
riddles
mixers
chutes
paving moulds
- **Coal-fired power stations**
coal crushers
- **Agricultural machinery**
plows
harrows

The special properties of this group of steels are tried and proven in these respects: hardness to counteract wear, ample toughness, and high deformation resistance to withstand frequent overload conditions. The use of our wear-resistant special structural steels XAR® consequently makes it possible to exert better control over unfavorable deformations in bottom plates or dump bodies or over the buckling of entire bottom elements, and to do without the need for thicker plates.



Brech- und Siebanlage
Crushing and riddling machine

Ausblick

In den beispielhaft genannten Anwendungsfällen haben sich unsere verschleißfesten Sonderbaustähle XAR® trotz der komplexen und hohen Beanspruchung der Konstruktionen seit vielen Jahren hervorragend bewährt. So liefern wir bereits seit Mitte der 60er Jahre verschleißfeste Sonderbaustähle in unterschiedlichen Härtestufen in alle Welt.

Die bisher sehr positiven Erfahrungen berechtigen zu der Annahme, dass die verschleißfesten Sonderbaustähle XAR® in Zukunft in den beschriebenen Anwendungsgebieten verstärkt eingesetzt werden. Es besteht weiterhin die Aussicht, zusätzliche Anwendungsfelder zu erschließen. Parallel dazu wird intensiv an einer weiteren Qualitätsverbesserung unserer Produkte gearbeitet. Für interessierte Kunden können dazu auf Anfrage jetzt XAR®-Bleche mit bis zu 600 HBW geliefert werden. Für Anwendungsfälle mit geringerer Verschleißbeanspruchung bietet der normalisierte Sonderbaustahl XAR® 300 mit 300 Brinell Härte eine Alternative zu den wasservergüteten XAR®-Stählen, die ein sehr gutes Preis-Leistungs-Verhältnis aufweist. Damit wird unseren Kunden der Wechsel von der Stahlsorte S355, welche häufig bei Anwendungen mit geringer oder mittlerer Verschleißbeanspruchung zum Einsatz kommt, auf einen verschleißfesten Sonderbaustahl erheblich erleichtert. Auch bei Anwendungen mit hohen Einsatztemperaturen können wir einen guten Stahl mit hoher Verschleißbeständigkeit anbieten: den XAR® 400 W. Wenden Sie sich bei Bedarf bitte an unsere technische Kundenberatung.

Parallel dazu stehen die Verbesserung des Verarbeitungsverhaltens, insbesondere der Kaltumformbarkeit, durch Optimierung von Stahlzusammensetzung und Fertigungsweg sowie die Verbesserung der Toleranzfelder für Blechdicke und Ebenheit im Vordergrund aktueller Entwicklungsarbeiten.

Neben dem bekannten Produktionsweg über die Quartostraße verweisen wir auf die diesbezüglich besonders vorteilhafte Fertigung von verschleißfesten Grobblechen, geschnitten aus Warmbreitband. So lassen sich mit Bandblechen engste Dickentoleranzen mit einer Toleranzspanne von insgesamt 0,4 mm darstellen, die mit Quartoblechen im Allgemeinen nicht erreicht wird.

Detaillierte Liefermöglichkeiten sind unserem Lieferprogramm Grobblech zu entnehmen.



Prospects

In the applications cited as examples, our wear-resistant special structural steels XAR® have for many years shown themselves to be outstanding where wear resistance is a key factor, despite the complex and heavy loads and stresses to which the structures are exposed. We have been supplying wear-resistant special structural steels in different hardnesses throughout the world since the mid-1960s.

The very positive experience acquired so far justifies the assumption that wear-resistant special structural steels XAR® will find increasing application in future in the described fields of use. There is also the prospect of additional fields opening up. In parallel with this, intensive work is in progress to improve the quality of our products further. It is now already possible to supply XAR® plates with a hardness of up to 600 HBW for selected customers upon request. For applications involving less

wear, the XAR® 300 normalized special structural steel with a hardness of 300 HBW and a high surface quality offers an alternative with a good price-performance ratio to the quenched and tempered XAR® grades. This grade makes it considerably easier for our customers to switch from S355 material, used frequently for applications with low or moderate levels of wear, to a wear-resistant special structural steel. For applications involving high operating temperatures we can also offer a good steel with high wear resistance: XAR® 400 W. Enquiries in this respect should please be directed to our technical customer service.

Current development work is, moreover, focusing on the enhancement of the processing behavior, in particular the cold formability, through optimization of the steel composition and production route, and on the improvement of the tolerance bands for plate thickness and flatness.

In this regard, we draw attention to the extremely advantageous method of producing wear-resistant plates by cutting from hot-rolled wide strip, besides the familiar route through a four-high rolling mill. Plates cut from strip permit very close thickness tolerances with a tolerance band totaling 0.4 mm, something which is generally unachievable with four-high plates.

Our plate product mix brochure gives details of the supply possibilities.



Schrifttum

Schrifttum

Folgende Quellen enthalten weitergehende Informationen zu den behandelten Themen:

Stahl-Eisen-Werkstoffblatt 088-93:
Schweißgeeignete Feinkornbaustähle,
Richtlinien für die Verarbeitung, besonders
für das Schmelzschweißen

DIN EN 1011-1
Empfehlungen zum Schweißen metallischer
Werkstoffe
Teil 1: Allgemeine Anleitungen für Licht-
bogenschweißen
Deutsche Fassung EN 1011-1 (1998)

DIN EN 1011-2
Empfehlungen zum Schweißen metallischer
Werkstoffe
Teil 2: Lichtbogenschweißen von ferritischen
Stählen
Deutsche Fassung EN 1011-2 (2001)

Merkblatt 381
Schweißen unlegierter und niedriglegierter
Baustähle
Auflage 1999
Stahl-Informations-Zentrum

Kennzeichnung von Schweißtemperatur-
zyklen hinsichtlich ihrer Auswirkung auf die
mechanischen Eigenschaften von Schweiß-
verbindungen durch die Abkühlzeit $t_{8/5}$ und
deren Ermittlung
Thyssen Technische Berichte
Heft 1 (1985), Seite 57–73
und IIW-Doc. IX-1336-84

Ermittlung angemessener Mindestvorwärm-
temperaturen für das kaltrissichere
Schweißen von Stählen
Thyssen Technische Berichte
IIW-Doc. IX-1631-91

Gasnitrieren von nicht alltäglichen Bauteilen
HTM Härterei-Technische Mitteilungen 47
(1992)

Verschleißfeste Sonderbaustähle –
Herstellung, Verarbeitung und Anwendung
Schweißen und Schneiden 50 (1998) Nr. 9,
S. 556–562

Schweißtechnische Verarbeitung von
verschleißfesten Stählen
DVS-Berichte Band 240 (2006),
S. 80–86

Gutachterliche Stellungnahme zum
Verschleißverhalten der verschleißfesten
Sonderbaustähle der ThyssenKrupp Steel
Europe AG
Fachhochschule Mannheim
Institut für Tribologie (2001)

Lieferprogramm Grobblech
ThyssenKrupp Steel Europe

Verschleißfeste Stähle XAR®
Die Lösung für Ihr Verschleißproblem

ThyssenKrupp Steel Europe CD-ROM
„Sonderbaustähle“ (enthält ProWeld und
ProWear)

Bezugsquellen

Stahl-Eisen-Werkstoffblätter
Verlag Stahleisen mbH
Postfach 10 51 64
40042 Düsseldorf

Normen
Beuth-Verlag GmbH
Postfach, 10772 Berlin

Merkblätter
Stahl-Informations-Zentrum
Postfach 10 48 42
40039 Düsseldorf

Literature

Literature

For further information please refer to the following sources:

Stahl-Eisen Material Specifications 088-93: Weldable fine-grained structural steels, Guidelines for processing, in particular for welding

DIN EN 1011-1
Recommendations for welding of metallic materials
Part 1: General guidance for arc welding
German version EN 1011-1 (1998)

DIN EN 1011-2
Recommendations for welding of metallic materials
Part 2: Arc welding of ferritic steels
German version EN 1011-2 (2001)

Characterization of weld thermal cycles with regard to their effect on the mechanical properties of welded joints by the cooling time $t_{8/5}$ and its determination
Thyssen Technical Reports
Volume 1 (1985), pp. 57–73
and IIW-Doc. IX-1336-84

Determination of suitable minimum preheating temperatures for the cold-crack-free welding of steels
Thyssen Technical Reports
IIW-Doc. IX-1631-91

Expert opinion on the wear behavior of the wear-resistant special structural steels of ThyssenKrupp Steel Europe AG
Mannheim University for Applied Sciences
Institute for Tribology (2001)

Heavy plate made of wear-resistant special structural steels – manufacture, processing, application, Materials-Week, 1–4 October 2001, Munich (Germany)

Product mix plate
ThyssenKrupp Steel Europe

XAR® wear-resistant steels
Solution to your wear problems

ThyssenKrupp Steel Europe CD-ROM
“Special Structural Steels”
(ProWeld and ProWear included)

References

Stahl-Eisen Material Specifications
Verlag Stahleisen mbH
P. O. Box 105164
40042 Düsseldorf, Germany

Standards
Beuth-Verlag GmbH
P. O. Box
10772 Berlin, Germany

Codes of Practice
Stahl-Informations-Zentrum
P. O. Box 104842
40039 Düsseldorf, Germany

Ihre Gesprächspartner

Please contact

Technische Kundenberatung / *Technical Customer Service*

Dr. Hans-Jürgen Kaiser
Telefon/*Telephone*: +49 (0)203 52-75114
E-Mail: juergen.kaiser@thyssenkrupp.com

Schweißtechnik / *Welding Technology*

Dr. Ingold Seidl
Telefon/*Telephone*: +49 (0)203 52-75669
E-Mail: ingold.seidl@thyssenkrupp.com

Verschleißanwendungen / *Wear Applications*

Tobias Gödde
Telefon/*Telephone*: +49 (0)203 52-75673
E-Mail: tobias.goedde@thyssenkrupp.com

Aktuelle Informationen finden Sie im Internet unter <http://grobblech.thyssenkrupp-steel-europe.com>
The latest information can be found on the internet <http://plate.thyssenkrupp-steel-europe.com>

Allgemeiner Hinweis

Angaben über die Beschaffenheit oder Verwendbarkeit von Materialien bzw. Erzeugnissen dienen der Beschreibung. Zusagen in Bezug auf das Vorhandensein bestimmter Eigenschaften oder einen bestimmten Verwendungszweck bedürfen stets besonderer schriftlicher Vereinbarung.

Technische Änderungen vorbehalten.
Nachdruck auch auszugsweise, mit Genehmigung der ThyssenKrupp Steel Europe AG, Geschäftseinheit Grobblech.

General note

All statements as to the properties or utilization of the materials and products mentioned in this brochure are for the purpose of description only. Guarantees in respect of the existence of certain properties or utilization of the material mentioned are only valid if agreed upon in writing.

Subject to technical changes without notice. Reprints, even extracts, only with permission of ThyssenKrupp Steel Europe AG, Heavy Plate Unit.

ThyssenKrupp Steel Europe AG

Kaiser-Wilhelm-Straße 100 · 47166 Duisburg · Germany

Postanschrift / *Postal address*: 47161 Duisburg · Germany

Telefon / *Telephone* +49 (0)203 52-0 · Telefax +49 (0)203 52-25102

www.thyssenkrupp-steel-europe.com · info.steel-europe@thyssenkrupp.com