



VERARBEITUNGSEMPFEHLUNGEN
PROCESSING RECOMMENDATIONS

Hochfeste Stähle N-A-XTRA[®] und XABO[®] *N-A-XTRA[®] and XABO[®] high-strength steels*

ThyssenKrupp Steel Europe
Thinking the future of steel



ThyssenKrupp

Klasse statt Masse

ThyssenKrupp
high strength

N-A-XTRA®

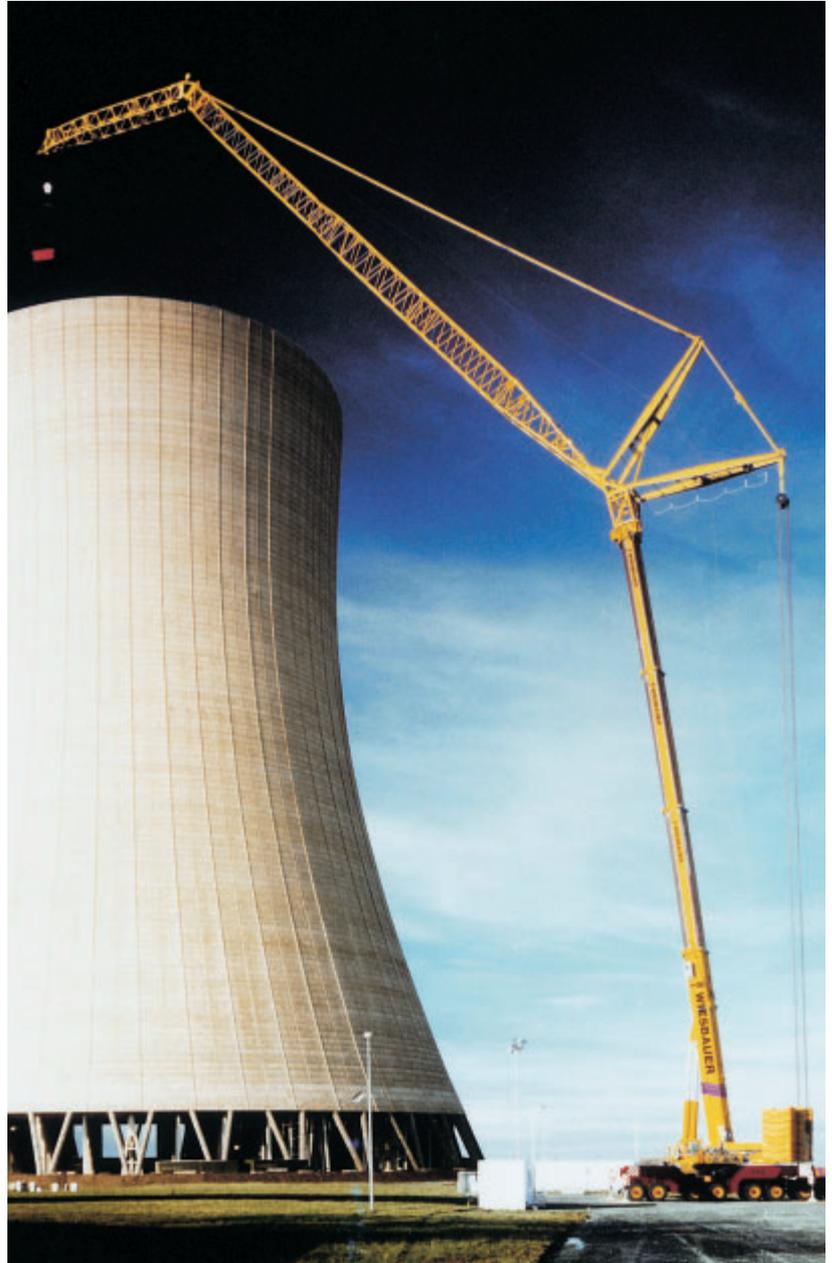
ThyssenKrupp
high strength

XABO®

In hochbeanspruchten Stahlkonstruktionen, wie z. B. Druckbehältern, Druckrohrleitungen, aber vor allem im Nutzfahrzeug- und Mobilkranbau hat das Eigengewicht der Konstruktion einen wesentlichen Einfluss auf die Wirtschaftlichkeit. Eine Verringerung des Eigengewichts ohne Einbuße der Tragfähigkeit, d.h. der Festigkeit und der Funktion der Konstruktion, steht dabei im Vordergrund. Diesem Wunsch nach Leichtbauweise und nach gleichzeitiger Steigerung der Leistungsfähigkeit hochbeanspruchter Konstruktionen sowie Reduzierung der Betriebskosten ist die ThyssenKrupp Steel Europe AG durch Bereitstellung der schweißbaren wasservergüteten Feinkornbaustähle N-A-XTRA® und XABO® mit 550 bis 1100 MPa Mindeststreckgrenze nachgekommen. Diese Stähle erfüllen die hohen Erwartungen, die vom Kunden an den Werkstoff Stahl gestellt werden:

- problemlose und kostengünstige Verarbeitung
- niedriges Eigengewicht der Konstruktion
- universeller Einsatz bei erhöhten und niedrigen Temperaturen

Ausgehend hiervon verdeutlicht **Abb. 1** anschaulich die Möglichkeiten zur Gewichteinsparung im Druckbehälterbau durch Verwendung vergüteter Sonderbaustähle im Vergleich zum S355 (St52-3), wobei die Tragfähigkeit und das Leistungsvermögen



Inhalt

- 2 Klasse statt Masse
- 6 Scheren und Zerspanen
- 8 Thermisches Trennen
- 10 Umformen
- 14 Schweißen
- 22 Anwendung
- 24 Ausblick, Schrifttum, Bezugsquellen
- 27 Ihre Gesprächspartner / Allgemeiner Hinweis

A matter of quality

In highly stressed steel structures, such as e.g. pressure vessels, penstocks and also, particularly, commercial vehicles and mobile cranes, the structure's dead weight has a major influence on economic and operational efficiency. Reduction of the dead weight without decreasing the load-bearing capacity, i.e. strength and function of the structure, takes on prime importance.

ThyssenKrupp Steel Europe has kept pace with the requirement for lightweight construction and, simultaneously, for the enhanced performance of highly-stressed structures, including reduced operating costs, by developing its weldable, quenched and tempered fine-grained structural steels N-A-XTRA® and XABO® with minimum yield strengths between 550 and 1100 MPa. These steels fulfill the high expectations which customers have of steel material:

- problem-free and low-cost processing
- low dead weight of the fabricated structure
- universal use at elevated and low temperatures

This said, Fig. 1 illustrates the weight-saving possibilities in pressure vessel manufacture through using quenched and tempered special structural steels compared with S355 (St52-3), without the strength and performance of the structure being affected.

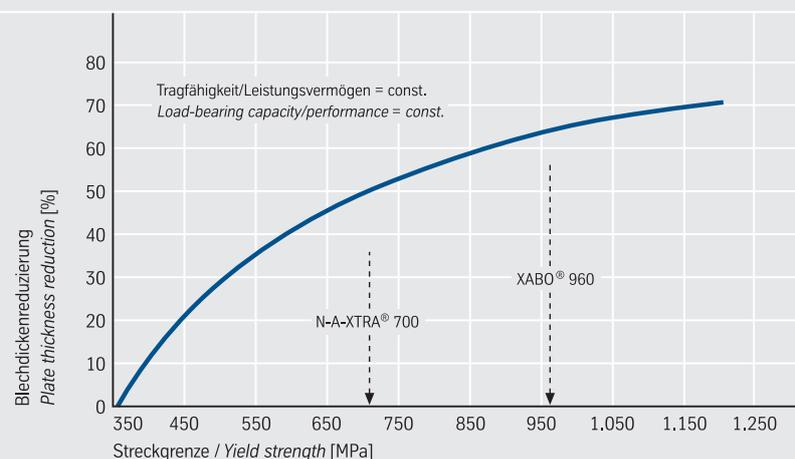
By doubling the yield strength, e.g. through use of the N-A-XTRA® 700 steel grade in place of S355 (St52-3), it is possible to reduce the plate thickness by as much as 50%. Besides the aspect of completely new technical solutions, the use of high-strength steels also offers clear economic advantages. This applies

especially to welding-intensive structures where the ratio of weld metal weight to steel weight is considerable. Taking the example of mobile crane manufacture, Fig. 2 gives information on how the choice of steel influences the prime costs of welded structures.

It shows that a cost saving of 80% is achievable by using the XABO® 960 steel instead of the classic S355 grade. This is possible, on the one hand, as a result of the decreased plate thickness and, on the other hand, through the reduction of the weld cross section and, consequently, of the specific weld costs (welding filler metals requirement and welding costs).

The N-A-XTRA® and XABO® low-alloy, quenched and tempered structural steels are described in detail in ThyssenKrupp Steel Europe data sheets 215, 216, 245 and 247. They have a fine martensitic-bainitic microstructure produced by controlled heat treatment and combine high strength with excellent toughness and high fatigue resistance. Ideal materials are thereby available for a multitude of applications. Figs. 3 and 4 provide an overview of the chemical composition and mechanical properties of the N-A-XTRA® and XABO® steels.

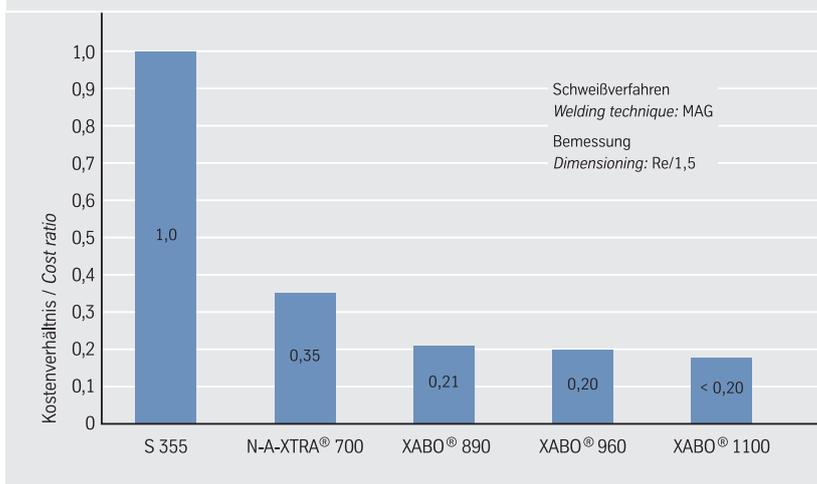
1. Blechdickenreduzierung durch Einsatz hochfester Stähle im Druckbehälterbau Plate thickness reduction in pressure vessel manufacturing by using high-strength steels



Contents

- 3 A matter of quality
- 7 Shearing and Machining
- 9 Thermal cutting
- 11 Forming
- 15 Welding
- 23 Application
- 25 Outlook, Literature, References
- 27 Please contacts / General note

2. Gestehungskosten von Schweißkonstruktionen im Mobilkranbau Prime costs of welded structures in mobile crane manufacture



der Konstruktion konstant bleiben. **Bei Verdopplung der Streckgrenze, z. B. durch Verwendung des Stahles N-A-XTRA® 700 anstelle S355 (St52-3), lässt sich die Blechdicke um bis zu 50 % verringern.** Somit ergeben sich neben dem Aspekt, völlig neue technische Lösungen anzubieten, auch klare wirtschaftliche Vorteile durch die Verwendung hochfester Stähle. Dies gilt insbesondere, wenn es sich um schweißintensive Konstruktionen handelt, bei denen das Verhältnis von Schweißgutgewicht zu Stahlgewicht beträchtlich ist. Am Beispiel des Mobilkranbaus gibt **Abb. 2** Auskunft darüber, wie sich die Stahlauswahl auf die Gestehungskosten von Schweißkonstruktionen auswirkt.

Bei Einsatz des Stahles XABO® 960 an Stelle des klassischen S355 ergibt sich danach eine Kostenersparnis von 80 %. Dies resultiert zum einen aus der Verringerung der Blechdicke, zum anderen reduzieren sich der Nahtquerschnitt und damit die spezifischen Schweißnahtkosten (Aufwand für Schweißzusatzwerkstoffe und Schweißkosten).

Die vergüteten Sonderbaustähle N-A-XTRA® und XABO® sind in den ThyssenKrupp Europe Steel-Werkstoffblättern 215, 216, 245 und 247 ausführlich beschrieben. Sie weisen ein durch gezielte Wärmebehand-

lung erzeugtes feines martensitisch-bainitisches Gefüge auf, das hohe Festigkeit mit ausgezeichneter Zähigkeit und hohem Ermüdungswiderstand verbindet. Hierdurch stehen ideale Werkstoffe für eine Vielzahl von Anwendungsbereichen zur Verfügung. Die **Abb. 3 und 4** geben einen Überblick über die chemische Zusammensetzung und die mechanischen Eigenschaften der Stähle N-A-XTRA® und XABO®.

Im Hinblick auf den effektiven und wirtschaftlichen Einsatz dieser Stähle sowie zur Instandhaltung von Konstruktionen steht vor allem das Verarbeitungsverhalten der Stähle im Vordergrund. In dieser Druckschrift werden dazu für die wichtigsten Verarbeitungsverfahren Empfehlungen gegeben, die der Anwender bei der Verarbeitung von N-A-XTRA®- und XABO®-Stählen beachten sollte. Dabei wird auf folgende Verarbeitungsverfahren eingegangen:

- Scheren
- Zerspanen
- Umformen
- Kaltbiegen
- Abkanten
- Thermisches Trennen
- Schweißen

Dem Anwender wird darüber hinaus empfohlen, insbesondere bei der erstmaligen Verarbeitung der hochfesten wasservergüteten Stähle, den direkten Dialog mit den Grobblechexperten von ThyssenKrupp Steel Europe zu suchen.

3. Chemische Zusammensetzung Chemical composition

Stahlsorte Steel grade	Schmelzenanalyse / Heat analysis [%]								
	C	Si	Mn	P	S	Cr	Mo	Ni	V
N-A-XTRA® N-A-XTRA® M	≤ 0,20	≤ 0,80	≤ 1,60	≤ 0,02	≤ 0,01	≤ 1,50	≤ 0,60	–	–
XABO® 890 XABO® 960	≤ 0,18	≤ 0,50	≤ 1,60	≤ 0,02	≤ 0,01	≤ 0,80	≤ 0,70	≤ 2,00	≤ 0,10
XABO® 1100	≤ 0,20	≤ 0,50	≤ 1,70	≤ 0,02	≤ 0,005	≤ 1,50	≤ 0,70	≤ 2,50	≤ 0,12

4. Mechanische Eigenschaften nach Werkstoffblatt
Mechanical properties according to data sheet

Stahlsorte <i>Steel grade</i>	Dicke <i>Thickness</i> [mm]	Streckgrenze <i>Yield strength</i> R _{eH} [MPa]	Zugfestigkeit <i>Tensile strength</i> R _m [MPa]	Bruchdehnung <i>Elongation</i> A [%]	Kerbschlagarbeit in J bei Prüftemperatur <i>Impact toughness in J at test temperature</i>		
					-20 °C	-40 °C	-60 °C
					N-A-XTRA® 550	3 – 50	≥ 550
N-A-XTRA® M 550	3 – 65	≥ 550	640 – 820	≥ 16	≥ 30	≥ 27	
	> 65 – 100	≥ 530	640 – 820	≥ 16	≥ 30	≥ 27	
N-A-XTRA® 620	3 – 50	≥ 620	700 – 890	≥ 15	≥ 35	≥ 30	≥ 27
N-A-XTRA® M 620	3 – 65	≥ 620	700 – 890	≥ 15	≥ 30	≥ 27	
	> 65 – 100	≥ 580	700 – 890	≥ 15	≥ 30	≥ 27	
N-A-XTRA® 700	3 – 50	≥ 700	770 – 940	≥ 14	≥ 35	≥ 30	≥ 27
N-A-XTRA® M 700	3 – 65	≥ 700	770 – 940	≥ 14	≥ 30	≥ 27	
	> 65 – 100	≥ 650	760 – 930	≥ 14	≥ 30	≥ 27	
N-A-XTRA® 800	≤ 65	≥ 800	840 – 1.000	≥ 11	≥ 35	≥ 30	≥ 27
	> 65	≥ 740	840 – 990	≥ 11	≥ 35	≥ 30	≥ 27
N-A-XTRA® M 800	≤ 65	≥ 800	840 – 1.000	≥ 11	≥ 30	≥ 27	
	> 65	≥ 740	840 – 990	≥ 11	≥ 30	≥ 27	
XABO® 890	3 – 50	≥ 890	940 – 1.100	≥ 11	≥ 30	≥ 27	*)
	> 50 – 100	≥ 830	880 – 1.100	≥ 11	≥ 30	≥ 27	*)
XABO® 960	3 – 50	≥ 960	980 – 1.150	≥ 10	≥ 30	≥ 27	
	> 50 – 60	≥ 920	970 – 1.100	≥ 10	≥ 30	≥ 27	
	> 60 – 80	≥ 870	920 – 1.070	≥ 10	≥ 30	≥ 27	
	> 80 – 100	≥ 850	900 – 1.050	≥ 10	≥ 30	≥ 27	
XABO® 1100	4 – 40	≥ 1100	1.200 – 1.500	≥ 8		≥ 27	

*) nach Vereinbarung / by arrangement

Die Angaben zur Streckgrenze, Zugfestigkeit, Dehnung und Kerbschlagarbeit beziehen sich auf Querproben. Die Kerbschlagarbeit wird an Charpy V-Proben ermittelt.
The mechanical properties relate to samples transverse to the rolling direction. The impact toughness is investigated on Charpy V-notch specimens.

The processing behavior, in particular, is central to the effective and economical use of these steels and to structure maintenance. This publication contains recommendations on the most important processing techniques; users should need these when processing N-A-XTRA® and XABO® steels.

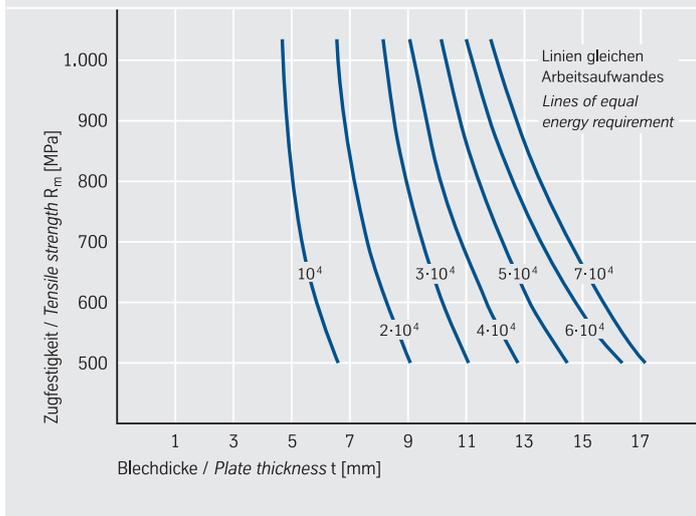
The following techniques are featured here:

- Shearing
- Machining
- Forming
- Cold bending
- Press-brake bending
- Thermal cutting
- Welding

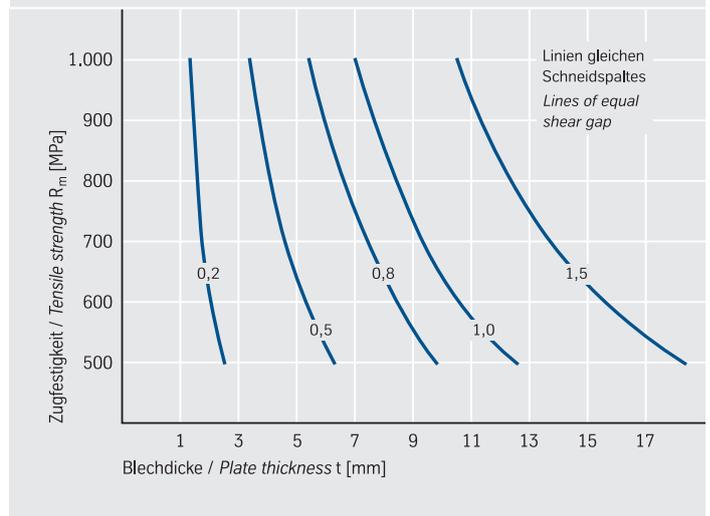
Users are also advised to consult ThyssenKrupp Steel Europe's plate experts directly, especially if processing these high-strength quenched and tempered steels for the first time.

Scheren und Zerspanen

5. Arbeitsaufwand pro Meter beim Scherschneiden [J/m] Energy required per meter for shearing [J/m]



6. Schneidspalt [mm] Shear gap [mm]



Scheren

Kraft- und Arbeitsaufwand beim Scheren hängen erheblich vom Zustand des Schneidwerkzeugs und von der Größe des Schneidspaltes ab. Weitere Einflussgrößen sind die Schnittlänge, die Zugfestigkeit und die Dicke des zu schneidenden Werkstückes beim Scheren. Der Schneidwinkel sollte 3 bis 5° betragen. **Abb. 5** gibt Auskunft über den Arbeitsaufwand A in Abhängigkeit von der Zugfestigkeit und der Blechdicke. Hieraus kann auch die beherrschbare Grenzblechdicke abgeschätzt werden. Dem Zusammenhang liegt dabei folgende Formel zugrunde: $A \text{ in (J)} = 0,48 \cdot L \cdot R_m \cdot t^2$

Dabei entspricht L der Schnittlänge (m), R_m der Zugfestigkeit (MPa) und t der Blechdicke (mm). Auf die Schnittgüte hat der Schneidspalt U_s großen Einfluss. Die optimale Schneidspaltbreite nimmt danach mit steigender Zugfestigkeit des Stahles zu. Allgemein lässt sie sich nach folgender Formel berechnen:

$$U_s \text{ in (mm)} = 0,0067 \cdot t \cdot (\sqrt{R_m} - 10)$$

Abb. 6 zeigt den Zusammenhang zwischen dem optimalen Schneidspalt, der Zugfestigkeit und der Blechdicke.

Abb. 7 gibt ergänzend Auskunft darüber, wie sich bei den hochfesten wasservergüteten Baustählen die beherrschbaren Grenzblechdicken bezogen auf den Stahl S355J2 (St 52-3) darstellen.

Zerspanen

Das Zerspanen der vergüteten Sonderbaustähle N-A-XTRA® und XABO® kann mit allen gängigen Verfahren der Spanungstechnik erfolgen (dazu zählen Drehen, Fräsen, Hobeln, Bohren u.ä.). Wegen der höheren Festigkeit muss jedoch im Vergleich zu den weicheren allgemeinen Baustählen wie S355J2 (St 52-3) mit geringeren Zerspanungsleistungen gerechnet werden.

Von besonderem Interesse ist das Bohren. Um hierbei gute Verarbeitungsergebnisse zu erzielen, muss versucht werden, Vibrationen zu vermeiden oder so weit wie möglich zu minimieren. Dies wird erreicht, indem man:

- das Werkstück möglichst dicht an der Bohrstelle fest einspannt
- das Werkstück und den Bohrkopf so nahe wie möglich an die Maschinensäule legt
- kurze Bohrer sowie eine kurze Maschinenspindel benutzt

Für umfangreichere Bohrarbeiten ist der Einsatz kobaltlegierter HSS-Spiralbohrer zu empfehlen. Beim Bohren von XABO® 890/960/1100 haben sich Hartmetallbohrer bewährt, die gleichzeitig höhere Schnittgeschwindigkeiten zulassen. Die Standzeit der Bohrer wird verlängert, wenn als Kühlmittel Hochleistungs-Spezial-Schneidöle verwendet werden. Anhaltswerte zu Schnittgeschwindigkeiten (m/min), Drehzahlen (Upm) und Vorschub (mm/U) können der **Abb. 8** entnommen werden.

Shearing and Machining

Shearing

The force and energy required in shearing operations depend to a significant extent on the state of the cutting tool and on the size of the shear gap. Other influencing factors include the length of cut, the tensile strength, and the thickness of the workpiece that is to be cut. The cutting angle should be 3 to 5°. Fig. 5 gives information on the required energy A as a function of the tensile strength and plate thickness. From this it is also possible to estimate the controllable plate thickness, taking the following equation as a basis:

$$A \text{ in (J)} = 0.48 \cdot L \cdot R_m \cdot t^2$$

Here L is the length of cut (m), R_m the tensile strength (MPa), and t the plate thickness (mm). The shear gap U_s has a major influence on the quality of cut. The optimum shear gap width increases with increasing tensile strength of the steel. It can generally be calculated according to the following equation: $U_s \text{ in (mm)} = 0.0067 \cdot t \cdot (\sqrt{R_m} - 10)$

Fig. 6 shows the correlation between the optimum shear gap, the tensile strength and the plate thickness. Fig. 7 gives additional information on controllable plate thicknesses for the high-strength quenched and tempered structural steels in relation to the S355J2 (St52-3) steel grade.

Machining

The N-A-XTRA® and XABO® quenched and tempered special structural steels made by ThyssenKrupp Steel Europe are suitable for machining by all prevalent methods (including turning, milling, planing, drilling, and similar). Their higher strength, however, means that lower metal removal rates are to be expected in comparison with the milder general-purpose structural steels such as S355J2 (St52-3).

Drilling is of particular interest. To achieve good results in this connection, it is necessary to try to avoid or, as far as possible, minimize vibrations. This is done by:

- clamping the workpiece firmly as close to the point of drilling as possible
- positioning the workpiece and the drilling head as close to the machine column as possible
- using short drills and a short machine spindle

Where extensive drilling work is involved, it is advisable to use cobalt-alloyed high-speed steel twist drills. Carbide-tipped drills, which also permit higher metal-cutting speeds, have proven suitable for drilling XABO® 890/960/1100. The life of the drills is prolonged by using heavyduty special cutting oils as a coolant. Reference value on cutting speeds (m/min), rotational speeds (Rpm) and feed rates (mm/R) is given in Fig. 8.

7. Beherrschbare Grenzblechdicken beim Scheren Controllable plate thicknesses for shearing		
Stahlsorte Steel grade	Mittlere Zugfestigkeit Average tensile strength [MPa]	Grenzblechdicke Controllable plate thickness [mm]
S355J2G3	560	1,0 · t
N-A-XTRA® 550	730	0,86 · t
N-A-XTRA® 620	795	0,83 · t
N-A-XTRA® 700	845	0,81 · t
N-A-XTRA® 800	930	0,78 · t
XABO® 890	1020	0,74 · t
XABO® 960	1065	0,72 · t
XABO® 1100	1300	0,65 · t

t = Blechdicke / Plate thickness

8. Richtwerte für die Zerspanung Guide values for machining					
Stahlsorte Steel grade	Schnittgeschwindigkeit Cutting speed [m/min]	Bohrer / Drill D = 6 mm	Bohrer / Drill D = 8 mm	Bohrer / Drill D = 10 mm	Bohrer / Drill D = 12 mm
		Upm/Vorschub [mm/U] / Rpm/feed rates [mm/R]			
N-A-XTRA® 550/620	4 – 6 ¹⁾	260/0,08	200/0,10	160/0,15	130/0,20
N-A-XTRA® 700/800	3 – 5 ¹⁾	210/0,05	160/0,08	130/0,10	100/0,15
XABO® 890/960/1100	20 – 25 ²⁾	1.300/0,05	1.000/0,05	800/0,08	670/0,08

1) HSS-Spiralbohrer / High-speed steel twist drill

2) Hartmetallbohrer / Carbide tipped drill

Thermisches Trennen

Für das thermische Trennen von Blechen aus N-A-XTRA®- und XABO®-Sonderbaustählen kommen folgende Verfahren in Betracht:

- Autogenes Brennschneiden
- Plasmaschneiden
- Laserstrahlschneiden

Die modernen Plasma- und Laserstrahlverfahren werden vor allem bei dünnen Blechen zunehmend eingesetzt. Ihre Vorteile gegenüber dem autogenen Brennschneiden sind:

- höhere Schneidgeschwindigkeit
- schmalere Wärmeeinflusszone an der Schnittkante
- geringerer Verzug des Bauteils

In jüngster Zeit tritt das Laserstrahlschneiden besonders in den Vordergrund. Mit einem 3-kW-CO₂-Laser werden heute üblicherweise Blechdicken bis etwa 20 mm verarbeitet. Hohe Schneidgeschwindigkeiten lassen sich beim Laserstrahlbrennschneiden mit hochreinem Sauerstoff erreichen. Im Hinblick auf die Schnittgüte ist eine exakte Abstimmung der Schneidbedingungen, wie z.B. Laserleistung, Schneidgeschwindigkeit und Sauerstoff-

druck, erforderlich. Gleichzeitig muss beachtet werden, dass die Schnittkante eine leichte Oxidschicht aufweist.

Beim thermischen Schneiden hängt das Schneidergebnis in starkem Maße von der Oberflächenbeschaffenheit der zu verarbeitenden Bleche ab. **Das gilt insbesondere für das Laserstrahlschneiden. Bei diesem Verfahren lassen sich die besten Schnittflächen an Blechen mit einer gleichmäßigen, dünnen und fest haftenden Zunderschicht erreichen. Die Schnittflächenbeurteilung erfolgt im Allgemeinen nach DIN EN ISO 9013. Auch bei geprierten Blechen konnten mit dem bei ThyssenKrupp Steel Europe standardmäßig eingesetzten Zinksilikat-Shopprimer Schnittgüten erreicht werden, die mit Blechen einer gleichmäßig verzunderten Oberfläche vergleichbar sind.** Kriterien sind dabei die Rautiefe der Schnittkanten und eine möglichst bartfreie Ausbildung der Unterkante.

Beim thermischen Trennen kommt es an den Schnittkanten kurzzeitig zu sehr hohen Temperaturen und durch die nachfolgende schnelle Abkühlung zu Werkstoffveränderungen. Diese äußern sich in einer Aufhärtung. Zur Vermeidung von Rissen beim autogenen Brennschneiden empfiehlt es sich, oberhalb einer gewissen Blechdicke (Grenzblechdicke) vorzuwärmen.

Abb. 9 gibt Grenzblechdicken an, bis zu denen üblicherweise auf ein Vorwärmen verzichtet werden kann. Bei Werkstücktemperaturen unter +5 °C sind die Schnittzonen von Blechen mit Dicken bis zur jeweiligen Grenzblechdicke in einer Breite von mindestens 100 mm handwarm vorzuwärmen. Bei Blechdicken oberhalb der Grenzblechdicke ist je nach Stahlsorte ein Vorwärmen auf 75 °C bis 125 °C zu empfehlen. Werden die Schnittkanten bei der Weiterverarbeitung kalt umgeformt, ist bei N-A-XTRA® ab einer Blechdicke von 30 mm, bei den XABO®-Stählen ab 20 mm ein Vorwärmen auf ca. 150 °C empfehlenswert. Nähere Angaben zum thermischen Schneiden finden sich in den speziellen Schneidempfehlungen, die wir bei Bedarf gerne zur Verfügung stellen.



Thermal Cutting

The following techniques are suitable for the thermal cutting of N-A-XTRA® and XABO® special structural steel plates:

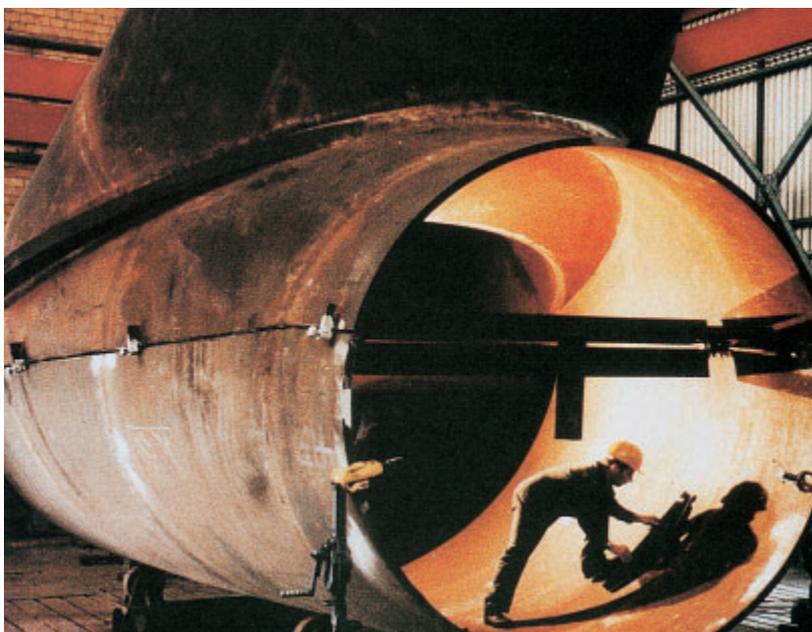
- Oxyacetylene flame cutting
- Plasma arc cutting
- Laser beam cutting

The advanced plasma and laser beam techniques are finding increasing use chiefly for thin-gauge plates. Their advantages over oxyacetylene flame cutting include:

- higher cutting speed
- narrower heat-affected zone at the cut edge
- smaller amount of component deformation

Laser beam cutting especially has come to the fore in very recent times. It is nowadays standard practice to cut plates up to around 20 mm in thickness with a 3 kW CO₂ laser. High cutting speeds are achievable by laser cutting with highly pure oxygen. The quality of the cut depends on an exact coordination of the cutting conditions such as e.g. laser power, cutting speed and oxygen pressure. It has to be kept in mind at the same time that a light oxide layer forms on the cut edge.

The thermal cutting result depends to a strong extent on the surface condition of the plates that are to undergo processing. **This applies particularly to the laser beam cutting method, with which the best cut faces are achievable on plates with a uniform, thin and firmly adhering scale layer. Assessment of the cut faces is generally to DIN EN ISO 9013. 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, very high temperatures are reached for a short time at the cut edges, and material changes occur as a result of the subsequent rapid cooling. These manifest themselves in an increase in hardness. To avoid cracking when performing oxy-fuel cutting, it is advisable, to preheat the cutting zones for plates above a certain thickness (controllable plate thickness).

Fig. 9 shows controllable plate thicknesses below which it is normally possible to do without preheating. If the workpiece temperature is below +5°C, the cutting zones

of plates that are below the appropriate controllable thickness must be preheated to lukewarm temperature over a width of at least 100 mm. Preheating to between 75°C and 125°C is advisable for plates exceeding the limit plate thickness, depending on the steel grade. If the cut edges are to be cold-formed during downstream processing, preheating to around 150°C is advisable for N-A-XTRA® steels in a plate thickness from 30 mm upward and for XABO® steels from 20 mm upward. Further details on the topic of thermal cutting can be found in our special cutting recommendations, which we will gladly make available, if required.

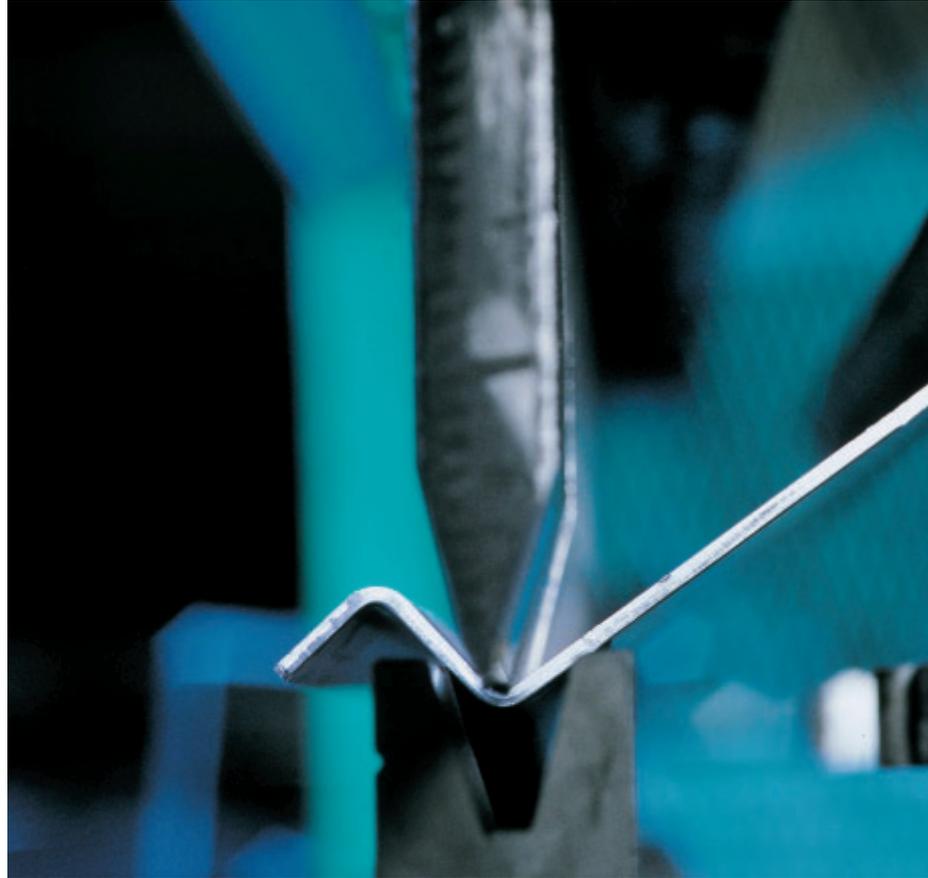
9. Grenzblechdicke für das thermische Trennen ohne Vorwärmen
Controllable plate thickness for thermal cutting without preheating

N-A-XTRA® 550	50 mm
N-A-XTRA® 620	
N-A-XTRA® 700	
N-A-XTRA® 800	
XABO® 890/960	30 mm
XABO® 1100	25 mm

Umformen

Kaltumformen

Das Umformen der N-A-XTRA®- und XABO®-Bleche, z.B. zu Rohren oder zu U-Profilen, erfolgt im Allgemeinen kalt, d.h. bei Temperaturen unterhalb der höchsten zulässigen Spannungsarmglühtemperatur. Die vorherrschenden Umformverfahren sind das Kaltbiegen auf Dreiwalzen-Biegemaschinen und das Abkanten im 90°-V-Gesenk auf Gesenkbiegepressen. Um die angeführten Arbeiten problemlos durchführen zu können, ist zu beachten, dass mit steigender Streckgrenze der Kraftbedarf und die Rückfederung zunehmen. Darüber hinaus muss damit gerechnet werden, dass mit steigender Streckgrenze das Umformvermögen der Stähle abnimmt. Dementsprechend kommen erhöhte Mindestbiegeradien und erhöhte Abstände der als Auflager dienenden Rollen bei Dreiwalzen-Biegemaschinen bzw. erhöhte Matrizenweiten bei den Gesenken von Gesenkbiegepressen zur Anwendung. Soweit bei einer stärkeren Kaltumformung eine nachträgliche Wärmebehandlung zum Abbau der Verfestigung und zum Verbessern der durch das Umformen beeinträchtigten Zähigkeitseigenschaften erforderlich wird, genügt im Allgemeinen ein Spannungsarmglühen. Dabei wird die Auswirkung des Kaltumformens jedoch nicht vollständig aufgehoben.



Beispielhaft geben die Abb. 10 und 11 den Kraftbedarf beim Kaltbiegen und Abkanten von N-A-XTRA® 700 an. Weiterhin sind die Mindestbiegeradien/Mindestabstände der Rollen bzw. Mindestmatrizenweiten zu beachten. Der Kraftbedarf kann allgemein mit folgenden Näherungsformeln hinreichend abgeschätzt werden:

Kaltbiegen:

$$P \text{ in (N)} = 0,7 \cdot b \cdot t^2 \cdot R_m/w$$

Abkanten:

$$P \text{ in (N)} = (1 - (4 \cdot t/w)) \cdot b \cdot t^2 \cdot R_m/w$$

In den Gleichungen bedeutet b die umzuformende Länge (mm); t die Blechdicke (mm); R_m die Zugfestigkeit (MPa) und w der Abstand der Rollen bzw. die Matrizenweite (mm).

Forming



Cold forming

The forming of N-A-XTRA® and XABO® plates into e.g. pipes or U-sections generally takes place in the cold state, i.e. below the maximum permissible stress relief annealing temperature. 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. To be able to carry out this work without any problems, it is necessary to take into account that, the higher the yield strength, the greater the force required and the greater the springback. Furthermore, the formability of the steels must be expected to decrease with increasing yield strength. Larger minimum bending radii and greater support roll spacings are consequently used for three-roll bending machines, as well as increased forming die widths for the press brakes. If, after intensive cold forming, heat treatment is necessary to reduce the strain-hardening and improve the toughness properties impaired by the forming, stress relief annealing is generally sufficient. This does not, however, completely reverse the effect of the cold forming.

As an example, Figs. 10 and 11 show the force required for the cold bending and press-brake bending of N-A-XTRA® 700. Due consideration must also be given to the minimum bending radii/minimum roll spacings and, respectively, minimum die widths. The required force can, as a rule, be adequately estimated with the aid of the following approximation equations:

Cold bending:

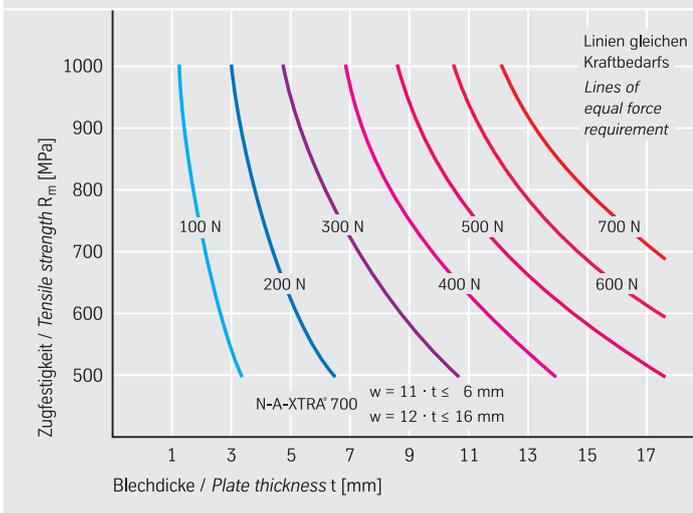
$$P \text{ in (N)} = 0.7 \cdot b \cdot t^2 \cdot R_m/w$$

Press-brake bending:

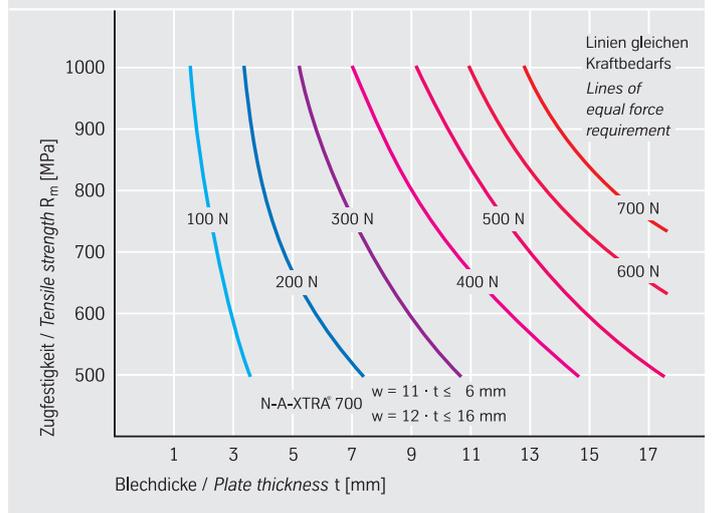
$$P \text{ in (N)} = (1 - (4 \cdot t/w)) \cdot b \cdot t^2 \cdot R_m/w$$

In the equations, **b** denotes the length to be formed (mm), **t** the plate thickness (mm), **R_m** the tensile strength (MPa), and **w** the roll spacing or, respectively, die width (mm).

10. Kraftbedarf beim Kaltbiegen pro Millimeter
Force required for cold bending per millimeter



11. Kraftbedarf beim Abkanten pro Millimeter
Force required for press-brake bending per millimeter



Die in DIN EN 10025, Teil 6, für die hochfesten vergüteten Feinkornbaustähle angegebenen Mindestbiegeradien sind auch für die vergüteten Sonderbaustähle verbindlich. Sie berücksichtigen neben dem oberen Spektrum der Festigkeitswerte und dem unteren Spektrum der Bruchdehnungswerte auch einige Unwägbarkeiten bei der Verarbeitung.

Unter günstigen Bedingungen haben sich für die vergüteten Sonderbaustähle die in **Abb. 12** ausgewiesenen Mindestbiegeradien und Mindestabstände der Rollen bzw. Mindestmatrizenweiten bewährt. Für die bessere Handhabbarkeit zeigt **Abb. 13**, welche Umformgrade sich aus den verschiedenen Biegeradien ergeben. Dabei wird vorausgesetzt, dass der Umformbereich, insbesondere die Blechkanten, frei von Kerben sind und dass durch Scheren ver-

festigte oder durch thermisches Trennen aufgehärtete Blechkanten abgearbeitet werden. Die Angaben für die Mindestbiegeradien gelten für den Fall, dass die Biegeachse in Längs-, d.h. in Walzrichtung liegt (ungünstiger Fall). Erfolgt die Umformung quer zur Walzrichtung können die angegebenen Mindestbiegeradien um 0,5 bis $1 \cdot t$ reduziert werden. Die in der Tabelle ausgewiesenen Werte gelten darüber hinaus für Biegewinkel $\leq 90^\circ$.

Warmumformen

Warmumformen, d.h. Umformen bei Temperaturen oberhalb der maximalen Spannungsarmglühtemperatur, ist grundsätzlich möglich. Dabei wird der ursprüngliche Vergütungszustand aufgehoben, die mechanischen Eigenschaften werden stark verändert. Zur Einhaltung der mechanischen Eigenschaften gemäß Werkstoffblatt ist nach dem Warmumformen eine erneute, dem Lieferzustand entsprechende Vergütung vorzunehmen.

12. Mindestbiegeradien beim Kaltumformen¹⁾ *Minimum bending radii for cold forming¹⁾*

Stahlsorte <i>Steel grade</i>	Empfohlener kleinster Biegeradius r bzw. Matrizenweiten w <i>Recommended minimum bending radius r or die widths w</i>		Empfohlene kleinste Rollenabstände <i>Recommended minimum roll spacings</i>	
	Nenndicke t <i>Nominal thickness t</i> [mm]		Nenndicke t <i>Nominal thickness t</i> [mm]	
	t ≤ 6	6 < t ≤ 16	t ≤ 6	6 < t ≤ 16
N-A-XTRA® 550	2 · t	2,5 · t	10 · t	11 · t
N-A-XTRA® 620 N-A-XTRA® 700	2,5 · t	3 · t	11 · t	12 · t
N-A-XTRA® 800	3,0 · t	3,5 · t	12 · t	13 · t
XABO® 890/960/1100	3,5 · t	4 · t	13 · t	14 · t

1) Biegelinie in Walzrichtung / *Bending line in rolling direction*
t = Blechdicke / *Plate thickness*

The minimum bending radii given in DIN EN 10025, Part 6, for high-strength quenched and tempered fine-grained structural steels are also mandatory for ThyssenKrupp Steel Europe quenched and tempered special structural steels. They also allow for several processing imponderables, in addition to the upper spectrum of strength values and the lower spectrum of elongation values.

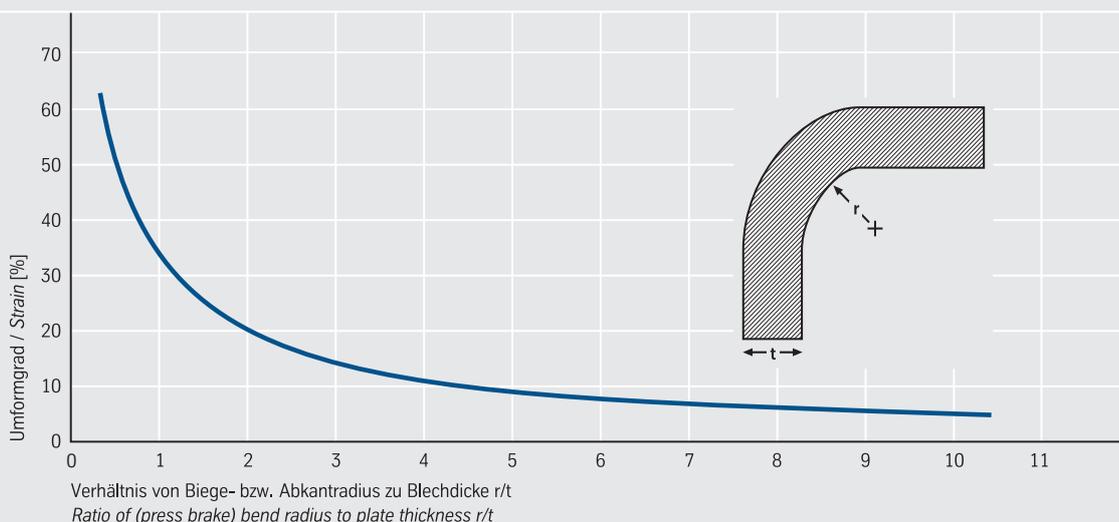
The minimum bending radii and minimum roll spacings and, respectively, the minimum die widths shown in Fig. 12 have proven suitable under favorable conditions for quenched and tempered special struc-

tural steels. With a view to better handling, Fig. 13 shows the strain resulting from the different bending radii. It is presupposed in this respect that the forming zone, in particular the plate edges, is notch-free and that plate edges strain-hardened by shearing or hardened by thermal cutting are removed. The given minimum bending radii apply to instances where the bend axis lies in longitudinal direction, i. e. rolling direction (unfavorable case). If the forming takes place transverse to the rolling direction, it is possible to reduce the given minimum bending radii by 0.5 to $1 \cdot t$. The values shown in the table also apply to bend angles $\leq 90^\circ$.

Hot forming

Hot forming, i.e. forming above the maximum stress relief annealing temperature, is possible in principle. This, however, neutralizes the original quenched and tempered state, and the mechanical properties undergo extensive change. After hot forming, it is necessary to carry out quenching and tempering again to restore the appropriate as-delivered state so that the mechanical properties comply with the material specification.

13. Umformgrade beim Kaltumformen Strain during cold forming



Schweißen



N-A-XTRA®- und XABO®-Bleche lassen sich mit allen gängigen Verfahren schweißen. Auskunft über Schweißzusätze der Böhler Schweißtechnik Deutschland GmbH, die sich bei der Verarbeitung vergüteter Sonderbaustähle bewährt haben, gibt die Abb. 14. Bei hochfesten Stählen werden bevorzugt basisch umhüllte Stabelektroden bzw. fluoridbasierte Schweißpulver verwendet. Aufgeführt ist neben der Markenbezeichnung auch das Kohlenstoffäquivalent CET, das für die Beurteilung des Kaltrissverhaltens relevant ist. Bei den XABO®-Stählen werden das Schutzgas- (MAG-) und das Lichtbogenhandschweißen bevorzugt eingesetzt.

Besonders bei dünnen Blechen findet neben den konventionellen Verfahren das Laserstrahlschweißen zunehmend Anwendung, das wegen seiner Flexibilität, der hohen Schweißgeschwindigkeiten und der günstigen Ausbildung der Wärmeeinflusszone Vorteile bietet. Abb. 15 zeigt beispielhaft dazu den Querschliff einer Laserstrahlschweißverbindung des Stahles N-A-XTRA® 700, die aus 10 mm dickem Blech auf einer 12-kW-Laseranlage gefertigt wurde. Die Schweißgeschwindigkeit betrug 100 cm/min. Quer zur Schweißnaht entnommene Zugproben brachen außerhalb der Schmelzzone im Grundwerkstoff. Trotz einer hohen Härte im Schmelzbereich zwischen 430

und 450 HV 10 und vereinzelt Poren im Schweißgut wurde ein ausgezeichnetes Biegeverhalten ermittelt. Querbiegeproben der Schweißverbindung bei einem Mindest-Dorndurchmesser von dreifacher Blechdicke ließen sich anrissfrei verformen (Abb. 16).

Welding

14. Schweißzusätze (Bezeichnung und zugehöriges Kohlenstoffäquivalent CET des Schweißgutes¹⁾ Welding filler metals (Brand name and accompanying carbon equivalent CET of the weld metal¹⁾)

Stahlsorte Steel grade	Schweißverfahren Welding technique					
	Schutzgas MAG ²⁾ Gas metal-arc ²⁾		Lichtbogenhand E Manual arc		Unterpulver UP ³⁾ Submerged-arc ³⁾	
	Bezeichnung CET Brand name [%]		Bezeichnung CET Brand name [%]		Bezeichnung CET Brand name [%]	
N-A-XTRA® 550	Union MoNi	0,26	Phoenix SH Ni 2 K 90	0,28	Union S3NiMo	0,30
N-A-XTRA® 620 N-A-XTRA® 700	Union NiMoCr	0,35	Phoenix SH Ni 2 K 100	0,33	Union S3NiMoCr	0,37
N-A-XTRA® 800	5)		5)		5)	
XABO® 890	Union X90	0,38	Phoenix SH Ni 2 K 130	0,35	–	
XABO® 960 XABO® 1100 ⁴⁾	Union X96	0,41	–		–	

1) CET in % = C + (Mn + Mo) / 10 + (Cr + Cu) / 20 + Ni / 40

2) mit Schutzgas M21 / with mixed shielding gas M21

3) mit Schweißpulver UV 421 TT / with welding flux UV 421 TT

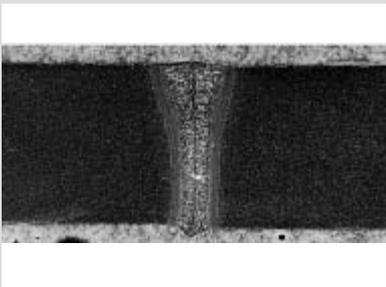
4) zurzeit keine Schweißzusätze gleicher Festigkeit verfügbar / no welding filler metals of equivalent strength available at present

5) weitere Informationen auf Anfrage / further information upon request

N-A-XTRA® and XABO® plates can be welded by means of all prevalent methods. Fig. 14 contains information on filler metals of Böhler Schweißtechnik Deutschland GmbH, which have proven suitable for welding quenched and tempered special structural steels. Basic-covered electrodes and fluoride-basic welding flux are preferably used for high strength steels. Listed, besides the brand name, is the carbon equivalent CET which is relevant for the assessment of the cold cracking behavior. Gas metal-arc (MAG) and manual arc welding are methods preferred for the XABO® steels.

Laser beam welding, which presents advantages because of its flexibility, high welding speeds and favorable influence on the heat-affected zone, is finding increasing use alongside conventional methods, particularly for thin-gauge plates. As an example in this connection, Fig. 15 shows the transverse microsection of a laser-welded joint fabricated on 10 mm thick N-A-XTRA® 700 steel plate by a 12 kW laser unit. The welding speed was 100 cm/min. Tensile test pieces from locations transverse to the weld fractured outside the fusion zone in the parent metal. In spite of a high hardness between 430 and 450 HV 10 in the fusion zone and individual pores in the weld metal, the bending characteristics proved to be excellent. It was possible to deform test pieces from the welded joint by transverse bending with a minimum mandrel diameter of three times the plate thickness without any incipient cracking occurring (Fig. 16).

15.



Laserstrahlschweißverbindung des N-A-XTRA® 700 bei einer Blechdicke von 10 mm
Laser-welded joint on N-A-XTRA® 700 steel in a plate thickness of 10 mm

16.



Biegeprobe quer zur Laserstrahlschweißnaht bei einem Dorndurchmesser von dreifacher Blechdicke
Bend test transverse to the laser weld with a mandrel diameter three times the plate thickness

17. Typische Kohlenstoffäquivalente zur Berechnung der Vorwärmtemperatur¹⁾
Typical carbon equivalents for calculating the preheat temperature¹⁾

Stahlsorte <i>Steel grade</i>	CET im Grundwerkstoff [%] <i>CET in the parent metal [%]</i>		CET im Schweißgut ²⁾ + 0,03 [%] <i>CET in the weld metal²⁾ + 0.03 [%]</i>		
	Blechdicke / <i>Plate thickness</i>		Schweißverfahren / <i>Welding technique</i>		
	< 20 mm	20 – 40 mm	MAG	E	UP
N-A-XTRA® 550	0,31	0,33	0,29	0,31	0,33
N-A-XTRA® 620			0,38	0,36	0,40
N-A-XTRA® 700			³⁾	³⁾	³⁾
N-A-XTRA® 800			³⁾	³⁾	³⁾
XABO® 890	0,38	0,38	0,41	0,38	–
XABO® 960			0,44	–	–
XABO® 1100	0,40	0,40			

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

Für die Festlegung der Vorwärmtemperatur ist entweder der Grundwerkstoff oder das Schweißgut relevant. Bei der Berechnung ist von dem jeweils höheren CET auszugehen.
Either the parent metal or the weld metal is relevant for determining the preheat temperature. The higher of the metals' CET values is to be applied in the calculation.

2) Typische Werte des reinen Schweißgutes der in Abb. 14 aufgeführten Schweißzusätze. / *Typical values of the pure weld metal deposited by the filler metals listed in Fig. 14.*

3) Weitere Informationen auf Anfrage. / *Further information upon request.*

Vermeiden von Kaltrissen

Ein wirksames Mittel zum Vermeiden von Kaltrissen ist das Vorwärmen. Es verzögert die Abkühlung des Nahtbereiches und begünstigt damit die Wasserstoffeffusion. Die Kaltrissempfindlichkeit eines Stahls lässt sich anhand seiner Zusammensetzung abschätzen. Dazu eignet sich in besonderem Maße das aus umfangreichen Kaltrissuntersuchungen abgeleitete Kohlenstoffäquivalent CET. **Abb. 17** weist für die hier behandelten vergüteten Sonderbaustähle typische CET-Werte aus.

Das Kaltrissverhalten wird neben der chemischen Zusammensetzung des Grundwerkstoffes und des Schweißgutes von der Blechdicke, dem Wasserstoffgehalt des Schweißgutes und durch das Wärmeinbringen beim Schweißen sowie dem Spannungszustand im Nahtbereich be-

stimmt. Dabei wird davon ausgegangen, dass die Eigenspannungen der Streckgrenze des Grundwerkstoffes bzw. des Schweißgutes entsprechen. Die übrigen zuvor genannten Kenngrößen lassen sich zu einer Summenformel zusammenfassen. Diese ermöglicht es, eine angemessene Vorwärmtemperatur für ein kaltrissicheres Schweißen zu errechnen. Auch hier waren die Untersuchungen der ThyssenKrupp Steel Europe AG wegweisend. Die Überlegungen zur Vermeidung von Kaltrissen haben als CET-Konzept Eingang in das Stahl-Eisen-Werkstoffblatt SEW 088-1993 und die DIN EN 1011 gefunden.

Beispielhaft geben die **Abb. 18 bis 20** Auskunft über die je nach Blechdicke und Kohlenstoffäquivalent CET erforderliche Vorwärmtemperatur beim Schweißen von Stumpfnähten. Zu achten ist dabei auf die Annahme des zutreffenden CET. Das CET des Grundwerkstoffes ist nur dann maßgebend, wenn es um 0,03 % über dem des Schweißgutes liegt, andernfalls ist das um einen Sicherheitszuschlag von 0,03 % erhöhte CET des Schweißgutes zu berücksichtigen. Die Gefahr, dass Kaltrisse bevorzugt im Schweißgut entstehen, ist erfahrungsgemäß groß, wenn das Schweißgut ein vergleichbares oder höheres CET aufweist als der Grundwerkstoff. D.h., dass mit Ausnahme der Schutzgasschweißung der Stähle N-A-XTRA® 550 und N-A-XTRA® 620 grundsätzlich die erhöhten Kohlenstoffäquivalente der Schweißzusätze für die Berechnung der Vorwärmtemperatur maßgebend sind.

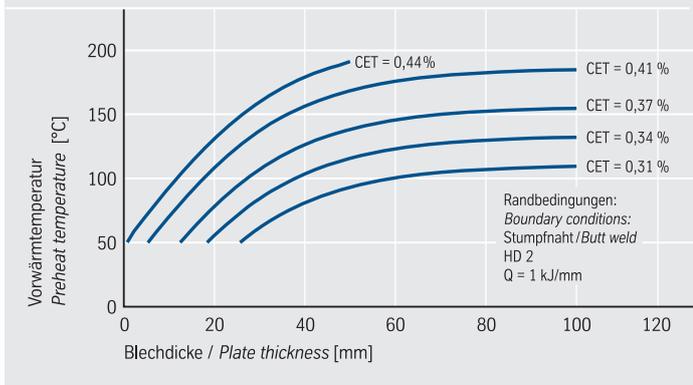
Avoidance of cold cracking

An effective means for avoiding cold cracking is preheating. It delays the cooling of the weld region and is thereby conducive to hydrogen effusion. 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. 17 shows the CET values typical of the quenched and tempered special structural steels dealt with here.

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. It is assumed that the residual stresses are commensurate with the yield strength of the parent metal and weld metal. The other mentioned parameters can be summarized in a formula, making it possible to calculate a suitable preheat temperature for welding without cold cracking. Here again ThyssenKrupp Steel Europe AG has led the way with its research work. These ideas on the avoidance of cold cracking have led to



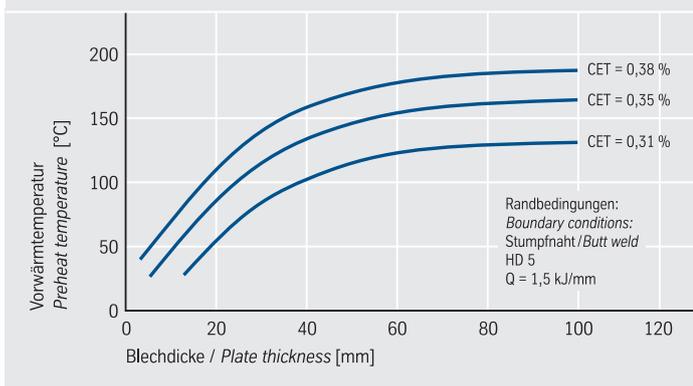
18. Vorwärmtemperaturen beim MAG-Schweißen
Preheat temperatures for MAG welding



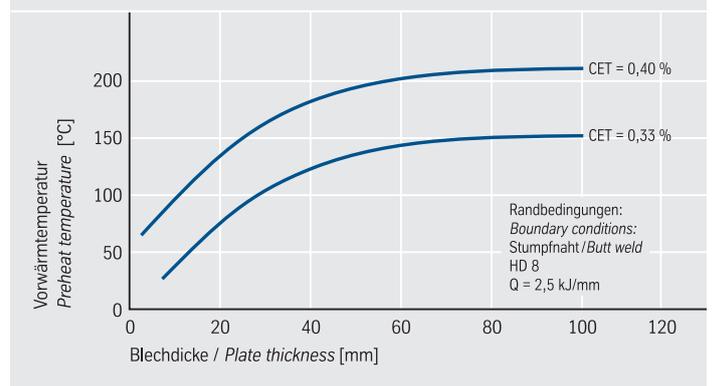
the CET concept adopted in Stahl-Eisen material specification SEW 088-1993 and DIN EN 1011.

Examples in Figs. 18 to 20 give information on the preheat temperature that is required as a function of the plate thickness and carbon equivalent CET for butt welding. Attention has to be paid in this respect that the appropriate CET is applied. The CET of the parent metal is relevant only if it is 0.03% higher than that of the weld metal; other-

19. Vorwärmtemperaturen beim Lichtbogenhandschweißen
Preheat temperatures for manual arc welding



20. Vorwärmtemperaturen beim Unterpulverschweißen
Preheat temperatures for submerged-arc welding



21. Berechnungsmöglichkeiten mit dem Computer-Programm „ProWeld“ *Calculation possibilities with the “ProWeld” computer program*



ProWeld ist ein von ThyssenKrupp Steel Europe entwickeltes Anwendungsprogramm für Schweißberechnungen. Die mehrsprachige CD-ROM kann bei ThyssenKrupp Steel Europe kostenfrei angefordert werden kann.
ProWeld is a computer software developed by ThyssenKrupp Steel Europe for calculating welding parameters. The multilingual compact disc is available free of charge from ThyssenKrupp Steel Europe.

Einlagige Kehlnähte können aufgrund des mildereren Spannungszustandes mit bis zu 60 °C verminderten Vorwärm- bzw. Zwischenlagentemperaturen geschweißt werden. Andere Vorwärmtemperaturen ergeben sich auch dann, wenn von den hier als typisch angenommenen Wasserstoff-

gehalten und dem Wärmeeinbringen abgewichen wird. Für die einfache Berechnung der Vorwärmtemperatur und weiterer wichtiger Kenngrößen beim Schweißen stellen wir auf Anfrage interessierten Kunden gern unser Programm „ProWeld“ zur Verfügung (Abb. 21).



Mechanische Eigenschaften von Schweißverbindungen

Durch den Temperatur-Zeit-Verlauf beim Schweißen kann sich, insbesondere in der Wärmeeinflusszone der Schweißnaht, eine Veränderung der Stahleigenschaften ergeben. Als Kenngröße wird allgemein die Abkühlzeit $t_{8/5}$ gewählt. 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. Es ist wichtig, den Abkühlzeitbereich so vorzugeben, dass für den Schweißnahtbereich anforderungsgerechte Eigenschaften zu erwarten sind. Eine zu schnelle Abkühlung der Schweißraupen wirkt sich durch sehr hohe Maximalhärten ungünstig auf das Verformungsverhalten der Verbindungen aus und erhöht außerdem die Kaltrissgefahr. Eine zu langsame Abkühlung hat dagegen zur Folge, dass die Festigkeitseigenschaften des Schweißgutes nicht mehr denen des Grundwerkstoffes entsprechen. Es besteht gleichzeitig die Gefahr, dass die Wärmeeinflusszone eine ungenügende Zähigkeit aufweist. Auszugehen ist bei der Ermittlung der geeigneten Abkühlzeit von der Mindestanforderung an die Zähigkeit und der z.B. gemäß DIN EN ISO 15614-1 zu begrenzenden Höchststärke HV 10. Abb. 22 verdeutlicht diese Zusammenhänge schematisch. Das zur Ermittlung der Abkühlzeit $t_{8/5}$ bei der ThyssenKrupp Steel Europe AG entwickelte Konzept findet inzwischen weltweit Anwendung.

Der optimale Abkühlzeitbereich $t_{8/5}$ für die hier betrachteten vergüteten Sonderbaustähle liegt im Allgemeinen zwischen 5 und 25 s. Je nach eingesetztem Schweißverfahren und Schweißgut können diese Grenzen etwas aufgeweitet oder eingeschränkt werden. Abhängig vom Schweißverfahren sind für die N-A-XTRA®- und XABO®-Stähle die in Abb. 23 aufgeführten Abkühlzeiten üblich. Ausgehend von der Nahtgeometrie, der Blechdicke und -temperatur sowie dem thermischen Wirkungsgrad des Schweißverfahrens kann hieraus die geeignete Streckenenergie berechnet werden.

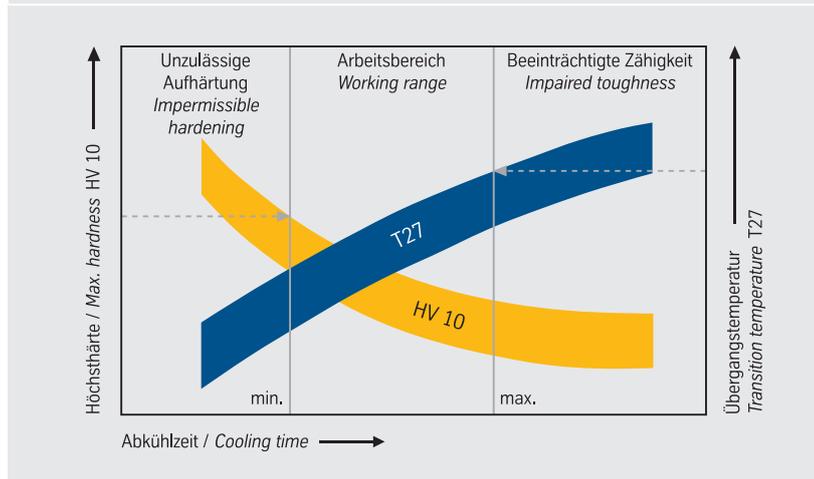
wise it is necessary to consider the CET of the weld metal, which is increased by a safety factor of 0.03%. According to experience, the risk of cold cracking tending to occur in the weld metal is large if the weld metal has a CET comparable to, or higher than, that of the parent metal. This means that, with the exception of the gas metal-arc welding of the N-A-XTRA® 550 and N-A-XTRA® 620 steels, the increased carbon equivalents of the welding filler metals are basically of relevance for calculating the preheat temperature.

Single-pass fillet welds are achievable with preheat and interpass temperatures reduced by as much as 60°C because of the milder state of stress. Other preheat temperatures also present themselves if the hydrogen contents and heat inputs deviate from the levels assumed here as typical. Our program “ProWeld”, which permits the simple calculation of the preheat temperature and other important welding parameters, is readily available to interested customers upon request (Fig. 21).

Mechanical properties of welded joints

The temperature-time cycle during welding can bring about a change in the steel properties, especially in the heat-affected zone of the weld. A parameter generally selected here is 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. It is important to select the cooling time range in such a way that properties suited to the requirements in hand can be expected for the weld region. Excessively rapid cooling of the weld beads has a detrimental effect on the joints' deformation behavior, because of very high maximum hardnesses, and also increases the risk of cold cracking. Excessively slow cooling, on the other hand, results in the weld metal's strength properties no longer corresponding to those of the

22. Begrenzung der Abkühlzeit beim Schweißen (schematisch)
Limitation of the cooling time for welding (schematic)



parent metal. At the same time there is the risk that the heat-affected zone will not have adequate toughness. The minimum toughness requirement and the maximum hardness HV 10, e.g. conforming to DIN EN ISO 15614-1, should serve as the basis when determining the appropriate cooling time. Fig. 22 illustrates these correlations schematically. The concept developed at ThyssenKrupp Steel Europe AG to determine the cooling time $t_{8/5}$ meanwhile finds application all over the world.

The optimum cooling time $t_{8/5}$ for the quenched and tempered special structural steels under consideration here is basically between 5 and 25 s. These limits can be broadened or narrowed somewhat, depending on the welding technique in use and the weld metal. The cooling times listed in Fig. 23 are normal for the N-A-XTRA® and XABO® steels, as a function of the welding technique. From these it is possible to calculate the suitable heat input per unit length of weld, taking as a basis the weld geometry, plate thickness and temperature, and thermal efficiency of the welding technique.

23. Üblicher Bereich der Abkühlzeit $t_{8/5}$ ¹⁾
Normal range for cooling time $t_{8/5}$ ¹⁾

MAG-, MIG-Schweißen MAG, MIG welding	5 bis / to 15 s
Lichtbogenhandschweißen Manual arc welding	8 bis / to 20 s
Unterpulverschweißen Submerged-arc welding	10 bis / to 25 s

1) je nach Anforderung an die Schweißverbindung kann dieser Bereich eingeschränkt oder ausgedehnt werden
this range can be narrowed or broadened depending on the requirements the weld has to meet

Aus den **Abb. 24 bis 26** lässt sich für Stumpfnähte je nach Verfahren die bei einer bestimmten Blechdicke und Vorwärmtemperatur empfohlene Streckenenergie entnehmen. Dabei ist sicherzustellen, dass die gewählte Vorwärm- bzw. Zwischenlagentemperatur ausreicht, um Kaltrisse zu vermeiden. Kehlnähte lassen aufgrund der stärkeren Wärmeableitung höhere Streckenenergien als Stumpfnähte zu. Bei der Kehlnaht am T-Stoß führt eine etwa um 20 bis 40 % höhere Streckenenergie zur gleichen Abkühlzeit wie bei der Stumpfnäht.

Beim Lichtbogenhandschweißen lässt sich die Streckenenergie durch die Vorgabe bestimmter Ausziehverhältnisse festlegen. Das geschieht, indem man das Verhältnis von Raupenlänge zur abgeschmolzenen Länge der Stabelektrode bildet und den entsprechenden Streckenenergiewert aus **Abb. 25** entnimmt.

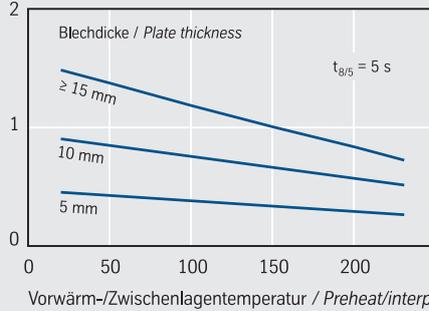
In vielen Fällen kann die Berechnung der Abkühlzeit nicht mit genügender Genauigkeit erfolgen, da die Randbedingungen beim Schweißen nicht hinreichend bekannt sind. In diesen Fällen empfiehlt es sich die Abkühlzeit $t_{8/5}$ mit einem Abkühlzeitmeter zu messen. Entsprechende Geräte sind im Handel verfügbar.

Der vorstehend beschriebene Zusammenhang zwischen den Schweißbedingungen und den mechanischen Eigenschaften von Schweißverbindungen hat Eingang in das Regelwerk gefunden, u.a. in das Stahl-Eisen-Werkstoffblatt 088 (1993). Dort finden sich zahlreiche nützliche Hinweise für die Anwendung des Abkühlzeitkonzeptes in der Praxis. Allgemeine Empfehlungen für das Lichtbogenschweißen sind in der DIN EN 1011 (Teil 1, 2009) enthalten. Weitere Einzelheiten zur schweißtechnischen Verarbeitung finden sich auch in unseren speziellen Schweißempfehlungen, die wir bei Bedarf gerne zur Verfügung stellen.

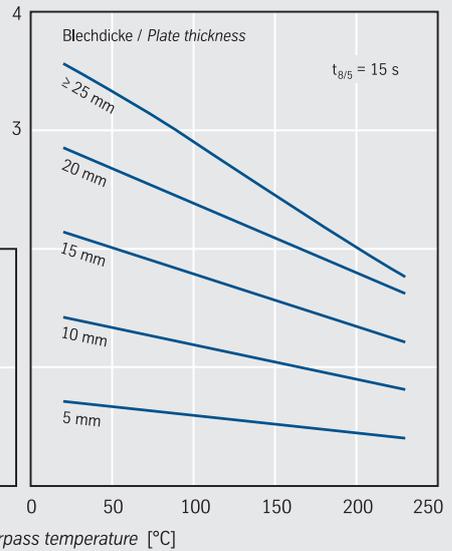
24. MAG-Schweißen MAG welding

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

Minimale Streckenenergie
Minimum heat input [kJ/mm]



Maximale Streckenenergie
Maximum heat input [kJ/mm]

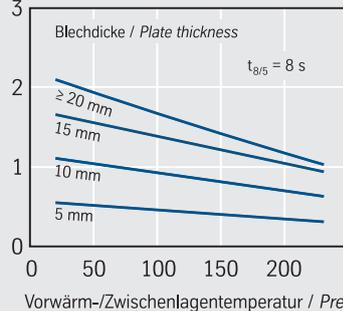


25. Lichtbogenhandschweißen Manual arc welding

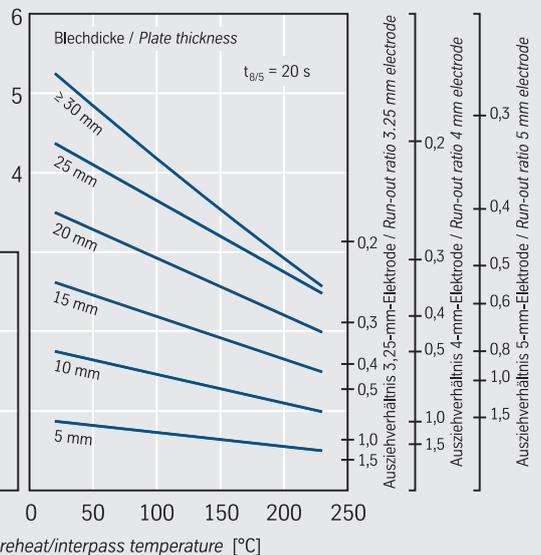
Streckenenergie und Ausziehverhältnis* bei einer Stumpfnäht im empfohlenen Abkühlzeitbereich
Heat input and run-out ratio* for a butt weld in the recommended cooling time range

* Verhältnis von Raupenlänge zur abgeschmolzenen Länge der Stabelektrode
Ratio of deposited bead length to consumed electrode length

Minimale Streckenenergie
Minimum heat input [kJ/mm]



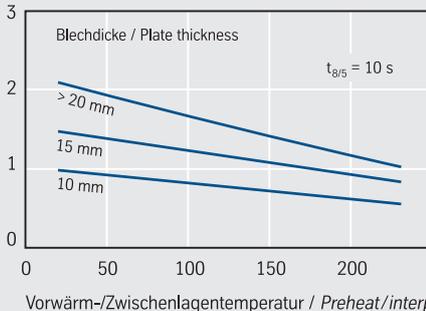
Maximale Streckenenergie
Maximum heat input [kJ/mm]



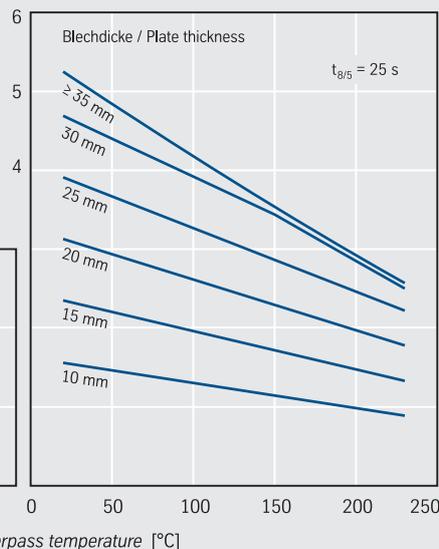
26. Unterpulverschweißen Submerged-arc welding

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

Minimale Streckenenergie
Minimum heat input [kJ/mm]



Maximale Streckenenergie
Maximum heat input [kJ/mm]



Figs. 24 to 26 give the heat input recommended for a certain plate thickness and preheat temperature for butt welds, according to the technique involved. 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.

In manual arc welding, it is possible to determine the heat input per unit length of weld by selecting certain run-out ratios. This is done by measuring the ratio of deposited bead length to consumed electrode length and inferring the appropriate heat input value from Fig. 25.

Calculation of the cooling time cannot take place with sufficient accuracy in many cases as there is inadequate knowledge of the welding boundary conditions. In such cases it is advisable to measure the cooling time $t_{8/5}$ with a cooling time meter. Such instruments are available commercially.

The above-described relationship between the welding conditions and the mechanical properties of welded joints has become accepted in relevant codes, among them Stahl-Eisen material specification SEW 088 (1993), where there is much useful advice on how to apply the cooling time concept in practice. General recommendations on arc welding are given in DIN EN 1011 (Part 1, 2009). Further details on the topic of welding are also to be found in our special welding recommendations, which we will gladly make available, if required.

Anwendung

Der Einsatz der wasservergüteten Sonderbaustähle N-A-XTRA® und XABO® ermöglicht in vielen Fällen die Reduzierung der Blechdicke und damit eine Verringerung der Material- und Verarbeitungskosten sowie der laufenden Betriebskosten (vgl. Abb. 1 und 2). Das breite Festigkeitsspektrum bietet dem Konstrukteur die Möglichkeit, über Berücksichtigung der Beanspruchungs- und Fertigungsbedingungen, die optimale Stahlsorte auszuwählen. N-A-XTRA®- und XABO®-Stähle haben sich dadurch ein weites Feld an Einsatzmöglichkeiten in wichtigen Bereichen der Technik geschaffen. Typische Anwendungsbeispiele sind:

- Druckbehälter, stationär, zum Teil in Mehrlagenbauweise
- Druckbehälter zum Transport von verflüssigten Gasen
- Druckrohrleitungen für Wasserkraftwerke
- Schiffbau, Offshoreplattformen, Schiffskrane
- Straßenfahrzeuge für Schwertransporte
- Brückenbauten, Hallenkonstruktionen
- Bauteile für Mobilkrane, z.B. Untergestelle, Drehkränze und Teleskopausleger



- Bergbaugeräte, z.B. hydraulische Grubenstempel, Schildausbau
- Zerkleinerungsanlagen, Schrottpressen
- Erdbewegungsmaschinen, wie Schaufelbagger und Planiertrappen
- Schienengebundene Schwerlastfahrzeuge

Konstrukteure und Stahlbauer machen von der Möglichkeit erfolgreich Gebrauch, Abmessungen und Gewicht von Bauteilen

oder Bauwerken durch Verwendung wasservergüteter Stähle zu begrenzen. In manchen Fällen lassen sich technische Grenzen in der Bauhöhe erst durch Verwendung dieser Stähle überwinden. Neben diesen Vorteilen durch Nutzung hoher Festigkeitskennwerte können günstige technisch-wirtschaftliche Bedingungen im Hinblick auf eine verlängerte Lebensdauer bei Verschleißbeanspruchung gegeben sein.



Application



In many instances the use of N-A-XTRA® and XABO® quenched and tempered special structural steels provides the means to reduce the plate thickness and thus the material and processing costs, as well as current operating expenses (cf. Figs. 1 and 2). The broad strength spectrum offers design engineers the possibility to select the optimum steel grade while making due

allowance for the service and fabrication conditions. N-A-XTRA® and XABO® steels have thereby created for themselves a broad range of possible applications in important engineering domains.

Typical examples of use include:

- Stationary pressure vessels, partly in multi-layer design
- Pressure vessels for the transportation of liquefied gases
- Penstocks for hydroelectric power plants
- Shipbuilding, offshore platforms, derricks
- Heavy-duty road transport vehicles
- Bridge structures, building construction
- Components for mobile cranes, e.g. chassis, live rings and telescopic jibs
- Mining equipment, such as hydraulic pit props, shield-type supports
- Mills, crushers, scrap presses
- Earthmoving machinery, such as bucket excavators and bulldozers
- Heavy-duty rail vehicles

Design and steel construction engineers are successfully exploiting the possibility to limit the dimensions and weight of components or structures by using quenched and tempered steels. Technical restrictions on the height of structures are in many cases surmountable only by utilizing these steels. Along with these advantages derived from high strength properties, favorable technical and economic conditions can be created with regard to prolonged lifetimes in wear-exposed service environments.



Ausblick, Schrifttum, Bezugsquellen

Der Anreiz zum Einsatz der vergüteten Sonderbaustähle N-A-XTRA® und XABO® von ThyssenKrupp Steel Europe ist dann besonders groß, wenn nicht nur die Gesteigungskosten, sondern auch die Betriebskosten und die Leistungsfähigkeit einer Konstruktion von der Festigkeit des verwendeten Werkstoffes beeinflusst werden.

In den beispielhaft genannten Anwendungsfällen haben sich diese Stähle trotz der komplexen und hohen Beanspruchung der Konstruktionen seit vielen Jahren hervorragend bewährt. So haben wir bereits seit Beginn der 60er Jahre hochfeste wasser-vergütete Stähle in alle Welt ausgeliefert.

Die bisher sehr positiven Erfahrungen berechtigen zu der Annahme, dass die vergüteten Sonderbaustähle in Zukunft in den beschriebenen Anwendungsgebieten verstärkt eingesetzt werden. Es besteht weiterhin die Aussicht, zusätzliche Anwendungsfelder zu erschließen. Hierzu zählen vor allem Konstruktionen, bei denen die Betriebskosten vom Eigengewicht bestimmt werden. Parallel dazu wird intensiv an einer weiteren Qualitätsverbesserung unserer Produkte gearbeitet. Hierbei steht insbesondere die Verbesserung des Verarbeitungsverhaltens durch Optimierung von der Stahlzusammensetzung und des Fertigungs-weges sowie die Verbesserung der Toleranzfelder für Blechdicke und Ebenheit im Vordergrund.

Neben dem bekannten Produktionsweg über die Quartostraße verweisen wir auf die diesbezüglich besonders vorteilhafte Fertigung der N-A-XTRA®- und XABO®-Grobbleche, geschnitten aus Warmbreitband. So lassen sich mit Bandblechen engste Dickentoleranzen mit einer Toleranzspanne von insgesamt 0,4 mm darstellen, die mit Quarteblechen im Allgemeinen nicht erreicht wird.

Detaillierte Liefermöglichkeiten sind dem Lieferprogramm Grobblech zu entnehmen.

Schrifttum

Die folgenden Druckschriften enthalten weitergehende Informationen zu den behandelten Themen:

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

DIN EN 10025
Warmgewalzte Erzeugnisse aus Baustählen – Teil 6: Technische Lieferbedingungen für Flacherzeugnisse aus Stählen mit höherer Streckgrenze im vergüteten Zustand

DIN EN 1011 (Teil 1, 2009)
Empfehlungen zum Schweißen metallischer Werkstoffe, Teil 1: Allgemeine Anleitungen für Lichtbogenschweißen

DIN EN 1011 (Teil 2, 2010)
Empfehlungen zum Schweißen metallischer Werkstoffe, Teil 2: Lichtbogenschweißen von ferritischen Stählen

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

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

Hochfeste, wasservergütete Stähle für den Kranbau und Nutzfahrzeugbau
Thyssen Technische Berichte (1991) Heft 1, Seite 53 – 62

Empfehlungen für das kaltrissichere Schweißen von Baustählen
Information der Thyssen Stahl AG (1994)

Moderne hochfeste Stähle im Nutzfahrzeug- und Mobilkranbau – Herstellung, Verarbeitung und Anwendung
ATZ Automobiltechnische Zeitschrift 100 (1998), Nr. 9, S. 664 – 668

Fracture toughness of modern high-strength steels with minimum yield strength up to 690 MPa
Proc. Int. Symposium on Safety in Application of High Strength Steel Trondheim (1997), Session 1.3

Modern high-strength steels with minimum yield strengths up to 690 MPa and high component safety
ISOPE-2001, Stavanger (2001), Session 18

Lieferprogramm Grobblech
ThyssenKrupp Steel Europe AG

Lagerprogramm Bleche in Sonderbaustahlgüten
ThyssenKrupp Schulte GmbH

Hochfeste Stähle N-A-XTRA® und XABO®
ThyssenKrupp Steel Europe AG

ThyssenKrupp Steel Europe CD-ROM
„Sonderbaustähle“

Moderne Werkstoffkonzepte für den Nutzfahrzeug- und Mobilkranbau
VDI Berichte, Nr. 1504, 1999, S. 219 – 228

Outlook, Literature, References

The incentive to utilize N-A-XTRA® and XABO® quenched and tempered special structural steels from ThyssenKrupp Steel Europe is particularly great if the strength of the material in use influences not only the prime costs, but also the operating costs and a structure's capability.

In the applications cited as examples, these steels have shown themselves to be outstanding over many years, in spite of the complex and heavy loads and stresses to which the structures are exposed. We have been supplying high-strength quenched and tempered steels throughout the world since the early 1960s.

The very positive experience acquired so far justifies the assumption that ThyssenKrupp Steel Europe quenched and tempered special structural steels will find increasing application in future in the described fields of use. There is also the prospect of additional fields opening up, this applying especially to structures where the dead weight dictates the operating costs. In parallel with this, intensive work is in progress to improve the quality of our products further, focusing in particular on the enhancement of the processing behavior 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 production method of cutting N-A-XTRA® and XABO® plates 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 mill plates.

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

Literature

For further information, please refer to the following brochures:

Stahl-Eisen Material Specification 088-93:
Weldable Fine-Grained Structural Steels, Guidelines for Processing in Particular for Welding

DIN EN 10025
Hot rolled products of structural steels – Part 6: Technical delivery conditions for flat products of high yield strength structural steels in the quenched and tempered condition

DIN EN 10111 (Part 1, 2009)
Recommendations for welding of metallic materials, Part 1: General instructions for arc welding

DIN EN 10111 (Part 2, 2010)
Recommendations for welding of metallic materials, Part 2: Arc welding of ferritic steels

Code of Practice 381
Welding of Unalloyed and Low-Alloyed Structural Steels, edition 1999
Stahl-Informations-Zentrum

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 (1985), Volume 1, pp 57 – 73 and IIW-Doc. IX-1336-84

High-strength Quenched and Tempered Steels for Crane and Commercial Vehicle Construction
Thyssen Technical Reports (1991) Volume 1, pp 53 – 62

Recommendations for Avoiding Cold Cracking when Welding Structural Steels
Information of Thyssen Stahl AG (1994)

Moderne hochfeste Stähle im Nutzfahrzeug- und Mobilkranbau – Herstellung, Verarbeitung und Anwendung
ATZ Automobiltechnische Zeitschrift 100 (1998), Nr. 9, pp. 664-668

Fracture toughness of modern high-strength steels with minimum yield strength up to 690 MPa
Proc. Int. Symposium on Safety in Application of High Strength Steel Trondheim (1997), Session 1.3

Modern high-strength steels with minimum yield strengths up to 690 MPa and high component safety
ISOPE-2001, Stavanger (2001), Session 18

Product Mix Plate
ThyssenKrupp Steel Europe AG

Stock Program Plates made of Special Structural Steels
ThyssenKrupp Schulte GmbH

N-A-XTRA® and XABO® high-strength steels
ThyssenKrupp Steel Europe AG

ThyssenKrupp Steel Europe CD-ROM
"Special Structural Steels"

Moderne Werkstoffkonzepte für den Nutzfahrzeug- und Mobilkranbau
VDI Berichte, Nr. 1504, 1999, pp. 219 – 228

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*

*Schweißzusätze
Böhler Schweißtechnik Deutschland GmbH
Wilhelmstr. 2
59067 Hamm*

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*

*Welding Filler Metals
Böhler Schweißtechnik Deutschland GmbH
Wilhelmstr. 2
59067 Hamm, Germany*

Ihre Gesprächspartner

Please contact

Technische Kundenberatung / *Technical Customer Service*

Dr. Hans-Jürgen Kaiser
 Telefon/*Telephone*: +49 (0)203 52-75114
 Telefax: +49 (0)203 52-75654
 E-Mail: juergen.kaiser@thyssenkrupp.com

Schweißtechnik / *Welding Technology*

Dr. Ingold Seidl
 Telefon/*Telephone*: +49 (0)203 52-75669
 Telefax: +49 (0)203 52-75654
 E-Mail: ingold.seidl@thyssenkrupp.com

Hochfeste Stähle / *High-strength steels*

Stephan Scharf
 Telefon/*Telephone*: +49 (0)203 52-75138
 Telefax: +49 (0)203 52-75654
 E-Mail: stephan.scharf@thyssenkrupp.com

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

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