

Kaltumformstähle PAS.

Verarbeitungsempfehlungen.
PAS steels for cold forming.
Processing recommendations.



ThyssenKrupp
high form

PAS

ab/from 01.10.09

ThyssenKrupp Steel Europe

ThyssenKrupp Steel



Hochfest und formbar

Hohe Festigkeit in Verbindung mit guter Umformbarkeit – scheinbar gegensätzliche Eigenschaften, die jedoch für die im Nutzfahrzeugbau bevorzugte Leichtbauweise unverzichtbar sind. Eigengewicht, Nutzlast und Unebenheiten der Fahrbahn wirken auf das Bauteil ein und rufen Verformungen hervor. Um diese zu beherrschen, werden Rahmenteile mit hohem Widerstandsmoment aus Grobblech erzeugt. Dies geschieht u. a. durch Abkanten mit kleinen Radien. Als Lösung hat die ThyssenKrupp Steel AG die Sonderbaustähle zum Kaltumformen PAS speziell für kalt umzuformende Bauteile, wie z. B. Rahmen, Längs- und Querträger für den Nutzfahrzeugbau oder Achskonstruktionen, entwickelt (Abb. 1).

Grobbleche aus PAS-Sonderbaustahl sind perlitarmer thermomechanisch gewalzte Baustähle zum Kaltumformen mit Mindeststreckgrenzen von 315 bis 700 MPa nach EN 10149-2. Die Abb. 2 bis Abb. 4 geben einen Überblick bezüglich der chemischen Zusammensetzung sowie der mechanischen Eigenschaften dieser Stähle. Durch intensive Weiterentwicklung von Legierungskonzepten, Walz- und Wärmebehandlungstechnologien ist ThyssenKrupp Steel heute in der Lage, hochfeste PAS-Sonderbaustähle sowohl als Grobblech geschnitten aus Warmband als auch als Quartblech herzustellen.

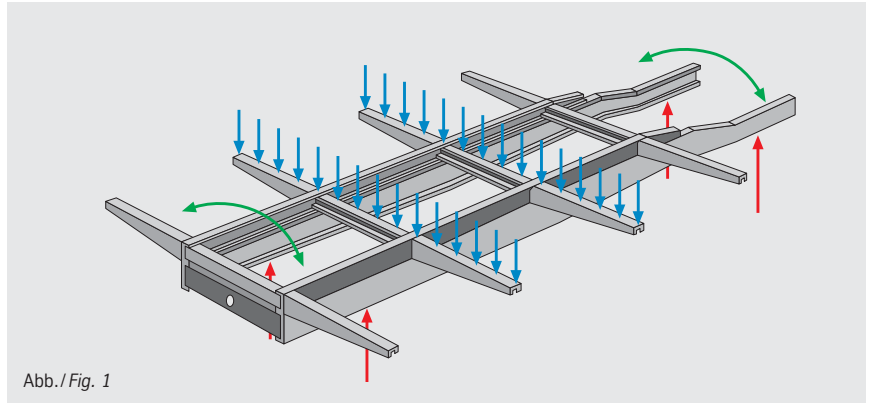


Abb./ Fig. 1

2. Chemische Zusammensetzung Chemical composition

Stahlsorte Steel grade	Ähnliche Stähle nach Similar steels to	Schmelzenanalyse Heat analysis [%]							
		DIN EN 10149	C	Si	Mn	P	S	Nb	V
PAS 315	S315MC	≤ 0,10	≤ 0,15	≤ 1,30	≤ 0,025	≤ 0,010	≤ 0,05	≤ 0,08	–
PAS 355	S355MC	≤ 0,10	≤ 0,15	≤ 1,50	≤ 0,025	≤ 0,010	≤ 0,06	≤ 0,08	–
PAS 380	–	≤ 0,10	≤ 0,15	≤ 1,50	≤ 0,025	≤ 0,010	≤ 0,06	≤ 0,08	–
PAS 420	S420MC	≤ 0,10	≤ 0,15	≤ 1,60	≤ 0,025	≤ 0,010	≤ 0,07	≤ 0,10	–
PAS 460	S460MC	≤ 0,10	≤ 0,15	≤ 1,60	≤ 0,025	≤ 0,010	≤ 0,08	≤ 0,10	–
PAS 500	S500MC	≤ 0,10	≤ 0,15	≤ 1,70	≤ 0,025	≤ 0,010	≤ 0,08	≤ 0,12	–
PAS 550	S550MC	≤ 0,10	≤ 0,50	≤ 1,80	≤ 0,025	≤ 0,010	≤ 0,08	≤ 0,12	–
PAS 600	S600MC	≤ 0,10	≤ 0,50	≤ 1,90	≤ 0,025	≤ 0,010	≤ 0,08	–	≤ 0,14
PAS 650	S650MC	≤ 0,10	≤ 0,60	≤ 2,00	≤ 0,025	≤ 0,010	≤ 0,08	–	≤ 0,14
PAS 700	S700MC	≤ 0,12	≤ 0,60	≤ 2,10	≤ 0,025	≤ 0,010	≤ 0,08	–	≤ 0,14

PAS 600, 650 und 700 können ≤ 0,50 % Mo und zusätzlich ≤ 0,005 % B enthalten
PAS 600, 650, 700 may contain ≤ 0.50% Mo and ≤ 0.005% B

Inhalt

2	Kaltumformstähle PAS
6	Scheren, Stanzen und Spanen
8	Thermisches Schneiden
10	Biegen und Abkanten
12	Schweißen
16	Anwendung
18	Ausblick, Schrifttum, Bezugsquellen
22	Ihre Gesprächspartner/Allgemeiner Hinweis

High strength and formable

High strength combined with good formability – seemingly opposed properties which, however, are indispensable for the weight-saving designs preferred in commercial vehicle manufacture. The dead weight, payload, and unevenness of roadways affect components and lead to deformations. To counter this, frame members with a high moment of resistance are fabricated from plate

material. This is done by, among other methods, press brake bending with small radii. ThyssenKrupp Steel AG has developed PAS special structural steels as a solution particularly for components that require cold forming, such as frames, longitudinal and transverse members for commercial vehicles, or axle constructions (Fig. 1).

3. Mechanische Eigenschaften Mechanical properties						
Stahl- sorte Steel grade	Liefer- zustand Delivery condition	Streck- grenze Yield strength R _{eH} [MPa] (längs/longitudinal)	Zug- festigkeit Tensile strength R _m [MPa] (längs/longitudinal)	Bruch- dehnung Elongation A _{min} [%] (längs/longitudinal)	Kerbschlag- arbeit KV Charpy-V energy –20 °C [J] (längs/longitudinal)	Faltversuch 180° quer Dorndurchmesser mind. Bend test 180° transv. Mandrel diameter min.
PAS 315	TM	≥ 315	390 – 510	24	40	0 t
PAS 355	TM	≥ 355	430 – 550	23	40	0,5 t
PAS 380	TM	≥ 380	450 – 590	23	40	0,5 t
PAS 420	TM	≥ 420	480 – 620	19	40	0,5 t
PAS 460	TM	≥ 460	520 – 670	17	40	1,0 t
PAS 500	TM	≥ 500	550 – 700	14	40	1,0 t
PAS 550	TM	≥ 550	600 – 760	14	40	1,5 t
PAS 600	TM	≥ 600	650 – 820	13	40	1,5 t
PAS 650	TM	≥ 650	700 – 880	12	40	2,0 t
PAS 700	TM	≥ 700 ¹⁾	750 – 950	12	40	2,0 t

1) Bei Dicken > 8 mm dürfen die Streckgrenzenwerte 20 MPa niedriger sein/For plate thicknesses > 8 mm the yield strength may be 20 MPa lower

2) quer/transverse

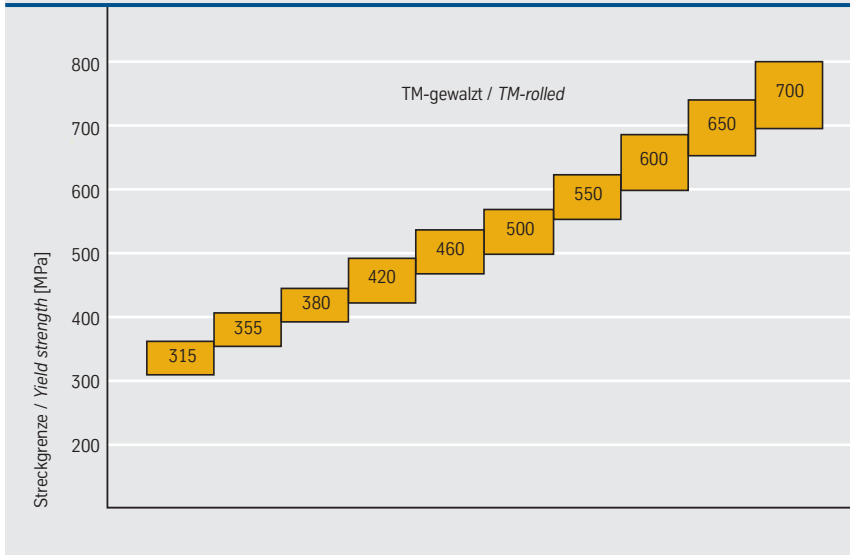
TM – Thermomechanisch gewalzt/Thermomechanically rolled

t – Blechdicke/Plate thickness

Contents

3	PAS steels for cold forming
7	Shearing, blanking and machining
9	Thermal cutting
11	Cold bending and press brake bending
13	Welding
17	Fields of use
19	Outlook, Literature, References
22	Your contacts/General note

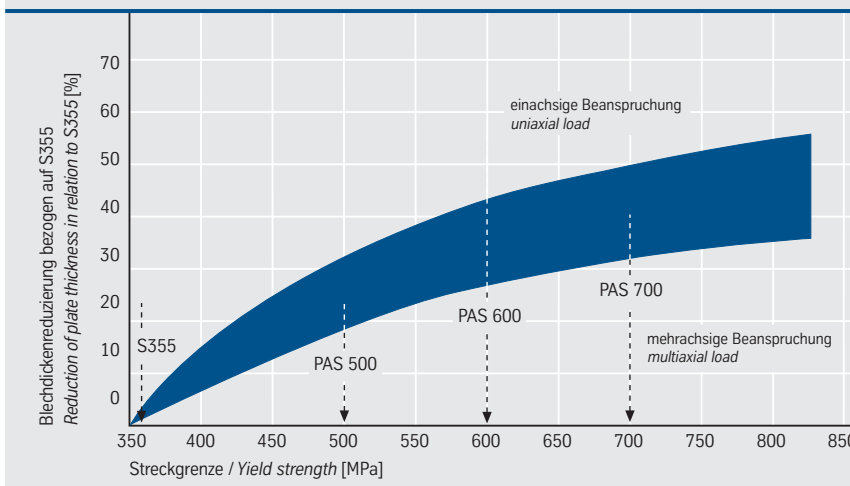
4. Mechanische Eigenschaften der Kaltumformstähle *Mechanical properties of cold forming steels*



Durch den Einsatz höherfester PAS-Sonderbaustähle können im Vergleich zur Stahlsorte S355 Bleche geringerer Dicke verwendet werden, was zu einer Gewichtseinsparung und damit zu einer höheren Nutzlast führt (Abb. 5). Speziell

für das Laserstrahl- und das Plasmaschneiden wurden von ThyssenKrupp Steel die LaserCut-Güten PAS-LC mit Mindeststreckgrenzen bis maximal 420 MPa entwickelt.

5. Blechdickenreduzierung bezogen auf die Stahlgüte S355 durch Einsatz hochfester Kaltumformstähle *Reduction of plate thickness in relation to steel grade S355 by using high-strength cold forming steels*



PAS-Sonderbaustähle sind nach den modernsten Verfahren der Stahlmetallurgie hergestellte, vollberuhigte, d. h. alterungsunempfindliche, Feinkornbaustähle mit verbessertem Reinheitsgrad, abgesehenem Phosphor- und Schwefelgehalt und gegebenenfalls Sulfidformbeeinflussung. Die für die Leichtbauweise erforderliche Festigkeitssteigerung in Verbindung mit guter Umformbarkeit wird durch Absenkung des Kohlenstoffgehaltes, Anhebung des Mangangehaltes und Mikrolegierung erzielt. Durch genaue Abstimmung zwischen Werkstoff und Walzverfahren in Verbindung mit der CVC-Walztechnik werden bei der Fertigung über Bandblech auch eine hervorragende Oberflächenqualität und engste Dickentoleranzen möglich.

Die ThyssenKrupp Steel-Sonderbaustähle zum Kaltumformen PAS bieten bei der Verarbeitung außerdem folgende Vorteile:

- Sehr gute Kaltumformbarkeit
- Ausgezeichnete Schweißneigung aufgrund niedriger Kohlenstoffäquivalente
- Nutzung der mit steigender Festigkeit einhergehenden Verringerung des Eigengewichtes von Konstruktionen und Erhöhung des Verschleißwiderstandes
- Hohe Dauerfestigkeit auch bei wechselnder Beanspruchung (Abb. 6)
- Einsparungen bei den Bearbeitungs- und Materialkosten durch Einsatz hochfester Stahlsorten

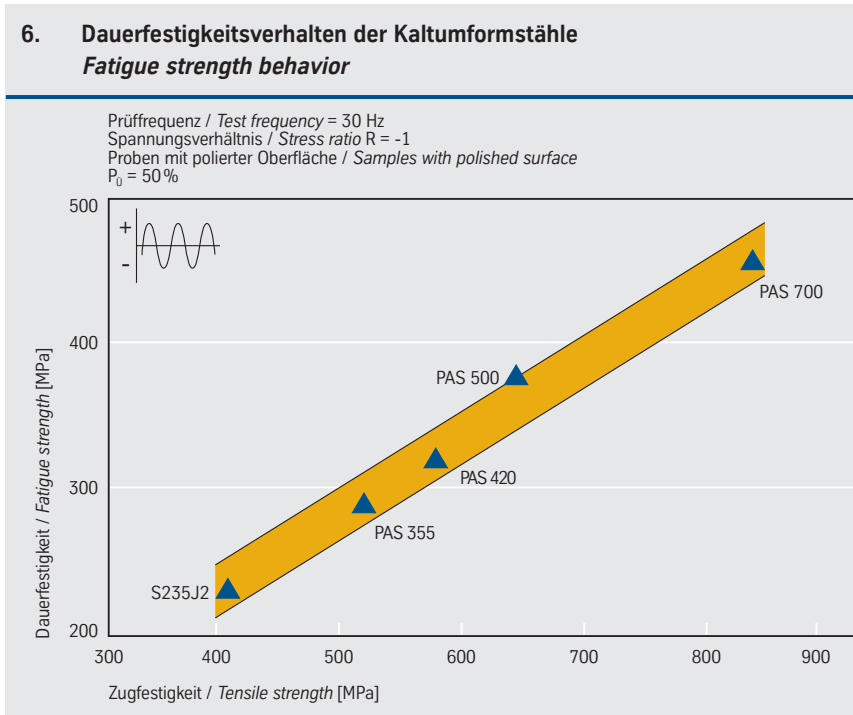
Um ein Optimum an Wirtschaftlichkeit bei der Herstellung von Bauteilen aus PAS-Sonderbaustählen zu ermöglichen, werden nachstehend für die wichtigsten Verarbeitungsverfahren Empfehlungen gegeben:

- Scheren, Stanzen und Spanen
- Thermisches Schneiden
- Biegen und Abkanten
- Schweißen

Heavy plates made of PAS special structural steels are pearlite-reduced, thermo-mechanically rolled steels designed for cold forming, with a minimum yield strength from 315 to 700 MPa in accordance with EN 10149-2. Figs. 2 to 4 provide an overview of the chemical composition and mechanical properties of these steels. The continued intensive development of alloying concepts and of rolling and heat treatment technologies has enabled ThyssenKrupp Steel today to produce high-strength PAS special structural steels both as plate cut from hot strip and as four-high mill plate.

Utilisation of higher-strength PAS special structural steels permits thinner plate dimensions than with S355 plates, thereby leading to a weight saving and, consequently, to a higher payload (Fig. 5). ThyssenKrupp Steel, furthermore, has developed the PAS-LC LaserCut grades with a minimum yield strength of up to 420 MPa max. specially for laser beam and plasma cutting applications.

PAS special structural steels are fully killed, i.e. ageing-insensitive, fine-grain structural steels produced with enhanced cleanliness, reduced phosphorus and sulfur contents and, where applicable, sulfide shape control by state-of-the-art steel metallurgy methods. The higher strength in combination with the good formability required for lightweight construction is achieved by lowering the carbon content, increasing the manganese



content, and microalloying. Precise compatibility between the material and rolling technique, in conjunction with CVC rolling technology, also makes outstanding surface quality and very tight thickness tolerances possible when producing plates from hot strip.

PAS special cold forming structural steels from ThyssenKrupp Steel additionally present the following advantages with regard to processing:

- Very good cold formability
- Excellent weldability thanks to low carbon equivalents
- High strength, permitting lower constructional dead weight and greater wear resistance
- High fatigue limit, also under alternating stress (Fig. 6)
- Savings in machining and material costs through use of high-strength steel grades

Recommendations are given below for the most important processing methods with a view to achieving optimum cost efficiency when using PAS special structural steels in component manufacture:

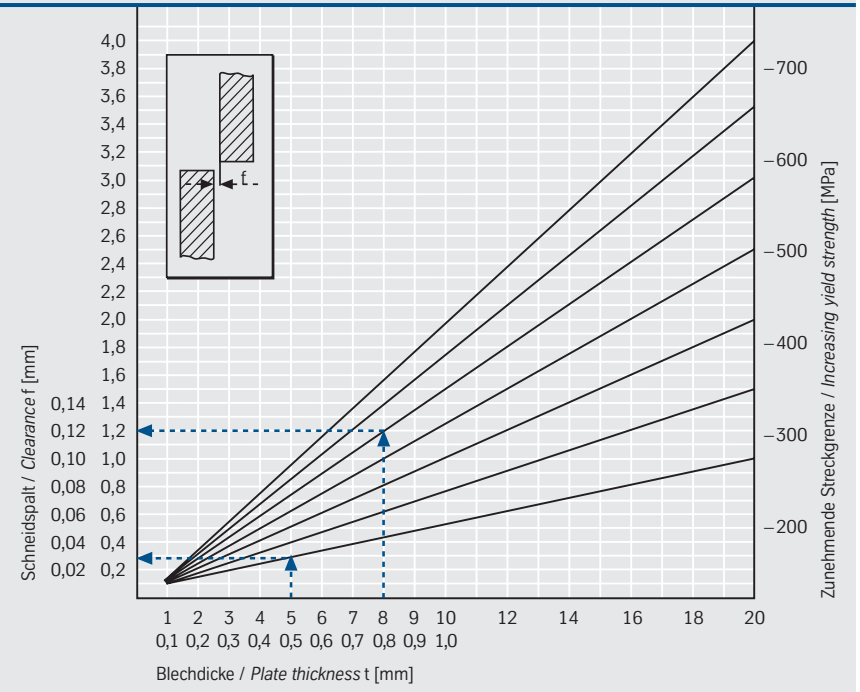
- Shearing, blanking and machining
- Thermal cutting
- Cold bending and press brake bending
- Welding

Die Verarbeitung von Grobblechen aus den Stahlsorten PAS beginnt häufig mit der Herstellung von Zuschnitten für die Bauteile. Dabei kommen das Scheren, Stanzen und Spanen sowie thermische Trennverfahren zum Einsatz.

Scheren und Stanzen

PAS-Sonderbaustähle lassen sich problemlos durch Scheren und Stanzen verarbeiten. Aus den Spannungs- und besonders den Dehnungsverhältnissen beim späteren Umformen ergibt sich im Vorfeld die Forderung nach einer günstigen Kantenausbildung des Zuschnittes. Die beim mechanischen Schneiden auftretende Verformung im Bereich der Schnittkanten und die damit verbundene Verfestigung geht zu Lasten des Dehnungsvermögens beim nachfolgenden Umformen. Somit ist das Trennen des

7. Waagerechter Schneidspalt in Abhängigkeit von der Blechdicke Horizontal clearance as a function of the plate thickness



Werkstoffes ein Vorgang, der sich direkt auf die Qualität eines kalt umgeformten Bauteiles auswirkt. Bei schwierigen Umformungen kann es sinnvoll sein, den Bereich der mechanisch geschnittenen Kante in der Abkantzone abzuschleifen, um ein optimales Verformungsergebnis zu erhalten.

Wegen der hohen Anforderungen an die Qualität der Schnittkanten sollte eine gute Maschineneinrichtung gegeben sein. Für hochfeste Sorten müssen die Maschinen eine ausreichende Stabilität aufweisen, damit sich der eingestellte Schneidspalt unter Belastung nicht ändert. Der einzustellende Schneidspalt ist der Blechdicke und Zugfestigkeit des Stahles entsprechend anzupassen (Abb. 7).

Grundsätzlich gilt, je kleiner der Schneidspalt, umso geringer die Gratbildung und genauer die Breitentoleranz. Gute

Scherbedingungen zeichnen sich durch hohe Glattschnittanteile aus. Dies ist für das Umformverhalten gescherter Kanten wichtig. Mikrolegierte Stähle weisen höhere Glattschnittanteile auf als konventionelle Stähle. Die Glattschnittanteile nehmen erfahrungsgemäß mit der Festigkeit der Stähle zu.

Im Lochaufweitungsversuch beim Stanzen wurden im Festigkeitsbereich zwischen 600 und 750 MPa keine Unterschiede im Verhalten der Stähle festgestellt.

Spanende Bearbeitung

Das Verhalten der mikrolegierten Sonderbaustähle beim Bohren, Drehen und Fräsen entspricht dem Verhalten konventionell legierter Kaltumformstähle. Für hochfeste Sorten sind bei angepassten Schneidparametern normale Werkzeuge einsetzbar.

The processing of plates made from PAS steel grades frequently starts with the production of blanks for components. Employed in this connection are shearing, blanking, machining and thermal cutting methods.

Shearing and blanking

PAS special structural steels do not present any problems during shearing and blanking. The stress and, particularly, the strain conditions during later forming, though, already require the blank to have a good edge quality in these early stages. The deformation occurring at the cut edges during machine cutting, and the accompanying strain-hardening, will affect the ductility during the subsequent forming. The cutting of the material is, therefore, an operation which has a direct influence on the quality of a cold-formed part. For difficult forming operations it may be practical to grind the machine-cut edge in the bending zone in order to obtain the best possible forming outcome.

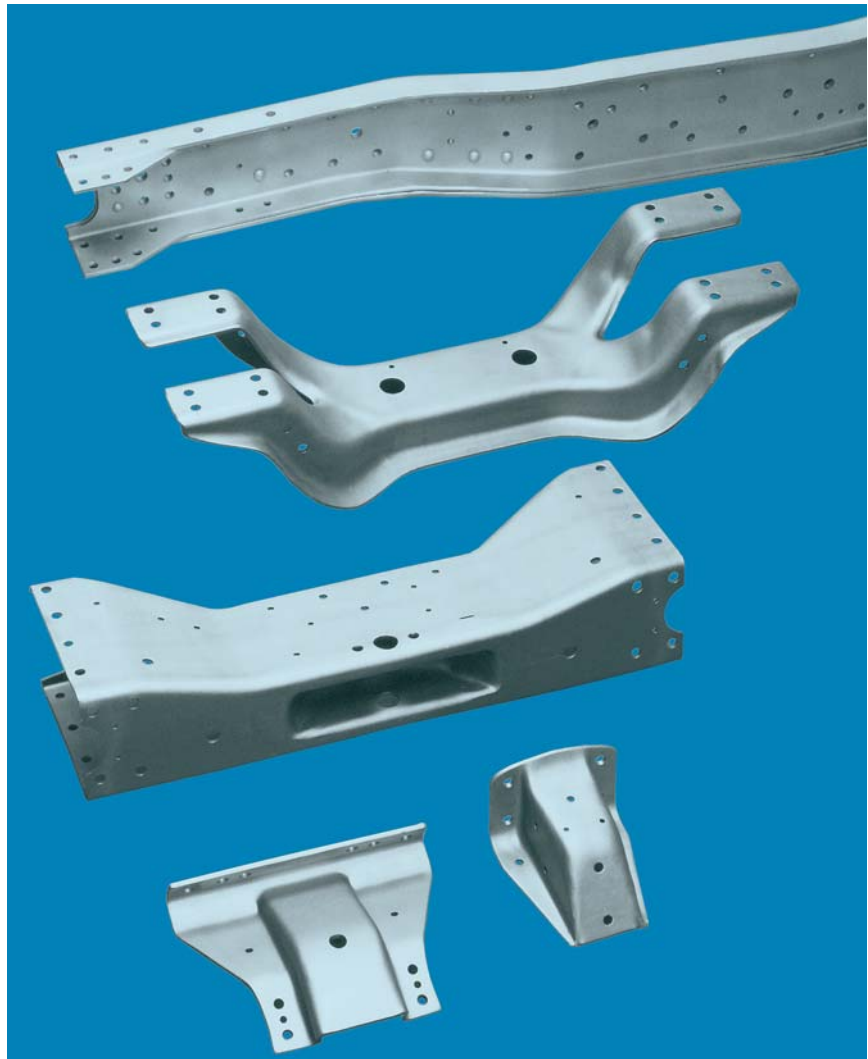
The high demands placed on the quality of the cut edges make it necessary to have good machinery and equipment available. For high-strength grades the machinery must have adequate stability so that the shear gap setting does not alter under load. The required shear gap has to be adjusted with increasing plate thickness and tensile strength of the steel (Fig. 7).

In principle, the rule applies that, the smaller the shear gap, the less the formation of flash and fins, and the preciser the width tolerance. Good shearing conditions are characterized by large burnish depths. This is important for the forming behavior of shear-cut edges. Microalloyed steels have larger burnish depths than conventional steels. According to experience, the burnish depths increase with the strength of the steels.

Hole expansion testing in the course of blanking has revealed no differences in the behavior of the steels that have a strength between 500 and 750 MPa.

Machining

The behavior of the microalloyed special structural steels during drilling, turning and milling is similar to that of conventionally alloyed cold forming steels. Normal tools can be used for high-strength grades provided that the cut parameters are appropriate.



Für das thermische Schneiden von Blechen aus PAS-Stählen kommen folgende Verfahren in Betracht:

- Autogenes Brennschneiden
- Plasmaschneiden
- Laserstrahlschneiden

Im Hinblick auf die Wirtschaftlichkeit und den Verzug bieten das Plasma- und das Laserstrahlverfahren wesentliche Vorteile. Das Plasmaschneiden ermöglicht, wie aus **Abb. 8** hervorgeht, die höchsten Schneidgeschwindigkeiten mit gewissen Einschränkungen bezüglich der Schnittkantenausbildung. In jüngster Zeit tritt das Laserstrahlschneiden besonders in den Vordergrund. Je nach Laserleistung und Blechdicke lassen sich oft deutlich höhere Schneidgeschwindigkeiten als beim autogenen Brennschneiden realisieren. Weitere Vorteile des Laserstrahlschneidens sind die äußerst schmale Wärmeeinflusszone, der geringere Verzug sowie die hohe Maßhaltigkeit der Zuschnitte.

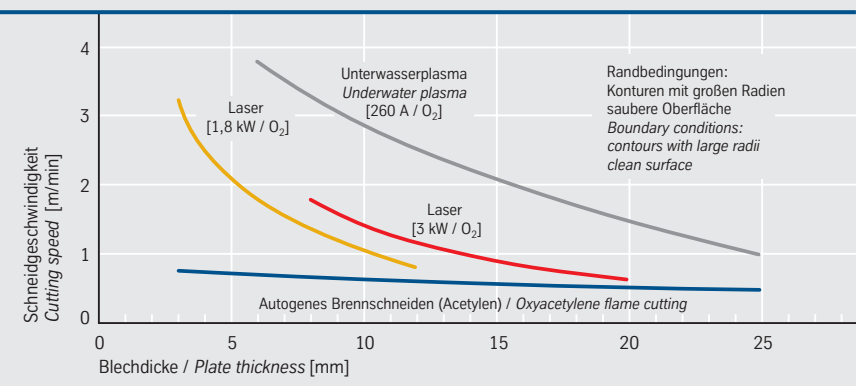
Die **Abb. 9** und **Abb. 10** geben einen Überblick der mechanischen Eigenschaften und Abmessungen unserer LaserCut-Güten PAS-LC. Hierbei wird zwischen den beiden Fertigungswegen, Grobblech aus Warmband geschnitten und Quarto-grobblech, unterschieden. Die besondere Eignung dieser Güten für das Laserstrahlschneiden ist in erster Linie auf die gute Oberflächenqualität, die gute Ebenheit und die niedrigen Eigenspannungen dieser Bleche zurückzuführen. So lässt sich bei relativ hoher Schnittgeschwindigkeit eine hervorragende Schnittgüte erzielen. Unter der Voraussetzung einer exakten Abstimmung der Schneidbedingungen ergeben sich sehr gleichmäßige Schnittflächen, die durch eine geringe Rautiefe der Schnitttrillen sowie eine bartfreie Ausbildung der Unterkante gekennzeichnet sind.

Beim thermischen Schneiden kommt es an den Schnittkanten kurzzeitig zu sehr hohen Temperaturen und durch die nachfolgende schnelle Abkühlung zu Werkstoffveränderungen. Diese äußern sich in einer Aufhärtung. Die Höchststärke thermisch geschnittener Blechkanten wird primär vom Kohlenstoffgehalt des Stahls bestimmt. Sie lässt sich nach folgender empirischer Formel von IRSID abschätzen:

$$\text{Vickershärte (HV)} = 930 \times C + 283$$

Hiernach ergeben sich die in **Abb. 11** angegebenen typischen Werte für die Höchststärke in der Wärmeeinflusszone. Die thermomechanisch gewalzten PAS-Sonderbaustähle zeichnen sich aufgrund ihrer chemischen Zusammensetzung durch eine sehr geringfügige Aufhärtung und durch eine vorteilhafte Kaltumformbarkeit der Schnittkanten aus. Ein Vorwärmen zur Vermeidung von Rissen beim autogenen Brennschneiden der PAS-Sonderbaustähle ist im Allgemeinen nicht erforderlich.

8. Schneidgeschwindigkeit beim thermischen Trennen ferritischer Stähle Thermal cutting speed for ferritic steels



9. Mechanische Eigenschaften LaserCut-Stähle Mechanical properties LaserCut steels

Stahlgruppe und Stahlsorten <i>Steel group and steelgrades</i>	Steckgrenze <i>Yield strength</i> [MPa]	Zugfestigkeit <i>Tensile strength</i> [MPa]	Produkt und Dickenbereich <i>Product and thickness range</i>
Hochfeste Stähle zum Kaltumformen nach Werkstoffdatenblatt (thermomechanisch gewalzt) <i>High-strength steels for cold forming, according to material data sheet (thermomechanically rolled)</i> PAS 315/355/380/420-LC	<ul style="list-style-type: none"> ≥ 315 ≥ 355 ≥ 380 ≥ 420 	<ul style="list-style-type: none"> 390 – 510 430 – 550 450 – 590 480 – 620 	<ul style="list-style-type: none"> Bandbleche/ <i>Cut coil plates</i> 3 ≤ 10 mm (PAS 420-LC ≤ 8 mm) und/and Quartobleche/ <i>Four-high mill plates</i> 10 – 20 mm

The following thermal cutting techniques are suitable for PAS grade plates:

- flame cutting
- plasma cutting
- laser beam cutting

The plasma and laser beam techniques offer major advantages where cost-effectiveness and work piece distortion are concerned. As Fig. 8 shows, plasma cutting permits the highest cutting speeds,

albeit with certain limitations in regard to the cut edge quality. Laser beam cutting in particular has been a focus of attention very recently. It is often capable of realizing significantly higher cutting speeds than the oxyacetylene technique, depending on the laser power and plate thickness. Other advantages of laser beam cutting include an extremely narrow heat-affected zone (HAZ), a low degree of distortion, and high dimensional accuracy of the cut parts.

Figs. 9 and 10 provide an overview of the mechanical properties and dimensions of our LaserCut grades PAS-LC. A differentiation is made here between the two production variants of plate cut from hot strip and four-high mill plate. The special suitability of these grades for laser beam cutting is attributable first and foremost to the sound surface quality, good flatness, and low internal stresses of these plates. It is thus possible to realize an outstanding quality of cut at a relatively high cutting speed. Provided that the cutting conditions are precisely attuned, the resulting cut faces are very uniform and are characterized by a low roughness depth of the drag lines and by a burrless bottom edge of the cut.

During such thermal cutting, very high temperatures occur for a short time at the cut edges, and material changes take place as a result of the subsequent rapid cooling. The latter manifest themselves as an increase in hardness. The maximum hardness of thermally cut plate edges is dictated primarily by the carbon content of the steel and can be estimated by means of the following empirical formula established by IRSID:

$$\text{Vickers hardness (HV)} = 930 \times C + 283$$

The typical maximum hardness values in the heat-affected zone, shown in Fig. 11, are derived on the above basis. The thermomechanically rolled PAS special structural steels, because of their chemical composition, are characterized by very little hardening and by the advantageous cold formability of their cut edges. No preheating is generally necessary to avoid cracking when cutting PAS special structural steels by the oxyacetylene technique.

10. Abmessungen LaserCut-Stähle Dimensions LaserCut steels

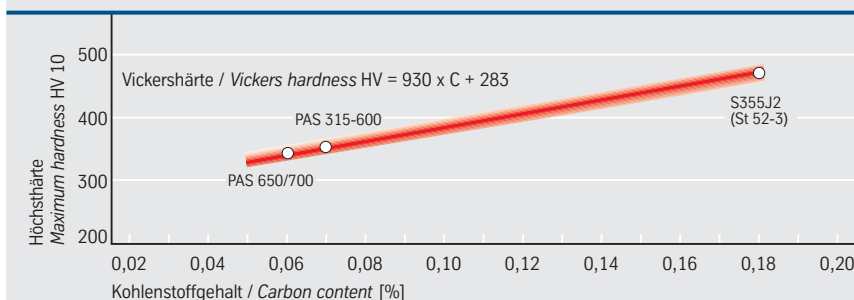
Grobbleche aus Warmband geschnitten / Plates cut from hot strip
(Länge/Length: max. 6.000 mm)

LC-Sorte LC Grade	Dicke/Thickness [mm]	Breite/Width [mm]
PAS 315/355/380-LC	3,0 < 4,0	1.000 – 1.500
	4,0 < 5,0	1.000 – 1.750
	5,0 < 8,0	1.000 – 2.000
	8,0 ≤ 10,0	1.000 – 1.800
PAS 420-LC	3,0 < 4,0	1.000 – 1.250
	4,0 < 5,0	1.000 – 1.500
	5,0 ≤ 8,0	1.000 – 1.750

Grobbleche aus Quartowalzung / Four-high mill plates
(Länge/Length: min. 4.500 mm, max. 12.000 mm)

PAS 315/355/420-LC	10,0 < 15,0	max. 2.500
	15,0 ≤ 20,0	max. 3.000

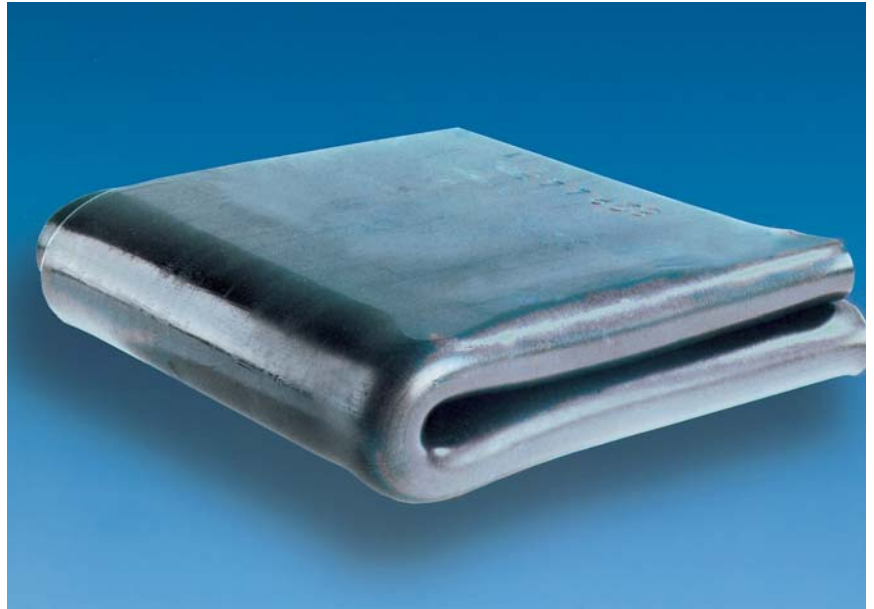
11. Typische Werte für die Höchststärke in der Wärmeinflusszone thermisch geschnittener Kanten / Typical maximum hardness values in the heat-affected zone of thermally cut edges



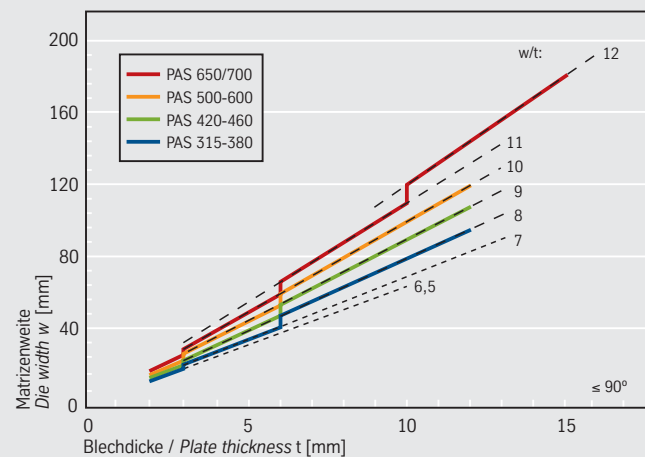
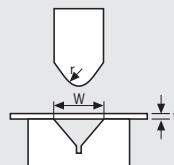
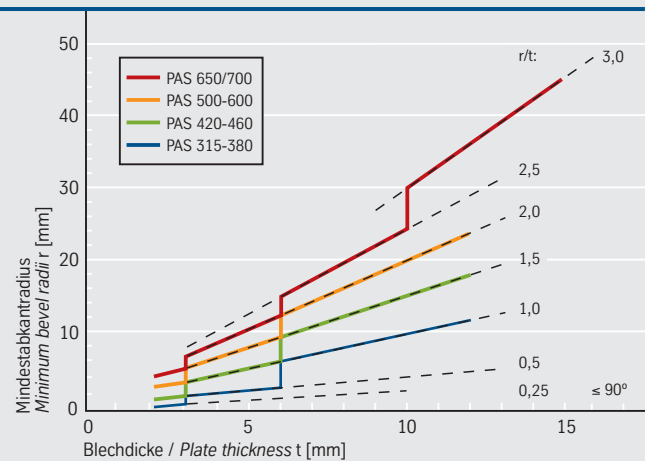
Das günstige Umformverhalten der PAS-Sonderbaustähle beruht auf der speziellen feinkörnigen Gefügestruktur in Verbindung mit dem hohen Reinheitsgrad der Stähle. Vielfach können auch mehrstufige Umformverfahren für die Herstellung komplizierter Teile angewendet werden. Die bei der Umformung höherfester PAS-Kaltumformstähle vertretbaren Grenzziehverhältnisse weisen keine gravierenden Unterschiede im Vergleich zu weichem Stahl auf.

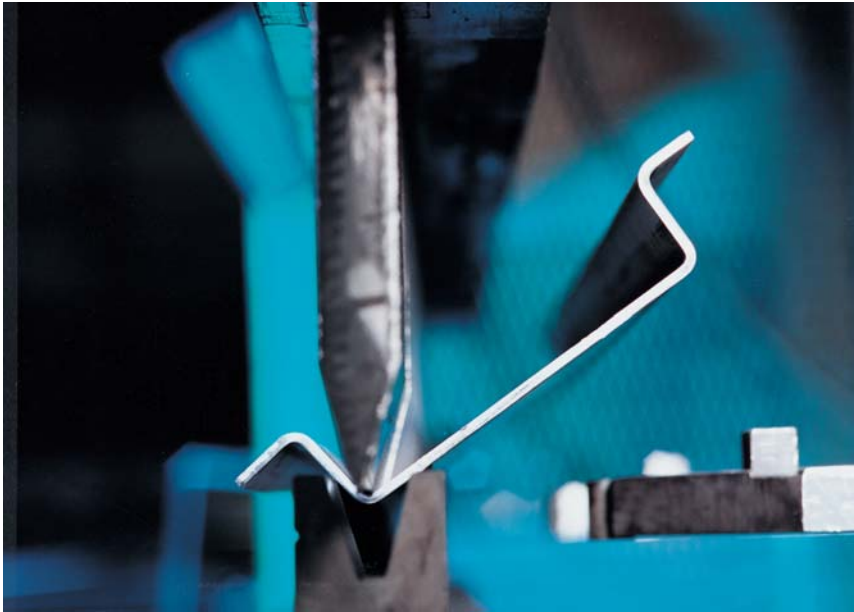
Das vorherrschende Umformverfahren für Kaltumformstähle ist das Abkanten. Hierbei findet meist in einem Gesenk ein Kantvorgang mit definiertem Innenradius statt, wobei die Verformung aufgrund des starren Werkzeugs eingeschränkt wird. Je höher die Festigkeit des Stahles ist, umso größer ist der Mindestabkantradius. Da der Verarbeiter bei kleinen Blechzuschnitten die Walzrichtung häufig nicht mehr erkennen kann, sind die Angaben der empfohlenen Mindestbiegeradien beim Abkanten sowie der empfohlenen Matrizenweiten in **Abb. 12** richtungsunabhängig dargestellt. Die zulässigen Verformungsgrade in der Zugzone und somit die engsten inneren Biege- bzw. Kantradien ergeben sich näherungsweise aus der Bruchdehnung der Werkstoffe und einem Sicherheitsfaktor (**Abb. 13**).

Die möglichen Kantendehnungen hängen jedoch stark von der Beschaffenheit der Blechkante ab, d. h. das Trennverfahren und die Qualität der Schnittkanten sind von großer Bedeutung. Um die in der Tabelle genannten inneren Biegeradien zu erreichen, sind fehlerfreie Schnittkanten unbedingte Voraussetzung. In schwierigen Fällen haben sich ein Überschleifen der Kanten in der Biegezone und Maßnahmen gegen die Verformungsbehinderung, z. B. Schmieren, bewährt. Der Verarbeiter muss sicherstellen, dass keine Fließbehinderung durch das Werkzeug auftritt.



12. Empfohlene Abkantradien in Anlehnung an DIN EN 10149 und Matrizenweiten Recommended bevel radii according to DIN EN 10149 and die widths



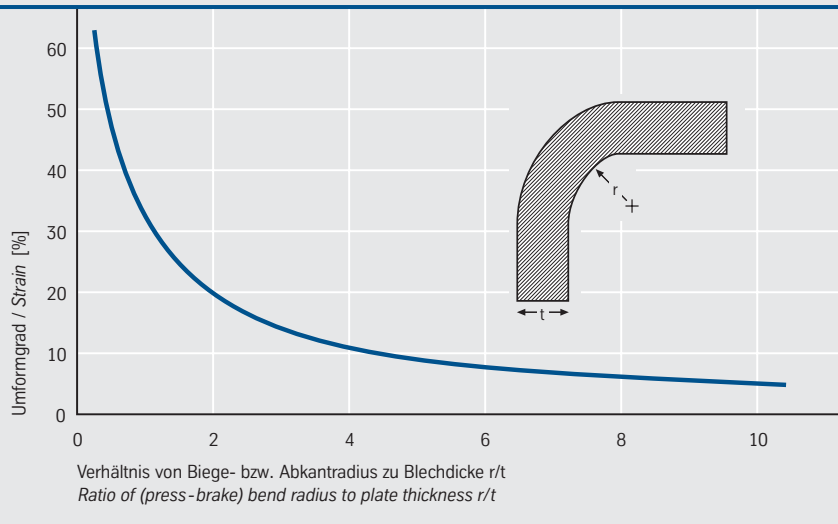


The good forming behavior of the PAS special structural steels stems from the particular fine-grain microstructure in combination with the steels' high cleanliness. In many cases it is possible to apply also multi-stage forming methods for the manufacture of complicated parts. The drawing limit ratios valid for the forming of high-strength PAS cold-forming steels do not seriously differ in comparison with mild steel.

The predominant forming technique used for cold-forming steels is press brake bending. In most cases, the press brake bending takes place with a defined inner radius in a die, with the rigid die limiting the deformation. The higher the strength of the steel, the greater the minimum press brake bending radius. As manufacturers frequently are no longer able to identify the rolling direction in case of small cut plate parts, the minimum bending radii recommended for press brake bending as well as the recommended die widths in Fig. 12 are plotted, independently of the direction. The strain rates permissible in the region in tension and, therefore, the tightest inner bending and press brake forming radii are derived by approximation from the total elongation of the materials and from a safety factor (Fig. 13).

The possible edge elongation, however, depends greatly on the plate edge quality, i.e. the cutting technique and the quality of the cut edges are of major importance. To achieve the inner bending radii given in the table, flawless cut edges are absolutely imperative. In difficult cases, grinding of the edges in the bending zone and measures to counter any hindrance of deformation, e.g. lubrication, have proven useful. The manufacturer has to ensure that there is no yield constraint caused by the tool or die.

13. Umformgrade beim Kaltumformen Strain during cold forming



PAS-Bleche lassen sich mit allen gängigen Verfahren schweißen. Auskunft über Schweißzusätze der Böhler Thyssen Schweißtechnik Deutschland GmbH, Hamm, die sich bei der Verarbeitung hochfester Feinkornbaustähle bewährt haben, gibt die **Abb. 14**.

Alle PAS-Sonderbaustähle zeichnen sich durch äußerst niedrige Kohlenstoff-äquivalente CET aus, die für die Beurteilung des Kaltrissverhaltens herangezogen werden. Ein Vorwärmen ist deshalb im Allgemeinen nicht erforderlich. Eine Ausnahme bildet das Unterpulverschweißen, wenn die Drahtelektrode Union S3NiMoCr eingesetzt wird. Hier liegt das Kohlenstoffäquivalent CET im Schweißgut wesentlich höher als im Grundwerkstoff. Für das Unterpulverschweißen von PAS 650/700 wird daher in diesem Fall eine Vorwärm- und Zwischenlagentemperatur von mindestens 120 °C empfohlen.

Mechanische Eigenschaften von Schweißverbindungen

Durch den Temperatur-Zeit-Verlauf beim Schweißen kann sich in der Wärmeeinflusszone der Schweißnaht eine Veränderung der Stahleigenschaften ergeben. Als die Schweißbedingungen kennzeichnende Größe 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 im Schweißnahtbereich anforderungsgerechte Eigenschaften eingehalten werden. Eine zu schnelle Abkühlung der Schweißraupen wirkt sich durch sehr hohe Härten ungünstig auf das Verformungsverhalten der Verbindungen aus und erhöht außerdem die Kaltrissgefahr. Eine zu langsame Abkühlung hat dage-

14. Schweißzusätze Welding filler metals			
Stahlsorte Steel grade	Schweißverfahren / Welding technique		
	Schutzgas MAG ¹⁾ MAG ¹⁾ shielding gas	Lichtbogenhand E Manual arc	Unterpulver UP ²⁾ Submerged-arc ²⁾
PAS 315	Union K 52	Phoenix K 50	Union S 2
PAS 355 PAS 380 PAS 420	Union K 56	Phoenix 120 K	Union S 2
PAS 460 ³⁾ PAS 500 ³⁾	Union K 5 Ni	SH V 1	Union S 3 NiMo
PAS 550 ⁴⁾ PAS 600 ⁴⁾	Union MoNi	SH Ni 2 K 90	Union S 3 NiMo
PAS 650/700 ⁴⁾	Union NiMoCr	SH Ni 2 K 100	Union S 3 NiMoCr

1) mit Schutzgas M21 / with shielding gas M21

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

3) Kehlnähte wie PAS 420 / fillet welds, like PAS 420

4) Kehlnähte wie PAS 500 / fillet welds, like PAS 500
Lieferant / Supplier:
Böhler Thyssen Schweißtechnik Deutschland GmbH

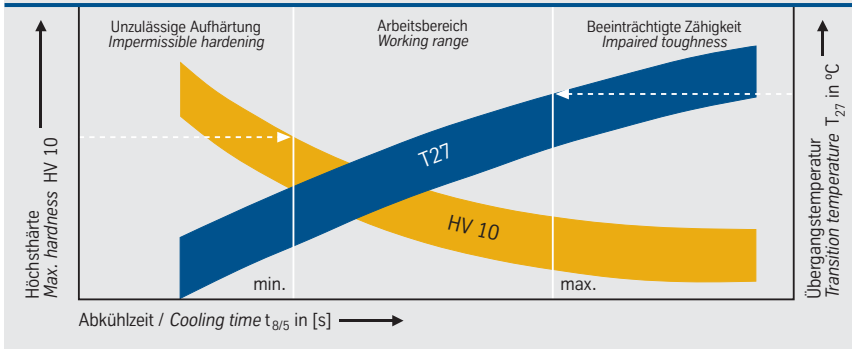
gen zur Folge, dass die Festigkeitseigenschaften des Schweißgutes nicht mehr denen des Grundwerkstoffes entsprechen. Es besteht gleichzeitig die Gefahr, dass die Wärmeeinflusszone eine ungenügende Zähigkeit aufweist. Auszugehen ist bei der Ermittlung der geeigneten Abkühlzeit von der Mindestanforderung an die Zähigkeit und der z. B. gemäß EN 288-3 zu begrenzenden Höchststärke HV 10. **Abb. 15** verdeutlicht diese Zusammenhänge schematisch. Das zur Ermittlung der Abkühlzeit $t_{8/5}$ bei der ThyssenKrupp Steel AG entwickelte Konzept findet inzwischen weltweit Anwendung, so z. B. auch in der europäischen Norm EN 1011.

Wie aus **Abb. 16** hervorgeht, liegt die Höchststärke selbst beim Schweißen des hochfesten PAS 700 mit relativ kurzer Abkühlzeit unterhalb von 350 HV 10. Bei Abkühlzeiten $t_{8/5}$ zwischen 5 und 15 s zeigt die Schweißnaht ein ausgewogenes Härteprofil. Der moderate Härteabfall in der Anlasszone neben der Schweißnaht

führt nicht zu einer Beeinträchtigung der Festigkeitseigenschaften, wie an quer zur Schweißnaht entnommenen Zugproben nachgewiesen werden konnte. Die Neigung zur Bildung einer ausgeprägten Erweichungszone wird bei Abkühlzeiten $t_{8/5}$ oberhalb von 15 s, d. h. bei Anwendung einer hohen Streckenenergie, verstärkt. Die Streckenenergie lässt sich gemäß **Abb. 17** bestimmen.

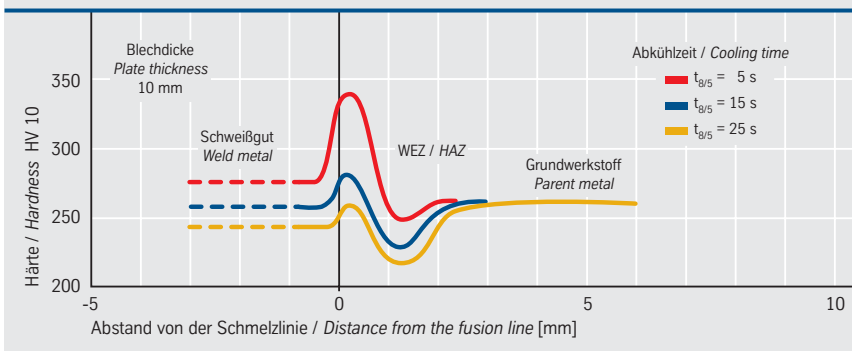
Daneben sind hohe Streckenenergien auch im Hinblick auf die Zähigkeit in der WEZ zu vermeiden. Gegenüber den wasserergüteten N-A-XTRA-Stählen, die im Hinblick auf die Eigenschaften der Wärmeeinflusszone unempfindlicher auf längere Abkühlzeiten reagieren, ist bei PAS 650/700 die Abkühlzeit $t_{8/5}$ stärker einzuschränken. Der optimale Bereich für PAS 650/700 liegt zwischen 5 und 15 s. Für das MAG- und Lichtbogenhandschweißen der anderen PAS-Sonderbaustähle werden Abkühlzeiten zwischen 5 und 20 s bzw. beim Unterpulverschweißen zwischen 10 und 25 s empfohlen.

15. Begrenzung der Abkühlzeit beim Lichtbogenschweißen Limitation of the cooling time for arc welding



weld metal's strength properties no longer corresponding to those of the 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. as defined in EN 288-3, should serve as the basis when determining the appropriate cooling time. Fig. 15 illustrates these correlations schematically. The concept developed at ThyssenKrupp Steel AG to determine the cooling time $t_{8/5}$ mean-

16. Schweißen von PAS 700 (Härteverlauf in der Wärmeeinflusszone) Welding of PAS 700 (hardness distribution in the heat-affected zone)



17. Definition der Streckenenergie 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.]

PAS steel plates can be welded by means of all standard techniques. Fig. 14 contains information on filler metals from Böhler Thyssen Schweißtechnik Deutschland GmbH, Hamm, which have proven suitable for welding high-strength fine-grain structural steels.

All the PAS special structural steels are characterized by extremely low carbon equivalent values (CET), which serve to assess the cold cracking behavior. Preheating, therefore, is not generally necessary. One exception is submerged-arc welding with a wire electrode of the Union S3NiMoCr type. The carbon equivalent CET in the weld metal is then much higher than in the parent metal. A preheat and interpass temperature of at least 120 °C is hence recommended in such a case for the submerged-arc welding of PAS 650/700.

Mechanical properties of welded joints

The steel properties in the heat-affected zone of the weld may change during welding as a result of the temperature-time cycle. A parameter generally selected to characterize the welding conditions is the cooling time $t_{8/5}$. This is the time necessary for the temperature of a weld bead, as it cools after deposition, to pass through the range from 800 to 500 °C. It is important to select the cooling time range in such a way that properties suited to the requirements in hand are realized in the weld region. Excessively rapid cooling of the weld beads has a detrimental effect on the joint's deformation behavior because of very high hardnesses and also increases the risk of cold cracking. Excessively slow cooling, on the other hand, results in the

while finds use all over the world including, for example, in European Standard EN 1011.

The maximum hardness is below 350 HV 10, even when the high-strength PAS 700 grade is welded with a relatively short cooling time, as can be seen from Fig. 16. The weld exhibits a balanced hardness profile for cooling times $t_{8/5}$ between 5 and 15 s. The moderate decrease in hardness in the tempered zone adjacent to the weld does not negatively affect the strength properties, as has been possible to demonstrate with tensile specimens taken transverse to the weld. The tendency to form a pronounced softening zone is intensified with cooling times $t_{8/5}$ greater than 15 s, i.e. when using a high heat input per unit length of weld. The heat input is determinable as defined in Fig. 17.

Ausgehend von der Nahtgeometrie, der Blechdicke und -temperatur sowie verfahrensspezifischen Parametern lassen sich geeignete Streckenenergien berechnen. Beim Stumpfnahtschweißen nach dem bevorzugten MAG- und Lichtbogenhandverfahren ergeben sich z. B. die den **Abb. 18** und **Abb. 19** je nach Blechdicke zu entnehmenden minimalen oder maximalen Streckenenergien. 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 Stumpfnah.

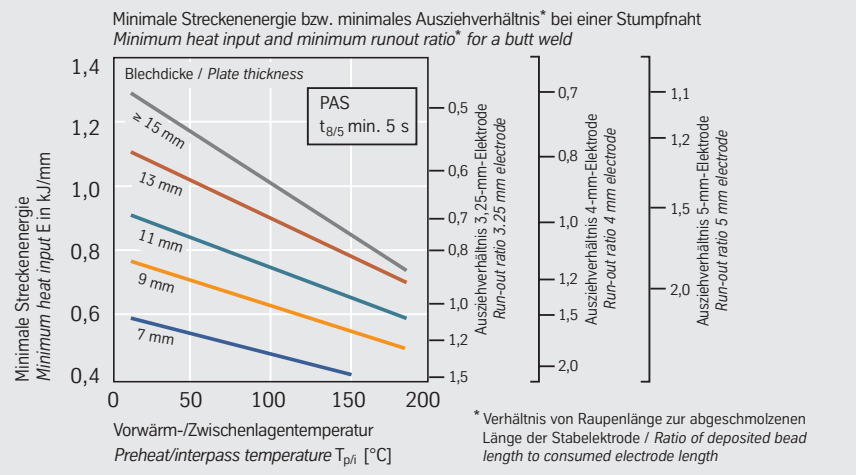
Beim Lichtbogenhandschweißen kann es ratsam sein, die Abkühlzeit durch die Vorgabe bestimmter Ausziehverhältnisse A_V einzuschränken. Diese lassen sich bestimmen, indem man das Verhältnis von Raupenlänge zur abgeschmolzenen Länge der Stabelektrode bildet.

In vielen Fällen kann die Berechnung 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 Abkühlzeitmeter zu messen (**Abb. 20**). Entsprechende Geräte sind im Handel verfügbar.

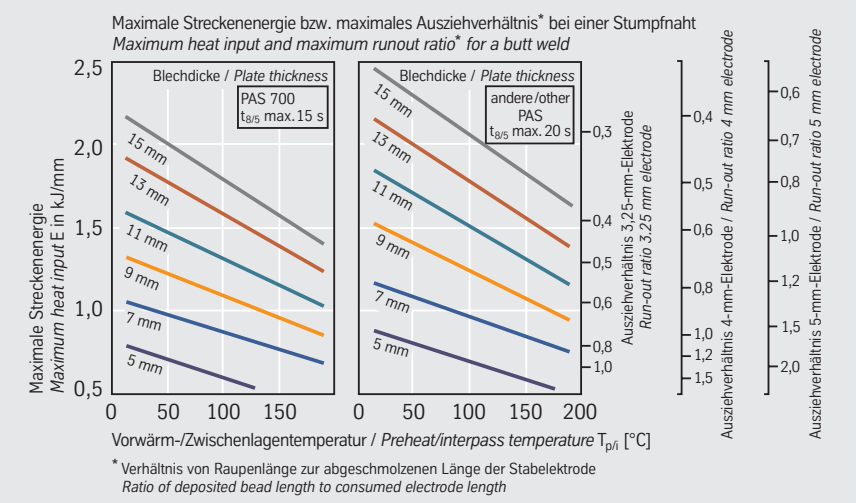
Der vorstehend beschriebene Zusammenhang zwischen den Schweißbedingungen und den mechanischen Eigenschaften von Schweißverbindungen hat Eingang in das Regelwerk gefunden, u. a. in das Stahl-Eisen-Werkstoffblatt 088. Dort finden sich zahlreiche nützliche Hinweise für die Anwendung des Abkühlzeitkonzeptes in der Praxis. Allgemeine Empfehlungen für das Lichtbogenschweißen von ferritischen Stählen sind in der EN 1011 (Teil 1, 1998) enthalten.

Für die genaue Berechnung der Abkühlzeit und weiterer wichtiger Kenngrößen beim Lichtbogenschweißen stellen wir auf

18. MAG- und Lichtbogenhandschweißen / MAG and manual arc welding



19. MAG- und Lichtbogenhandschweißen / MAG and manual arc welding



Anfrage interessierten Kunden gern unser Computer-Rechenprogramm „ProWeld“ zur Verfügung, **Abb. 21**.

Laserstrahlschweißen

Besonders bei dünnen Blechen findet neben den konventionellen Verfahren das Laserstrahlschweißen zunehmend Anwendung. Die Laserschweißbeignung des PAS 650/700 wurde an 5 bis 10 mm dicken Blechen überprüft, die Laserleistung betrug hierbei 6 bis 10 kW.

Wie beim thermischen Schneiden führte auch das Laserstrahlschweißen von PAS 650/700 infolge des geringen Kohlenstoffgehaltes zu einer gegenüber vergüteten Stählen gleicher Streckgrenze wesentlich niedrigeren Härte in der Wärmeeinflusszone. Die Querbiegeproben der Laserschweißverbindung konnten selbst bei einem Dorndurchmesser von zweifacher Blechdicke anrissfrei verformt werden. Quer zur Schweißnaht entnommene Zugproben brachen außerhalb der Schmelzzone im Grundwerkstoff.

High heat inputs, moreover, must be avoided in view of the toughness in the HAZ. The cooling time $t_{8/5}$ has to be limited more greatly for PAS 650/700 than for quenched and tempered N-A-XTRA steels, which react less sensitively to longer cooling times where the properties in the heat-affected zone are concerned. The optimum range for PAS 650/700 lies between 5 and 15 s. Cooling times between 5 and 20 s are recommended for the MAG and manual arc welding of the other PAS special structural steels, and between 10 and 25 s for their submerged-arc welding.

Suitable heat inputs can be calculated on the basis of the weld geometry, plate thickness and temperature, and technique-specific parameters. The minimum and maximum heat inputs shown in Figs. 18 and 19, for example, apply to butt seam welding by the preferred MAG and manual arc techniques as a function of the plate thickness. 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.

For manual arc welding it may be advisable to limit the cooling time by selecting certain run-out ratios A_V . The latter are determinable by measuring the ratio of deposited bead length to consumed stick electrode length.

In many cases, it is not possible to calculate the cooling time with sufficient accuracy as the boundary conditions are not adequately known. In such cases it is advisable to measure the cooling time $t_{8/5}$ with a cooling time meter (Fig. 20). Suitable instruments are available commercially.

The above described correlation between the welding conditions and the mechanical properties of welded joints has found application in relevant codes, among them Stahl-Eisen-Werkstoffblatt SEW 088 where there is much useful advice on how to apply the cooling time concept in practice. EN 1011 (Part 1, 1998) contains general recommendations on the arc welding of ferritic steels.

Upon request, we will gladly make our computer program "ProWeld" (Fig. 21) available to interested customers for the precise computation of the cooling time and of other parameters important for arc welding.

Laser beam welding

Laser beam welding is finding increasing use alongside the conventional techniques, particularly for thin-gauge plates. The suitability of the PAS 650/700 grade for laser welding has been tested on 5 to 10 mm thick plates, the laser power in this regard being 6 to 10 kW. As in thermal cutting, the laser beam welding of PAS 650/700 led, as a result of the low carbon content, to a much lower hardness in the heat-affected zone compared with quenched and tempered steels of the same yield strength. It was possible, even with a mandrel diameter of two times the plate thickness, to deform the transverse bend test pieces from the laser-welded joint without any occurrence of cracking. Tensile test pieces removed transverse to the weld fractured outside the fusion zone in the parent metal.



Abb.1 Fig. 20

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



ProWeld ist ein von ThyssenKrupp Steel entwickeltes Anwendungsprogramm für Schweißberechnungen. Die mehrsprachigen CD-ROM kann bei ThyssenKrupp Steel kostenfrei angefordert werden kann.

ProWeld is a computer software developed by ThyssenKrupp Steel for calculating welding parameters. The multilingual compact disc is available free of charge from ThyssenKrupp Steel.

Die Sonderbaustähle zum Kaltumformen PAS haben im modernen Nutzfahrzeug- und Mobilkranbau ein weites Einsatzfeld gefunden und sich aufgrund ihrer hervorragenden Verarbeitungs- und Gebrauchseigenschaften vielfach bewährt. Durch Nutzung des stahlspezifischen Vorteils der hohen Festigkeit in Verbindung mit hervorragender Verarbeitbarkeit lassen sich Konstruktionen erstellen, die neben einer hohen Tragfähigkeit ein günstiges Verhältnis von Nutzlast zu Eigengewicht aufweisen. Um weitere Gewichtsreduzierungen auf der Basis von Stahlanwendungen zu erreichen und dem Bedürfnis nach Leichtbauweise im Fahrzeugbau Rechnung zu tragen, hat ThyssenKrupp Steel in den vergangenen Jahren neue Werkstoffkonzepte für Stähle mit verbesserten Festigkeitseigenschaften entwickelt (vergl. Abb. 5). Typische Anwendungsbeispiele sind:

- Rahmen, Längs- und Querträger sowie Achskonstruktionen für den Nutzfahrzeugbau
- Bauteile für Mobilkrane, wie z. B. Teleskopausleger
- Bauteile für LKW-Bordkrane
- Bauteile für Autobetonpumpen
- Kaltumzuformende Bauteile wie Spezialprofile und Formteile

Konstrukteure und Stahlbauer machen von der Möglichkeit erfolgreich Gebrauch, Abmessungen und Gewicht von Bauteilen oder Bauwerken durch Verwendung hochfester Kaltumformstähle zu begrenzen.





The PAS special cold forming structural steels have found broad application in the manufacture of modern commercial vehicles and mobile cranes and have proven their worth in many instances through their outstanding technological and service properties. These steels' specific advantage of high strength combined with excellent processability makes it possible to realize constructions which, besides a high structural strength, offer a good payload to dead weight ratio. Over the past few years, ThyssenKrupp Steel has developed new material concepts for steels with enhanced strength properties (viz. Fig. 5) with a view to achieving further weight reductions in steel applications, and to take account of the need for lightweight vehicle designs. Typical examples of use include:

- Frames, longitudinal and cross members, and axle constructions for commercial vehicle manufacture
- Components for mobile cranes, such as telescopic jibs
- Components for truck-mounted cranes
- Components for truck-mounted concrete pumps
- Components requiring cold forming, such as special shapes and formed parts

Design engineers and steel fabricators are successfully exploiting this opportunity to limit the size and weight of components or structures by using high-strength cold forming steels. The higher strength leads to less wear, thereby prolonging the life of the components.

Ausblick

In den beispielhaft genannten Anwendungsfällen haben sich die ThyssenKrupp Steel-Sonderbaustähle zum Kaltumformen trotz der komplexen und hohen Beanspruchung der Konstruktionen seit vielen Jahren hervorragend bewährt. Der Anreiz zum Einsatz dieser zu den hochfesten Sonderbaustählen gehörenden ThyssenKrupp Steel-Stähle ist dann besonders groß, wenn nicht nur die Gestehungskosten, sondern auch die Betriebskosten und die Leistungsfähigkeit einer Konstruktion von der hohen Festigkeit des Werkstoffs positiv beeinflusst werden.

Die bisher sehr positiven Erfahrungen berechtigen zu der Annahme, dass die ThyssenKrupp Steel-Sonderbaustähle zum Kaltumformen 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. Gleichzeitig wird an einer stetigen Qualitätsverbesserung unserer Produkte gearbeitet. Hierbei steht insbesondere die Verbesserung des Verarbeitungsverhaltens durch Optimierung der Stahlzusammensetzung und des Fertigungsweges sowie die Verbesserung der Toleranzen von Blechdicke und Ebenheit im Vordergrund.

Detaillierte Liefermöglichkeiten sind dem Lieferprogramm Grobblech zu entnehmen.





Outlook

In the applications cited as examples, the ThyssenKrupp Steel special cold forming structural steels have for many years proven to be an outstanding success despite the complex and heavy loads and stresses to which the constructions are exposed. The incentive to use these ThyssenKrupp Steel special high-strength structural steels is particularly great if the strength of the material influences not only the prime costs, but also the operating costs and the performance of a construction.

The very positive experience acquired so far justifies the assumption that ThyssenKrupp Steel special cold forming 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 constructions where the dead weight dictates the operating costs. Work is simultaneously in progress to constantly improve the quality of our products. The focus in this respect is especially on the enhancement of the processing behaviour through optimisation of the steel composition and production route, and on the improvement of the tolerances for plate thickness and flatness

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

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

EN 1011-1 (1998)

Empfehlungen zum Schweißen
metallischer Werkstoffe

Teil 1: Allgemeine Anleitungen für
Lichtbogenschweißen

DIN EN 10149

Warmgewalzte Flacherzeugnisse aus
Stählen mit hoher Streckgrenze zum
Kaltumformen

Merkblatt 381

Schweißen unlegierter und
niedriglegierter Baustähle

Auflage 1999

Stahl-Informations-Zentrum

Moderne hochfeste Stähle im

Nutzfahrzeug- und Mobilkranbau

ATZ Automobiltechnische Zeitschrift 100
(1998) 9, S. 664–668

Hochfeste Baustähle für Bordkrane

Stahlbau 69 (2000),

Heft 4, S. 306–310

VEREIN DEUTSCHER INGENIEURE

Werkstofftag 1994, Duisburg
„Herstellung und Anwendung hoch-
fester Stähle im Nutzfahrzeug- und
Mobilkranbau“

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

KLINGELNBERG, REMSCHEID

Werkzeuge und Zubehör für
Längsteilanlagen

THYSSENKRUPP STEEL AG

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

Empfehlungen für das kaltrissichere
Schweißen von Baustählen

Lieferprogramm Grobblech

Kaltumformstähle PAS.

ThyssenKrupp Steel CD-ROM
„Sonderbaustähle.“ (enthält ProWeld)

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 Thyssen Schweißtechnik
Deutschland GmbH
Wilhelmstr. 2
59067 Hamm

Literature

For further information,
please refer to the following
publications:

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

EN 1011-1 (1998)
Recommendations for welding of
metallic materials,
Part 1: General instructions for
arc welding

DIN EN 10149
Hot rolled flat products made of high
yield strength steels for cold forming

Code of Practice 381
Welding of unalloyed and low-alloy
structural steels
1999 edition
Stahl-Informations-Zentrum

Modern high-strength steels in
commercial vehicle and mobile crane
construction
ATZ Automobiltechnische Zeitschrift 100
(1998) 9, P. 664–668

High-strength structural steels for
vehicle-mounted cranes
Stahlbau 69 (2000),
Issue 4, pp. 306–310

VEREIN DEUTSCHER INGENIEURE

1994 Materials Conference, Duisburg
“Production and use of high yield
strength steels in commercial vehicle
and mobile crane construction”

Modern material concepts for
commercial vehicle and mobile crane
construction
VDI Berichte No. 1504, 1999,
pp. 219–228

KLINGELNBERG, REMSCHEID

Tools and accessories for
slitting lines

THYSSENKRUPP STEEL AG

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

Recommendation for the cold
crack-free welding of structural steels

Product mix plate

PAS steels for cold forming.

ThyssenKrupp Steel CD-ROM
“Special structural steels.”
(including ProWeld)

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 Thyssen Schweißtechnik
Deutschland GmbH
Wilhelmstr. 2
59067 Hamm, Germany

Ihre Gesprächspartner.

Please contact.

	E-Mail	Tel. +49(0)203 52-	Fax +49(0)203 52-
Technischer Kundenservice / Technical Customer Service			
Dr. Kaiser	juergen.kaiser@thyssenkrupp.com	75114	75190
Schweißtechnik / Welding Technology			
Bogatsch	maik.bogatsch@thyssenkrupp.com	75136	75190
Nord-, West-, Südeuropa / Northern, Western, Southern Europe			
Dr. Seidl	ingold.seidl@thyssenkrupp.com	75669	75190
Nord- und Südamerika, Asien, Afrika, Australien / North and South America, Asia, Africa, Australia			
Lima	emmanuel.lima@thyssenkrupp.com	75160	75190
Deutschland, Osteuropa / Germany, Eastern Europe			
Dr. Pfeiffer	marco.pfeiffer@thyssenkrupp.com	75170	75190

Aktuelle Informationen finden Sie
im Internet unter
**[www.thyssenkrupp-steel.com/
grobblech](http://www.thyssenkrupp-steel.com/grobblech)**

*The latest information can be
found on the internet
www.thyssenkrupp-steel.com/plate*

Allgemeiner Hinweis

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

Technische Änderungen vorbehalten.
Nachdruck, auch auszugsweise, mit
Genehmigung der ThyssenKrupp
Steel AG, Profit Center 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 AG,
Heavy Plate Profit Center.

Wir denken
Stahl weiter
Thinking the
future of steel

ThyssenKrupp Steel AG

Kaiser-Wilhelm-Straße 100, 47166 Duisburg
Postanschrift/Postal address: 47161 Duisburg, Germany
Telefon: +49(0)203 52-1
Telefax: +49(0)203 52-25102
E-Mail: info.steel@thyssenkrupp.com
www.thyssenkrupp-steel.com

