



SPAREN MIT HOCHFESTEM STAHL

DILLIMAX

TECHNISCHE INFORMATION NR. III/2007

DILLINGER HÜTTE GTS





April 2007



INHALTSVERZEICHNIS

4

Setzen Sie Ihre Stahlkonstruktionen auf Diät

6

Die Herstellung von DILLIMAX

Erschmelzung des Stahls

Umformung zu Grobblech

Wasservergütung

8

Die Werkstoffeigenschaften von DILLIMAX

Festigkeit und Zähigkeit

Eigenschaften in Dickenrichtung

Warmfestigkeit

12

Die Verarbeitung von DILLIMAX

Kaltumformen

Warmumformen

Umformen im Bereich des

Spannungsarmglühens

Thermisches Schneiden

Schweißen

Spannungsarmglühen

Flammrichten

Verzinken

Spanende Bearbeitung

38

Die Bauteileigenschaften von DILLIMAX

44

Literatur

46

Stichwortverzeichnis



SETZEN SIE IHRE STAHLKONSTRUKTIONEN AUF DIÄT

Krananlagen, Fahrgestelle von schweren Nutzfahrzeugen, Standgerüste, Schleusentore oder Brückentragwerke sind Stahlkonstruktionen, denen ein Höchstmaß an Tragfähigkeit abverlangt wird. Gleichzeitig zu fordern, dass derartige Konstruktionen den Prinzipien des Leichtbaus – Reduzieren des Materialeinsatzes, einfache und gute Verarbeitbarkeit – folgen, wäre noch vor wenigen Jahren schwierig zu realisieren gewesen. Heute hingegen ist es ohne Weiteres möglich, beide Forderungen zu vereinen.

Wir möchten Ihnen eine Gruppe von Stählen vorstellen, mit denen Sie hochbelastbare Konstruktionen mit einem Höchstmaß an Sicherheit ausführen und gleichzeitig die Material- und Verarbeitungskosten um bis zu 50 % reduzieren können: Die DILLIMAX-Stähle von DILLINGER HÜTTE GTS.

Namhafte Hersteller von Baumaschinen verwenden DILLIMAX-Stähle, und bedeutende Stahlbauwerke wurden mit ihrer Hilfe errichtet. Hier sei das Sony-Center in Berlin genannt, bei dessen anspruchsvoller Dachkonstruktion DILLIMAX 690 in Dicken bis 180 mm eingesetzt wurde (s. Bild 15, S. 27). Diese Beispiele zeigen die beiden



Bild 1: Ohne Stähle wie DILLIMAX wären Kranausleger dieser Länge undenkbar (Bild mit freundlicher Genehmigung der Demag Mobile Cranes GmbH, Zweibrücken)

wesentlichen Aspekte der Verwendung von DILLIMAX: Das Eigengewicht von Konstruktionen lässt sich drastisch reduzieren, Maschinen und Werkzeuge werden wendiger und verbrauchen somit weniger Energie.

DILLIMAX-Stähle zählen zu den hochfesten schweißgeeigneten Feinkornbaustählen und besitzen sowohl eine sehr hohe Festigkeit als auch eine sehr gute Zähigkeit. Diese Festigkeit erlaubt es, die Blechdicke in Stahlkonstruktionen, verglichen mit konventionellem Stahl, erheblich zu verringern. Dadurch werden Materialkosten gespart. Durch die sehr hohe Zähigkeit, die mit sehr guten Verarbeitungseigenschaften einhergeht, sinken außerdem die Kosten für die Verarbeitung. Das betrifft insbesondere das Schweißen, da sich das Schweißgutvolumen wegen der geringeren Blechdicke reduzieren lässt.

DILLIMAX-Stähle sind in einer gut abgestuften Festigkeitsskala verfügbar, so dass jeder Anwendungsfall abgedeckt werden kann: DILLIMAX 500, 550, 690, 890, 965 und 1100.

In welchen Abmessungen die DILLIMAX-Stähle standardmäßig lieferbar sind, zeigt unser Lieferprogramm. Darüber hi-



naus sind Sonderabmessungen auf Anfrage möglich.

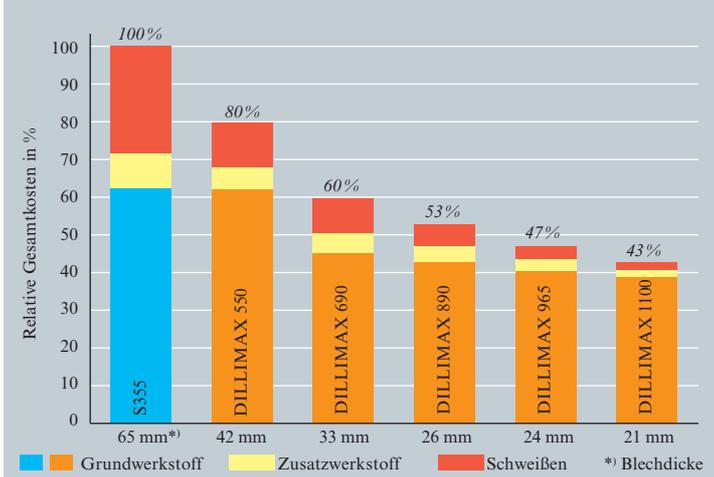
Bild 2 zeigt, wie sich, verglichen mit konventionellen Stählen der Güte S355, mit DILLIMAX-Stählen Material- und Verarbeitungskosten minimieren lassen.

DILLIMAX-Stähle sind international anerkannt. Die europäische Norm EN 10025-6 beschreibt die Anforderungen an Stähle, die vorwiegend für die Verwendung in hochbeanspruchten geschweißten Bauteilen (beispielsweise Krankonstruktionen, Gebäuden, Brücken oder Schleusentoren) und auch bei niedrigen Umgebungstemperaturen einsetzbar sind.

DILLIMAX-Stähle erfüllen diese Anforderungen und übertreffen sie sogar. Der Stahl DILLIMAX 690 E (S690QL1) ist vom Deutschen Institut für Bautechnik (DIBT) zur Verwendung in Stahlbauten des bauaufsichtlich überwachten Bereiches zugelassen (Allgemeine Bauaufsichtliche Zulassung Nr. Z-30.1-1). Die Zulassung gilt für die Verwendung in Stahlbauten nach dem Normenwerk DIN 18800.

Die Stahlsorten DILLIMAX 500 B/T/E (S500Q/QL/QL1),

Bild 2: Material- und Verarbeitungskosten: DILLIMAX-Stähle im Vergleich mit konventionellem Stahl S355



DILLIMAX 550 B/T/E (S550Q/QL/QL1) und DILLIMAX 690 B/T/E (S690Q/QL/QL1) sind im Eurocode 3, Teil 1-12 (pr EN 1993-1-12: 2005) berücksichtigt.

Für die folgenden DILLIMAX-Stahlsorten kann eine Konformitätsbewertung und eine CE-Kennzeichnung im Sinne der europäischen Bauproduktenrichtlinie geführt werden: DILLIMAX 500, 550 und 690 B/T/E (bis 150 mm Blechdicke), DILLIMAX 890 B/T/E (bis 100 mm Blechdicke), DILLIMAX 965 B/T/E (bis 50 mm Blechdicke). Zu Verwen-

dung im bauaufsichtlichen überwachten Bereich müssen unter Umständen noch besondere Regelungen berücksichtigt werden.

Die Angaben dieser Broschüre gelten in Analogie auch für die vergüteten Feinkornbaustähle nach der Norm für Druckbehälterstähle EN 10028-6.

Auf den folgenden Seiten stellen wir Ihnen die besonderen Eigenschaften der DILLIMAX-Stähle vor und zeigen, wie diese erzeugt werden und gezielt genutzt werden können, um hochbeanspruchte Stahlkonstruktionen kostensparend herzustellen.



DIE HERSTELLUNG VON DILLIMAX

Die hohe Festigkeit und Zähigkeit von DILLIMAX-Stählen wird nicht allein durch gezieltes Legieren erreicht, sondern auch durch ein besonderes Herstellungsverfahren: Die Grobbleche werden nach dem Walzen wasservergütet. Alle Prozesse – Stahlherstellung, Umformung zu Grobblech und Wasservergütung – sind bei jeder Stahlcharge genauestens aufeinander abgestimmt.

Erschmelzung des Stahls

DILLIMAX-Stähle werden, nach einer sorgfältigen Roheisenentschwefelung, im Sauerstoff-Aufblasverfahren erschmolzen, anschließend pfannenmetallurgisch behandelt und zur Herstellung von Blechen im üblichen Abmes-

sungsbereich im Stranggussverfahren vergossen. Zur Herstellung sehr dicker, schwerer Bleche steht alternativ das Blockgussverfahren zur Verfügung.

Ein niedriger Gehalt an Phosphor und Schwefel ist Voraussetzung für eine hohe Zähigkeit. In der Regel liegen die Phosphorgehalte bei maximal 0,020 % und die Schwefelgehalte bei maximal 0,005 %. Der erforderliche Legierungsgehalt wird ebenfalls in der Pfanne exakt eingestellt. Hierbei wird auf eine optimale Kombination von höchsten mechanischen Kennwerten und guter Verarbeitbarkeit gezielt. Besonders kontrolliert wird das mit dem Legierungsgehalt stei-

gende Kohlenstoffäquivalent (CEV, PCM bzw. CET). Niedrige Werte des Kohlenstoffäquivalents deuten auf eine gute Schweißbarkeit hin. Jedoch ist ein mit der Blechdicke zunehmendes Minimum an Legierungselementen erforderlich, um bei der anschließenden Vergütung die Mindestanforderungen an die mechanisch-technologischen Eigenschaften sicher einzustellen. Die DILLIMAX-Stähle bieten aber Werte des Kohlenstoffäquivalents, die weit unter den in der Norm EN 10025-6 angegebenen maximalen Grenzwerten liegen. Anhaltswerte für das Kohlenstoffäquivalent der Stahlsorten DILLIMAX 690 bis 1100 sind in der Tabelle 1 wiedergegeben.

Tabelle 1: Kohlenstoffäquivalent von DILLIMAX 690 bis 1100 (Anhaltswerte)

DILLIMAX	690				890			965		1100	
	Blechdicke in mm	10	40	100	180	10	40	70	10	40	10
CE		0,40	0,51	0,63	0,71	0,57	0,60	0,67	0,57	0,60	0,77
PCM		0,24	0,29	0,32	0,34	0,30	0,31	0,33	0,30	0,31	0,32
CET		0,29	0,34	0,38	0,41	0,35	0,36	0,39	0,35	0,36	0,37

Kohlenstoffäquivalent:

$$CEV = C + Mn/6 + (Cr + Mo + V)/5 + (Cu + Ni)/15$$

$$PCM = C + Si/30 + (Mn + Cu + Cr)/20 + Mo/15 + Ni/60 + V/10 + 5xB$$

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



Umformung zu Grobblech

DILLINGER HÜTTE GTS verfügt über zwei der leistungsstärksten Walzgerüste der Welt. Hier werden die vom Stahlwerk erzeugten Brammen nach einem genau festgelegten und auf die jeweilige chemische Zusammensetzung des Stahls abgestimmten Stichplan gewalzt. Selbst bei großen Blechdicken werden aufgrund der hohen Walzkräfte, die 108.000 kN (11.000 Tonnen) erreichen können, ausreichende Verformungen im Kern des Bleches erreicht. Das resultierende Gefüge ist dann bestens zur nachfolgenden Vergütung geeignet und bildet eine der Voraussetzungen für die guten Festig-

keits- und Zähigkeitseigenschaften der DILLIMAX-Stähle. Die Reproduzierbarkeit des Walzprozesses hinsichtlich der Walztemperaturen, Walzkraft und Dickenverformung bei den einzelnen Walzstichen wird durch eine exakte Messung und schnelle Prozessregelung gewährleistet.

Wasservergütung

Nach der Umformung werden die Grobbleche gezielt auf Austenitisierungstemperatur erwärmt und anschließend in einer speziellen Anlage unter definierten Bedingungen mit Wasser abgeschreckt. Durch die hohe Abkühlgeschwindigkeit während der Wasserabschre-

ckung wird ein feinkörniger, harter Gefügestand eingestellt, der während des nachfolgenden Anlassens über Entfestigungs- und Ausscheidungsvorgänge in ein hochfestes und gleichzeitig zähes Gefüge umgewandelt wird. Die Anlassbehandlung wird auf die chemische Zusammensetzung und Blechdicke abgestimmt, um die gewünschten Festigkeits- und Zähigkeitseigenschaften zu erzielen.

Bild 3 zeigt das typische feinkörnige Vergütungsgefüge von DILLIMAX.

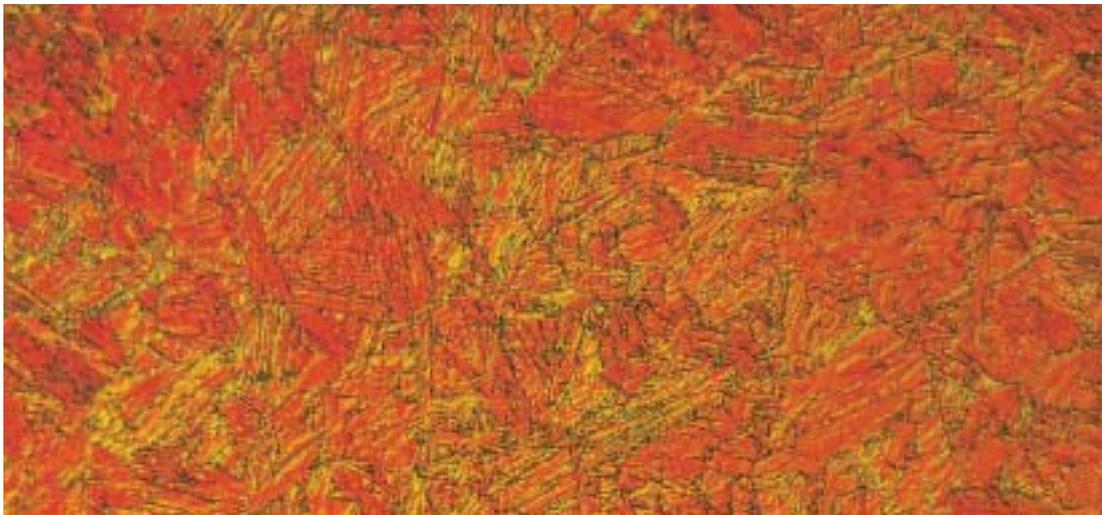


Bild 3: Das typische Vergütungsgefüge von DILLIMAX in 500facher Vergrößerung



DIE WERKSTOFFEIGENSCHAFTEN VON DILLIMAX

Festigkeit und Zähigkeit

DILLIMAX-Stähle weisen Festigkeitseigenschaften auf, die weit über das Maß konventioneller Stähle hinausgehen. In Tabelle 2 sind die Mindestwerte für die Streckgrenze und in Tabelle 3 die Mindestwerte für die

Zugfestigkeit sowie die Mindestdehnungswerte angegeben.

Trotz ihrer hohen Festigkeit verfügen DILLIMAX-Stähle über hervorragende Zähigkeitseigenschaften (s. Tabelle 4). Sie werden in drei Zähigkeitsabstufungen geliefert: als Grundgüte

(B) mit Mindestkerbschlagwerten bei -20 °C, als kaltzähe Güte (T) mit Mindestkerbschlagwerten bei -40 °C und als kaltzähe Sondergüte (E) mit Mindestkerbschlagwerten bei -60 °C.

Tabelle 2: Mindestwerte für die Streckgrenze in Abhängigkeit von der Blechdicke

Streckgrenze R_{eH} in MPa ($R_{p0,2}$ bei nicht ausgeprägter Streckgrenze)

Blechdicke (mm)	30	50	60	65	80	100	150	200
DILLIMAX 500	500			480			440	—
DILLIMAX 550	550			530			490	—
DILLIMAX 690		690				670 ¹⁾	630 ¹⁾	610 ¹⁾
DILLIMAX 890	890			850		830	—	—
DILLIMAX 965	960		930		850		—	—
DILLIMAX 1100	1100	—	—	—	—	—	—	—

¹⁾ Auf Vereinbarung können höhere Mindestwerte eingestellt werden.



Tabelle 3: Mindestwerte für die Zugfestigkeit und die Bruchdehnung in Abhängigkeit von der Blechdicke

Zugfestigkeit R_m in MPa							Bruchdehnung A_5 in % ²⁾	
Blechdicke (mm)	30	50	60	80	100	150	200	alle Dicken
DILLIMAX 500	590 – 770				540 – 720		—	17
DILLIMAX 550	640 – 820				590 – 770		—	16
DILLIMAX 690	770 – 940				720 – 900 ¹⁾		700 – 880 ¹⁾	14
DILLIMAX 890	940 – 1100		900 – 1100		880 – 1100		—	12
DILLIMAX 965	980 – 1150		950 – 1120		900 – 1100		—	12
DILLIMAX 1100	1200 – 1500		—		—		—	10

¹⁾ Auf Vereinbarung können höhere Mindestwerte eingestellt werden.

²⁾ Mindestbruchdehnung.

Tabelle 4: Mindestwerte der Kerbschlagarbeit für DILLIMAX-Stähle (Charpy-V-Proben)

DILLIMAX 500–965	Probenrichtung	Kerbschlagarbeit A_v [J] bei einer Prüftemperatur von			
		0 °C	-20 °C	-40 °C	-60 °C
Grundgüte (B)	längs/quer	40/30	30/27	—	—
Kaltzähe Güte (T)	längs/quer	50/35	40/30	30/27	—
Kaltzähe Sondergüte (E)	längs/quer	60/40	50/35	40/30	30/27

Für DILLIMAX 1100 werden Kerbschlagarbeitswerte von min. 30 J bzw. 27 J in Längs- bzw. Querrichtung bei -40 °C angeboten.



*Bild 4: O&K-Hydraulikbagger RH 400: Tragende Bauteile aus DILLIMAX 690 T
(Bild mit freundlicher Genehmigung der Orenstein & Koppel AG, Dortmund)*



Eigenschaften in Dickenrichtung

Bleche, die aus konstruktiven und/oder fertigungstechnischen Gründen mit einer hohen Beanspruchung in Dickenrichtung eingesetzt werden, verlangen eine erhöhte Sicherheit gegen Terrassenbruch.

Dies ist bei der Stahlherstellung durch die Einstellung einer besonderen Produktionsroute zu berücksichtigen.

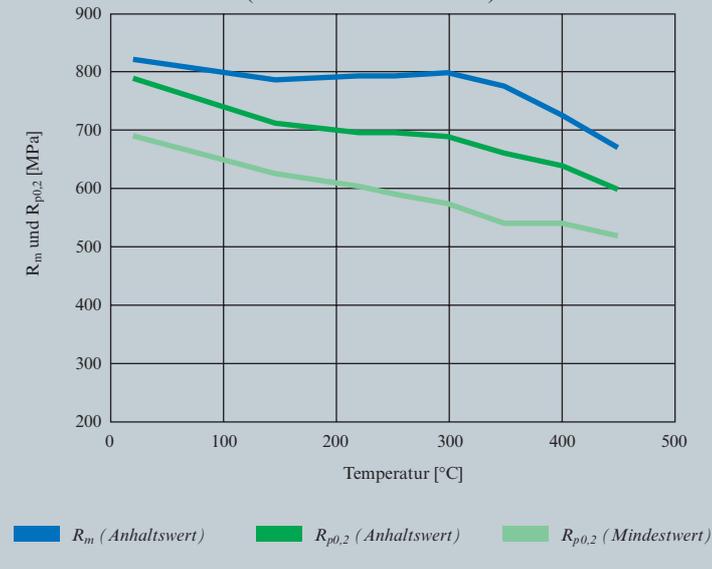
So kann beispielweise nach Vereinbarung DILLIMAX 690 in einem weiten Dickenbereich unter Erfüllung der Güteklasse Z35 nach EN 10164 geliefert werden.

Warmfestigkeit

Durch die gezielte Verwendung von Legierungselementen und die spezielle Vergütungsbehandlung verfügen die DILLIMAX-

Stähle über eine gute Warmfestigkeit bis 500 °C (s. Bild 5). Nach Vereinbarung können Mindestwerte für die Warmstreckgrenze garantiert werden.

Bild 5: Einfluss der Temperatur auf die Festigkeitseigenschaften von DILLIMAX 690 (Blechdicke bis 50 mm)





DIE VERARBEITUNG VON DILLIMAX

Allgemein ist zu beachten, dass mit steigenden Mindestwerten der Streckgrenze der Stähle und mit zunehmender Blechdicke die Verarbeitung eine erhöhte Sorgfalt erfordert, um eine unzulässige Beeinträchtigung der mechanischen Eigenschaften auszuschließen. Es ist auch zu beachten, dass die chemische Zusammensetzung der DILLIMAX-Stähle abhängig von der Blechdicke variiert, woraus Unterschiede in der Verarbeitbarkeit resultieren.

Eine wesentliche Voraussetzung für die erfolgreiche Verwendung der höherfesten Feinkornbaustähle ist eine schweiß- und beanspruchungsgerechte Konstruktion. Der Anwender muss sich anhand der einschlägigen Normen davon überzeugen, dass seine Berechnungs-, Konstruktions- und Arbeitsverfahren werkstoffgerecht sind, dem vom Verarbeiter einzuhaltenden Stand der Technik entsprechen und sich für den vorgesehenen Verwendungszweck eignen.

In dieser Broschüre werden grundsätzliche Hinweise für die

Verarbeitung der DILLIMAX-Stähle gegeben. Natürlich können dabei nicht alle Möglichkeiten und Randbedingungen des Verarbeitens berücksichtigt werden. Wenden Sie sich mit speziellen Fragen bitte an DILLINGER HÜTTE GTS.

Kaltumformen

DILLIMAX-Stähle lassen sich durch Biegen oder Kanten gut kaltumformen. Hierbei ist zu beachten, dass mit ansteigender Streckgrenze des Stahls die für die Umformung erforderlichen Kräfte für gleiche Wandstärken zunehmen. Die Rückfederung nimmt ebenfalls zu.

Um die Gefahr einer Rissbildung von den Kanten her zu vermeiden, sollen gescherte oder brenngeschnittene Kanten im Bereich der vorgesehenen Kaltumformung beschliffen werden. Grate sollen entfernt und Kanten gebrochen werden. Auch Kolkungen und Ausbläser sollen kerbarm verschliffen werden, um Kerbwirkung und

Dehnungskonzentration beim Verformen zu vermeiden.

Für hochfeste Stähle erhöhen Kerben (z.B. Schlagzahlen) auf der Blechoberfläche die Gefahr einer Anrissbildung und sollen im Umformbereich vermieden werden.

Mit zunehmender Streckgrenze eines Stahls nimmt seine Bruchdehnung ab. Diese Gesetzmäßigkeit muss auch beim Kaltumformen berücksichtigt werden, indem die maximal aufgebrachte plastische Dehnung der Streckgrenzenklasse angepasst wird. Die plastische Dehnung an der Blechoberfläche ergibt sich aus dem Biegeradius (r) und der Blechdicke (t):
$$\text{Dehnung (\%)} = 100 / (1 + 2 r/t).$$

Bei Abnahme einer bestimmten maximalen Umformgeschwindigkeit (unter 10 % Dehnung je Sekunde in der Außenfaser) können gewisse Mindestbiegeradien und -matrizenweiten als Anhaltswerte für DILLIMAX herangezogen werden (s. Tabelle 5).



Bild 6: Rohrschüsse aus DILLIMAX 690 für die Fallrohrleitungen des Wasserkraftwerkes Kárahnjúkar
(Bild mit freundlicher Genehmigung der Firma DSD Noell GmbH, Würzburg, Deutschland)



Die Kaltverformung bewirkt eine Verfestigung des Stahls, die mit einer Verringerung der Zähigkeit einhergeht. Dies lässt sich im Kerbschlagbiegeversuch nachweisen, in dem die Verformung einen Anstieg der Übergangstemperatur $T_{27 J}$, bei der

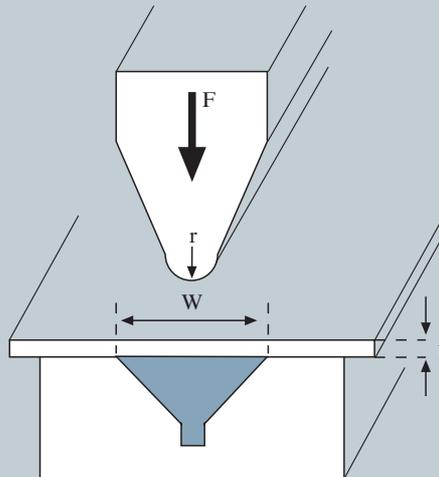
ein Wert von 27 J unterschritten wird (Verschiebung der Kurve zu höheren Temperaturen), hervorruft. Diese Verschiebung der Übergangstemperatur ist für vergütete und normalgeglühte Stähle praktisch gleich groß und beträgt erfahrungsgemäß

im Mittel 5°C je Prozent Kaltverformung. So zeigen die DILLIMAX-Stähle in der Regel bei kleineren oder mittleren Verformungsbeträgen immer noch sehr gute Zähigkeitswerte.

Tabelle 5: Mindestbiegeradien und Matrizenweiten zur Kaltumformung von DILLIMAX-Stählen

DILLIMAX	500		550		690		890 , 965		1100	
	quer	längs	quer	längs	quer	längs	quer	längs	quer	längs
Lage der Biegelinie zur Walzrichtung	quer	längs	quer	längs	quer	längs	quer	längs	quer	längs
Biegeradius	1t	1,5t	1,5t	2,5t	2t	3t	3t	4t	5t	6t
Matrizenweite	6t	7t	6t	7t	7t	9t	9t	12t	14t	16t

t = Blechdicke; Umformzeit > 2 s für 90° Biegewinkel



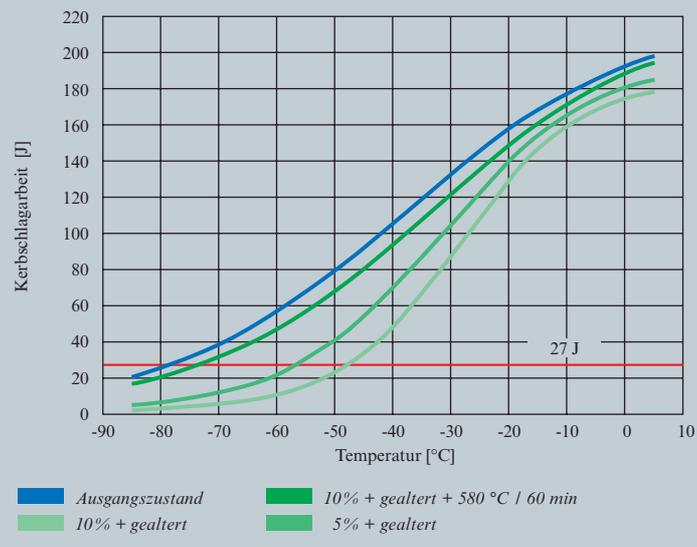


Mit einer zusätzlichen Verminderung der Zähigkeit muss jedoch wegen der sogenannten Alterung gerechnet werden, einer Versprödungserscheinung, der kaltverformte Stähle im Laufe der Zeit unterliegen. Während dieser Vorgang bei Raumtemperatur Jahre dauern kann, läuft er bei etwa 200 °C in wenigen Minuten ab. Auch beim Schweißen in kaltverformten Bereichen kann die Alterung beschleunigt werden. Entscheidend für die Sprödbrechtsicherheit eines kaltverformten Stahls sind die Zähigkeitsreserven, die er im Ausgangszustand aufweist, der Grad der Kaltverformung sowie die tiefste Einsatztemperatur des Bauteils.

Bild 7 zeigt anhand von Kerbschlagarbeit-Temperatur-Kurven, dass DILLIMAX-Stähle nicht

zu überdurchschnittlicher Verringerung der Zähigkeit durch Kaltumformung und Alterung neigen.

Bild 7: Einfluss von Kaltumformung, Alterung und Spannungsarmglühen auf die Kerbschlagarbeit-Temperatur-Kurve eines DILLIMAX 690 T (Blechdicke 30 mm)





Ein nach dem Umformen durchgeführtes Glühen im Temperaturbereich des Spannungsarmglühens (siehe Abschnitt „Spannungsarmglühen“, S. 33) reduziert die versprödenenden Wirkungen.

Je nach Verwendungszweck der DILLIMAX-Stähle gelten unterschiedliche Regelwerke, die die maximal zulässigen Kaltumformbeiträge festlegen und entsprechende Wärmebehandlungen vorschreiben. Auch ist das Schweißen in stark kaltumgeformten Bereichen (z. B. > 5%) in einigen Regelwerken verboten. Falls das fertig geschweißte Bauteil ohnehin spannungsarm gegläht wird, kann gegebenenfalls auf ein separates Glühen nach der Kaltverformung verzichtet werden.

Warmumformen

Bei engen Biegeradien und größeren Wandstärken kann es vorteilhaft sein, bei höheren Temperaturen umzuformen, weil dies geringere Umformkräfte

erfordert. Dennoch hat diese Methode einen gravierenden Nachteil: Warm umgeformt wird in der Regel oberhalb der maximal zulässigen Temperatur für das Spannungsarmglühen. In diesem Temperaturbereich verlieren die DILLIMAX-Stähle zwangsläufig ihre ursprünglichen, aus der Wasservergütung resultierenden, mechanischen Eigenschaften.

Soweit im Anschluss kein Neuvergüten durchgeführt werden soll, ist daher ein Warmumformen von DILLIMAX-Stählen nicht zulässig.

Es ist zu beachten, dass sich auch bei einer Neuvergütung der DILLIMAX-Stähle deren mechanischen Eigenschaften verschlechtern können. DILLINGER HÜTTE GTS kann befriedigende Neuvergütungsergebnisse nicht garantieren. Zum einen ist die Leistungsfähigkeit der Wärmebehandlungseinrichtungen, über die Verarbeiter verfügen, erfahrungsgemäß sehr verschieden. Zum

anderen ist es schwierig, bei einer im Vergleich zum unverarbeiteten Blech komplizierten Bauteilgeometrie befriedigende Vergütungsergebnisse zu erzielen. Für Bauteile, die bei der Verarbeitung vergütet werden sollen, muss daher in Absprache mit DILLINGER HÜTTE GTS die chemische Zusammensetzung des Stahls im voraus entsprechend angepasst werden.

Ist eine Neuvergütung vorgesehen, so sollte die Austenitisierung der DILLIMAX-Stähle möglichst im Temperaturbereich zwischen 900 °C und 950 °C vorgenommen werden. Beim nachfolgenden Härten im Wasser ist für eine schnelle Wärmeabfuhr zu sorgen, um eine ausreichende Einhärtung sicherzustellen. Die anschließende Anlassbehandlung richtet sich nach der chemischen Zusammensetzung, den Abmessungen sowie den geforderten mechanischen Eigenschaften und sollte ebenfalls in Absprache mit DILLINGER HÜTTE GTS festgelegt werden.



Umformen im Bereich des Spannungsarmglühens

Laut Definition ist dieses Verfahren dem Kaltumformen zuzurechnen. Da die Streckgrenze in diesem Temperaturbereich bereits deutlich tiefer liegt als bei Raumtemperatur, verringern sich die erforderlichen Umformkräfte proportional, ohne dass jedoch das Vergütungsgefüge entscheidend verändert wird. Zudem wird die Zähigkeit weniger stark beeinträchtigt als bei einem Kaltumformen bei Raumtemperatur. Bei Umformtemperaturen, die ca. 50 °C bis 80 °C unterhalb der Anlasstemperatur liegen, und bei Verformungsgraden unter 2%, kann auf eine anschließende Neuvergütung verzichtet werden.

Bei höheren Verformungsgraden sollte überprüft werden, ob anschließend die mechanischen Mindestwerte des Stahles (Zähigkeit, Dehnung) noch erreicht werden.

Ein Umformen im Bereich des Spannungsarmglühens ist für DILLIMAX 1100 nicht zulässig.

Thermisches Schneiden

Brennschneiden und Plasmaschmelzschneiden der DILLIMAX-Stähle ist bei sachgerechter Arbeitsweise ohne Schwierigkeiten möglich, sofern einwandfreie und für die jeweilige Arbeit geeignete Werkzeuge vorliegen.

Da die verschiedenen Hersteller unterschiedliche Werkzeuge entwickelt haben, sind die jeweiligen, in Form von Schneidtabellen vorgegebenen Einstellwerte und Hinweise zu beachten (Düsenauswahl, Gasdrücke, Arbeitsweise, Geschwindigkeit etc.).

Einen ausgeprägten Einfluss auf die Brennschneidbedingungen und die erzielbare Schnittflächengüte hat ferner der Oberflächenzustand der Erzeugnisse. Bei hohen Anforderungen an die Schnittflächengüte ist es erforderlich, Ober- und Unterseite des Werkstückes im Schnittfugenbereich von Zunder, Rost, Farbe und sonstigen Verunreinigungen zu säubern. Ein Vorwärmen für das Brenn- und Schmelzschneiden ist für DILLIMAX 500

meist nicht erforderlich; dabei wird vorausgesetzt, dass die Werkstücktemperatur nicht unter 15 °C liegt. Werden jedoch die Schnittkanten bei der Weiterverarbeitung kalt umgeformt, etwa durch Biegen oder Abkanten, so ist bei den höherfesten DILLIMAX-Stählen im Umformbereich eine Zone mit einer Breite von rund 100 Millimetern auf 120 °C bis 200 °C vorzuwärmen, oder die durch das Brennschneiden aufgehärteten Bereiche sind durch Überschleifen im Umformbereich zu beseitigen.

Bild 8 zeigt typische Härteverläufe in der Wärmeeinflusszone (WEZ) der Brennschnittkante eines DILLIMAX 690.

Für DILLIMAX 550 bis 1100 empfehlen wir, bestimmte Mindestvorwärmtemperaturen für das Brennschneiden einzuhalten (s. Tabelle 6).



Bild 8: Typische Aufhärtung von DILLIMAX 690 an der Brennschnittkante beim Sauerstoff-Acetylen-Brennschneiden (Blechdicke: 20 bis 30 mm)

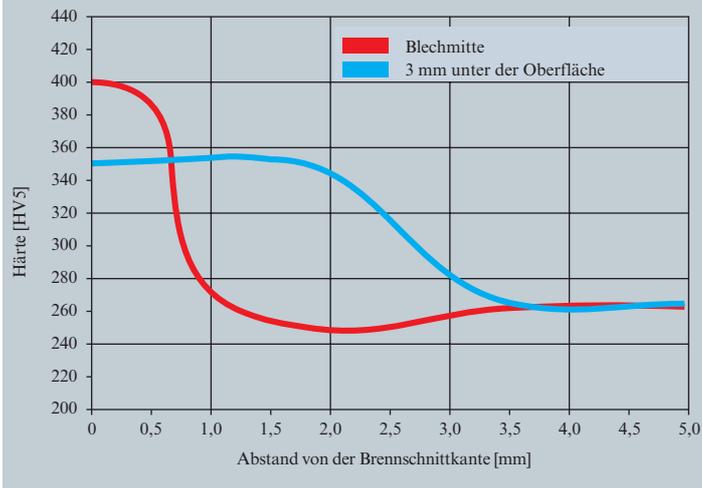


Tabelle 6: Mindestvorwärmtemperaturen zum Brennschneiden von DILLIMAX 550 bis 1100

Blechdicke [mm]	< 20	< 50	< 100	> 100
DILLIMAX 550	25 °C	25 °C	50 °C	100 °C
DILLIMAX 690	25 °C	50 °C	100 °C	150 °C
DILLIMAX 890	50 °C	100 °C	150 °C	—
DILLIMAX 965	50 °C	100 °C	—	—
DILLIMAX 1100	75 °C	125 °C ¹⁾	—	—

¹⁾ DILLIMAX 1100 ist nur bis 30 mm Dicke standardmäßig lieferbar



Bild 9: Autogenes Brennschneiden eines DILLIMAX 690 T



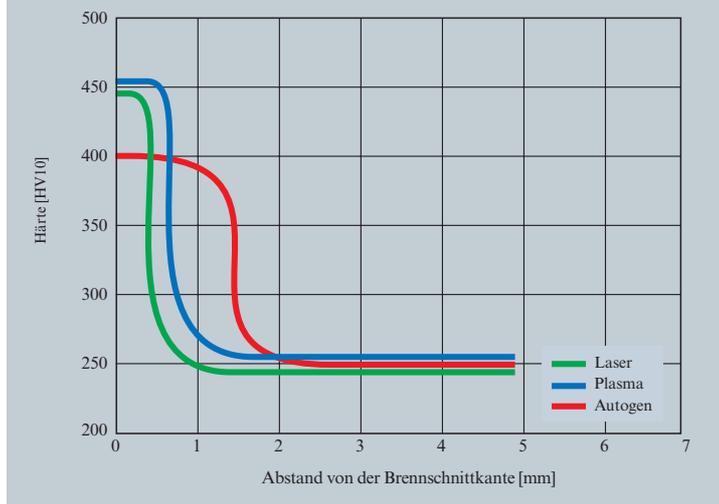
Laser- und Plasmaschneiden:

Die wesentlichen Vorteile des Laser- und Plasmaschneidens liegen in der höheren Schneidleistung und den schmalen Schnittfugen bei gleichzeitig geringstem Wärmeeinbringen. Mit beiden Schneidverfahren lassen sich kleinste Teile und Lamellen verzugsfrei und ohne Härteverlust schneiden. Auch auf ein Vorwärmen kann bei diesen Verfahren verzichtet werden.

Grundvoraussetzung für das Laserschneiden ist eine einwandfreie Oberfläche der Bleche, da der Laserstrahl auf der Blechoberfläche im sogenannten Brennfleck ohne Verluste durch Reflexion gebündelt und störungsfrei absorbiert werden muss.

Sämtliche DILLIMAX-Stähle können speziell für diesen Fall auf Wunsch auch gestrahlt und beschichtet geliefert werden. Die erreichbaren Schneidleistungen hängen stark von der Laserleistung und der zu schneidenden Blechdicke ab. Bei 10 mm Blech-

Bild 10: Typischer Einfluss von unterschiedlichen Brennschneidverfahren auf die Wärmeeinflusszone eines wasservergüteten Feinkornbaustahls mit einer Streckgrenze von 690 MPa.



dicke und einer Leistung von 2-3 kW sind Schnittgeschwindigkeiten bis zu 2000 mm/min möglich.

Durch geeignete Oberflächenbehandlung, z.B. Benutzung einer Emulsion, lässt sich die Leistung unter Umständen noch verbessern. Im Gegensatz zum

Laserschneiden eignet sich das Plasmaschneiden auch für Blechdicken > 30 mm. Die Wärmeeinflusszone ist jedoch etwas breiter. Bild 10 zeigt den typischen Einfluss der unterschiedlichen Schneidverfahren auf die Wärmeeinflusszone eines vergüteten hochfesten Feinkornbaustahls.



Schweißen

Schweißbeignung: Sofern die allgemeinen Regeln der Schweißtechnik (EN 1011, s. Abschnitt „Literatur“, S. 44) sowie die folgenden Hinweise beachtet werden, sind DILLIMAX-Stähle zum Schweißen mit den üblichen Schweißverfahren geeignet.

Unterpulverschweißen ist bis DILLIMAX 690 möglich, Lichtbogenhandschweißen bis DILLIMAX 890 und Schutzgas-schweißen bis DILLIMAX 1100. Mit zunehmender Streckgrenze erfordert die Verarbeitung, insbesondere die Wärmeführung beim Schweißen, besondere Sorgfalt.

DILLINGER HÜTTE GTS weist darauf hin, dass die nachfolgenden Empfehlungen zum Schweißen rein informativen Charakter haben.

Die vielfältigen Schweißbedingungen, die Konstruktion, sowie die verwendeten Zusatzwerkstoffe beeinflussen wesentlich die Qualität der Schweißverbindung. Da die jeweiligen betrieblichen Verarbeitungsbedingungen nicht

bekannt sind, ist es nicht möglich, die mechanischen Eigenschaften der Schweißnaht oder die Fehlerfreiheit der Schweißungen von vornherein zu garantieren. Die Praxis zeigt jedoch gute Ergebnisse, wenn geeignete Schweißbedingungen geschaffen werden.

Schweißnahtvorbereitung: Die Nahtvorbereitung kann durch spanende Bearbeitung oder durch thermisches Schneiden (Brennschneiden, Plasma, Laser) erfolgen. Bei Schweißbeginn muss der Nahtbereich metallisch blank, trocken und frei von Brennschneidschlacke, Rost, Zunder, Farbe und sonstigen Verunreinigungen sein.

Schweißzusatzwerkstoffe und Hilfsstoffe: Die Schweißzusatzwerkstoffe sind in Abhängigkeit von den Anforderungen an die mechanischen Eigenschaften zu wählen. Wurzelschweißungen können wegen der möglichen Aufmischung des Grundwerkstoffes durch den Grundwerkstoff mit Schweißzusatzwerkstoffen geschweißt werden, die ein weiches Schweißgut als die zugehöri-

gen Füll- und Decklagen ergeben. Das Gleiche gilt für nicht vollbeanspruchte Kehlnähte, auch hier ist es in vielen Fällen möglich, durch eine Erhöhung der Nahtdicke auf „weichere“ Zusatzwerkstoffe zurückzugreifen.

Beim Lichtbogenhandschweißen werden wegen der Zähigkeit grundsätzlich Stabelektroden mit kalkbasischer Umhüllung verwendet. Basisch umhüllte Stabelektroden haben zwei herausragende Eigenschaften: Die Kerbschlagarbeit des Schweißgutes ist höher (besonders bei tiefen Temperaturen), und ihr Wasserstoffeintrag ist geringer als bei allen anderen Umhüllungstypen.

Rücktrocknung und Lagerung nach Angaben des Herstellers sind dabei unbedingt zu beachten. Aus den gleichen Überlegungen heraus sollten beim Unterpulverschweißen nur basische Pulver verwendet werden.

Eine Zusammenstellung geeigneter Zusatzwerkstoffe zeigt Tabelle 7.



Tabelle 7: Schweißzusatzwerkstoffe und Hilfsstoffe zum Schweißen von DILLIMAX-Stählen

DILLIMAX	E-Handschiessen	UP-Schiessen	Schutzgasschiessen (MAG)	Hersteller
500	FOX EV63	3NiMo1-UP/BB24	NiMo1-IG Union TG 55 Ni	Böhler Th. Schweißst.
	—	Topcore 740B/ST55,ST65 Topcore 741B/ST55,ST65	Megafil 740B, 741B, 821B /M21, CO2	Drahtzug Stein
	OK 74.78	OK13.39/ OK Flux 10.61	OK Tubrod 15.06	ESAB
	Tenacito 70	OE-S3NiMo1-OP121TT Fluxocord 41-OP121TT	Carbofil NiMo1 Fluxofil 41	Oerlikon
	Phoenix SH schwarz K	Union S4Mo/UV421TT Union S2 NiMo1/UV421TT	Union K5 Ni	Thyssen Schweißst.
550	FOX EV65/70/70Mo	3NiMo1-UP/BB24		Böhler Th. Schweißst.
	—	Topcore 741B/ST55,ST65	Megafil 940M / M21 Megafil 741 / M21, CO2	Drahtzug Stein
	Tenacito 65R	OE-S3NiMo1-OP121TT Fluxocord 41-OP121TT	Carbofil NiMo1 Fluxofil 41	Oerlikon
	Phoenix SH Ni2 K90	Union S3 NiMo/UV421TT Union S3 NiMo1/UV421TT	Union MoNi	Thyssen Schweißst.
690	FOX EV 85	3NiCrMo2.5-UP/BB24	NiCrMo2.5-IG, X70-IG, NiMoCr-IG Union MV NiMoCr	Böhler Th. Schweißst.
	—	Topcore 742B/ST55	Megafil 742M / M21	Drahtzug Stein
	OK 75.75, OK 75.78	OK Autrod13.44/OK Flux10.62	OK Autrod 13.31	ESAB
	Tenacito 75 Tenacito 80	OE-SD3 2,5NiCrMo/OP121TTW Fluxocord 42/OP121TTW	Carbofil NiMoCr Fluxofil 42 / M42	Oerlikon
	Phoenix SH Ni2 100	UnionS3NiMoCr/UV421TT	Union NiMoCr Union X90	Thyssen Schweißst.
890	FOX EV 100	—	X90-IG	Böhler Schweißst.
	—	Topcore 745B/ST55	Megafil 1100M / M21	Drahtzug Stein
	OK 75.78	—	OK Autrod 13.31	ESAB
	Tenacito 100	—	Fluxofil 45	Oerlikon
	Phoenix SH Ni2 130	—	Union X90 Union X96	Thyssen Schweißst.
965	—	—	Megafil 1100M / M21	Drahtzug Stein
	Tenacito 140 = Tenax140	—		Oerlikon
	—	—	Union X96	Thyssen Schweißst.

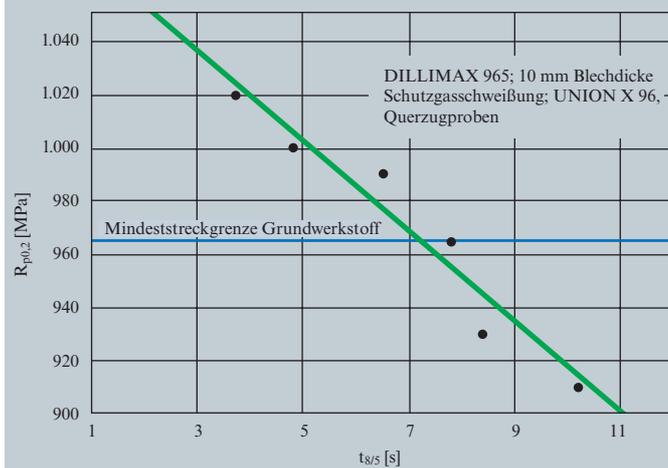


Streckenenergie und Temperaturzeitverlauf beim Schweißen:

Zur Kennzeichnung des Temperaturzeitverlaufes beim Schweißen wählt man im Allgemeinen die Abkühlzeit, in der bei einer Schweißraupe der Temperaturbereich von 800 °C bis 500 °C durchlaufen wird ($t_{8/5}$ -Zeit). Diese wird in erster Linie bestimmt von der Streckenergie, der Vorwärm- bzw. Zwischenlagentemperatur und, besonders bei dünnen Blechen, von der Blechdicke, und der Nahtkonfiguration. Die $t_{8/5}$ -Zeit soll nach der Norm EN 1011 berechnet werden.

Um sicherzustellen, dass die Eigenschaften des Stahles durch die thermische Beanspruchung beim Schweißen nicht unzulässig beeinträchtigt werden, ist es erforderlich, die Abkühlzeit, und damit insbesondere die Streckenergie nach oben zu begrenzen. Bild 11 zeigt, wie sich eine zunehmende $t_{8/5}$ -Zeit auf die Streckgrenze ($R_{p0,2}$)

Bild 11: Auswirkungen der $t_{8/5}$ -Zeit auf die Streckgrenze des Schweißgutes von DILLIMAX 965



des Schweißgutes auswirkt. Doch auch nach unten ist eine Begrenzung der $t_{8/5}$ -Zeit nach oben notwendig: eine zu schnelle Abkühlung kann eine starke Aufhärtung der Wärmeeinflusszone bewirken. Außerdem wird die Wasserstoffeffusion behindert, was die wasserstoffinduzierte Kaltrissbildung in Schweißgut und Wärmeeinfluss-

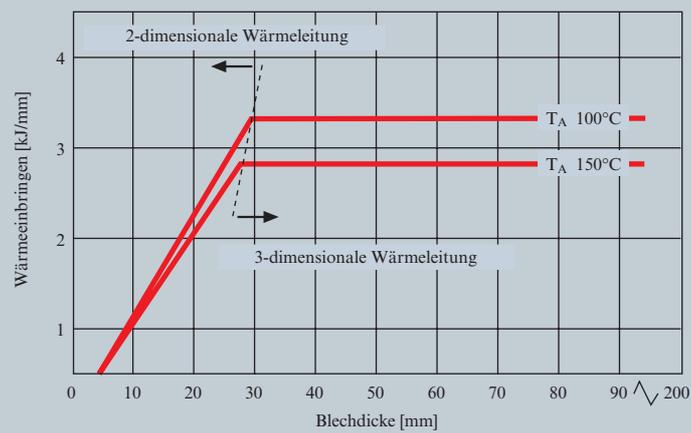
zone begünstigt (vgl. Abschnitt „Vermeidung von Kaltrissen“, S. 28).

Empfehlungen zur Wahl geeigneter $t_{8/5}$ -Zeiten und für das maximal zulässige Wärmebringen beim Schweißen von DILLIMAX 690 bis 1100 sind in den Bildern 12 bis 14 angegeben.



Bild 12: DILLIMAX 690: Wärmeeinbringen beim Schweißen in Abhängigkeit von der Blechdicke

(a) maximal zulässiges Wärmeeinbringen für $t_{8/5} < 20$ s



(b) empfohlener Arbeitsbereich

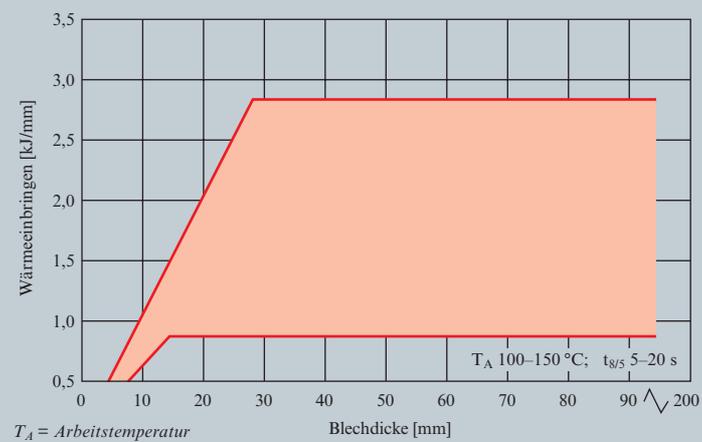
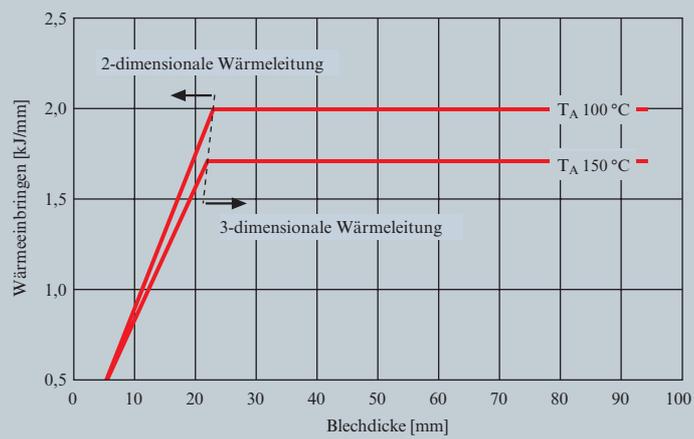


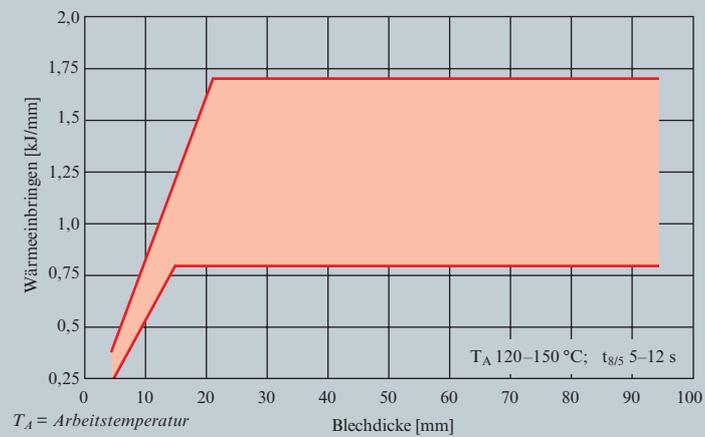


Bild 13: DILLIMAX 890: Wärmeeinbringen beim Schweißen in Abhängigkeit von der Blechdicke

(a) maximal zulässiges Wärmeeinbringen für $t_{8/5} < 12$ s



(b) empfohlener Arbeitsbereich

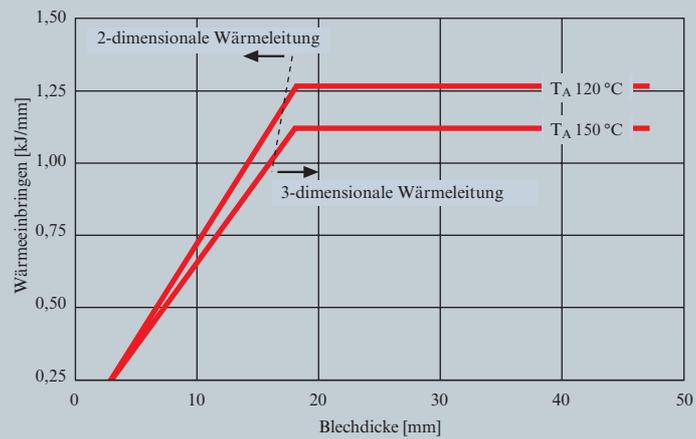


$T_A = \text{Arbeitstemperatur}$

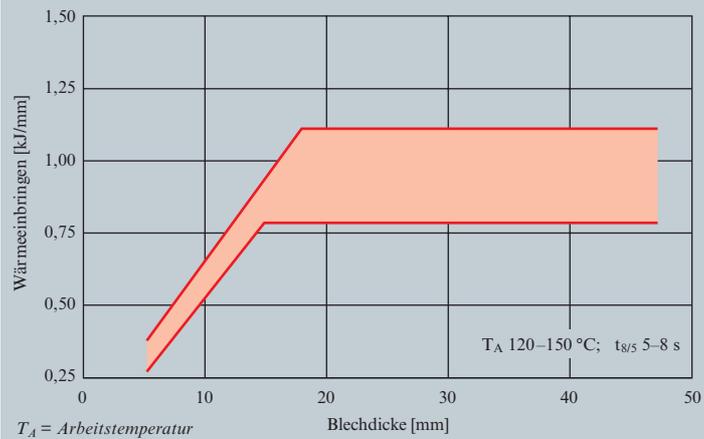


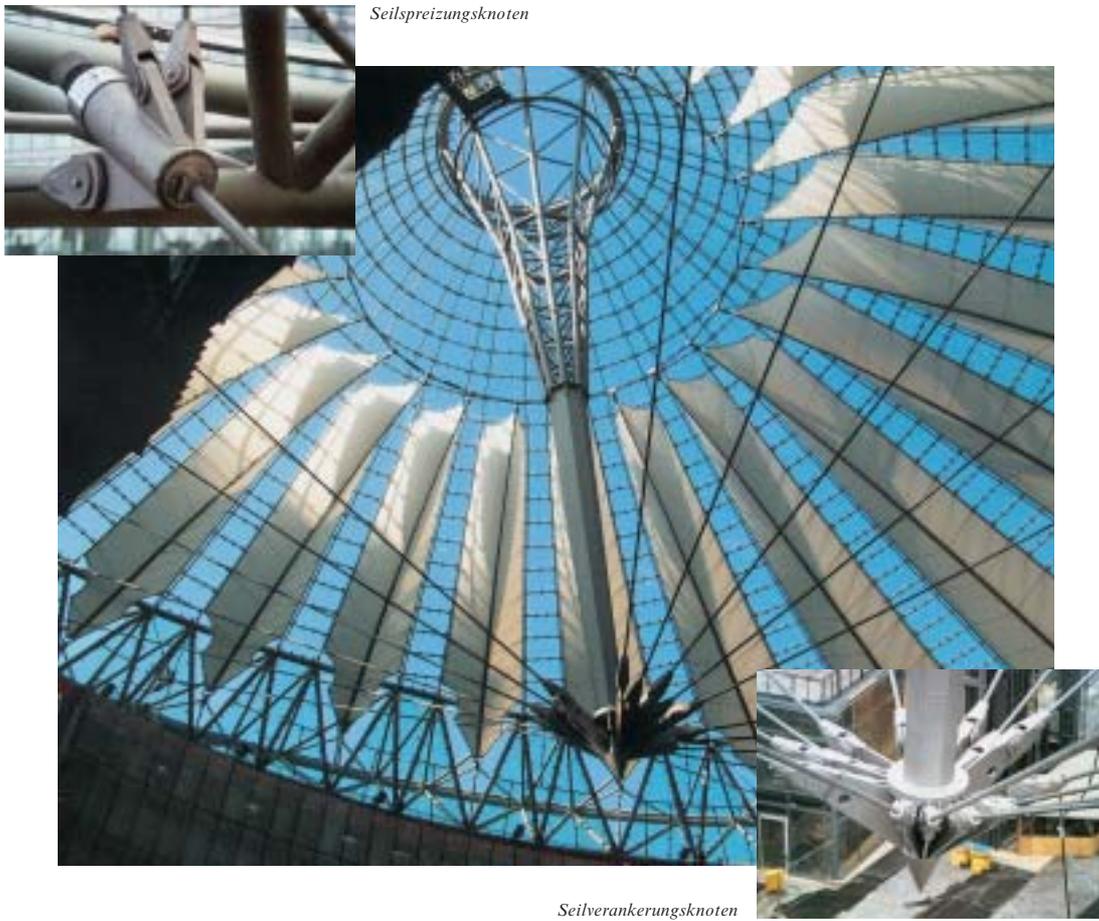
Bild 14: DILLIMAX 965/1100: Wärmeeinbringen beim Schweißen in Abhängigkeit von der Blechdicke

(a) maximal zulässiges Wärmeeinbringen für $t_{8/5} < 8$ s



(b) empfohlener Arbeitsbereich





Seilspreizungsknoten

Seilverankerungsknoten

Bild 15: Dachkonstruktion des Sony-Center in Berlin, mit Laschen für den Ringbalken, die Seilspreizung- und Seilverankerungsknoten aus DILLIMAX 690 (Bild mit freundlicher Genehmigung von Waagner-Biró AG, Wien)



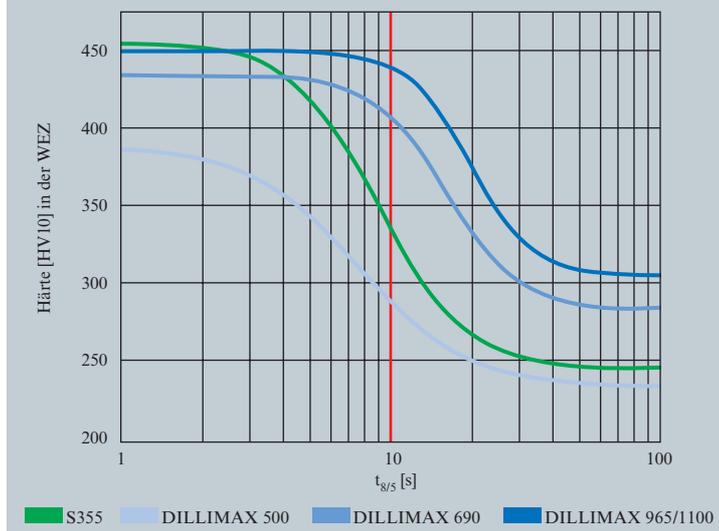
Vermeidung von Kaltrissen:

Wie alle hochfesten vergüteten Feinkornbaustähle neigen auch DILLIMAX-Stähle unter ungünstigen Bedingungen zur Bildung von Kaltrissen im Bereich der Schweißnaht.

Gefährlich ist, dass diese Risse noch mit einer Verzögerung von 48 Stunden nach dem Schweißen auftreten können. Dies muss bei der Rissprüfung beachtet werden.

Grundsätzlich lassen sich Kalt-
risse aber verhindern, wenn man beim Schweißen geeignete Vor-
sichtsmaßnahmen ergreift und vor allem die zwei Faktoren ausschaltet, die die Kaltrissbildung begünstigen: Wasserstoff im Schweißgut und Eigenspannungen. Ein dritter Einflussfaktor, die Aufhärtung in der Wärme-
einflusszone der DILLIMAX-

Bild 16: Aufhärtung der Wärmeinflusszonen unterschiedlicher DILLIMAX-Stähle im Vergleich mit konventionellem S355 nach der Abkühlung mit verschiedenen $t_{8/5}$ -Zeiten



Stähle, ist wegen des erhöhten Legierungsgehalt von Stahl und Schweißzusätzen nur begrenzt zu steuern.

Bild 16 zeigt typische Werte für die Aufhärtung der Wärmeinflusszone in DILLIMAX-Stählen bei verschiedenen $t_{8/5}$ -Zeiten.



Die Ablagerung von molekularem Wasserstoff an den Korngrenzen des Schweißgutgefüges und an der Schmelzlinie ist hauptverantwortlich für die Kaltrissbildung. Der Wasserstoff wird über feuchte Schweißzusätze, Feuchtigkeitsfilme auf den Schweißkanten oder die den Lichtbogen umgebende Atmosphäre eingebracht. Dies ist durch die Wahl geeigneter Schweißzusatzwerkstoffe und deren trockene Lagerung, vor allem aber durch das Vorwärmen des zu schweißenden Bauteils zu vermeiden. Das Vorwärmen bewirkt eine verzögerte Abkühlung des Bauteils nach dem Schweißen, wodurch der Wasserstoff genügend Zeit zum Ausdifundieren hat. Dieser Vorgang findet hauptsächlich im Temperaturbereich zwischen 300 °C und 100 °C statt. Unter Vorwärmen ist dabei nicht nur ein Erwärmen des Nahtbereiches zu

Beginn des Schweißens zu verstehen, sondern das Einhalten einer bestimmten Mindesttemperatur während des gesamten Schweißens (Arbeitstemperatur).

Der vorgewärmte Bereich sollte beiderseits der Naht mindestens 100 mm breit sein.

Empfohlene Vorwärmtemperaturen für die DILLIMAX-Stähle 690 bis 1100 sind in den Bildern 17 bis 19 angegeben.

Bei Blechdicken über 30 mm und Schweißverfahren, die zu einem höheren Wasserstoffeintrag (beispielsweise UP-Schweißen) führen, empfiehlt es sich, unmittelbar nach dem Schweißen eine Wasserstoffarmglühung bei 200 °C durchzuführen. Die Glühdauer richtet sich dabei nach der Dicke des Bauteils und sollte zwei Stunden nicht unterschreiten.

Die Gefahr, dass Risse in Schweißverbindungen infolge von Eigenspannungen auftreten, ist bei erst teilweise gefülltem Nahtquerschnitt besonders groß. Deshalb muss eine Abkühlung unter die vorgeschriebene Arbeitstemperatur während des gesamten Schweißens vermieden werden.

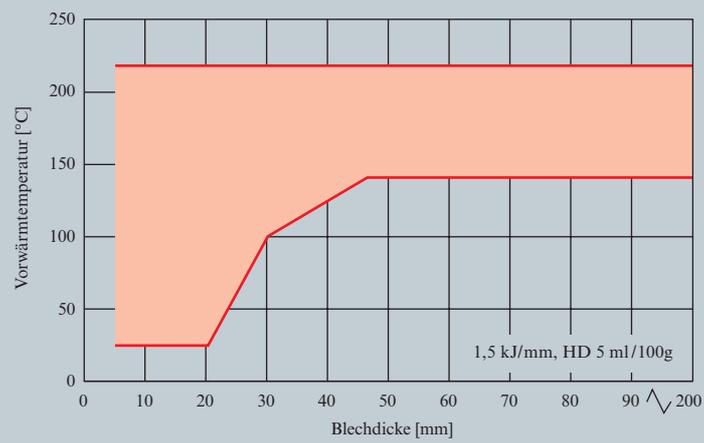
Im Interesse niedrigerer Eigenspannungen sind schroffe Querschnittsübergänge und Anhäufungen von Schweißnähten zu vermeiden. Bitte achten Sie außerdem auf eine gute Anpassung der einzelnen Bauteile sowie eine möglichst kerbfreie Ausführung der Schweißnähte. Durch eine günstige Schweißfolge lassen sich die Eigenspannungen ebenfalls verringern.

Grundsätzlich sollte die Schweißfolge so gewählt werden, dass die einzelnen Bauteile möglichst lange frei schrumpfen können.



Bild 17: DILLIMAX 690: empfohlene Vorwärmtemperaturen in Abhängigkeit von der Blechdicke

(a) E-Handschiessen



(b) MAG-Schweißen

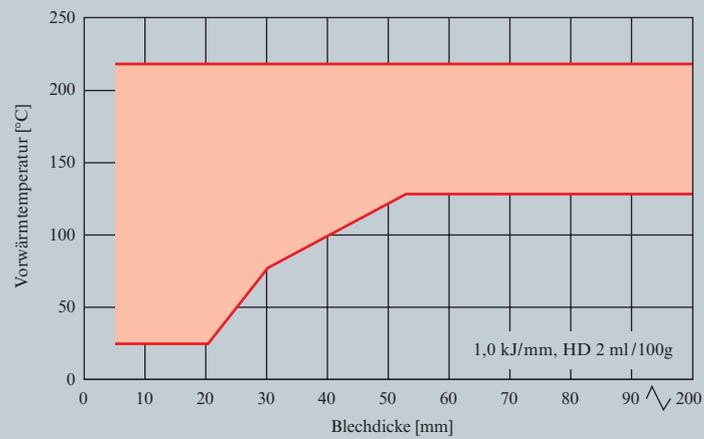
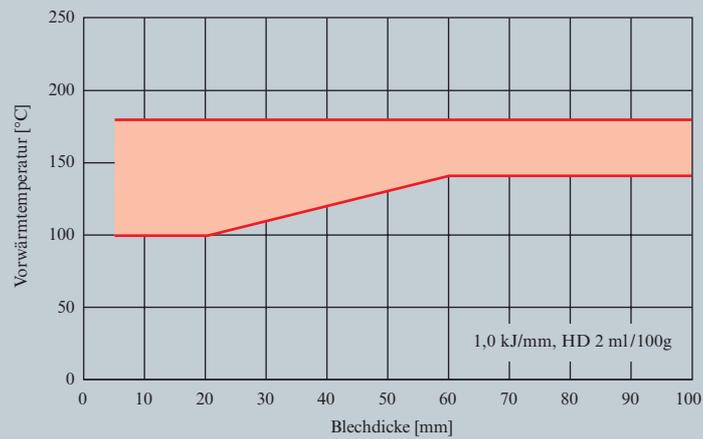




Bild 18: DILLIMAX 890: empfohlene Vorwärmtemperaturen in Abhängigkeit von der Blechdicke

(a) MAG-Schweißen/Stumpfnah



(b) MAG-Schweißen/Kehlnaht

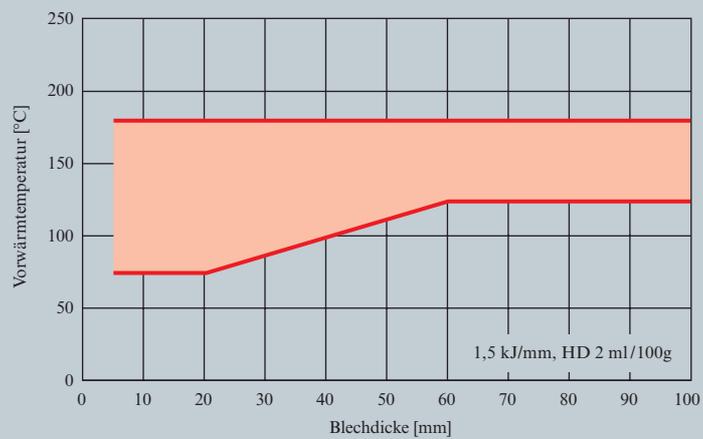
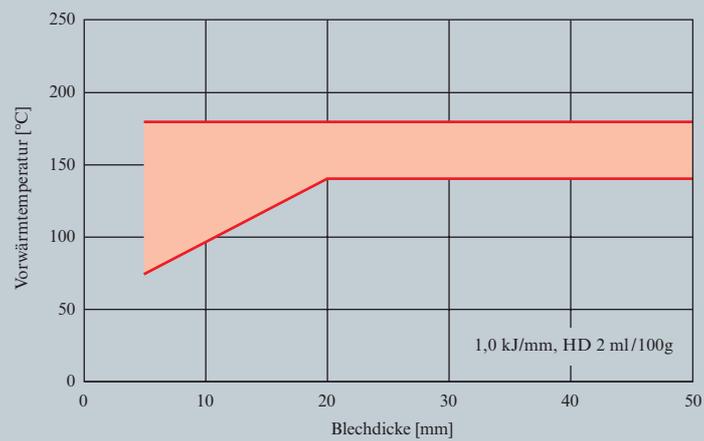


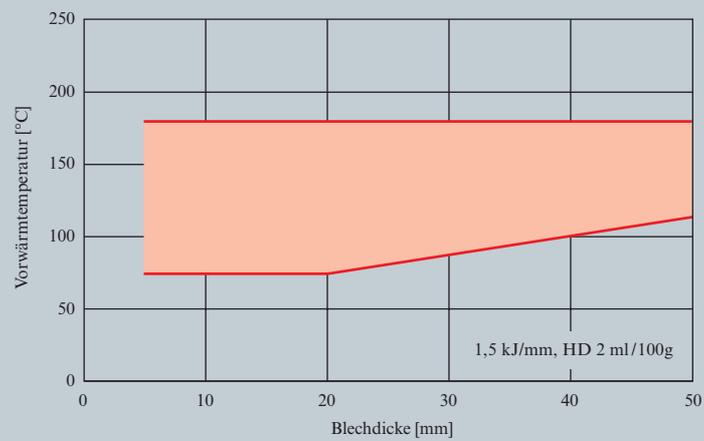


Bild 19: DILLIMAX 965/1100: empfohlene Vorwärmtemperaturen in Abhängigkeit von der Blechdicke

(a) MAG-Schweißen/Stumpfnah



(b) MAG-Schweißen/Kehlnah





Spannungsarmglühen

DILLIMAX-Stähle und deren werkstoffgemäß ausgeführte Schweißverbindungen weisen eine ausreichend hohe Zähigkeit auf, so dass sie auch in hochbeanspruchten Bauteilen im Allgemeinen ohne Spannungsarmglühen eingesetzt werden können.

Wenn aufgrund von Bauvorschriften oder aus konstruktiven Gründen ein Spannungsarmglühen notwendig ist, wird eine Rücksprache mit DILLINGER HÜTTE GTS empfohlen.

Im Allgemeinen sollte die höchste Spannungsarmglühtemperatur 40 °C unter der Anlasstemperatur des Wasservergütens liegen. Falls eine solche Wärmebehandlung durch den Verarbeiter vorgesehen ist, muss die Angabe der tatsächlichen Anlasstemperatur beim Hersteller im Zeugnis mitbestellt werden bzw. es ist mit DILLINGER HÜTTE GTS Rücksprache zu nehmen. Die Haltedauer beim Glühen sollte 60 Minuten nicht überschreiten. Sind längere Haltedauern vorgeschrieben, so ist die Spannungsarmglühtemperatur gegenüber der Anlasstemperatur noch weiter abzusenken. Beim Aufheizen auf Glühtemperatur ist, vor allem bei hohem Eigenspannungsniveau der Bauteile und großer

Erzeugnisdicke, darauf zu achten, dass starke Temperaturunterschiede im Bauteil vermieden werden. In den Fällen, in denen Spannungsarmglühtemperaturen festgelegt sind, der Verarbeiter sich also nicht nach der Anlass-temperatur des Wasservergütens beim Hersteller richten kann, sollte dies bereits im Anfragestadium mit DILLINGER HÜTTE GTS abgesprochen werden.

Aufgrund der chemischen Zusammensetzung und Wärmebehandlung verfügen die DILLIMAX-Stähle über eine relativ hohe Warmstreckgrenze. Deshalb ist bei ihnen der Spannungsabbau beim Spannungsarmglühen weniger vollständig als bei einfachen Baustählen.

Das Spannungsarmglühen des DILLIMAX 1100 ist nicht zulässig.

Flammrichten

Das Flammrichten von Blechen ist ein in der Praxis des Stahlbaus häufig angewandtes Verfahren zur Formgebung komplexer Bauteile und zur Erzielung ebener Querschnitte. Alle DILLIMAX-Stähle bis DILLIMAX 965 können problemlos flammgerichtet werden. Wie bei der Verarbeitung konventioneller Stähle müssen jedoch auch hier be-

stimmte Randbedingungen eingehalten werden. Dabei ist zwischen dem Flammrichten mit Wärmebahnen und dem Flammrichten mit Wärmepunkten und Wärmekeilen zu unterscheiden. Das Flammrichten des DILLIMAX 1100 ist nicht zulässig.

Flammrichten mit Wärmebahnen:

Betriebsversuche haben gezeigt, dass kein Absinken der Festigkeitseigenschaften und der Kerbschlageigenschaften von DILLIMAX 690 beim linienförmigen Flammrichten bis 800 °C eintritt. Für DILLIMAX-Stähle mit höherer Streckgrenze ist jedoch bei hoher Wärmezufuhr mit einem Absinken der Festigkeits- und Zähigkeitseigenschaften zu rechnen.

Flammrichten mit Wärmepunkten und Wärmekeilen:

Hierbei wird im Gegensatz zum Flammrichten mit Wärmebahnen der gesamte Blechquerschnitt von der Erwärmung erfasst. Dadurch entstehen längere Haltezeiten auf Spitztemperatur (oberhalb der Anlasstemperatur) und längere Abkühlzeiten. Für alle DILLIMAX-Stähle bis DILLIMAX 890 wird empfohlen, eine Flammrichttemperatur von 650 °C nicht zu überschreiten (für DILLIMAX 965: 600 °C).



Verzinken

Beim Beizen oder Verzinken können hochfeste Stähle zur Rissbildung neigen. Die Rissicherheit beim Feuerverzinken hängt jedoch nicht nur von dem Werkstoffauswahl sondern auch von der Konstruktion, den Eigenspannungen, der Zusammensetzung des Zinkbades und der Prozessführung beim Verzinken ab. Die Anwendung von höherfesten vergüteten Stählen in feuerverzinkten Konstruktionen ist deshalb mit besonderer Vorsicht zu behandeln. Auf jeden Fall sollte Rücksprache mit dem Stahlhersteller und dem Feuerverzinker genommen werden.

Spanende Bearbeitung

DILLIMAX-Stähle lassen sich trotz ihrer hohen Festigkeit gut zerspanen. Allerdings sind einige Grundregeln bei der Bearbeitung der höherfesten DILLIMAX-Stähle zu beachten: Vibrationen sollten vermieden werden. Es empfiehlt sich daher, auf einer möglichst steifen Maschine zu arbeiten und den Abstand zwischen Werkstück und Maschine (Säule) gering zu halten. Ebenso ist eine feste Einspannung des Werkstückes auf dem Tisch ratsam.

Je nach Bearbeitung sollte eine hinreichend gute Kühlung gewährleistet sein. Eine unterbrochene oder zu geringe Kühlmittelzufuhr kann zu einer Überhitzung der Schneide

führen, was zu erhöhtem Schneidkantenverschleiß und im Extremfall zum Bruch des Werkzeuges führt. Bitte beachten Sie die entsprechenden Hinweise der Werkzeughersteller.

Bei den in den nachfolgenden Tabellen angegebenen Empfehlungen zur Auswahl von Werkzeugen und zur mechanischen Bearbeitung von DILLIMAX-Stählen handelt es sich um Richtwerte, die je nach Maschine zu unterschiedlichen Ergebnissen führen können. Ihre Gültigkeit sollte von dem Verarbeiter vor Ort geprüft werden. Für detailliertere Information zur spanenden Bearbeitung und der optimalen Werkzeugauswahl empfehlen wir eine Rücksprache mit Werkzeugherstellern oder DILLINGER HÜTTE GTS.



Bohren: Die DILLIMAX-Stähle lassen sich gut bohren. Geeignete Werkzeuge sind kobaltlegierte HSS-Spiralbohrer, Spiralbohrer mit gelöteten Hartmetallschneiden, VHM-Spiralbohrer (gegebenenfalls mit Innenkühlung), sowie Bohrer mit Wendeschneidplatten. Die Verwendung von

kurzen Bohrern wird angeraten. Bei stabilen Bohrern sollte der Vorschub zu Beginn der Zerspaltung etwas höher eingestellt werden, damit ein stabiler Eingriff schnell erfolgt. Dies hilft Vibrationen zu verringern. Vor Austritt des Bohrers aus dem Material sollte der Vorschub

unterbrochen werden. Hierdurch werden Maschine und Werkzeug entspannt und Ausbrüche an den Schneidkanten vermieden.

Angaben zur Auswahl von Werkzeugen, Schnittgeschwindigkeiten und Vorschüben enthält Tabelle 8.

Tabelle 8: Richtwerte zum Bohren von DILLIMAX 690 bis 1100

DILLIMAX	Werkzeugtyp (Schneidstoff)	Schnittgeschwindigkeit V_c [m/min]	Vorschub f [mm/U] in Abhängigkeit vom Durchmesser		
			5 – 15 mm	20 – 30 mm	30 – 40 mm
690	Kobaltlegierter HSS-Spiralbohrer ¹⁾ (TIN, TiCN) ²⁾	10 – 15	0,05 – 0,15	0,15 – 0,25	0,20 – 0,25
	Bohrer mit Wendeschneidplatten ¹⁾	80 – 100	–	0,10 – 0,12	0,12
890	Spiralbohrer mit gelöteten HM-Schneiden bzw. VHM-Spiralbohrer ²⁾	35 – 50	0,05 – 0,15	0,15 – 0,25	0,20 – 0,25
	Kobaltlegierter HSS-Spiralbohrer ¹⁾	8 – 12	0,05 – 0,16	0,20 – 0,25	–
	Bohrer mit Wendeschneidplatten ¹⁾	70 – 90	–	0,10 – 0,12	0,12
965	VHM-Hochleistungsbohrer (TIN) ²⁾	35 – 50 ohne Innenkühlung 40 – 70 mit Innenkühlung	0,10 – 0,20	0,15 – 0,25	–
	Kobaltlegierter HSS-Spiralbohrer ¹⁾	8 – 10	0,05 – 0,16	0,16 – 0,25	–
	Bohrer mit Wendeschneidplatten ¹⁾	60 – 80	–	0,10 – 0,12	0,12
1100	VHM-Hochleistungsbohrer (TIN) ²⁾	35 – 50 ohne Innenkühlung 40 – 70 mit Innenkühlung	0,10 – 0,20	0,18 – 0,25	–
	Kobaltlegierter HSS-Spiralbohrer ¹⁾	6 – 10	0,05 – 0,16	0,18 – 0,25	–
	Bohrer mit Wendeschneidplatten ¹⁾	50 – 70	–	0,10	0,10

¹⁾ Ergebnisse mit Werkzeugen der Firma Ferrotec, Bielefeld

²⁾ Ergebnisse mit Werkzeugen der Firma Fette GmbH, Schwarzenbek

Kühl- bzw. Schmiermittel: Emulsion



Senken: Zylindrische und konische Versenkungen lassen sich in höherfesten DILLIMAX-Blechen am besten ausführen, wenn das Werkzeug einen Führungzapfen hat. Dadurch werden Vibrationen vermieden. Die Verwendung von dreischneidigen Senkern kann ebenfalls zur Verminderung von Vibrationen beitragen. Richtwerte für Schnittgeschwindigkeit und Vorschub sind in Tabelle 9 enthalten.

Gewindebohren: Gewinde können im Allgemeinen mit der Maschine geschnitten werden. Angaben zur Auswahl von Werkzeugen, Schnittgeschwindigkeiten und Drehzahlen sind in Tabelle 10 zu finden.

Sägen: Für das Sägen von höherfesten DILLIMAX-Stählen mit einer Bandsäge empfehlen wir, die Brennschnittkante im Sägebereich 1 bis 2 mm tief anzuschleifen und den kleinsten Querschnitt zu sägen. In der Praxis haben sich kobaltlegierte Sägebänder oder hartmetallbestückte Sägeblätter bewährt. Auf gute Kühlung sollte geachtet werden.

Tabelle 9: Richtwerte zum Senken von DILLIMAX 690 bis 1100

DILLIMAX	Werkzeugtyp (Schneidstoff)	Schnittgeschwindigkeit V_c [m/min]	Vorschub f [mm/U] in Abhängigkeit vom Durchmesser	
			15 – 30 mm	30 – 60 mm
690 890 965 1100	Senker aus VHM bzw. mit Hartmetall- Wendeplatten ¹⁾	30 – 40	0,10 – 0,20	0,15 – 0,25

¹⁾ Ergebnisse mit Werkzeugen der Firma Fette GmbH, Schwarzenbek und der Firma Ferrotec, Bielefeld

Kühl- bzw. Schmiermittel: Emulsion

Tabelle 10: Richtwerte zum Gewindebohren von DILLIMAX 690 bis 1100

DILLIMAX	Werkzeugtyp (Schneidstoff)	Schnittgeschwindigkeit V_c [m/min]	Drehzahl n [1/min] in Abhängigkeit vom Gewindedurchmesser				
			M10	M16	M20	M30	M42
690 890 965 1100	Hand- oder Maschinengewindebohrer HSS-Co ¹⁾ (HSS, TIN, TICN) ²⁾	3 – 8	60 – 120	50 – 100	40 – 80	30 – 60	20 – 50

¹⁾ Ergebnisse mit Werkzeugen der Firma Ferrotec, Bielefeld

Kühl- bzw. Schmiermittel: Emulsion

²⁾ Ergebnisse mit Werkzeugen der Firma Fette GmbH, Schwarzenbek



Fräsen: DILLIMAX-Stähle lassen sich mit Werkzeugen aus Schnellarbeitsstahl (HSS, TiN, TiCN) und mit wendeplattenbestückten Werkzeugen bearbeiten.

Bitte beachten Sie, dass brenn- geschnittene Kanten möglicher- weise erheblich höhere Härten aufweisen können. Daher sollte

der erste Schnitt mindestens 2 mm tief, also weit genug unter die gehärtete Wärmeeinflusszone gehen. Hartmetallwendeplatten sind empfindlich in Bezug auf Vibrationen.

Diese müssen also durch alle möglichen Maßnahmen reduziert werden: z.B. stabiles Einspannen des Werkstückes. Sollen große

Flächen abgearbeitet werden, empfiehlt es sich, das Blech abwechselnd beidseitig zu bear- beiten, da bei dieser Vorgehens- weise ein Verzug des Werk- stückes vermieden werden kann. Richtwerte für Schnittgeschwin- digkeit und Vorschub, für das Plan- und Kantenfräsen enthält Tabelle 11.

Tabelle 11: Richtwerte zum Plan- und Kantenfräsen von höherfesten DILLIMAX-Stählen

DILLIMAX	Werkzeugtyp (Schneidstoff)	Schnittgeschwindigkeit V_c [m/min]	Vorschub/ Zahn f_z [mm]
890	Planfräser / Schruppfräser (FC 220N) ¹⁾ (HC-P20 + TiN)	130 – 190	0,12 – 0,20
965	Planfräser / Schruppfräser (FC 220N) ¹⁾ (HC-P20 + TiN)	120 – 180	0,10 – 0,18

¹⁾ Ergebnisse mit Werkzeugen der Firma Fette GmbH, Schwarzenbek

Kühl- bzw. Schmiermittel: ohne



DIE BAUTEILEIGENSCHAFTEN VON DILLIMAX

Im Vordergrund stehen die Ermüdungseigenschaften. Schweißbare Feinkornbaustähle aus dem oberen Festigkeitsbereich wie DILLIMAX 690 bis DILLIMAX 1100 werden bevorzugt für Komponenten eingesetzt, deren Gewicht auf ein Minimum reduziert werden muss (beispielsweise für Konstruktionen der Förder- und Hebertechnik). Die hohe Festigkeit der DILLIMAX-Stähle ist besonders vorteilhaft bei Konstruktionen, die aufgrund der geringen Lastspielzahl quasi-statisch ausgelegt werden (z.B. Mobilkräne). Bei Bauteilen, die zyklischen Belastungen in der Anwendung unterworfen sind, können diese für die Auslegung ausschlaggebend sein.

DILLIMAX-Stähle weisen eine gute Festigkeit bei zyklischer Belastung auf. Viel stärker als der Grundwerkstoff unterliegen die Schweißnähte einer Ermüdung, was dann zum Versagen des Bauteils führen kann.

Um die höhere Festigkeit des Stahls ausnützen zu können, muss ferner bei der Verwendung von DILLIMAX-Stählen besonders auf die Qualität der Schweißung und deren Nachbehandlung geachtet werden. In erster Linie kommt es darauf an,



Bild 20: Mobilkran bei der Montage eines Baukranes
(Bild mit freundlicher Genehmigung der Liebherr-Werk Ebingen GmbH, Ebingen)



die von den Schweißverbindungen ausgehende Kerbwirkung zu minimieren: Das Verhalten der Schweißnaht hängt sehr von dem aus der Nahtgeometrie resultierenden Spannungskonzentrationsfaktor ab.

Bild 21 zeigt die Wöhler-Streubänder für V-Nahtverbindungen aus DILLIMAX-Stählen.

Wie auf dem Bild zu sehen ist, wird die Ermüdungsfestigkeit mit der Streckgrenze nicht gleichermaßen erhöht. In extremem Fall werden bei hohen Lastspielzahlen sogar die Stähle aus dem obersten Festigkeitsbereich (DILLIMAX 890-965) empfind-

licher als Stähle mit geringerer Festigkeit (DILLIMAX 500-690).

Die durch WIG-Behandlung der Stumpfstöße erzielbaren Lebensdauerverbesserungen sind auf die Verbesserung der Kerbgeometrie (sanfterer Übergang zwischen Blechoberfläche und Nahtdecklage) zurückzuführen (s. Bild 22).

Die Anwendung der Nachbehandlungsverfahren WIG-Aufschmelzen und UIT (Ultrasonic Impact Treatment) führt zu wesentlichen Steigerungen der Ermüdungsfestigkeit von geschweißten Konstruktionen.

Die Verbesserung der Ermüdungsfestigkeit durch das UIT-Verfahren erfolgt hauptsächlich durch die eingebrachten Druckeigenstressungen sowie durch eine Verbesserung der Kerbform am Nahtübergang. Mit diesem Verfahren konnten bei DILLIMAX 690 sehr gute Ergebnisse erzielt werden (s. Bild 23).

Tabelle 12 zeigt, wie sich durch andere Nachbehandlungen der Schweißnähte die Lebensdauer eines Konstruktionsteils deutlich erhöhen lässt. Die angegebenen Werte sind rein informativ.



Bild 21: Wöhler-Streubänder von Schweißverbindungen aus DILLIMAX-Stählen
(10 % bis 90 % Bruchwahrscheinlichkeit, V-Naht-Proben, 60°, Blechdicke 10 mm, R=0)

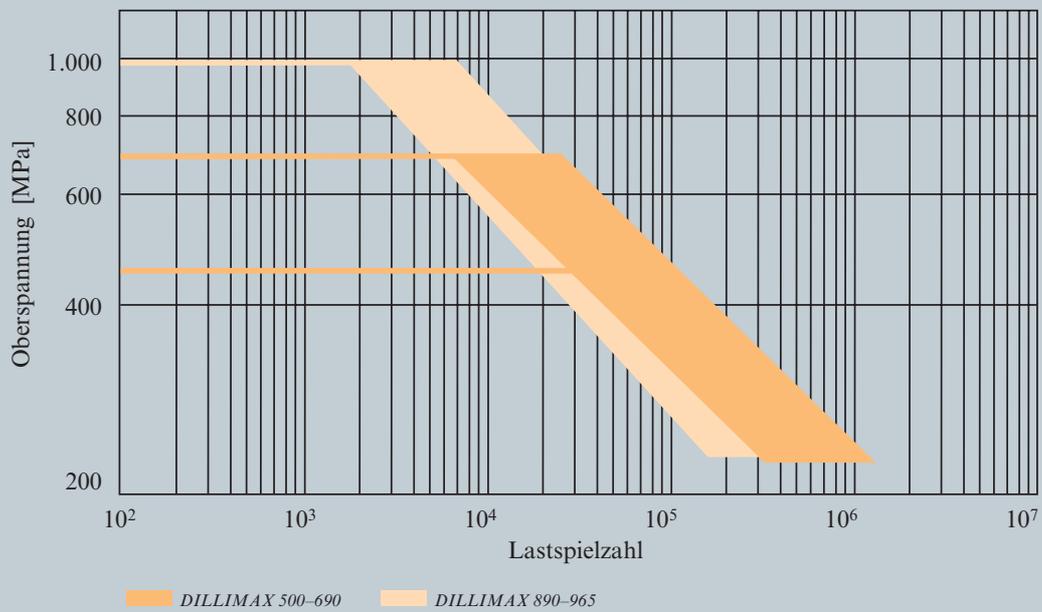




Bild 22: Einfluss einer WIG-Behandlung auf die Wöhler-Streubänder von Schweißverbindungen aus DILLIMAX 890/965 (10% bis 90% Bruchwahrscheinlichkeit, R=0)

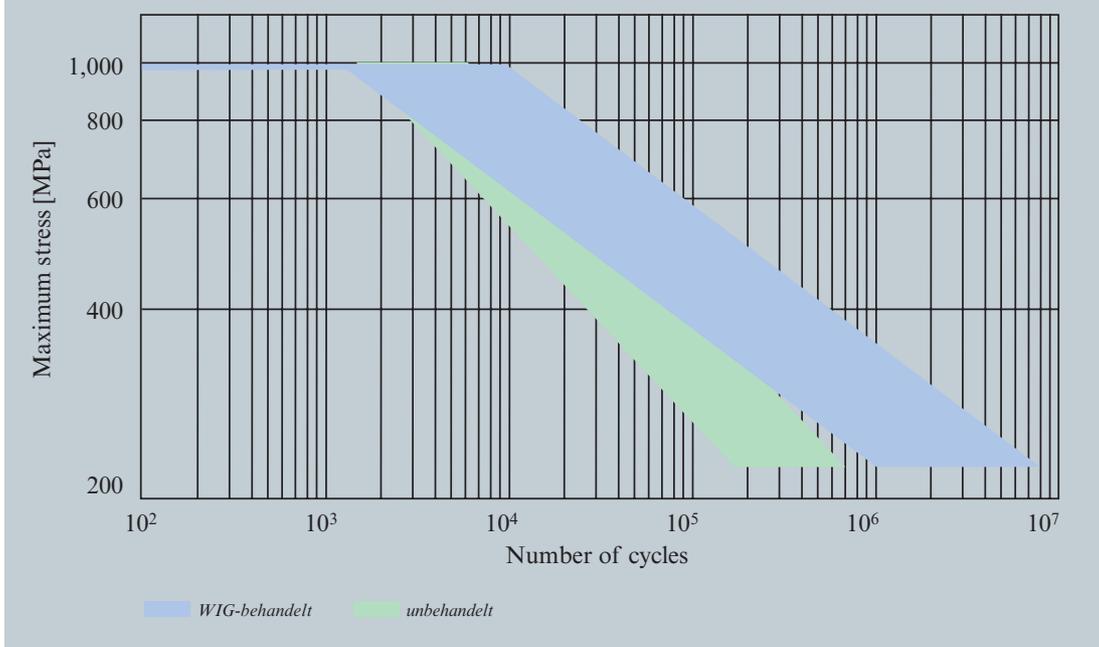




Bild 23: Einfluss einer WIG- oder UIT-Behandlung auf die Wöhler-Kurven von Schweißverbindungen aus DILLIMAX 690 (Kleinprüfkörper, Quersteife); aus Fosta-Bericht P 620: „Effizienter Stahlbau aus höherfesten Stählen unter Ermüdungsbeanspruchung“

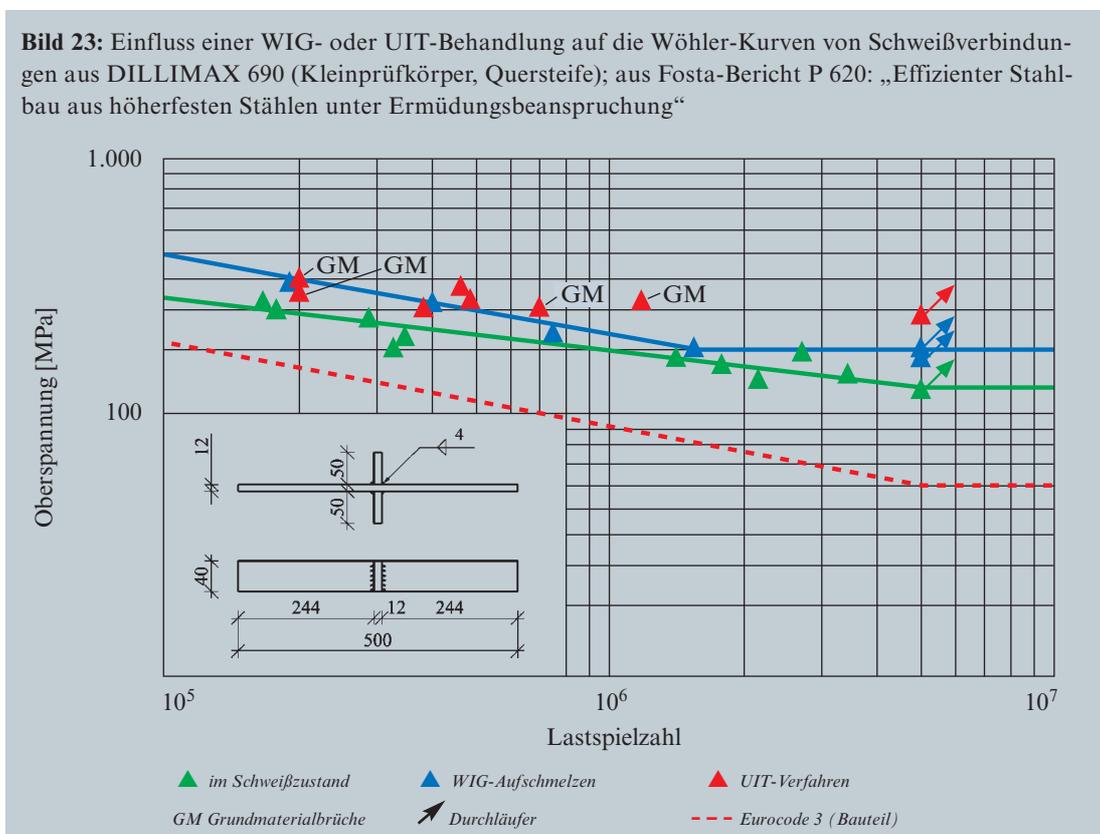




Tabelle 12: Zyklische Oberspannungen in MPa von Grundwerkstoffen und Schweißverbindungen aus DILLIMAX-Stählen nach verschiedenen Nachbehandlungen (50% Bruchwahrscheinlichkeit, informatorische Werte)

Lastspielzahl	DILLIMAX 690		DILLIMAX 890		DILLIMAX 965	
	10^5	$2 \cdot 10^6$	10^5	$2 \cdot 10^6$	10^5	$2 \cdot 10^6$
Grundwerkstoff	560	350	670	410	530	350
V-Naht ohne Behandlung	360	180	370	160	330	160
V-Naht mit Spannungsarmglühen	320	200	270	160	—	—
V-Naht mit WIG-Dressing	490	290	470	235	450	210
V-Naht mit WIG-Dressing und Spannungsarmglühen	460	270	420	245	—	—
V-Naht mit Stahlstrahlen	475	340	400	245	—	—
V-Naht mit Stahlstrahlen und Spannungsarmglühen	330	195	—	—	—	—
V-Naht mit WIG-Dressing und Stahlstrahlen	420	300	—	—	—	—



LITERATUR

Literatur zum Abschnitt „Setzen Sie Ihre Stahlkonstruktionen auf Diät“

Auvigne J. F.: Un exemple industriel d'allègement par l'emploi des HLE: Cas des grues mobiles PPM, Tôles en acier HLE – Choix et mise en oeuvre, Journées organisées par le CETIM, l'OTUA et le CNISF, 30.03.1994, S. 57-63

Nimal F.: Participation des aciers HLE dans l'allègement des pièces mécaniques creuses faites à partir de tôles – Bilan économique, Tôles en acier HLE – Choix et mise en oeuvre, Journées organisées par le CETIM, l'OTUA et le CNISF, 30.03.1994, S. 65-75

EN 10025-6 (11/2004): Warmgewalzte Erzeugnisse aus Baustählen – Teil 6: Technische Lieferbedingungen für Flacherzeugnisse aus Stählen mit höherer Streckgrenze im vergüteten Zustand, CEN

Allgemeine bauaufsichtliche Zulassung Nr. Z-30.1-1: Flacherzeugnisse aus hochfestem schweißgeeignetem Feinkornbaustahl S690QL1 und die daraus hergestellten Bauteile. Deutsches Institut für Bautechnik, Berlin, Januar 2005

prEN 1993-1-12: 2005
Eurocode 3: Bemessung und Konstruktion von Stahlbauten – Teil 1.12: Zusätzliche Regeln zur Erweiterung von EN 1993 auf Stahlgüten bis S700, CEN, 2005

EN 10028-6 (06/2003): Flacherzeugnisse aus Druckbehälterstählen – Teil 6: Schweißgeeignete Feinkornbaustähle, vergütet, CEN

Literatur zum Abschnitt „Verarbeitung von DILLIMAX“

Bouhelier C.: Le formage des tôles fortes, CETIM, 1982

Uwer D. et al.: Schweißen moderner hochfester Baustähle, Stahl u. Eisen 112 (1992) 4, S. 29-35

EN 1011 (Teil 1: 05/2002, Teil 2: 01/2001): Empfehlungen zum Schweißen metallischer Werkstoffe, CEN

Thiele W.-R.: Gefüge von hochfesten Feinkornbaustählen nach Flammrichtvorgängen. Linde AG Sonderdruck 114. Linde AG Werksgruppe Technische Gase, Höllriegelskreuth



Osama A. K.: Flammrichten von schweißgeeigneten Vergütungsstählen mit niedrigem Kohlenstoffgehalt, Schweißen und Schneiden 35 (1983) 5, S. 216-219

Nieß M. et al.: Auswirkungen des Flammrichtens auf die mechanischen Güterwerte von hochfesten Feinkornbaustählen. DVS-Berichte Band 112. DVS-Verlag, Düsseldorf, 1988

Beratung Feuerverzinken:
Arbeitsblätter „Feuerverzinken“.
Institut Feuerverzinken GmbH,
Düsseldorf, 1996

**Literatur zum Abschnitt
„Die Bauteileigenschaften von
DILLIMAX“**

Ring M. et al.: Fatigue properties of laser-beam weldments on high-strength steels, Steel Research 65 (1994) 11, S. 505-510

Fischer F. et al.: Rißeinleitungs- und Rißausbreitungswiderstand hochfester Baustähle bei statischer Beanspruchung, Stahl und Eisen 114 (1994) 11, S. 125-128

Hübner P. et al.: MAG-Schweißverbindungen des Stahls StE 885 bei statischer, dynamischer und zyklischer Beanspruchung, Stahl und Eisen 115 (1995) 7, S. 81-86

Hübner P. et al.: Schwingfestigkeit der hochfesten schweißbaren Baustähle StE 885 und StE 960. Dissertation. Technische Universität Freiberg, 1996

Franke S. et al.: Einfluß von Strukturparametern auf statische und zyklische Bruchzähigkeitskennwerte. Bericht EUR 16782 DE. Technische Forschung Stahl, 1994

U. Kuhlmann, A. Dürr,
J. Bergmann, R. Thumser: Effizienter Stahlbau aus höherfesten Stählen unter Ermüdungsbeanspruchung. Forschungsvorhaben P 620. Forschungsvereinigung Stahlanwendung e.V., 2006



STICHWORTVERZEICHNIS

Abkühlzeit	23ff
Alterung	15ff
Anlassen	7, 16f
Biegeradius	12ff
Bohren	35
Brennschneiden, autogenes	17ff
Bruchdehnung	8f
Dickenrichtung, Eigenschaften in	11
Eigenstressungen	28f, 37
Ermüdungseigenschaften	38ff
Flammrichten	33
Fräsen	37
Gewindebohren	36
Kaltrissanfälligkeit	23, 28f
Kaltumformen	12ff
Kerbschlagarbeit	9, 15
Kohlenstoffäquivalent	6
Laserschneiden	20
Lichtbogenhandschweißen	21, 30ff
Matrizenweite	12ff
Mindestvorwärmtemperatur	18, 30ff
Neuvergütung	16f
Plasma-Schmelzschneiden	20
Sägen	36
Schutzgasschweißen	21f, 30ff
Schweißbeignung	21ff
Schweißzusatzwerkstoffe	21f
Senken	36
Spannungsarmglühen	16f, 33
Streckgrenze	8
Unterpulverschweißen	21f
Verzinken	34
Wärmeeinflusszone	17f, 20
Warmfestigkeit	11
Warmumformen	16f
Wasservergütung	7
Zugfestigkeit	8f
Zusammensetzung, chemische	6



VERTRIEBSORGANISATIONEN

Deutschland

Vertriebsgesellschaft
Dillinger Hütte GTS
Postfach 104927
70043 Stuttgart
Tel: +49 7 11 61 46-300
Fax: +49 7 11 61 46-221

Frankreich

DILLING-GTS Ventes
5, rue Luigi Cherubini
93212 La Plaine Saint Denis
Cedex
Tel: +33 1 71 92 16 74
Fax: +33 1 71 92 17 98

Andere Länder

Ihren Ansprechpartner in
anderen Ländern erfahren Sie
von unserem Koordinierungsbüro
in Dillingen:
Tel: +49 68 31 47 23 85
Fax: +49 68 31 47 99 24 72



AG der Dillinger Hüttenwerke

Postfach 1580
66748 Dillingen/Saar
Tel: +49 68 31 47 21-46
Fax: +49 68 31 47-30 89

e-mail: info@dillinger.biz
<http://www.dillinger.de>

Allgemeiner Hinweis (Haftung):
Angaben über die Beschaffenheit oder Verwendbarkeit von Materialien bzw. Erzeugnissen sind lediglich Beschreibungen. Zusicherungen bezüglich des Vorhandenseins von Eigenschaften oder der Eignung für einen bestimmten Verwendungszweck bedürfen stets besonderer schriftlicher Vereinbarungen.



So finden Sie uns

