

Flammrichten thermomechanisch gewalzter Baustähle

Dr.-Ing. Frank E. Hanus, Dillingen

Thermomechanisch gewalzte Stähle enthalten deutlich verringerte Gehalte an Kohlenstoff, Legierungs- und Mikrolegierungselementen. Die Schweißneigung dieser Stahlsorten ist der der herkömmlichen, normalgeglühten Stähle überlegen. Die geringe Härtingsneigung der thermomechanisch gewalzten Stahlsorten läßt häufig ein Schweißen ohne Vorwärmen zu. Diskutiert wird, inwieweit sich die thermomechanisch gewalzten Stähle mit der Flamme richten lassen. Auch die Frage, ob die für normalgeglühte Stähle üblichen verfahrensbedingungen anwendbar sind oder ob die mechanischen Eigenschaften auf diese Weise unzulässig verändert werden, wird geklärt.

1 Einleitung

Bei der Fertigung von Bauteilen und Konstruktionen aus Stahl sind vielfach Verzug, Verwerfung und Verbiegung nicht zu vermeiden. Treten infolgedessen Maßabweichungen jenseits der Toleranzgrenze auf, werden Richtvorgänge erforderlich. In diesem Zusammenhang hat sich das Flammrichten in vielen Bereichen der Stahlverarbeitung bestens bewährt [1; 2].

In den letzten Jahren wurden thermomechanisch gewalzte Stähle (TM-Stähle) entwickelt, die besser schweißgeeignet sind als die herkömmlichen normalgeglühten Sorten. Mangels detaillierter Untersuchungen erlaubt das Stahleisenwerkstoffblatt SEW 083 für TM-Stähle bei der Verarbeitung – einschließlich Flammrichten – bisher lediglich Temperaturen bis zu 580°C. Das Einhalten dieser Vorgabe führt beim Flammrichten im Betrieb zu erheblichen Schwierigkeiten, denn im allgemeinen läßt sich der gewünschte Richteffekt nicht erreichen. Es stellt sich daher die Frage, ob eine derart enge Beschränkung für TM-Stähle tatsächlich erforderlich ist. Der Einfluß unterschiedlicher Flammrichttemperaturen auf die mechanischen Eigenschaften von TM-Stahl wurde in Betriebsversuchen und in simulierenden Wärmebehandlungen untersucht.

2 Versuchswerkstoffe

Für die Untersuchung wurden Bleche auf Basis der Stahlsorte TStE 355 TM (SEW 083) aus der Werksproduktion verwendet. Charakteristisch für diese Stahlsorte sind niedrige Gehalte an Kohlenstoff und unerwünschten Begleitelementen sowie erhöhte Zähigkeit. Für die Versuche wurden zwei Bleche (15 bzw. 50 mm dick; Bau- und Schiffbaustahl) herangezogen. Beide Bleche lagen thermomechanisch gewalzt [3] vor. Die chemische Zusammensetzung der Stähle, Tabelle 1, macht deutlich, daß die Gehalte an festigkeitssteigernden Elementen gesenkt werden konnten. Auch dies ist auf die verbesserte Feinkörnigkeit der TM-Stähle zurückzuführen.

3 Versuchsdurchführung

3.1 Betriebsversuche

Auf die Probebleche wurden Wärmestriche aufgebracht. Der Vorschub des mehrflämmigen Acetylenbrenners erfolgte dabei maschinell, um konstante Bedingungen über die gesamte Versuchslänge zu gewährleisten. Je nach Vorschubgeschwindigkeit ergaben sich unterschiedliche Flammrichttemperaturen.

Thermoelemente ermittelten die örtliche Temperatur. Zur Sicherung eines optimalen Wärmeübergangs wurden die Thermoelementdrähte eingeschweißt, Bild 1. Nach Planschleifen der Schweißraupe lag die Meßstelle ungefähr 2 mm unter der Blechoberfläche. An der Blechoberfläche ist die Flammrichttemperatur höher als am Meßpunkt. Beim Flammrichten mit Wärmestrichen ergibt sich eine Erwärmung, die stark auf die oberflächennahen Bereiche konzentriert ist, Bild 2. Die Ausbildung des jeweiligen Temperaturfelds hängt dabei hauptsächlich von der Energiedichte (Brennerleistung, beaufschlagte Fläche, Brennergewicht, Vorschub, Wärmeübergang) und der Blechdicke ab. Beide Bleche wurden mit Wärmestrichen unter acht verschiedenen Flammrichtbedingungen versehen, Tabelle 2. Bereits in Vorversuchen wurde der Einfluß der Vorschubgeschwindigkeit auf die Spitztemperatur ermittelt, um die angestrebten Temperaturen von 650, 750, 850 und 950°C einzustellen, Bild 3. Um die Flammrichtbedingun-

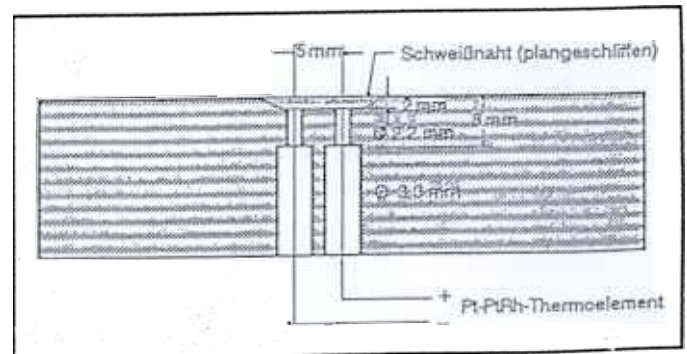


Bild 1. Versuchsanordnung zur Messung der Flammrichttemperatur (schematisch).

Tabelle 1. Chemische Zusammensetzung der untersuchten, thermomechanisch gewalzten Bleche.

Blechdicke mm	chemische Zusammensetzung					Kohlenstoffäquivalent	
	C %	Si %	Mn %	Ni %	Nb %	CE(IITW) ¹⁾	pcm ²⁾
15	0,10	0,35	1,42	–	0,02	0,36	0,189
50	0,07	0,30	1,38	0,23	0,02	0,33	0,165

¹⁾ CE = C + Mn/6 + (Cr + Mo + V)/5 + (Cu + Ni)/15. pcm = C + Si/30 + (Mn + Cu + Cr)/20 + Nb/60 + Mo/15 + V/10 + S · B.

Tabelle 2. Flammrichtbedingungen für Wärmestriche.

laufende Nummer	Flammrichttemperatur °C	Anzahl der Wärmestriche	Abkühlung
1	650	1	an der Luft
2	750	1	an der Luft
3	850	1	an der Luft
4	950	1	an der Luft
5	850	1	Wasser
6	950	1	Wasser
7	850	3	an der Luft
8	950	3	Wasser

gen möglichst genau nachzuvollziehen, wurden mit Wasser abgekühlte Wärmestriche hergestellt. Die Wirkung von mehrmaligem Wärmen (drei Wärmestriche) wurde ebenfalls untersucht. Die hier gewonnen Ergebnisse wichen kaum von denen der Standardbehandlung (ein Wärmestrich, freie Abkühlung) ab. Der Übersichtlichkeit halber sind lediglich die Ergebnisse für einen Wärmestrich mit freier Abkühlung angegeben.

Anschließend wurden Proben für Kerbschlag- und Zugversuche entnommen, Bild 4. 15 und 50 mm dicke Flachzugproben dienten zur Feststellung des integralen Verhaltens der flammgerichteten Bleche. Hierbei nimmt die wärmebeeinflusste Zone nur einen oberflächlichen Teil des Probenquerschnitts ein. Proben, deren Unterseite auf 3 bzw. 5 mm abgefräst war, ließen demgegenüber die örtliche Beeinflussung der Eigenschaften genauer erkennen. Für die Zugversuche sind jeweils die Ergebnisse von Einzelmessungen wiedergegeben. Die Festigkeitseigenschaften des Grundwerkstoffs wurden an jedem Probeblech geprüft, für den Lieferzustand liegen je zehn Einzelwerte vor. Dies gestattet auch eine Wertung der Homogenität der Eigenschaften.

3.2 Untersuchung mit simulierender Wärmebehandlung
 Zusätzlich wurden auch bei den dünnen Zugproben noch unterschiedliche Gefügebereiche der Flammricht-Wärmeinflusszone erfaßt. Um die Eigenschaften bestimmter Gefüge ermitteln zu können, entschied man sich dafür, zusätzlich simulierend geglühte Proben zu untersuchen. Dabei wurde der gesamte Probenquerschnitt dem jeweils vorgegebenen Temperatur-Zeit-Verlauf unterworfen. Anschließend wurden hieraus Kerbschlagproben und „Mini“-Zugproben entnommen.

4 Versuchsergebnisse

4.1 Wärmestriche – oberflächliches Wärmen

Bild 5 und 6 zeigen die Ergebnisse der Vollproben (nicht abgefräst) und der abgefrästen Proben in Abhängigkeit von der Flammrichttemperatur. Bei den Zugversuchen an Vollproben des 15 mm dicken Blechs lagen die Streckgrenzenwerte bei 650, 750 und geringerem Maße auch bei 850°C Flammrichttemperatur niedriger als die des 50 mm dicken Blechs. Dieses Ergebnis, das den sonstigen Untersuchungsergebnissen widerspricht, wurde von den dünnen Proben nicht bestätigt. Folglich kann man davon ausgehen, daß es sich hier um eine Fehlmessung handelte. Es ist nicht auszuschließen, daß diese aus dem Wärmestrich entnommenen Proben einen Verzug in Längs-

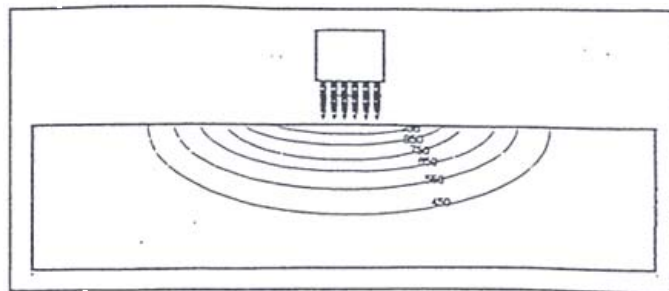


Bild 2. Charakteristische Temperaturfelder beim Flammrichten mit Wärmestrichen.

Bild 3. Einfluß der Vorschubgeschwindigkeit des Brenners auf die Flammrichttemperatur (Meßstelle 2 mm unterhalb der Blechoberfläche; Brenner F-BA mit Mehrlochdüse Größe 8; Acetylendurchfluß: 3000 l/h bei 0,5 bar; Sauerstoffdurchfluß: 3350 l/h bei 0,3 bar).

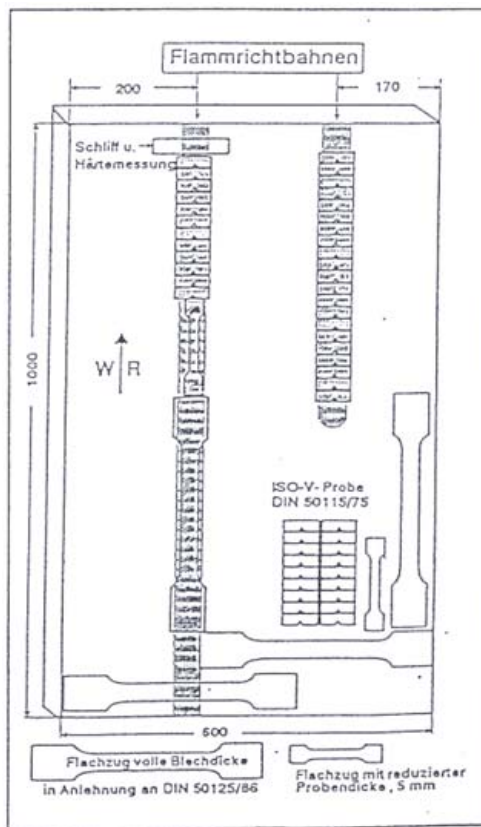
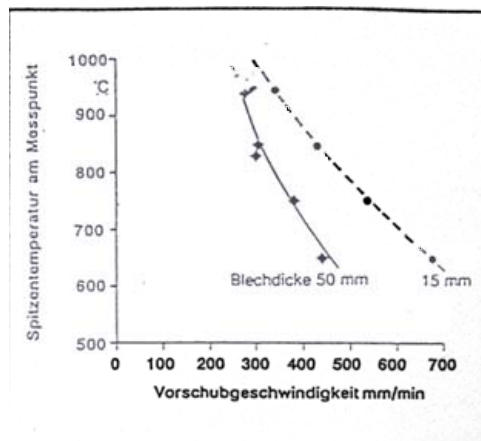


Bild 4. Probenlageplan für die Prüfung der Wärmestriche.

richtung aufgewiesen hatten. Derartig durchgebogene Proben ergeben bei Zugbeanspruchung im Probenquerschnitt eine ungleichmäßige Spannungsverteilung, die bereits bei geringer Prüflast zu plastischer Verformung führt, also eine niedrigere Streck- oder Dehngrenze des Werkstoffes vortäuscht. Die Zugfestigkeit bleibt von solchen Einflüssen unberührt, da die Probe im weiteren Verlauf des Zugversuches „geradegerichtet“ wird. Bei den abgefrästen Proben bleiben Streckgrenze und

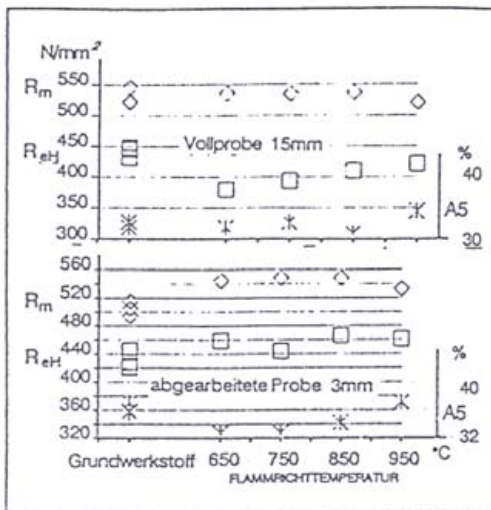


Bild 5. Einfluß der Flammrichttemperatur auf die mechanischen Eigenschaften im Zugversuch (Probenlage: längs).

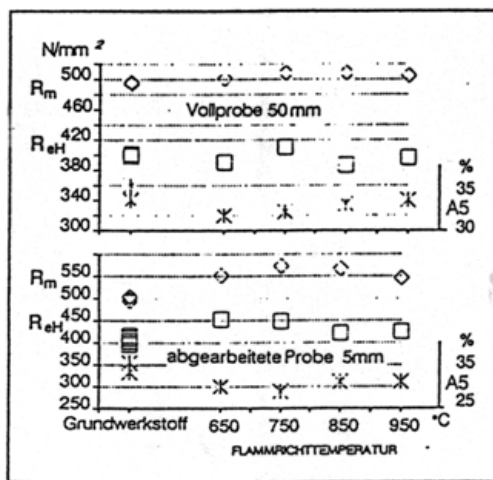


Bild 6. Einfluß der Flammrichttemperatur auf die mechanischen Eigenschaften im Zugversuch (Probenlage: längs).

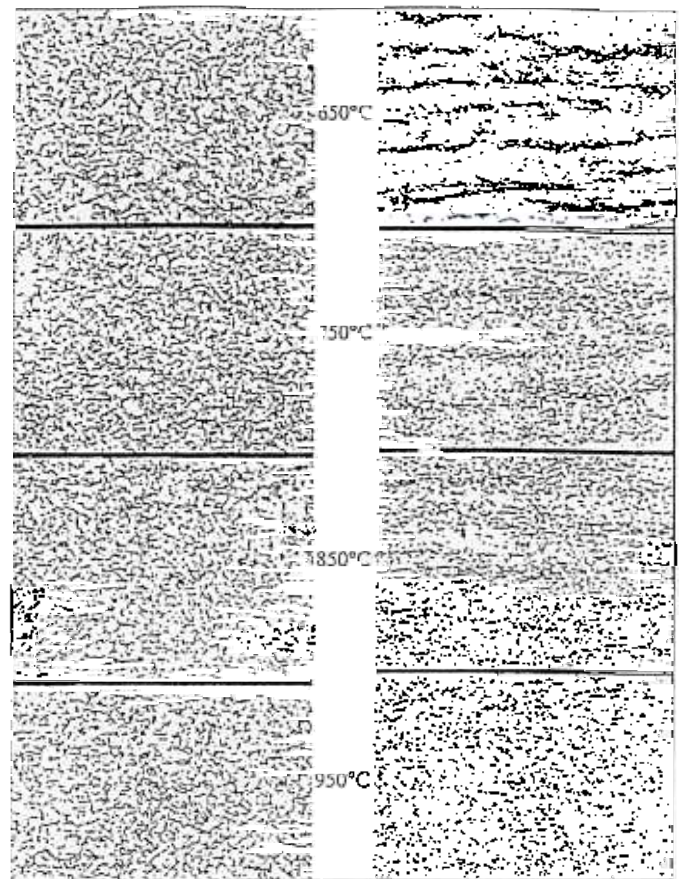


Bild 7. Gefügeausbildung unmittelbar unter der Blechoberfläche nach Flammrichten mit Wärmestrichen (Abkühlung an Luft; Flammrichttemperatur 2 mm unterhalb der Blechoberfläche gemessen, Vergrößerung 200:1, Wiedergabe etwa 0,7fach).

Zugfestigkeit sowohl im Ausgangszustand als auch nach dem Flammrichten auf höherem Niveau als bei den Vollproben. Bei den Proben im Ausgangszustand ist dies auf die besondere Feinkörnigkeit des Gefüges nahe der Blechoberfläche zurückzuführen. In der Flammricht-Wärmeeinflußzone entsteht bei schneller Abkühlung ebenfalls ein sehr feinkörniges, überwiegend ferritisches Gefüge, so daß die Ausgangswerte wieder erreicht wurden. Wie Bild 7 zeigt, bildet sich mit steigender Flammrichttemperatur gröberes Korn und die Anteile an Härtingsgefüge nehmen zu. Daraus resultieren schließlich bessere Festigkeitseigenschaften, höhere Härte und geringfügig niedrigere Dehnung. Die Anforderungen an den Grundwerkstoff wurden nach wie vor deutlich übertroffen; die Blechdicke hatte hier keinen Einfluß.

Für die einzelnen Flammrichtbedingungen wurden Kerbschlagarbeit-Temperatur-Übergangskurven ermittelt. Bild 8 zeigt beispielhaft die Kurven für das 15 mm dicke Blech. Hieraus wurden die Übergangstemperaturen für 50 J (T_{050}) und 100 J (T_{0100}) Kerbschlagarbeit ermittelt. Mit steigender Flammrichttemperatur ergibt sich der in Bild 9 dargestellte Zusammenhang. Allerdings kann man aus diesen Ergebnissen nicht direkt auf die Zähigkeit oder auf das Bruchverhalten einzelner Gefüge in der Wärmeeinflußzone schließen. Grund hierfür ist, daß im Querschnitt der Kerbschlagproben – auch bei abgefrästen Proben – gleichzeitig unterschiedliche Bereiche der Flammricht-Wärmeeinflußzone beansprucht wurden. Untersuchungen an simulierten Proben erlauben eine genauere Analyse dieses Sachverhalts.

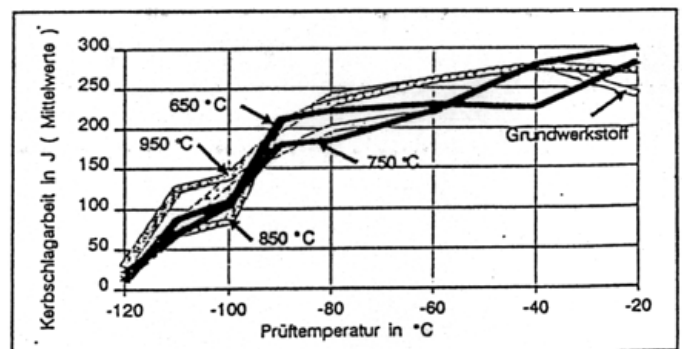


Bild 8. Kerbschlagarbeit-Temperatur-Kurve nach dem Flammrichten (ISO-V-quer-Probe aus dem 15 mm dicken Blech).

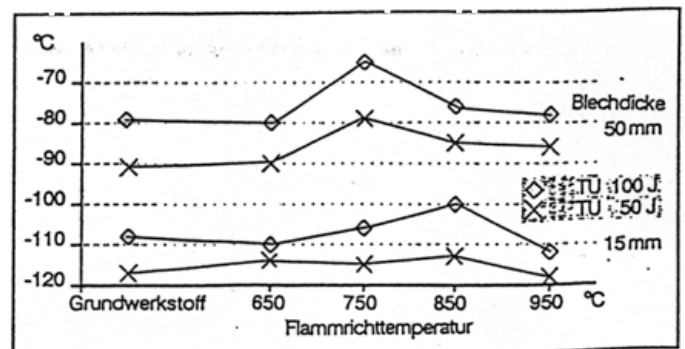


Bild 9. Übergangstemperaturen für 50 und 100 J Kerbschlagarbeit in Abhängigkeit von der Flammrichttemperatur.

4.2 Simulierende Untersuchungen

Die Ergebnisse der simulierenden Untersuchungen sind in Tabelle 3 zusammengefaßt. Bei Spitzentemperaturen

Tabelle 3. Mechanische Eigenschaften in der Flammricht-Wärmeeinflußzone des 15 mm dicken Blechs nach simulierender Wärmebehandlung (60 s Aufheizzeit (linear), 60 s Haltezeit, 20 s Abkühlung gemäß $t_{9/5}$).

Temperatur T_{max} °C	Zyklen	Härte HV10	Streckgrenze $R_{p0,2}$ MPa	Zugfestigkeit R_m MPa	Übergangstemperatur	
					$T_{0,50}$ °C	$T_{0,100}$ °C
750	1	166	427	534	-88 ¹⁾	-75 ¹⁾
750	3	163	393	533	-92 ¹⁾	-75 ¹⁾
850	1	161	397	550	-105	-100
850	3	163	377	548	-82	-76
950	1	169	432	533	-76	-72
950	3	167	401	523	-85	-80
Grundwerkstoff			416	537	-117	-108

¹⁾ Streuende Einzelwerte.

von 750°C erreicht die Zähigkeit ein Minimum. Dies ist auf selektives Austenitisieren des Perlits zurückzuführen. Der örtlich erhöhte Kohlenstoffgehalt führt bei der raschen Abkühlung zu harten Martensitinseln. Bei 850°C kommt es dagegen zu einer vollständigen Austenitisierung und nach anschließender Abkühlung zu feinkörnigem ferritischem Gefüge mit ausgezeichnete Zähigkeit. Ein Abfall der Zähigkeit war ebenfalls bei hohen Austenitisierungstemperaturen festzustellen, bei denen Kornvergrößerung einsetzte. Die kritischsten Gefüge in der Flammricht-Wärmeeinflußzone sind allerdings nur in einer sehr dünnen Schicht vorhanden. Trotz der für die simulierend behandelten Proben vorliegenden Randbedingungen lag die Kerbschlagarbeit bei -40°C über 100 J. Somit wurden alle gängigen Anforderungen mit großem Abstand erfüllt.

Auch die Kennwerte des Zugversuchs blieben im untersuchten Temperaturbereich und bei schneller Abkühlung weitgehend stabil. Zunehmendes Härungsgefüge kompensiert die Wirkung des größeren Kornes.

4.3 Durchgreifende Erwärmung

Zum Richten von Trägern werden sogenannte Wärmekeile und zum Ebren von Beulen sogenannte Wärmepunkte gesetzt. Beiden Richttechniken ist eine Erwärmung über den gesamten Blechquerschnitt zu eigen. Aufwärm- und Abkühlgeschwindigkeit sind erheblich langsamer als beim Wärmestrich. Die Abkühlung entspricht – besonders bei großflächiger Erwärmung – weitgehend einer Abkühlung an Luft. Für die Untersuchungen wurden daher Blechabschnitte herangezogen, die im Ofen auf unterschiedliche Temperaturen erwärmt worden waren. Die an die Blechdicke angepaßte Haltezeit betrug 1 min/mm Blechdicke. Die Abkühlung erfolgte an ruhender Luft. Das 75 mm dicke Blech stammte aus derselben Schmelze wie das 50-mm-Blech. Beim Glühen im Zweiphasengebiet wiesen Streckgrenze, Bild 10, und Zähigkeit ein Minimum auf. Die Streckgrenze fiel um etwa 50 N/mm² ab und erfüllte nur noch knapp die Anforderungen des

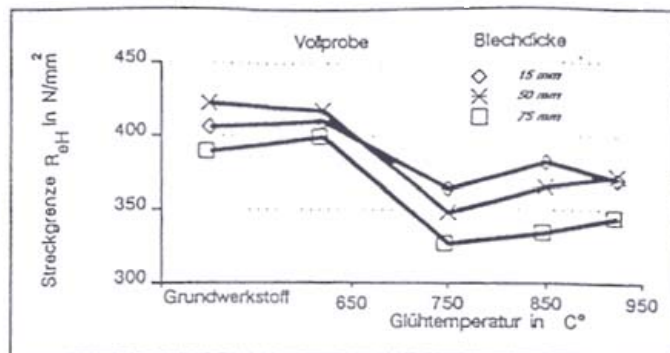


Bild 10. Einfluß der Glühtemperatur auf die Streckgrenze (Haltezeit bei dieser Ofenglühung zur Simulation von Wärmekeilen 1 min/mm Blechdicke).

Stahleisenwerkstoffblatts. Je dicker das Blech, desto langsamer liefen die Vorgänge Aufheizen und Abkühlen ab. Infolge der ebenfalls verlangsamten Umwandlungen entstand dabei ein gröberes Ferritgefüge mit abgesenkten Festigkeitseigenschaften. Mit höheren Glühtemperaturen nahm die Streckgrenze zwar wieder zu, blieb jedoch deutlich unter den Ausgangswerten.

5 Schlußbemerkungen

Die Untersuchungen haben gezeigt, daß sich thermomechanisch gewalzte Bleche auf Basis der Stahlorte TStE 355 problemlos flammrichten lassen. Flammrichten mit oberflächlichen Wärmestrichen kann bis zu 900°C ohne maßgebliche Beeinträchtigung der mechanischen Eigenschaften erfolgen. Der erfahrene Flammrichter kann diese Vorgabe durch Kontrolle der Glühfarbe unmittelbar nach Wegnahme des Brenners erfüllen.

Beim Flammrichten mit durchgreifender Erwärmung sollte die Temperatur bei kurzer Haltezeit auf 700°C, bei längerer Haltezeit auf 600°C beschränkt werden. Bei höherer Temperatur muß mit einem Abfall der Streckgrenze gerechnet werden, die Anforderungen des Stahleisenwerkstoffblatts können dabei örtlich unterschritten werden. Aufheizen und Abkühlen erfolgen hier vergleichsweise langsam, so daß zur Kontrolle der Flammrichttemperatur geeignete Kontaktthermometer oder Thermokreiden verwendet werden können.

Innerhalb dieser Verfahrensgrenzen kann man davon ausgehen, daß die mechanischen Werkstoffeigenschaften keine Beeinträchtigung erfahren.

Schrifttum

- [1] Weirich, G.: Wie richte ich Bleche, Röhre und Profile mit der Flamme? Der Praktiker 32 (1980), H. 2, S. 61/63.
- [2] Pfeiffer, R.: Richten und Umformen mit der Flamme. Die Schweißtechnische Praxis, Bd. 10. DVS-Verlag, Düsseldorf 1989.
- [3] Sreißelberger, A., u. a.: Verfahren der TH-Behandlung mit beschleunigter Kühlung zur Herstellung von Grobblech aus Baustählen. Stahl u. Eisen 111 (1991), H. 5, S. 65/73.
- [4] Hubo, R., u. F. Hanus: Verarbeitungseigenschaften thermomechanisch gewalzter Grobbleche, HANSA 129 (1992), H. 8, S. 77/78.