

(19)



Europäisches Patentamt  
European Patent Office  
Office européen des brevets



(11) Veröffentlichungsnummer: **0 481 575 A2**

(12)

## EUROPÄISCHE PATENTANMELDUNG

(21) Anmeldenummer: **91250279.6**

(51) Int. Cl.<sup>5</sup>: **C21D 8/02**

(22) Anmeldetag: **11.10.91**

(30) Priorität: **19.10.90 DE 4033700**

(43) Veröffentlichungstag der Anmeldung:  
**22.04.92 Patentblatt 92/17**

(84) Benannte Vertragsstaaten:  
**AT BE DE ES FR GB IT LU NL SE**

(71) Anmelder: **Stahlwerke Peine-Salzgitter AG**  
**Gerhardstrasse 10**  
**W-3150 Peine(DE)**

(72) Erfinder: **Freier, Klaus, Dr.**  
**Marienburgweg 65**

**W-3340 Wolfenbüttel(DE)**

Erfinder: **Seifert, Klaus, Dr.**

**H. v. Fallerslebenstrasse 23a**

**W-3340 Wolfenbüttel(DE)**

Erfinder: **Zimnik, Walter, Dr.**

**Salzdahlumer Strasse 60**

**W-3340 Wolfenbüttel(DE)**

(74) Vertreter: **Kaiser, Henning**  
**c/o Preussag AG, Patente und Lizenzen,**  
**Postfach 15 12 27 Kurfürstendamm 32**  
**W-1000 Berlin 15(DE)**

(54) **Verfahren zur Herstellung eines hochfesten schweissgeeigneten Bleches und dessen Verwendung.**

(57) Es wird ein Verfahren zur Herstellung eines dickwandigen Bleches sowie dessen Verwendung und Anwendung, aus Stahl mit einer Streckgrenze von 420-500, insbesondere jedoch höher als 500 N/mm<sup>2</sup>, der ferritisch-perlitische Gefüge, hohe Zähigkeit und gute Schweißbarkeit aufweist, vorgeschlagen.

Eine Stranggußbramme mit einer Zusammensetzung in Gewichts-%

0,02 bis 0,10 % C

0,05 bis 0,50 % Si

1,00 bis 2,00 % Mn

max. 0,02 % P

max. 0,01 % S

0,015 bis 0,08 % Al

max. 0,01 % N

0,30 bis 1,60 % Ni

0,20 bis 1,60 % Cu

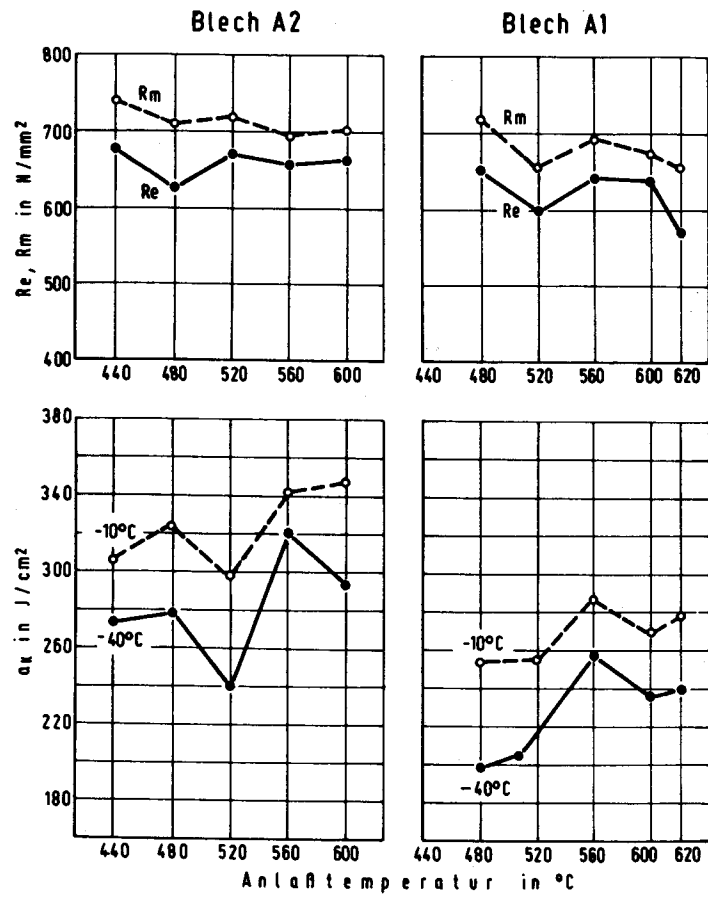
0,04 bis 0,10 % V

0,01 bis 0,05 % Nb

0,01 bis 0,04 % Ti

Rest Eisen und unvermeidliche Verunreinigungen, wird auf Temperaturen größer 1200 °C aufgeheizt, an Luft auf weniger als 1000 °C Oberflächentemperatur abgekühlt, dann thermomechanisch ohne Walzpause mit einer Walzendtemperatur von ca. 750 bis 650 °C gewalzt, das Blech anschließend an ruhender Luft oder im Stapel auf unter 200 °C abgekühlt und schließlich nach einer Erwärmung auf etwa 420 bis 610 °C wiederum an Luft auf Raumtemperatur abgekühlt.

EP 0 481 575 A2



Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Herstellung eines hochfesten schweißgeeigneten Bleches und dessen Verwendung gemäß den Oberbegriffen der Ansprüche 1 und 4.

Derartige Stähle werden für Schweißkonstruktionen aller Art eingesetzt.

Bekannte Baustähle der Güten StE 460 - 500 mit einer Zusammensetzung gemäß der DE-Norm DIN 17 102 weisen (in Gewichts-%) max. 0,21 % C; 0,10 bis 0,60 % Si; 1,00 bis 1,70 % Mn; max. 0,035 % P; max. 0,030 % S; max. 0,3 % Cr; max. 0,70 % Cu; max. 0,10 % Mo; max. 1,00 % Ni; max. 0,22 % Nb, Ti, V in Kombination, Rest Eisen, auf. Damit werden gut schweißgeeignete Stähle mit ferritisch-perlitischem Gefüge und einer Streckgrenze bis 500 N/mm<sup>2</sup> durch Normalglühen erzielt.

Thermomechanisch gewalzte, gut schweißbare Stähle, die ebenfalls ferritisch-perlitisches Gefüge und bis 500 N/mm<sup>2</sup> Streckgrenze, beispielsweise die Güte StE 480.7 TM, aufweisen können, haben gemäß der DE-Norm DIN 17172 folgende Zusammensetzung (in Gew.-%): 0,04-0,16 % C; 0,55 % Si; 1,10 bis 1,90 % Mn; max. 0,035 % P; max. 0,025 % S; max. 0,20 % V und Nb, Rest Eisen.

Dickwandige Bleche aus bekannten Stählen mit Streckgrenzenwerten über 500 N/mm<sup>2</sup> erhalten ihre guten Festigkeitseigenschaften außer aus den Legierungszusätzen, insbesondere von Cr, Mo und höheren Ni-Zugaben, durch eine beschleunigte Abkühlung mit Wasser direkt an der Walzhitze (Stahlrohrhandbuch, 10. Auflage, S. 79-80, Tafeln XLVII, XLVIII).

Außerdem ist bei ähnlichen Güten bekannt, diese Stähle vor der beschleunigten Abkühlung mit Wasser einer Austenitisierungsbehandlung zu unterziehen. Derartige Stähle haben im Lieferzustand ein Gefüge aus Bainit oder angelassenem Martensit.

für die beschleunigte Abkühlung des Stahlbleches sind aufwendige besondere Wasserkühlanlagen mit entsprechendem Energieverbrauch erforderlich, um das Material gezielt abzukühlen.

Von daher liegt der Erfindung das Problem zugrunde, ein Verfahren zur Herstellung eines dickwandigen Bleches aus hochfestem schweißgeeigneten Stahl vorzuschlagen, das es ermöglicht, die Vorteile eines ferritisch-perlitischen Gefüges des Stahles zu nutzen und bei dem auf eine Wasserabkühlung verzichtet werden kann sowie eine geeignete vorteilhafte Verwendung anzugeben.

Dieses Problem wird erfindungsgemäß durch die Ansprüche 1 und 4 gelöst. Vorteilhafte Weiterbildungen der Erfindung sind in den Unteransprüchen erfaßt.

Ein durch diese besondere thermomechanische Behandlung und Aushärtung bei Temperaturen unterhalb des Umwandlungspunktes A1 hergestellter Stahl weist Streckgrenzen von größer 500 N/mm<sup>2</sup> und gleichzeitig ferritisch-perlitisches Gefüge auf. Dieses feine Gefüge verleiht dem Stahl unerwartet hohe Zähigkeitswerte. In umfangreichen Versuchen wurde überraschend festgestellt, daß es möglich ist, derartige Baustähle ohne beschleunigte Abkühlung mit Wasser durch eine entsprechende Aushärtung auf Streckgrenzenwerte bis etwa 750 N/mm<sup>2</sup> anzuheben.

Besonders wichtig ist dabei, daß die gute Schweißbeignung der Baustähle erhalten bleibt. Es hat sich völlig überraschend herausgestellt, daß in dem so erzeugten ferritisch-perlitischen Gefüge der Stahl nach dem Schweißen im Bereich der Wärmeeinflußzone nicht die gewohnte Aufhärtung und nur sehr geringen Härteabfall zeigt. Dies ist offenbar, neben der erfindungsgemäßen Legierungsauswahl, auf die Abkühlung der Bramme vor Beginn des Walzens und die Anlaßbehandlung als kombinierte Maßnahme zurückzuführen.

Die Erwärmung der Bramme kann sowohl von Raumtemperatur als auch nach Warmeinsatz auf die für den Fachmann bekannte metallurgisch günstige Temperatur von größer 1200 °C erfolgen.

Besonders wichtig ist es erfindungsgemäß, den C-Gehalt bewußt niedriger anzusetzen als die gewünschten Festigkeitswerte nach bisher üblicher Bemessung erfordern. Ebenso wird die Verwendung von Mo vermieden und eine Verringerung von Nb so weit wie möglich angestrebt, um die Zähigkeitseigenschaften des erfindungsgemäß hergestellten Bleches zu verbessern. Als Ersatz werden 0,06 - 0,10 % V zugegeben.

Ti wird auf 0,04 % begrenzt, um die Feinkörnigkeit des Gefüges in der Wärmeeinflußzone geschweißter Bauteilkanten positiv zu beeinflussen.

Andererseits wird der Cu-Gehalt bewußt über bisher übliche Zugabemengen getrieben, um die festigkeitssteigernde Wirkung von Cu durch eine Anlaßbehandlung zu aktivieren. Damit wird die potentielle Festigkeit des erfindungsgemäß hergestellten Stahles soweit wie möglich ausgenutzt.

Zur Steigerung der Zähigkeit werden geringe Mengen an Ni und Mn zugegeben.

Die synergistische Wirkung der eingesetzten Legierungselemente und des angewandten Herstellverfahrens ermöglicht die insgesamt überraschenden Ergebnisse.

In Fortführung des Erfindungsgedankens kann das Herstellverfahren auch für Stähle mit Streckgrenzen von etwa 420-500 N/mm<sup>2</sup> angewendet werden. Die Legierungszusätze können dabei entsprechend stark verringert werden. Zwar sind schweißbare Baustähle dieser Festigkeitsbelasse bekannt, jedoch erspart das erfindungsgemäße Verfahren die Anwendung von teuren Glüh- oder Abkühlbehandlungen.

Die bevorzugte Anlaßtemperatur liegt bei 560-600 °C. In diesem Bereich wird die Wirkung von Cu auf

die Festigkeitswerte des Stahles optimiert. Außerdem werden in diesem Temperaturbereich üblicherweise Bauteile nach dem Schweißen spannungsarm geglüht, so daß das Spannungsarmglühen den erfindungsgemäßen metallurgischen Effekt nicht ungünstig beeinflussen kann.

Versuche haben gezeigt, daß der Härtekurvenverlauf vom Grundwerkstoff über die wärmebeeinflusste Zone bis zur Schweißnahtmitte statt der üblichen Schwankungen von bis zu 100 % auf weniger als 20 % reduziert wird, wenn die erfindungsgemäß hergestellten Bleche durch Unter-Pulver-Schweißen oder sonstiges Lichtbogenschweißen miteinander verbunden werden. Auch nach dem Spannungsarmglühen ändern sich die Werte kaum.

Die erfindungsgemäß hergestellten Bleche, insbesondere mit Dicken von größer 15 mm bis 50 mm und höher, können vorteilhaft für Offshore-Bauten wie Ölplattformen, Rohre und ähnliches eingesetzt werden, da die hohe Kerbschlagzähigkeit bei gleichzeitiger hoher Streckgrenze und relativ homogenem Härteverlauf über die Schweißzone von Bauteilen den extremen Anforderungen an die Schwellfestigkeit der Stähle für derartige Bauten genügen. Mit besonderer Wirtschaftlichkeit können die Bleche auch im Nutzfahrzeugbau wie z. B. bei Autokranen oder auch im Bergbau für Abstützzwecke eingesetzt werden.

Anhand von Ausführungsbeispielen soll die Erfindung näher erläutert werden.

#### Beispiel 1

Zwei im Strang vergossene, 210 mm dicke Brammen aus Stahl der Schmelze A (Tabelle 1) wurden nach Abkühlung auf Raumtemperatur auf 1250 °C im Stoßofen erwärmt und nach einer Haltezeit von 220 min. dann an ruhender Luft abgekühlt, bis die Oberflächentemperatur unter 1000 °C lag. Mit Ahstichtemperaturen (Tabelle 2) von 930 °C bzw. 920 °C wurden sie im Vorgerüst VG auf 67 mm (Blech A 1) bzw. 57 mm (Blech A 2) Dicke heruntergewalzt. Im Fertigerüst FG bei einer Anstichtemperatur von 815 °C und einer Endwalztemperatur von 685 °C, erhielt das Blech A 1 seine Enddicke von 40 mm. Analog wurde bei einer Anstichtemperatur von 820 °C das Blech A 2 auf die Enddicke von 25 mm gewalzt. Aus der Analyse (Tabelle 1) läßt sich ein Kohlenstoffäquivalent (nach IIW-Formel) von  $C_E = 0,442$  errechnen, was für einen Stahl dieser Streckgrenzenklasse sehr niedrig ist.

Von jedem der 2 Bleche wurde ein Streifen von 500 mm Breite abgetrennt, in jeweils 5 Abschnitte aufgeteilt und in elektrisch beheizten Laborglühöfen im Temperaturbereich zwischen 440 und 620 °C angelassen. Auf die einzelnen Untersuchungen bei den beiden Blechdicken soll nachfolgend eingegangen werden.

#### 1.1 Untersuchungen am Blech A 1

Das Blech A 1 wurde in 5 Abschnitte Q, R, S, T, U mit den Abmessungen 500 x 400 mm aufgeteilt und bei 5 Anlaßtemperaturen von 480 bis 620 °C geglüht. Alle Anlaßbehandlungen erforderten eine Glühdauer von 1,5 h.

Bei dieser Blechdicke von 40 mm wurden die Rundzug- und Kerbschlagbiegeproben oberflächennah (bei 1/4 der Blechdicke) entnommen:

- Rundzugproben oberflächennah, quer zur Walzrichtung
- ISO-V-Proben oberflächennah, quer zur Walzrichtung

Die Ergebnisse aller Zugversuche sind aus Tabelle 3 ersichtlich. Eine Übersicht über den Verlauf der Streckgrenze ( $R_e$ ) und Zugfestigkeit ( $R_m$ ) in Abhängigkeit von der Anlaßtemperatur vermittelt Tabelle 4 im oberen Teil.

Bis zu Anlaßtemperaturen von 600 °C sind etwa gleiche Streckgrenzen- und Zugfestigkeitswerte festzustellen. Bemerkenswert ist, daß im genannten Anlaßtemperaturbereich bis 600 °C die sehr hohen Streckgrenzen mit Werten zwischen 600 und 650 N/mm<sup>2</sup> für die Querproben immer noch mit guten Bruchdehnungswerten über 24 % und sehr guten Einschnürungswerten über 70 % verbunden sind.

Ein starker Abfall der Streckgrenzenwerte und ein geringerer Abfall der Zugfestigkeit findet sich dann für die Anlaßtemperatur 620 °C. Hier fällt die Streckgrenze unter den Zielwert von 500 N/mm<sup>2</sup>. Dies ist nicht mit einem Anstieg von Bruchdehnung und Einschnürung verbunden, vielmehr vermindern sich bei einer Anlaßtemperatur von 620 °C auch diese Werte.

Die Kerbschlagzähigkeit-Temperatur-Verläufe (Mittelwerte mehrerer Proben) sind in Tabelle 4, unterer Bereich, in Abhängigkeit von der Anlaßtemperatur dargestellt. Für die übliche Probenlage in 1/4 der Blechdicke, d. h. bei 40 mm-Blechen aus der Nähe der Oberfläche, finden sich für die Querproben selbst bei -40 °C noch Werte über 200 J/cm<sup>2</sup>. Dabei liegen die bei 480 °C angelassenen Proben an der unteren Grenze eines Streubandes, die bei 620 °C geglühten Proben erwartungsgemäß an der oberen Grenze.

Es wurden Schlißproben (nicht dargestellt) über die gesamte Blechdicke entnommen. Sie wiesen

übereinstimmend für alle Wärmebehandlungszustände das Auftreten von Kornzeilen mit größeren Körnern auf. Während der größte Teil des Gefüges aus überaus feinkörnigen Kristalliten der Größe 12 bis 13 aufgebaut war, traten vereinzelt Zeilen mit der Korngröße 7 bis 8 auf. Das Gefüge bestand weitgehend aus Acikularferrit und etwa Perlit.

5

## 1.2 Untersuchungen an Blech A 2

Die 500 mm langen Abschnitte wurden mit V, W, X, Y und Z bezeichnet und bei Temperaturen von 440 bis 600 °C angelassen. Die Glühzeit betrug 1 h. Im einzelnen wurden aus jedem Abschnitt mehrere Proben entnommen:

10

- Rundzugproben quer zur Walzrichtung
- Rundzugproben parallel zur Walzrichtung
- ISO-V-Proben quer zur Walzrichtung

Alle Proben wiesen Streckgrenzenwerte auf, die weitgehend von der Anlaßtemperatur unabhängig waren und sehr hoch lagen (Tabelle 3): für die Querproben zwischen 625 N/mm<sup>2</sup> und 687 N/mm<sup>2</sup>, für die vergleichsweise entnommenen Längsproben (nicht dargestellt) zwischen 609 und 646 N/mm<sup>2</sup>. Alle Zugfestigkeiten der Querproben ergaben Werte um 700 N/mm<sup>2</sup>.

15

Vom Blech A 2 wurde später ein zusätzlicher Streifen abgeschnitten und im walzharten Zustand (ohne Anlassen) geprüft. Das Ergebnis der Zugversuche ist ebenfalls in Tabelle 3 eingetragen. Demnach wird an den Querproben bereits in diesen Zustand die erwünschte Mindeststreckgrenze übertroffen (an der Längsprobe wurden - nicht eingezeichnet - 484 N/mm<sup>2</sup> gemessen). Mit 702 N/mm<sup>2</sup> liegt die Zugfestigkeit auf gleicher Höhe wie nach den Anlaßwärmebehandlungen.

20

Da sich die Längsproben als unkritisch erwiesen hatten, wurden nur Querproben geprüft. Sie stammten aus dem oberen Teil der Blechdicke und erfaßten den Kernbereich kaum. Die a<sub>K</sub>-T-Verläufe sind aus Tabelle 4 ersichtlich, die Werte aus Tabelle 3 ablesbar.

25

Trotz der hohen Festigkeitswerte ergaben auch die Kerbschlagbiegeproben überaus hohe Kerbschlagzähigkeiten, die bei der Prüftemperatur von -40 °C noch zwischen 239 und 321 J/cm<sup>2</sup> lagen. Auch bei -80 °C wurden noch mindestens 130 J/cm<sup>2</sup> gemessen.

Am unteren Bereich der Streubreite befanden sich die bei 520 °C angelassenen Proben, die Höchstwerte wurden durch die bei 560 °C und bei 600 °C angelassenen Proben erreicht. Die walzhart belassenen Proben wurden nicht in Tabelle 4 eingezeichnet.

30

Aus den unverformten Köpfen der Rundzugproben wurden Längs- und Querschliffe angefertigt. Unabhängig von der angewandten Ahlaßtemperatur fand sich ein zeiliges Gefüge aus Ferrit und etwas Perlit. Der Kornaufbau war äußerst feinkörnig mit Korngrößen 13 bis 14 in Oberflächennähe und selbst im Kern noch im 10 bis 13.

35

### Beispiel 2

Aus einer Stahl-Schmelze B (Tabelle 5) wurde in gleicher Weise wie bei Beispiel 1 erfindungsgemäß ein Blech B 1 von 40 mm Dicke erzeugt. Die Streckgrenze betrug 736 N/mm<sup>2</sup>, die Zugfestigkeit 882 N/mm<sup>2</sup> bei einer Bruchdehnung von 20,2 %. Die Schmelze B wies zufällige Spuren von Cr und Mo auf.

40

Ein Vergleichsblech C 1 von 20 mm Dicke aus der Vergleichsschmelze C (Tabelle 5) mit 0,08 % C und höheren Nb-Werten von 0,07 % sowie einem Mo-Gehalt von 0,32 % wies eine Streckgrenze von 735 N/mm<sup>2</sup> und eine Zugfestigkeit von 857 N/mm<sup>2</sup> bei Raumtemperatur auf. Obwohl das nicht erfindungsgemäß hergestellte Blech C 1 nur die halbe Dicke des Bleches B 1 aufweist, liegen dessen Werte für die Kerbschlagarbeit (Tabelle 6) an der ISO-V-Querprobe um etwa 20 bis 40 % niedriger als beim Blech B 1. Dies zeigt deutlich die Wirkung der Erfindung.

45

### Beispiel 3

50

Aus dem erfindungsgemäß erzeugten Blech A 2 mit 25 mm Dicke wurden nach erfindungsgemäßer Anlaßbehandlung im Walzwerk Probenabschnitte abgelängt und diese durch Lichtbogenhandschweißung und UP-Tandem-Schweißung nach einer V-Nahtvorbereitung miteinander verschweißt. Die Proben wurden direkt nach Abkühlung quer zur Schweißnaht einer Härteprüfung nach Vickers unterzogen, ohne zuvor spannungsarm geglüht zu werden. Tabelle 7 zeigt die Härtewerte an Probe A 21. Auf der Ordinate sind die gemessenen Härtewerte HV 10 aufgetragen für die Meßzonen Grundwerkstoff (GW), Wärmeeinflußzone (WEZ) und Schweißgut. Die obere Kurve in der Tabelle zeigt den Härteverlauf an der Nahtoberseite, die untere Kurve den Härteverlauf an der Nahtwurzel. Die Schweißnaht wurde mit Lichtbogenhandschweißung

55

erzeugt.

Die Tabellen 8 und 10 zeigen in analoger Weise den Härteverlauf über die Proben A 22, A 23, die jedoch durch UP-Tandemschweißen erzeugt wurden.

Typisch für die erfindungsgemäß erzeugten Bleche sind unerwartet geringe Härteanstiege und Härteabfälle in der Wärmeeinflußzone. Die Aufhärtung betrug maximal 20 % gegenüber der Härte im Grundwerkstoff (Probe A 23, Nahtwurzel).

Eine zum Vergleich herangezogene Schweißprobe aus Blechen D1, D2 von 28 mm Dicke (Tabelle 9) mit X-Naht-Vorbereitung aus einem wasservergüteten Stahl des Typs HY80 (Stahlrohrhandbuch, 10. Auflage, S. 79/80), die im UP-Tandem-Verfahren verschweißt worden ist, zeigt sowohl an der Nahtoberseite (strichliniert) als auch an der Nahtunterseite (durchgezogene Linie) den bekannten Härteanstieg in der Wärmeeinflußzone (WEZ) von 50-90 % gegenüber dem Grundwerkstoff (GW).

Tabelle 11 zeigt schließlich für die drei Proben A 21, A 22, A 23 die gemessene Kerbschlagarbeit im Schweißbereich bei den Prüftemperaturen +20 °C, -10 °C, -40 °C.

Erwartungsgemäß sind die Werte für die beiden Proben A 22, A 23 im Übergangsbereich (Ü) Schweiße/Wärmeeinflußzone bei niedrigster Prüftemperatur ungünstiger als in Schweißnahtmitte (MS), jedoch besser als nach dem Stand der Technik zu erwarten war.

Bei der Probe A 21, die schon in Tabelle 7 die geringsten Schwankungen im Härteverlauf zeigte, liegt der analoge Meßwert im Übergangsbereich sogar besser als die Vergleichswerte aus dem Schweißgut.

Insgesamt sind die erzielten Meßwerte jedoch erheblich höher als nach der Schmelzanalyse des Stahles zu erwarten war.

25

30

35

40

45

50

55

| Legierungsgehalt in Gewichts-% |      |      |       |       |        |       |      |      |      |      | C <sub>E</sub> |
|--------------------------------|------|------|-------|-------|--------|-------|------|------|------|------|----------------|
| C                              | Si   | Mn   | P     | S     | N      | Al    | Cu   | Ni   | V    | Nb   | Ti             |
| 0,06                           | 0,33 | 1,55 | 0,019 | 0,003 | 0,0054 | 0,033 | 0,97 | 0,68 | 0,07 | 0,03 | 0,020          |
|                                |      |      |       |       |        |       |      |      |      |      | 0,442          |

Tabelle 1: Schmelzanalyse A

| Blech | Anstichtemperatur °C | VG | Vorblechdicke mm | Anstichtemperatur °C | FG | Endwalztemperatur °C | Enddicke mm |
|-------|----------------------|----|------------------|----------------------|----|----------------------|-------------|
| A 1   | 930                  |    | 67               | 815                  |    | 685                  | 40          |
| A 2   | 920                  |    | 57               | 820                  |    | 685                  | 25          |

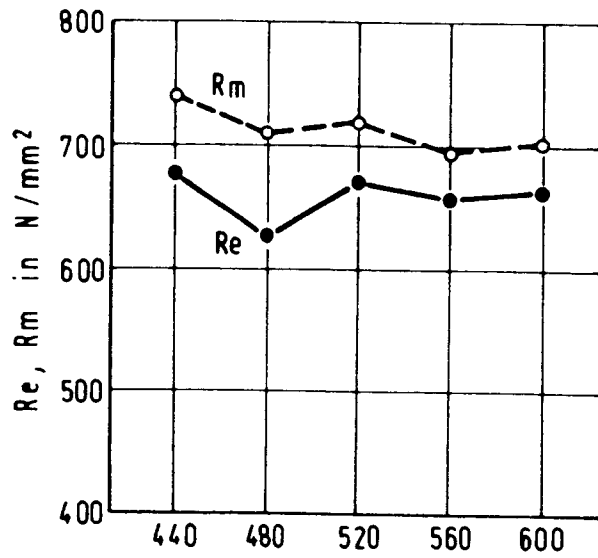
Tabelle 2: Walzdaten

| Prüfwert                        | Blech A 1<br>Anlaßtemperatur in °C |      |      |      |      | Blech A 2<br>Anlaßtemperatur in °C |      |      |      |      |
|---------------------------------|------------------------------------|------|------|------|------|------------------------------------|------|------|------|------|
|                                 | Q                                  | R    | S    | T    | U    | V                                  | W    | X    | Y    | Z    |
|                                 | 480                                | 520  | 560  | 600  | 620  | ohne                               | 440  | 480  | 520  | 600  |
| <u>Zugversuch</u>               |                                    |      |      |      |      |                                    |      |      |      |      |
| Streckgrenze N/mm <sup>2</sup>  | 650                                | 597  | 642  | 637  | 569  | 525                                | 687  | 625  | 671  | 662  |
| Zugfestigkeit N/mm <sup>2</sup> | 713                                | 651  | 683  | 663  | 634  | 702                                | 739  | 710  | 718  | 699  |
| Bruchdehnung %                  | 24,0                               | 26,4 | 27,6 | 26,6 | 24,4 | 25,4                               | 22,8 | 23,1 | 24,1 | 25,6 |
| Einschnürung %                  | 73,0                               | 76,0 | 74,0 | 75,0 | 75,0 | 65,2                               | 68,7 | 65,8 | 69,2 | 70,9 |
| <u>Kerbschlagversuch</u>        |                                    |      |      |      |      |                                    |      |      |      |      |
| Prüftemperatur                  |                                    |      |      |      |      |                                    |      |      |      |      |
| +20°C                           | 256                                | 256  | 287  | 271  | 297  |                                    | 277  | 293  | 248  | 331  |
| -10°C                           | 254                                | 255  | 287  | 269  | 278  |                                    | 317  | 332  | 297  | 354  |
| -40°C                           | 198                                | 205  | 257  | 236  | 239  |                                    | 273  | 278  | 239  | 321  |
| -60°C                           | 133                                | 85   | 181  | 154  | 161  |                                    | 243  | 234  | 183  | 269  |
| -80°C                           | 34                                 | 28   | 46   | 43   | 61   |                                    | 223  | 191  | 138  | 239  |

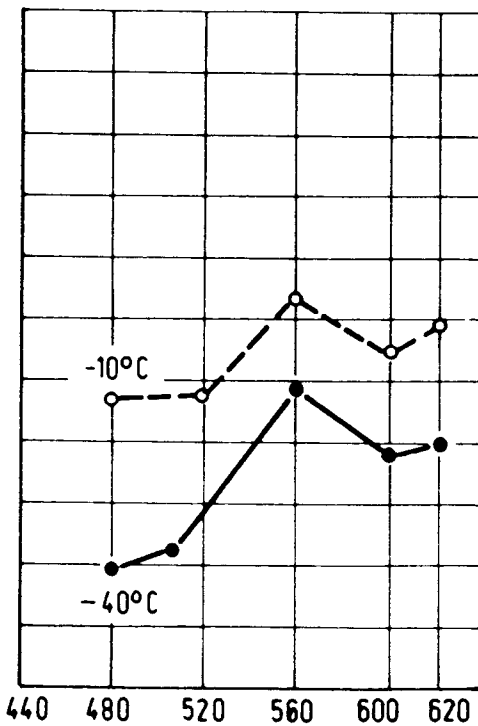
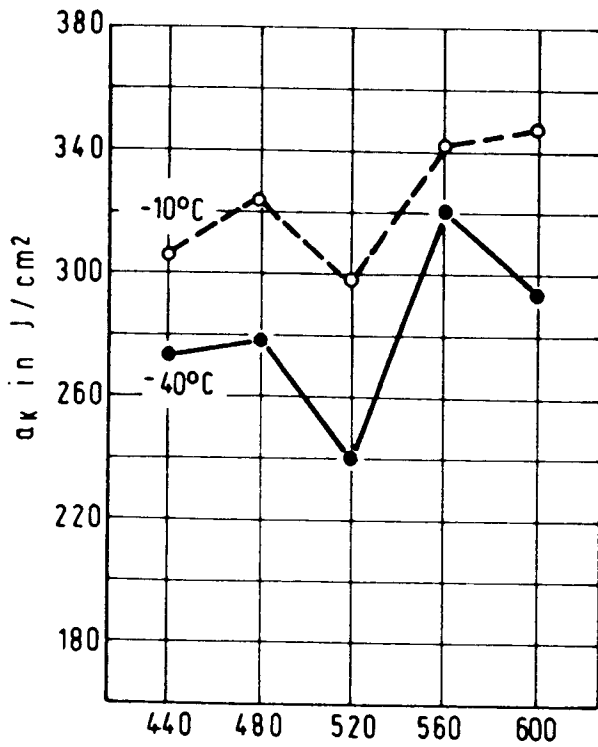
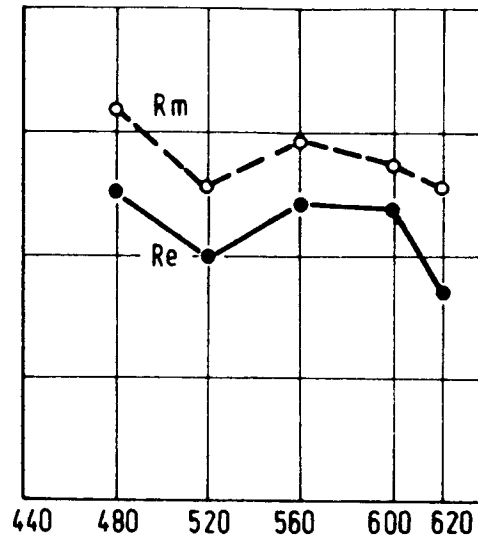
Tabelle 3: Wertetabelle aus Zugversuchen, Kerbschlagbiegeversuchen an Querproben



Blech A2



Blech A1



Anlaßtemperatur in °C

Tabelle 4: Graphische Darstellung der Ergebnisse (Querproben)

| Legierungsgehalt in Gewichts-% |       |      |      |      |       |       |      |      |      |      |      |      |      |
|--------------------------------|-------|------|------|------|-------|-------|------|------|------|------|------|------|------|
| Schmelze                       | Blech | C    | Si   | Mn   | P     | S     | Cu   | Ni   | Cr   | Mo   | Nb   | V    | Ti   |
| B                              | B1    | 0,06 | 0,43 | 1,82 | 0,019 | 0,001 | 1,57 | 1,50 | 0,04 | 0,03 | 0,04 | 0,08 | 0,02 |
| C                              | C1    | 0,08 | 0,37 | 1,69 | 0,020 | 0,002 | 1,29 | 1,03 | 0,03 | 0,32 | 0,07 | -    | 0,04 |

Tabelle 5: Schmelzanalysen B, C

| Prüf -Temperatur | -20°C | -40°C | -60°C |
|------------------|-------|-------|-------|
| Blech B1         | 73    | 63    | 54    |
| Blech C1         | 59    | 35    | 31    |

Tabelle 6: Vergleich Kerbschlagarbeit in J an ISO-V Querprobe

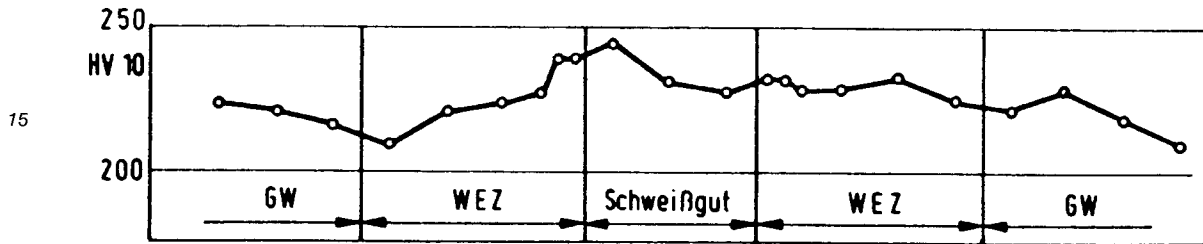
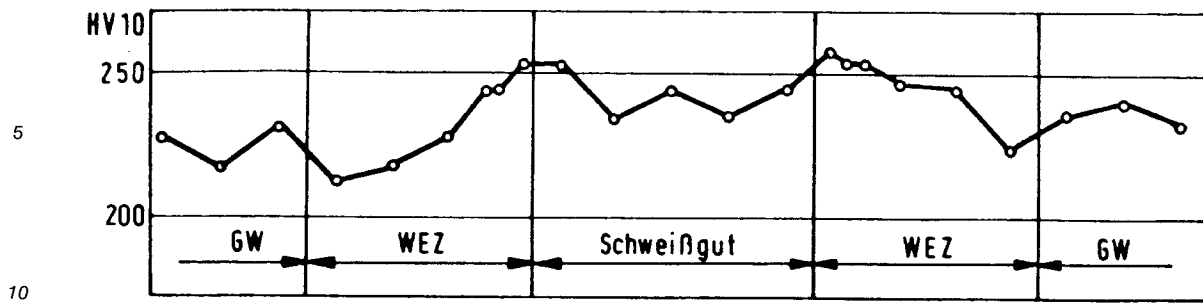


Tabelle 7: Probe A21

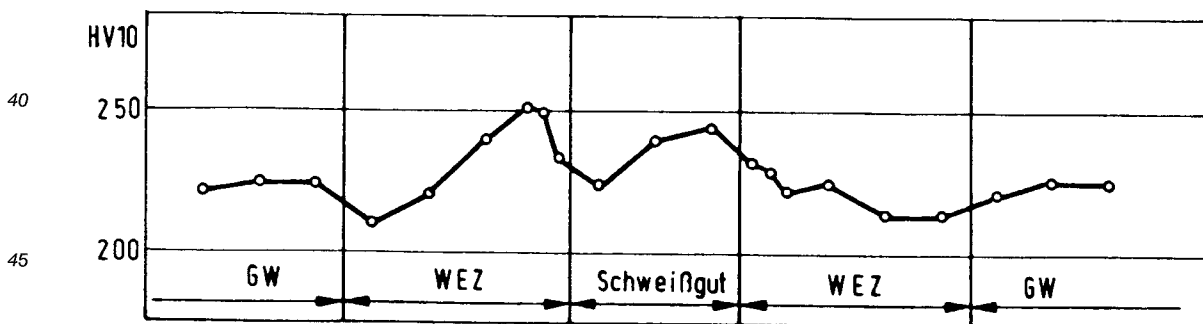
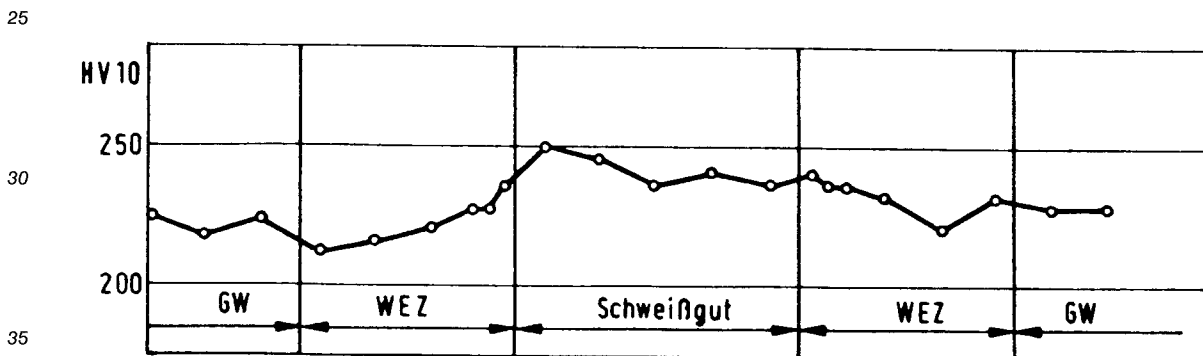


Tabelle 8: Probe A22

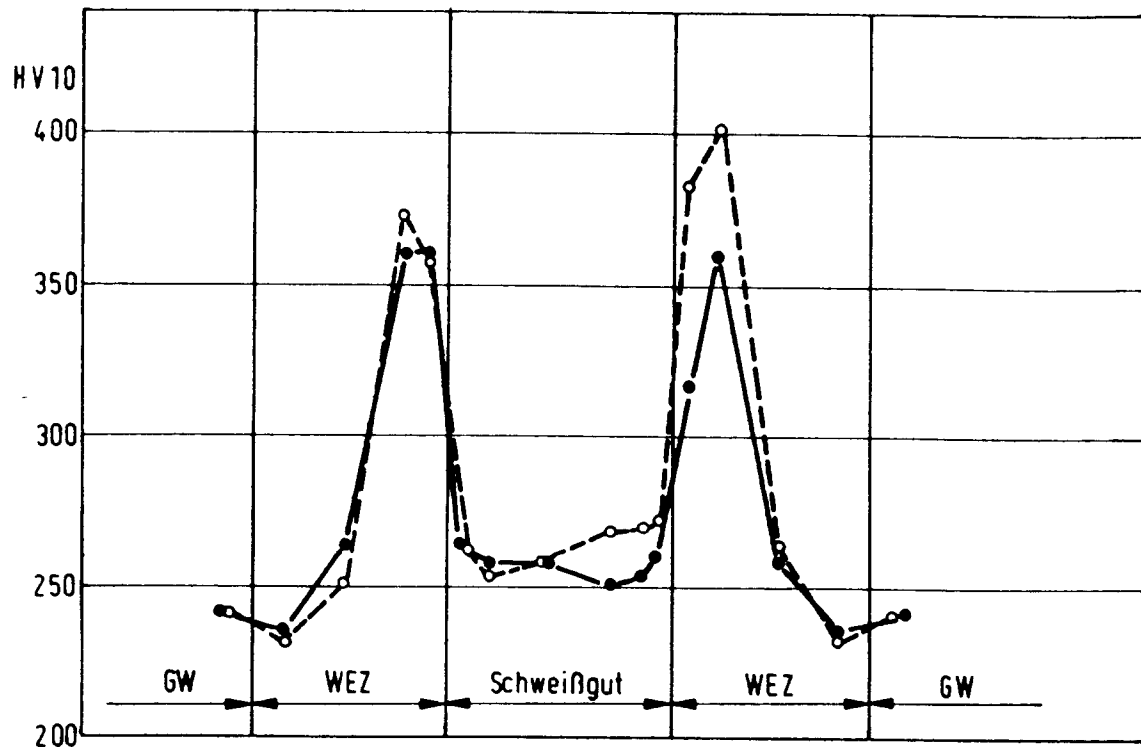


Tabelle 9: Proben 01, D2.

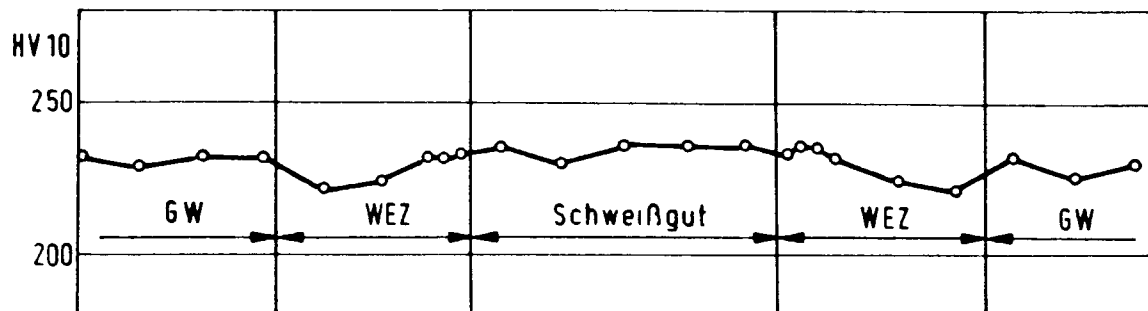


Tabelle 10: Probe A23

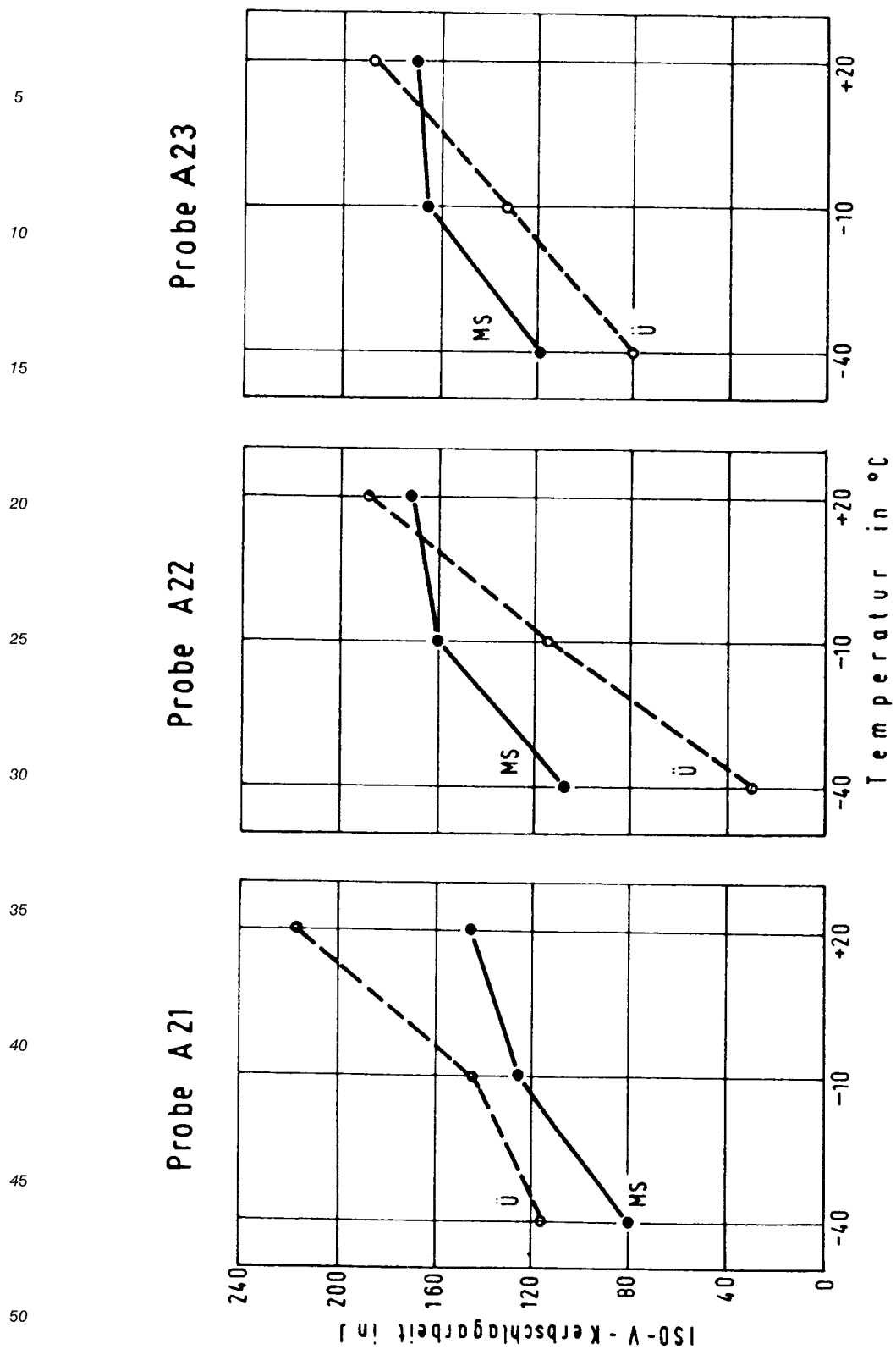


Tabelle 11: Proben A21, 22, 23 - Kerbschlagarbeit ISO-V-Querprobe.

## 55 Patentansprüche

1. Verfahren zur Herstellung eines dickwandigen Bleches aus Stahl mit ferritisch-perlitischem Gefüge, einer Streckgrenze größer 500 N/mm<sup>2</sup> bei gleichzeitig hoher Zähigkeit und guter Schweißbeignung aus

einer im Strang vergossenen Bramme der Zusammensetzung in Gew. %

0,04 bis 0,10 % C  
 0,25 bis 0,50 % Si  
 1,40 bis 2,00 % Mn  
 max. 0,02 % P  
 max. 0,01 % S  
 0,015 bis 0,08 % Al  
 max. 0,01 % N  
 0,60 bis 1,60 % Ni  
 0,60 bis 1,60 % Cu  
 0,06 bis 0,10 % V  
 0,03 bis 0,05 % Nb  
 0,01 bis 0,04 % Ti

Rest Eisen und unvermeidliche Verunreinigungen, wobei die Bramme auf Temperaturen größer 1200 °C aufgeheizt, an Luft auf weniger als 1000 °C Oberflächentemperatur abgekühlt, dann thermomechanisch ohne Walzpause mit einer Walzendtemperatur von ca. 750 bis 650 °C gewalzt, das Blech anschließend an ruhender Luft oder im Stapel auf unter 200 °C abgekühlt und schließlich nach einer Erwärmung auf etwa 420 bis 610 °C wiederum an Luft auf Raumtemperatur abgekühlt wird.

2. Verfahren nach Anspruch 1, gekennzeichnet durch die Verwendung einer Stahlszusammensetzung (in Gewichts-%)

0,02 bis 0,05 % C  
 0,05 bis 0,30 % Si  
 1,00 bis 1,40 % Mn  
 max. 0,02 % P  
 max. 0,01 % S  
 0,015 bis 0,08 % Al  
 max. 0,01 % N  
 0,30 bis 0,60 % Ni  
 0,20 bis 0,60 % Cu  
 0,04 bis 0,06 % V  
 0,01 bis 0,03 % Nb  
 0,01 bis 0,04 % Ti

Rest Eisen und unvermeidliche Verunreinigungen, zur Herstellung eines dickwandigen Bleches mit einer Streckgrenze von 420 bis 500 N/mm<sup>2</sup>.

3. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, gekennzeichnet durch eine Anlaßbehandlung mit einer Erwärmung des Bleches auf 560 bis 600 °C.

4. Verwendung eines nach einem der Ansprüche 1 bis 3 hergestellten Bleches mit einer Dicke von größer 15 mm für hochfeste Schweißkonstruktionen für Offshore- und Nutzfahrzeugbauten.

5. Durch Lichtbogenschweißen hergestelltes Bauteil aus Blechen mit einer Dicke größer 15 mm, bestehend aus Stahl mit ferritisch-perlitischem Gefüge, hoher Zähigkeit und guter Schweißbeignung aus einer im Strang vergossenen Bramme mit der Zusammensetzung (in Gewichts-%)

0,02 bis 0,10 % C  
 0,05 bis 0,50 % Si  
 1,00 bis 2,00 % Mn  
 max. 0,02 % P  
 max. 0,01 % S  
 0,015 bis 0,08 % Al  
 max. 0,01 % N  
 0,30 bis 1,60 % Ni

## EP 0 481 575 A2

0,20 bis 1,60 % Cu  
0,04 bis 0,10 % V  
0,01 bis 0,05 % Nb  
0,01 bis 0,04 % Ti

5

10

Rest Eisen und unvermeidliche Verunreinigungen, wobei die Bramme auf Temperaturen größer 1200 °C aufgeheizt, an Luft auf weniger als 1000 °C Oberflächentemperatur abgekühlt, dann thermomechanisch ohne Walzpause mit einer Walzendtemperatur von ca. 750 bis 650 °C gewalzt, das Blech anschließend an ruhender Luft oder im Stapel auf unter 200 °C abgekühlt und schließlich nach einer Erwärmung auf etwa 420 bis 610 °C wiederum an Luft auf Raumtemperatur abgekühlt wird, wobei das Bauteil einen Härteverlauf quer zur Schweißnaht von Grundwerkstoff zu Grundwerkstoff mit Härtewerten, deren Minima und Maxima um weniger als 20 % voneinander abweichen, aufweist.

15

20

25

30

35

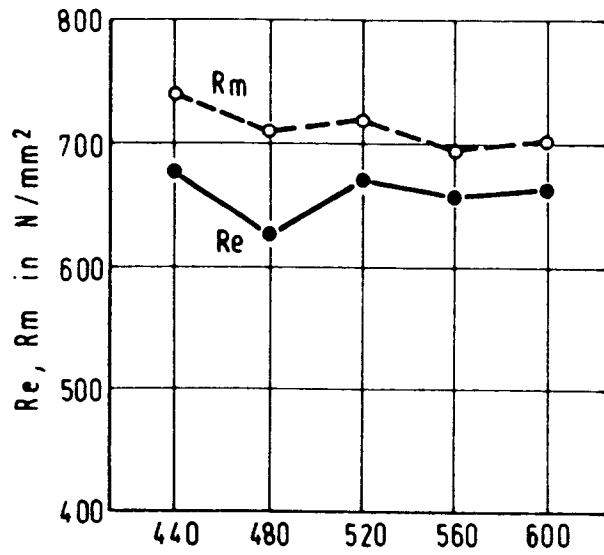
40

45

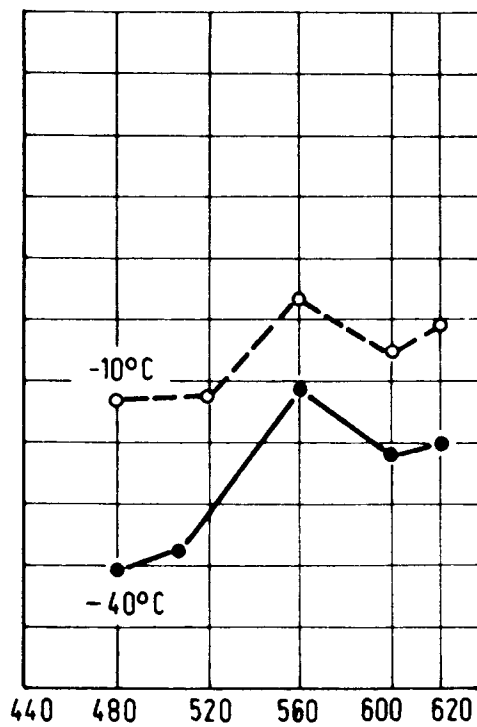
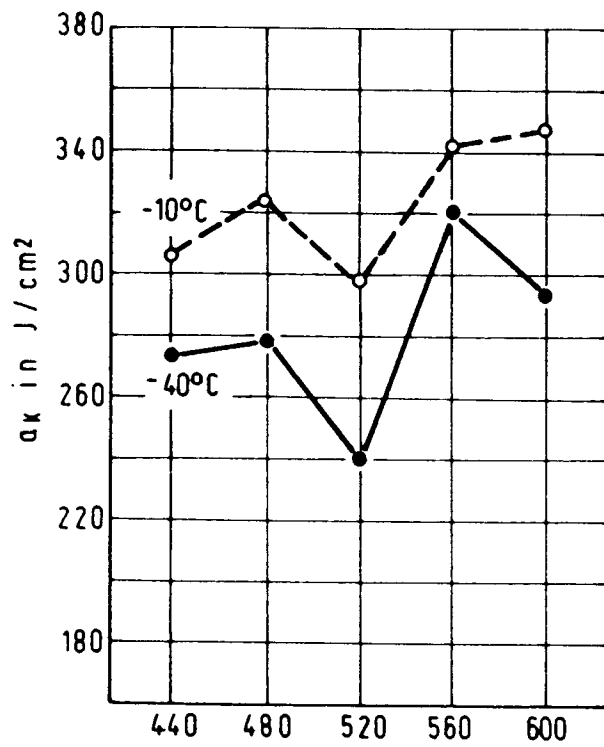
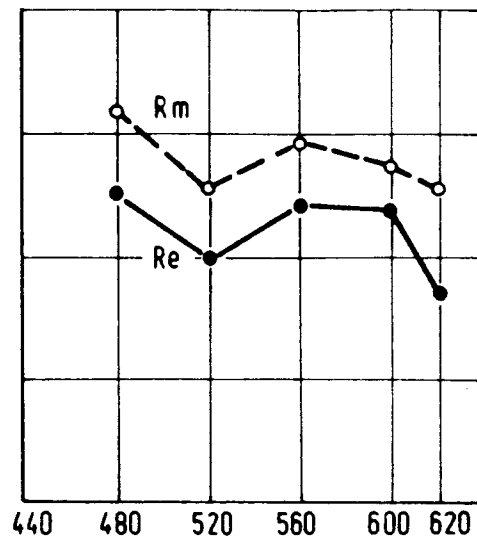
50

55

Blech A2



Blech A1



Anlaßtemperatur in °C