

⑫ **EUROPÄISCHE PATENTANMELDUNG**

②① Anmeldenummer: 89104670.8

⑤① Int. Cl.⁴: **C21D 9/50 , B23K 31/00**

②② Anmeldetag: 16.03.89

③① Priorität: 18.03.88 DE 3809254

④③ Veröffentlichungstag der Anmeldung:
11.10.89 Patentblatt 89/41

⑥④ Benannte Vertragsstaaten:
AT BE CH DE ES FR GB GR IT LI LU NL SE

⑦① Anmelder: Hoffmann, Klaus, Dr. Dipl.-Ing.
Rembergerstrasse 56
D-4100 Duisburg 25(DE)

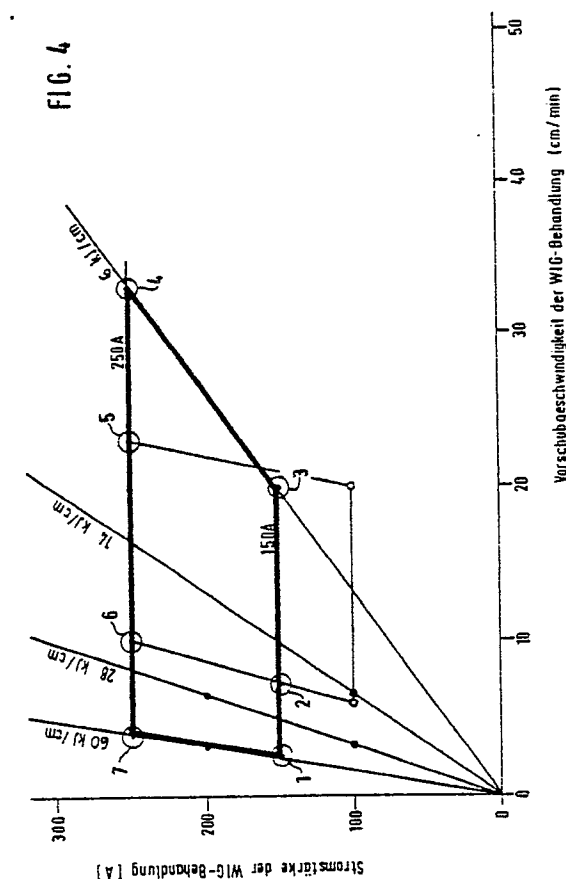
⑦② Erfinder: Müsgen, Bruno, Dr., Dipl.-Ing.
Nohlstrasse 247
D-4200 Oberhausen(DE)
Erfinder: Hoffmann, Klaus, Dr., Dipl.-Ing.
Rembergerstrasse 56
D-4100 Duisburg(DE)

⑤④ **Verfahren zur Verbesserung der Schwingfestigkeit von geschweissten hochfesten Stählen.**

⑤⑦ Bauteile bzw. Werkstücke aus geschweißten hochfesten Stählen (Zugfestigkeit größer als 500 N/mm²), die einer Schwingbeanspruchung unterliegen, haben den Nachteil, daß die Schwingfestigkeit im Bereich der Schweißnaht erheblich geringer ist als die Schwingfestigkeit des Grundwerkstoffs. Das gilt auch für solche hochfesten Stähle, bei denen die Schweißnahtübergänge mittels der bekannten Wolfram-Inertgasmethode nachbehandelt worden sind. Gemäß der Erfindung kann die Nachbehandlung der Schweißnähte mittels örtlicher Energiezufuhr, vorzugsweise durch ein Inertgas-Lichtbogenschweißen mittels Wolframelektrode, in der Weise erfolgen, daß das Werkstück mindestens auf die von der Stahlqualität abhängige Sättigungsvorwärmtemperatur vorgewärmt wird und dann die Schweißnahtzone mit einer bestimmten Streckenenergie (kJ/cm) nachbehandelt wird. Dabei wird erreicht, daß Schweißnaht und Grundwerkstoff eine übereinstimmende Dauerschwingfestigkeit erreichen. In Fig. 4 zeigt die von den Bezugszeichen 1 bis 7 umrandete Gesamt-Fläche die brauchbaren Bereiche der Stromstärke, der Streckenenergie und der Vorschubgeschwindigkeit der Elektrode.

Für geschweißte Werkstücke bzw. Bauteile, die im Off-shore-Bereich eingesetzt werden und daher nicht an Luft, sondern auch im Meerwasser schwingbeansprucht sind, tritt zusätzlich die Gefahr der Spannungsrißkorrosion auf, die durch das Vorwärmen auf die Härtebegrenzungstemperatur $\leq$ Sättigungsvor-

wärmtemperatur vermieden werden kann.



Verfahren zur Verbesserung der Schwingfestigkeit von geschweißten hochfesten Stählen

Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Verbesserung der Schwingfestigkeit von geschweißten hochfesten Stählen, bei dem die Schweißnaht-Übergänge mit örtlicher Energiezufuhr und mit einer aus einem vorgegebenen Bereich ausgewählten Streckenenergie (kJ/cm) nachbehandelt werden. Es ist bekannt, daß der Schweißnahtübergang zum Grundwerkstoff der kritische Bereich und dominierende Ausgangspunkt für die Schwingbrüche von Schweißnähten ist und an dieser Stelle auch die Maßnahmen zur Verbesserung der Schwingfestigkeit anzusetzen sind. Es ist auch bekannt, daß die nicht nachbehandelten Stumpfnahtschweißverbindungen aus niedrig-festen Stählen, genauso wie aus höher- und hochfesten Stählen, nur eine maximale Dauerschwingfestigkeit von ungefähr 200 N/mm² (bei S = 0) erreichen.

Durch eine WIG-Nachbehandlung der Schweißnahtübergänge kann man jedoch die Schwingfestigkeit der Schweißverbindungen erhöhen. Mit der bisherigen WIG-Nachbehandlungsarbeitsweise wird bei den niedrig-festen Stählen die Dauerschwingfestigkeit des Grundwerkstoffes erreicht, bei den höher- und hochfesten Stählen ist die Dauerschwingfestigkeit der Schweißverbindung erheblich geringer als die Dauerschwingfestigkeit des Grundwerkstoffes. Zur Zeit (ZIS-Mitteilungen, Halle 28 (1986) 9, Seite 959 - 966 und IIW DOC.VIII-829-77, 1- 28) liegen die höchsten Einzelwerte der Dauerschwingfestigkeit WIG-nachbehandelter Schweißverbindungen an Luft bei max. 345 N/mm² bei S = 0 (S ist definiert als σ_u / σ_0 , das ist das Verhältnis der Unterspannung zur Oberspannung einer Schwingungsamplitude).

Für die WIG-Nachbehandlung der Schweißnahtübergänge von Verbindungen, die einer Schwingbeanspruchung an Luft unterworfen sind, kennt man aus dem Schrifttum lediglich grobe Richtlinien. Der heute gültige Standard der Richtlinien ist in "The method of TIG dressing", Welding in the world, 3/4 1976 (V,14), 1 - 7 festgelegt, wie dies auch aus dem Vergleich mit dem neuesten Schrifttum hervorgeht, VBK 0024, "Vorschrift für Berechnung und Konstruktion 0024", Ausgabe 12/1982, VEB Schwermaschinenbaukombinat TACKRAF, Leipzig.

Während für die Herstellung von Schweißverbindungen in Abhängigkeit vom Kohlenstoffäquivalent eine Mindestvorwärmtemperatur vorgeschrieben ist, z.B. Welding Inst. contract report C 215/22/71, 1 - 16, IIW Doc XIII-698-73, wird auf ein Vorwärmen bei der WIG-Nachbehandlung der Schweißverbindungen sowohl in den oben zitierten Richtlinien als auch in der Praxis verzichtet. Dies beruht u.a. darauf, daß gezielte Untersuchungen

bei der WIG-Nachbehandlung von Stumpfnähten aus HT 80 (einem Stahl mit 850 N/mm² Festigkeit) mit Vorwärmen auf 200 °C und ohne Vorwärmen keine Unterschiede in der Dauerschwingfestigkeit ergeben haben.

Ausgehend von diesem Stand der Technik wird die Aufgabe der Erfindung darin gesehen, durch eine verbesserte WIG-Nachbehandlung der Schweißnähte die Schwingfestigkeit von Schweißverbindungen aus hochfestem Stahl zu verbessern, und zwar vorzugsweise bis zur Dauerschwingfestigkeit des nicht geschweißten Stahles (Grundwerkstoff) zu erhöhen.

Diese Aufgabe wird dadurch gelöst, daß die nachzubehandelnden Schweißnähte auf eine Temperatur oberhalb Raumtemperatur vorgewärmt werden. Untersuchungen der Anmelderin haben ergeben, daß dadurch - im Gegensatz zu der oben dargelegten Ansicht - eine wesentliche Erhöhung der Schwingfestigkeit der geschweißten hochfesten Stähle bis zur Dauerschwingfestigkeit des nicht geschweißten Grundwerkstoffes erreicht werden kann.

Im einzelnen kann die Erfindung wie folgt vorteilhaft ausgestaltet sein.

Es ist möglich, die zum Aufschmelzen der kritischen Schweißnahtübergänge notwendige örtliche Energiezufuhr durch Inertgas-Lichtbogenschweißen mit Wolframelektroden (WIG-Schweißen) einzubringen.

Man kann hierzu auch Laserstrahlen einsetzen.

Zweckmäßig kann mit einer WIG-Streckenenergie im Bereich von 17 - 21 kJ/cm gearbeitet werden, die z.B. mit 200 A Stromstärke, 16 V Spannung und 10 cm/min Vorschubgeschwindigkeit erzielbar ist.

Die WIG-Behandlung der Stumpfnähte aus StE 500 kann bei Raumtemperatur erfolgen.

Für die WIG-Behandlung der Stumpfnähte aus StE 690 ist bei einer Blechdicke von 14 - 16 mm eine Sättigungsvorwärmtemperatur von mindestens 30 °C anzuwenden. Bei einem Vorwärmen bei 30 °C wird in der Schweißnahtzone schon fast die gleiche Dauerschwingfestigkeit erreicht, wie die des Grundwerkstoffes. Bei einem Vorwärmen auf etwa 70 °C stimmen die Dauerschwingfestigkeiten der WIG-behandelten Schweißnahtzone und des Grundwerkstoffes miteinander voll überein. Aus Wirtschaftlichkeitsgründen wird man beim Vorwärmen nicht wesentlich über diejenige Temperatur hinausgehen, die zur fast gleichen bzw. übereinstimmenden Dauerschwingfestigkeit einerseits der Schweißnaht und andererseits des Grundwerkstoffes führt. Diese Temperatur wird daher im Anmeldungstext zur kurzen Kennzeichnung "Sättigungsvorwärmtemperatur" genannt.

Für die WIG-Behandlung der Stumpfnähte aus StE 890 beträgt die Sättigungsvorwärmtemperatur bei gleicher Blechdicke und Streckenenergie mindestens 80 °C, bei einem Vorwärmen auf 180 °C ist die Dauerschwingfestigkeit der Schweißnaht genauso hoch wie die des Grundwerkstoffes.

Für Stahlqualitäten mit einer Zugfestigkeit, die zwischen der für StE 500, StE 690 und StE 890 liegt, ist die Sättigungsvorwärmtemperatur durch lineare Interpolation zwischen den vorgenannten Temperaturen zu ermitteln und im Zweifelsfall vorsorglich etwas höher zu wählen.

Für Stahlqualitäten mit noch höheren Zugfestigkeiten wird die erforderliche Sättigungsvorwärmtemperatur durch Extrapolation ermittelt.

Bei einer Streckenenergie über 19 kJ/cm kann man eine niedrigere Sättigungsvorwärmtemperatur wählen, und zwar derart, daß die Vorwärmtemperatur um je rund 4 °C erniedrigt wird je kJ/cm, um die die Streckenenergie 19 kJ/cm überschreitet. Bei Streckenenergien unter 19 kJ/cm ist eine höhere Sättigungsvorwärmtemperatur zweckmäßig, und zwar derart, daß die Vorwärmtemperatur um je rund 6 °C erhöht wird je kJ/cm, um die die Streckenenergie 19 kJ/cm unterschreitet.

Bei der Stahlqualität StE 690 muß bei einer Streckenenergie von etwa 28 kJ/cm eine Sättigungsvorwärmtemperatur von mindestens 30 °C eingehalten werden und bei einer Streckenenergie von etwa 9 kJ/cm mindestens 120 °C.

Bei der Stahlqualität StE 890 beträgt die Sättigungsvorwärmtemperatur bei einer Streckenenergie von etwa 28 kJ/cm mindestens 145 °C und bei einer Streckenenergie von etwa 9 kJ/cm mindestens 235 °C.

Bei der Stahlqualität StE 690 können die Sättigungsvorwärmtemperaturen bei verschiedenen Streckenenergien durch Interpolation zwischen den drei Wertepaaren (28 kJ/cm; 35 °C), (19 kJ/cm; 70 °C), (9 kJ/cm; 125 °C) erhalten werden.

Bei der Stahlqualität StE 890 kann man diese Sättigungsvorwärmtemperatur für verschiedene Streckenenergien durch Interpolation zwischen den drei Wertepaaren (28 kJ/cm; 145 °C), (9 kJ/cm; 180 °C), (9 kJ/cm; 235 °C) ermitteln.

Es ist zweckmäßig, für die Vorwärmtemperatur mindestens den Wert der Sättigungsvorwärmtemperatur einzuhalten, um gleiche Dauerschwingfestigkeiten im Schweißbereich wie im übrigen Werkstückbereich zu erreichen.

Für hochfeste Stahlqualitäten mit einer Dauerschwingfestigkeit zwischen 250 und 600 N/mm² kann man die Sättigungsvorwärmtemperaturen aus den zu StE 890 und StE 690 analogen Kennlinien ermitteln.

Günstige Verfahrensparameter, bei denen Schweißfehler wie Mulden und Poren vermieden werden, liegen bei einem Abstand der für die WIG-

Nachbehandlung verwendeten Schweißelektrode von der Schweißnahtoberfläche zwischen etwa 2 bis 8 mm, insbesondere 5 mm, einer Stromstärke von etwa 150 A bis 250 A, einer Elektrodenvorschubgeschwindigkeit von etwa 2 bis 33 cm/min und einer Streckenenergie von etwa 6 bis 60 kJ/cm.

Bei einer Streckenenergie zwischen ca. 20 bis 60 kJ/cm arbeitet man vorteilhaft und zuverlässig störungsfrei in einem Bereich, der zweckmäßig durch die folgenden vier Wertepaare von Stromstärke und Vorschubgeschwindigkeit begrenzt ist: (150 A; 2 cm/min), (150 A; 7 cm/min); (250 A; 4 cm/min), (250 A; 10 cm/min).

Bei einer Streckenenergie zwischen ca. 6 bis 10 kJ/cm ist ein Bereich vorteilhaft, der durch drei Wertepaare (150 A; 20 cm/min), (250 A; 23 cm/min), (250 A; 33 cm/min) begrenzt ist.

In den vorgegebenen Bereichen der Stromstärke ist auch der Zwischenbereich für die Vorschubgeschwindigkeiten, d.h. zwischen ca. 20 und 10 cm/min vorteilhaft anwendbar, das sind z.B. die Wertepaare (150 A; 7 cm/min), (150 A; 20 cm/min), (250 A; 10 cm/min), (250 A; 23 cm/min).

Bei geschweißten Werkstoffen, die im Offshore-Bereich eingesetzt werden sollen, tritt in den aufgehärteten Schweißnahtbereichen der im Meerwasser schwingbeanspruchten Schweißkonstruktionen zusätzlich die Gefahr der Spannungsrißkorrosion auf. Hierzu empfiehlt die Erfindung, daß die nachzubehandelnden geschweißten Werkstücke mindestens auf eine Härtebegrenzungstemperatur vorgewärmt und mit einer solchen Streckenenergie WIG-behandelt werden, daß die Härtebereiche im nachbehandelten Schweißnahtbereich zumindest annähernd auf die von den Abnahmegeellschaften maximal zulässigen Härtewerte begrenzt sind. Dabei muß die Schweißnaht mindestens auf die Sättigungsvorwärmtemperatur für die Einhaltung der Dauerschwingfestigkeit erwärmt werden und, wenn die Vorwärmtemperatur für die Härtebegrenzung höher liegt, zumindest bis auf die letztere Temperatur.

Es ist vorteilhaft, die Härtebegrenzungsvorwärmtemperatur so hoch zu wählen, daß die Härtewerte von ca. 300 HV 10 nicht überschritten werden.

Bei einer WIG-Streckenenergie von 20 kJ/cm soll die Vorwärmtemperatur für die Härtebegrenzung auf ca. 300 HV 10 bei der Stahlqualität StE 890 mindestens ca. 300 °C, bei der Stahlqualität StE 690 mindestens ca. 200 °C und bei der Stahlqualität StE 500 mindestens ca. 100 °C betragen.

Bei einer Streckenenergie über 20 kJ/cm soll zweckmäßig eine niedrigere und bei einer Streckenenergie unter 20 kJ/cm eine höhere Härtebegrenzungsvorwärmtemperatur gewählt werden.

Für die Stahlqualität StE 890 soll bei einer

Streckenenergie von etwa 30 kJ/cm eine Härtebegrenzungsvorwärmtemperatur von mindestens ca. 200 °C und bei einer Streckenenergie von etwa 10 kJ/cm eine Härtebegrenzungsvorwärmtemperatur von mindestens ca. 400 °C gewählt werden.

Für die Stahlqualität StE 690 beträgt die Härtebegrenzungsvorwärmtemperatur bei einer Streckenenergie von etwa 30 kJ/cm ca. 100 °C und bei einer Streckenenergie von etwa 10 kJ/cm mindestens ca. 300 °C. Die Werkstücke sollen auf eine Härtebegrenzungsvorwärmtemperatur vorgewärmt werden, die mindestens so hoch ist wie die Sättigungsvorwärmtemperatur. Wenn letztere niedriger liegt, muß sie beim Vorwärmen bis zur Härtebegrenzungsvorwärmtemperatur überschritten werden.

Die Werkstücke sollen mindestens auf eine Härtebegrenzungsvorwärmtemperatur vorgewärmt werden, die sich für die Stahlqualität StE 890 in Abhängigkeit von der Streckenenergie (kJ/cm) durch Interpolation zwischen den drei Wertepaaren (30 kJ/cm; 200 °C), (20 kJ/cm; 300 °C), (10 kJ/cm; 400 °C) ergibt.

Bei StE 690 soll zur Ermittlung der Härtebegrenzungsvorwärmtemperatur zwischen den drei Wertepaaren (30 kJ/cm; 100 °C), (20 kJ/cm; 200 °C), (10 kJ/cm; 300 °C) interpoliert werden.

Werkstücke aus hochfesten Stahlqualitäten mit einer Dauerschwingfestigkeit zwischen 250 und 600 N/mm² sollen auf mindestens eine Härtebegrenzungsvorwärmtemperatur erwärmt werden, die sich aus den analogen Kennlinien in den Restbereichen für die Abhängigkeit der Härtebegrenzungsvorwärmtemperatur von der Streckenenergie für StE 890 und StE 690 ergibt.

Die Sättigungsvorwärmtemperatur bzw. die Härtebegrenzungsvorwärmtemperatur kann auch durch das vorausgehende Verbindungsschweißen in das Werkstück eingebracht werden, muß dann aber auch während der anschließenden WIG-Nachbehandlung gehalten werden.

Normalerweise erfolgt die Erwärmung mit Brennern.

Zur Entspannung können die geschweißten Werkstücke vor oder nach der WIG-Behandlung angelassen werden. Bei einer Anlaßbehandlung nach der WIG-Behandlung müssen die Anlaßtemperaturen jedoch so niedrig gewählt werden, daß kein wesentlicher Schwingfestigkeitsabfall erfolgt.

Die WIG-Nachbehandlung hochfester Stähle (z.B. StE 690, StE 890 usw.) ohne oder ohne ausreichende Vorwärmtemperatur führt zu einer Vorschädigung des Werkstückes, die durch eine Anlaßbehandlung nicht rückgängig gemacht werden kann.

Die vorstehend offenbarte WIG-Nachbehandlung von Schweißnähten an Werkstücken aus Stahl erfordert, wie dargelegt, eine vom Werkstoff, der

WIG-Streckenenergie und der Geometrie abhängige Vorwärmtemperatur. Da nun die Wärmeableitung aus der Schweißnaht in andere Teile des Werkstückes von der Geometrie (Dicke, Nahtart) des Schweißnahtbereiches abhängt, ist es für den Fachmann ohne weiteres einsichtig, daß die Parameter der WIG-Behandlung entsprechend angepaßt sein müssen. Dementsprechend wird erfindungsgemäß vorgeschlagen, daß die für die WIG-Behandlung von Stumpfnähten bei Blechen mit einem Dickenbereich von 14 bis 16 mm gültigen Werte für die Streckenenergie (kJ/cm) und/oder die Sättigungsvorwärmtemperatur und/oder die Härtebegrenzungstemperatur bei abweichender Werkstück-Geometrie (z.B. abweichende Blechdicke, Nahtart) entsprechend der veränderten Wärmeabführung im Werkstück angepaßt werden.

Stahlqualitäten mit hohem Kohlenstoffäquivalent haben besonders rißempfindliche Gefüge. Daher ist bei derartigen Stählen die Streckenenergie und/oder die Sättigungsvorwärmtemperatur und/oder die Härtebegrenzungstemperatur im Vergleich zu den bisher mitgeteilten Werten zu erhöhen.

Im folgenden werden anhand der Zeichnungen Ausführungsbeispiele der Erfindung erläutert. Es zeigen im einzelnen, jeweils bei einer Stumpfnah und 15 mm Blechdicke:

Fig. 1 eine Darstellung, bei der die Dauerschwingfestigkeit in N/mm² gegen die Vorwärmtemperatur in °C aufgetragen ist, für drei Stahlqualitäten,

Fig. 2 eine Darstellung der Dauerschwingfestigkeit in N/mm² gegen die WIG-Streckenenergie kJ/cm, für die Stahlqualität StE 890,

Fig. 3 eine Darstellung der WIG-Streckenenergie in kJ/cm gegen die Sättigungsvorwärmtemperatur für die Stahlqualitäten StE 500, StE 690 und StE 890,

Fig. 4 eine Darstellung der Stromstärke in Ampere gegen die Vorschubgeschwindigkeit in cm/min, aus der die vorteilhaften Bereiche ersichtlich sind,

Fig. 5 eine Darstellung der Vickershärte in HV 10 gegen die Streckenenergie für die Stahlqualität StE 890 bei mehreren Sättigungsvorwärmtemperaturen,

Fig. 6 eine Darstellung der Vickershärte HV 10 gegen die Streckenenergie ohne Vorwärmen für die Stahlqualitäten StE 500, StE 690 und StE 890.

Bei diesem Verfahren zur Verbesserung der Dauerschwingfestigkeit, bei dem zwangsläufig auch die Zeitschwingfestigkeit - das ist die Schwingfestigkeit unterhalb der Dauerschwingfestigkeit im Zeit- und Kurzzeitfestigkeitsbereich - erhöht wird, werden die Schweißnahtübergänge der Werkstücke aus hochfesten Stählen durch ein Inertgas-Lichtbo-

geschweißen mittels Wolframelektrode bzw. durch einen Laserstrahl oder andere örtliche Energien mit einer aus einem vorgegebenen Bereich ausgewählten elektrischen Streckenenergie nachbehandelt. Die nachzubehandelnden geschweißten Werkstückzonen werden vorgewärmt.

Die Fig. 1 zeigt dazu die für die Stumpfnäht (15 mm) aus den drei Stahlqualitäten StE 890, StE 690 und StE 500 bei verschiedenen Vorwärmtemperaturen und Streckenenergien erreichte Dauerschwingfestigkeit, die mit zunehmender Streckenenergie und Vorwärmtemperatur zunimmt und schließlich den auf der rechten Seite der Darstellung ersichtlichen jeweiligen Grenzwert (horizontale Geraden), nämlich die Dauerschwingfestigkeit des jeweiligen Grundwerkstoffes, erreicht. Zum Beispiel wird bei StE 890 bei 180 °C Vorwärmtemperatur und einer Streckenenergie von 19 kJ/cm in der Schweißnaht dieselbe Dauerschwingfestigkeit erreicht wie im Grundwerkstoff (Sättigungsvorwärmtemperaturen).

In Fig. 2 wird anhand von Einzelabmessungen gezeigt, daß die Dauerschwingfestigkeit der Stumpfnäht (15 mm) (Stahlsorte StE 890) mit zunehmender Streckenenergie und Vorwärmtemperatur zunimmt, jedoch ohne Vorwärmen (Raumtemperatur RT = 20 °C) ab ca. 30 kJ/cm (200 A) wieder abnimmt, ohne die Dauerschwingfestigkeit des Grundwerkstoffes auch nur annähernd zu erreichen. Bei 200 °C Vorwärmtemperatur jedoch wird die Dauerschwingfestigkeit des Grundwerkstoffes schon bei 15 kJ/cm Streckenenergie erreicht und dieses Niveau bleibt auch bei höheren Streckenenergien erhalten, so daß von der Sättigungsvorwärmtemperatur an ein für die praktische Anwendung geeigneter breiter Arbeitsbereich der Streckenenergie zur Verfügung steht.

Fig. 3 zeigt den Zusammenhang zwischen den Streckenenergie und der Vorwärmtemperatur, die mindestens eingehalten werden muß, um in der Stumpfnäht (15 mm) die gleiche Dauerschwingfestigkeit zu erreichen wie im Grundwerkstoff, d.h. sie zeigt die Sättigungsvorwärmtemperaturkurven für die Stahlsorten StE 890, StE 690 und StE 500.

In Fig. 4 ist die Stromstärke gegen die Vorschubgeschwindigkeit aufgetragen. Der durch die Kreise mit den Bezugszeichen (1) bis (7) umrandete Flächenbereich, Stromstärke ca. 150 bis 250 A und Streckenenergie ca. 6 bis 60 kJ/cm, ergibt ein in der Regel gutes Ergebnis bei der WIG-Nachbehandlung. Besonders überraschend ist, daß gute Ergebnisse in dem Flächen-Teilbereich erzielt werden, der umrandet ist durch die Kreise (1), (2), (6), (7), d.h. 150 bis 250 A Stromstärke mit einer Streckenenergie von ca. 20 bis 60 kJ/cm, und weiterhin in dem Flächen-Teilbereich, der umrandet ist durch die Kreise (3), (4), (5) und der bestimmt ist durch eine Stromstärke zwischen 150 und 250 A sowie

eine Streckenenergie zwischen etwa 6 und 10 kJ/cm. Dabei ist es zweckmäßig, den Abstand der Schweißelektrode von der Schweißnahtoberfläche auf ca. 5 mm (mit einer Toleranz bis + 2 mm) einzustellen.

Aus Fig. 5, in der die maximale Härte gegen die Streckenenergie aufgetragen ist, können die Werte der Streckenenergie und Vorwärmtemperatur so ausgewählt werden, daß die Vickershärte HV 10 einen als zweckmäßig vorgegebenen Grenzwert nicht überschreitet. In der Fig. bedeutet die Angabe "WIG" die in dem WIG-Nahtbereich erhaltenen Meßwerte und die Angabe "WEZ" die Meßwerte der "Wärmeeinflußzone", die sich zum Werkstück hin unmittelbar anschließt.

Fig. 6 zeigt die entsprechenden Kurven bei To = RT (Raumtemperatur 20 °C) für die drei dort bezeichneten Stahlqualitäten. Die Bedeutung der Angabe "WIG" und "WEZ" stimmt mit der von Fig. 5 überein.

Bei entsprechend den obigen Diagrammen durchgeführten WIG-Nachbehandlungen der Schweißnähte wurden mit Streckenenergien zwischen 6 und 60 kJ/cm WIG-Nahtbreiten zwischen 5 und 12 mm erzielt, die näherungsweise Übergangsradien zwischen 10 und 30 mm und Formzahlen zwischen 1,12 und 1,02 zur Folge haben, und zwar in der Weise, daß durch die höheren Streckenenergien höhere WIG-Nahtbreiten sowie Übergangsradien und durch letztere niedrigere Formzahlen und damit höhere und bei Berücksichtigung der Sättigungsvorwärmtemperatur sogar Höchstwerte der Schwingfestigkeit erzielt werden.

Die Betriebskontrolle bezüglich der Einhaltung der Behandlungsparameter zur Erniedrigung der Formzahl, die zu einer Erhöhung der Schwingfestigkeit führt, kann vornehmlich durch die einfache und kostengünstige Kontrolle der WIG-Nahtbreite erfolgen, da zwischen der WIG-Nahtbreite und dem Übergangsradius eine direkte Proportionalität und zwischen der WIG-Nahtbreite und der Formzahl eine umgekehrte Proportionalität besteht. Daher ist die Schwingfestigkeit aus der WIG-Nahtbreite bei konstanter Vorwärmtemperatur bei Streckenenergien bis zu ca. 50 kJ/cm berechenbar.

Die für die WIG-Nachbehandlung von Stumpfnähten (15 mm Blech) gültigen offenbarten Größenwerte können mit Hilfe der Korrekturfaktoren gemäß dem $t_{0,5}$ -Konzept (Stahl-Eisen-Werkstoffblatt 088) auf andere Blechdicken und Schweißnahtarten umgerechnet werden. Das ist mit Hilfe des Kohlenstoffäquivalentes weiterhin auch möglich für Stähle mit vergleichbarer Festigkeit aber stark abweichendem Kohlenstoffäquivalent.

Ansprüche

1. Verfahren zur Verbesserung der Schwingfestigkeit von geschweißten Werkstücken aus hochfesten Stählen, bei dem die Schweißnaht-Übergänge mit örtlicher Energiezufuhr mit einer aus einem vorgegebenen Bereich ausgewählten Streckenenergie (kJ/cm) nachbehandelt werden, dadurch gekennzeichnet, daß die nachzubehandelnden geschweißten Werkstückzonen auf eine Temperatur oberhalb Raumtemperatur (20 °C) vorgewärmt werden.

2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß die örtliche Energiezufuhr durch ein Inertgas-Lichtbogenschweißen mittels Wolframelektrode erfolgt (WIG-Behandlung).

3. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß die örtliche Energiezufuhr durch Laserstrahlbeaufschlagung erfolgt.

4. Verfahren nach einem der obigen Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß für Stumpfnähte bei Blechdicken von 14 bis 16 mm und bei einer Streckenenergie von 17 bis 21 kJ/cm die Sättigungsvorwärmtemperatur für Stahlqualitäten von StE 500 bis StE 890 im Bereich oberhalb der Raumtemperatur liegt, und zwar für die Stahlqualität StE 690 mindestens 30 °C und für die Stahlqualität StE 890 mindestens 80 °C beträgt, und daß für Stahlqualitäten mit der dazwischenliegenden Zugfestigkeit die Mindestvorwärmtemperatur annähernd linear interpoliert und für Stahlqualitäten mit höherer Zugfestigkeit extrapoliert werden.

5. Verfahren nach einem der obigen Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß bei einer höheren Streckenenergie eine niedrigere Sättigungsvorwärmtemperatur gewählt wird, und zwar so, daß, vorzugsweise bei einem Verfahren nach Anspruch 4, die Vorwärmtemperatur um je rund 4 °C erniedrigt wird je kJ/cm, um die die Streckenenergie 19 kJ/cm überschreitet.

6. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 4, dadurch gekennzeichnet, daß bei einer niedrigeren Streckenenergie eine höhere Sättigungsvorwärmtemperatur gewählt wird und zwar so, daß, vorzugsweise bei einem Verfahren nach Anspruch 4, die Vorwärmtemperatur um je rund 6 °C erhöht wird je kJ/cm, um die die Streckenenergie 19 kJ/cm unterschreitet.

7. Verfahren nach Anspruch 4, 5 oder 6, dadurch gekennzeichnet, daß für die Stahlqualität StE 690 bei einer Streckenenergie von etwa 28 kJ/cm eine Sättigungsvorwärmtemperatur von mindestens 30 °C und bei einer Streckenenergie von etwa 9 kJ/cm eine Sättigungsvorwärmtemperatur von mindestens 120 °C gewählt wird.

8. Verfahren nach Anspruch 4, 5 oder 6, dadurch gekennzeichnet, daß für die Stahlqualität StE 890 bei einer Streckenenergie von etwa 28 kJ/cm

eine Sättigungsvorwärmtemperatur von mindestens 145 °C und bei einer Streckenenergie von etwa 9 kJ/cm eine Sättigungsvorwärmtemperatur von mindestens 235 °C gewählt wird.

9. Verfahren nach einem oder mehreren der Ansprüche 1 bis 8, dadurch gekennzeichnet, daß für die Stahlqualität StE 690 in Abhängigkeit von der Streckenenergie (kJ/cm) mindestens die Sättigungsvorwärmtemperaturen eingehalten werden, die sich durch Interpolation zwischen den drei Wertepaaren (28 kJ/cm; 30 °C), (19 kJ/cm; 70 °C), 9 kJ/cm; 120 °C) ergeben.

10. Verfahren nach einem oder mehreren der Ansprüche 1 bis 8, dadurch gekennzeichnet, daß für die Stahlqualität StE 890 in Abhängigkeit von der Streckenenergie (kJ/cm) mindestens die Sättigungsvorwärmtemperaturen eingehalten werden, die sich durch Interpolation zwischen den drei Wertepaaren (28 kJ/cm; 145 °C), (19 kJ/cm; 180 °C), 9 kJ/cm; 235 °C) ergeben.

11. Verfahren nach einem oder mehreren der obigen Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß für hochfeste Stahlqualitäten mit Dauerschwingfestigkeiten zwischen 250 und 600 N/mm² die Sättigungsvorwärmtemperaturen mindestens die Werte haben, die sich aus den analogen Kennlinien wie denen für StE 890 und StE 690 nach den Ansprüchen 9 und 10 ergeben.

12. Verfahren zur Verbesserung der Dauerschwingfestigkeit von geschweißten, hochfesten Stählen, bei dem die Schweißnaht-Übergänge durch ein Inertgas-Lichtbogenschweißen mittels Wolframelektrode (WIG) und mit einer aus einem vorgegebenen Bereich ausgewählten elektrischen Streckenenergie (kJ/cm) nachbehandelt werden, insbesondere nach einem oder mehreren der Ansprüche 1, 2, 4 bis 11, dadurch gekennzeichnet, daß bei einem Abstand der Schweißelektrode von der Schweißnahtoberfläche zwischen etwa 2 bis 8 mm, vorzugsweise 3 bis 7 mm, insbesondere von 5 mm, die Stromstärke mindestens 150 A und höchstens 250 A beträgt, daß die Elektrodenvorschubgeschwindigkeit mindestens 2,0 cm/min und höchstens 33 cm/min beträgt, und daß die Streckenenergie im Bereich von 6 bis 60 kJ/cm liegt.

13. Verfahren nach Anspruch 12, dadurch gekennzeichnet, daß bei einer Streckenenergie zwischen ca. 20 bis 60 kJ/cm in einem Bereich gearbeitet wird, der durch die vier Wertepaare (Stromstärke; Vorschubgeschwindigkeit) von (150 A; 2 cm/min), (150 A; 7 cm/min), (250 A; 4 cm/min), (250 A; 10 cm/min) begrenzt ist.

14. Verfahren nach Anspruch 12, dadurch gekennzeichnet, daß bei einer Streckenenergie zwischen ca. 6 bis 10 kJ/cm in einem Bereich gearbeitet wird, der durch die drei Wertepaare

(Stromstärke; Vorschubgeschwindigkeit) von (150 A; 20 cm/min), (250 A; 23 cm/min), (250 A; 33 cm/min) begrenzt ist.

15. Verfahren nach einem oder mehreren der obigen Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß die nachzubehandelnden geschweißten Werkstücke mindestens auf eine solche Härtebegrenzungsvorwärmtemperatur vorgewärmt und mit einer solchen Streckenenergie WIG-behandelt werden, daß die Härtewerte auf ca. 300 HV 10 begrenzt werden.

16. Verfahren nach Anspruch 15, dadurch gekennzeichnet, daß bei einer WIG-Streckenenergie von 20 kJ/cm die Härtebegrenzungsvorwärmtemperatur für die Stahlqualität StE 890 mindestens ca. 300 °C, für die Stahlqualität StE 690 mindestens 200 °C und für die Stahlqualität StE 500 mindestens 100 °C beträgt.

17. Verfahren nach Anspruch 16, dadurch gekennzeichnet, daß bei einer Streckenenergie über 20 kJ/cm eine niedrigere Härtebegrenzungsvorwärmtemperatur gewählt wird.

18. Verfahren nach Anspruch 16, dadurch gekennzeichnet, daß bei einer Streckenenergie unter 20 kJ/cm eine höhere Härtebegrenzungsvorwärmtemperatur gewählt wird.

19. Verfahren nach einem der Ansprüche 15 bis 18, dadurch gekennzeichnet, daß für die Stahlqualität StE 890 bei einer Streckenenergie von etwa 30 kJ/cm eine Härtebegrenzungsvorwärmtemperatur von mindestens ca. 200 °C und bei einer Streckenenergie von etwa 10 kJ/cm eine Härtebegrenzungsvorwärmtemperatur von mindestens ca. 400 °C gewählt wird.

20. Verfahren nach einem der Ansprüche 15 bis 18, dadurch gekennzeichnet, daß für die Stahlqualität StE 690 bei einer Streckenenergie von etwa 30 kJ/cm eine Härtebegrenzungsvorwärmtemperatur von mindestens ca. 100 °C und bei einer Streckenenergie von etwa 10 kJ/cm eine Härtebegrenzungsvorwärmtemperatur von mindestens ca. 300 °C gewählt wird.

21. Verfahren nach einem oder mehreren der obigen Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß die Werkstücke mindestens auf eine Härtebegrenzungsvorwärmtemperatur vorgewärmt werden, die sich für die Stahlqualität StE 890 in Abhängigkeit von der Streckenenergie (kJ/cm) durch Interpolation zwischen den drei Wertepaaren (30 kJ/cm; 200 °C), (20 kJ/cm; 300 °C), (10 kJ/cm; 400 °C) ergibt.

22. Verfahren nach einem oder mehreren der obigen Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß die Werkstücke mindestens auf den Wert der Härtebegrenzungsvorwärmtemperatur erwärmt werden, der sich für die Stahlqualität StE 690 in Abhängigkeit von der Streckenenergie (kJ/cm) durch Interpo-

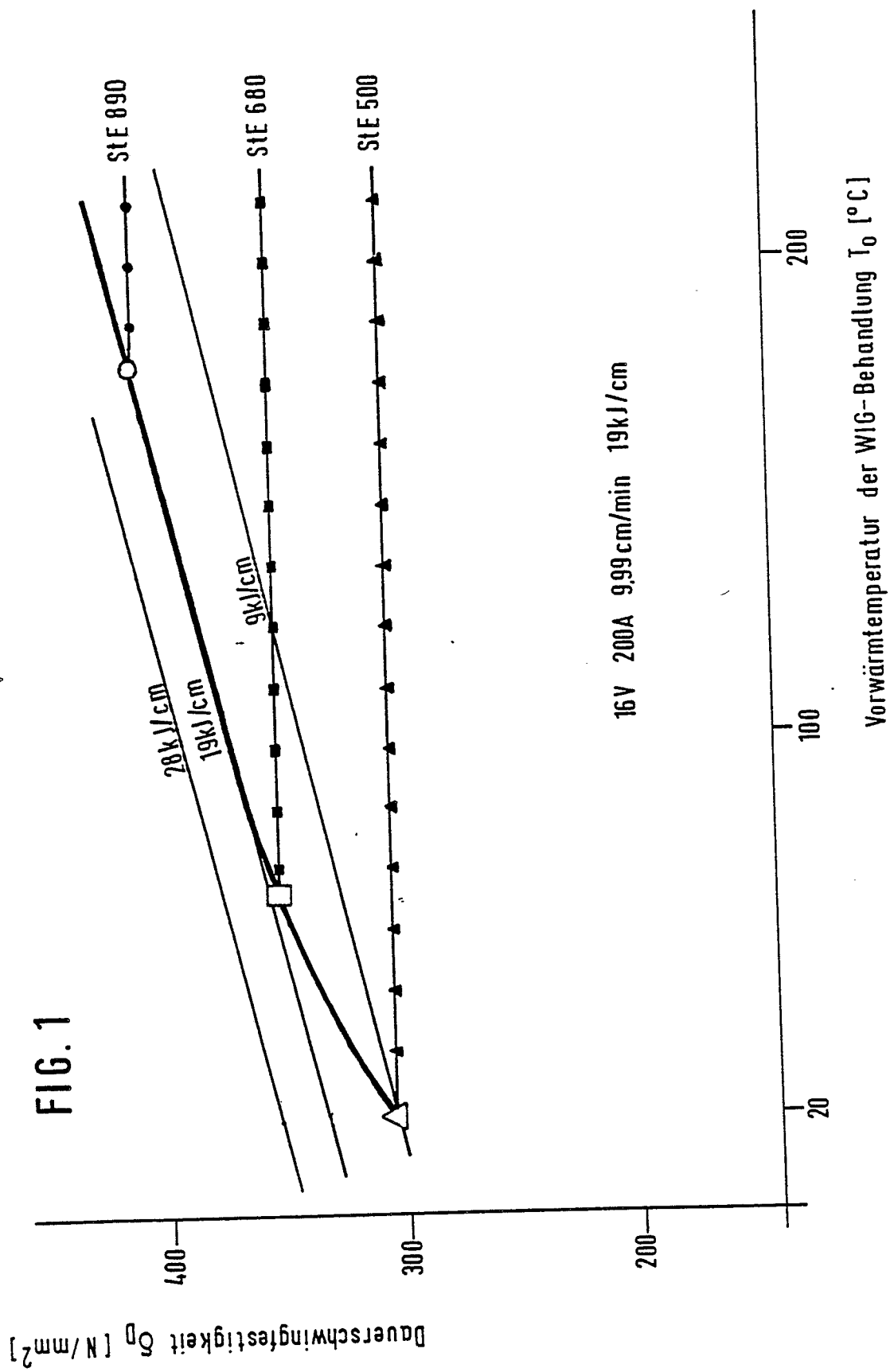
lation zwischen den drei Wertepaaren (30 kJ/cm; 100 °C), (20 kJ/cm; 200 °C), (10 kJ/cm; 300 °C) ergibt.

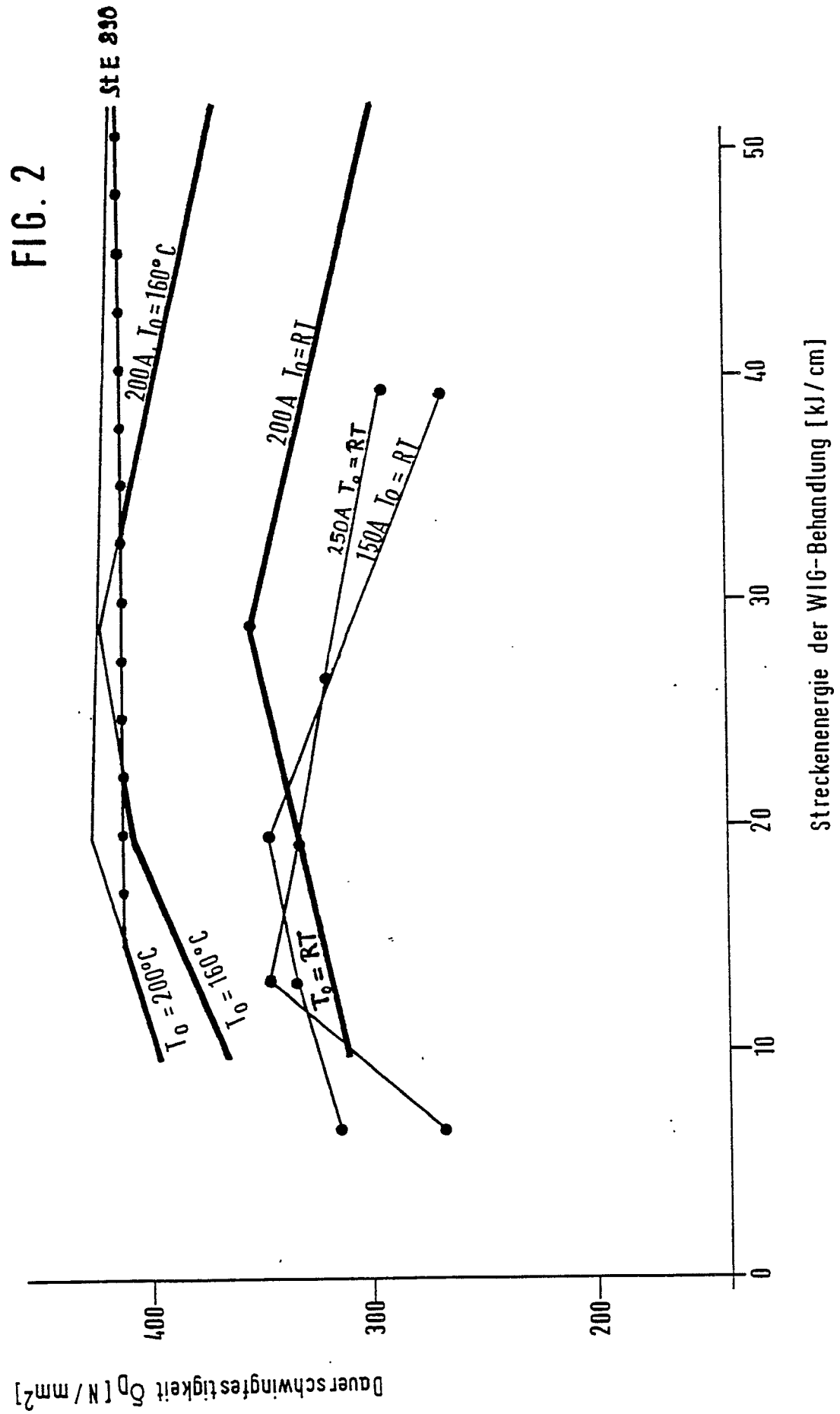
23. Verfahren nach einem oder mehreren der Ansprüche 19 bis 22, dadurch gekennzeichnet, daß Werkstücke aus hochfesten Stahlqualitäten mit einer Dauerschwingfestigkeit zwischen 250 und 600 N/mm² auf mindestens eine Härtebegrenzungsvorwärmtemperatur erwärmt werden, die sich aus den analogen Kennlinien in den Restbereichen für die Abhängigkeit der Härtebegrenzungsvorwärmtemperatur von der Streckenenergie für StE 890 und StE 690 ergibt.

24. Verfahren nach einem oder mehreren der obigen Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß die Sättigungsvorwärmtemperatur bzw. die Härtebegrenzungsvorwärmtemperatur bereits durch das der Nachbehandlung vorausgehende Verbindungsschweißen in das Werkstück eingebracht und gehalten wird.

25. Verfahren nach einem oder mehreren der obigen Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß die für die WIG-Behandlungen von Stumpf-Schweißnähten bei Blechen mit einem Dickenbereich von 14 bis 16 mm gültigen Werte für die Streckenenergie (kJ/cm) und/oder die Sättigungsvorwärmtemperatur bei abweichender Werkstück-Geometrie (Z.B. Blechdicke, Nahtart) entsprechend der veränderten Wärmeableitung im Werkstück angepaßt werden.

26. Verfahren nach einem oder mehreren der obigen Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß für Stähle mit höherem Kohlenstoffäquivalent und den dadurch bedingten rißempfindlichen Gefügearten die Streckenenergie und/oder die Sättigungsvorwärmtemperatur entsprechend erhöht werden.





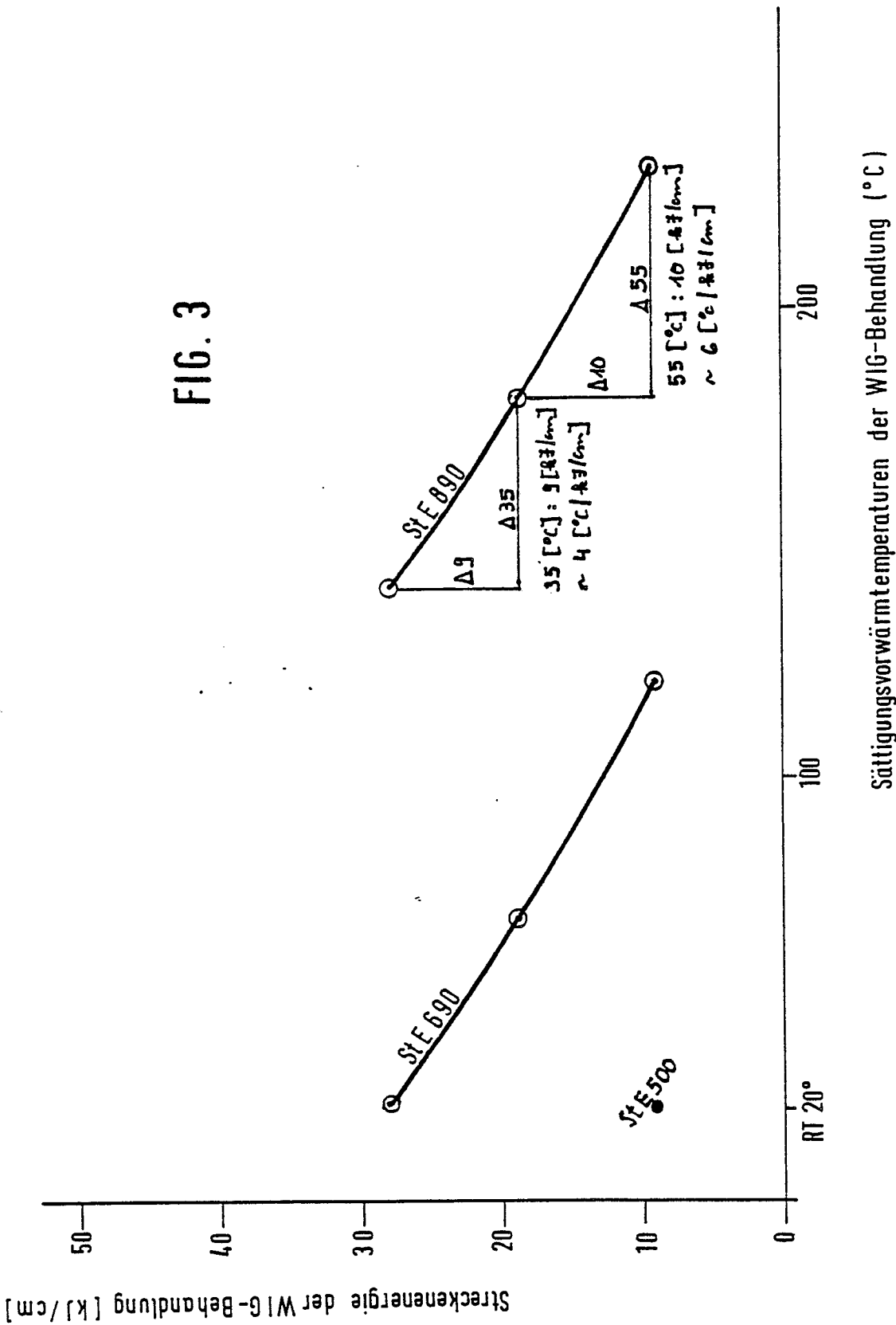
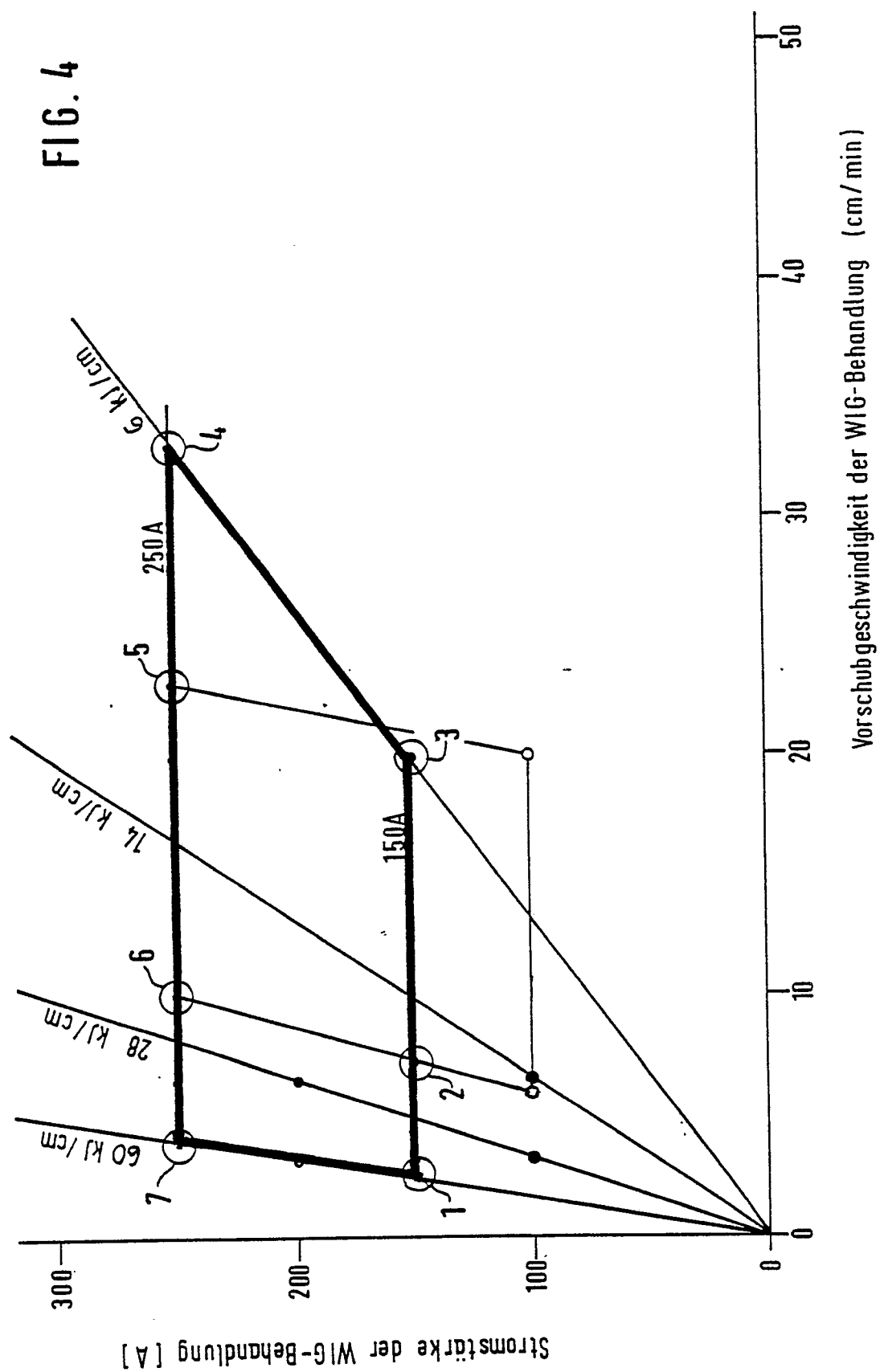
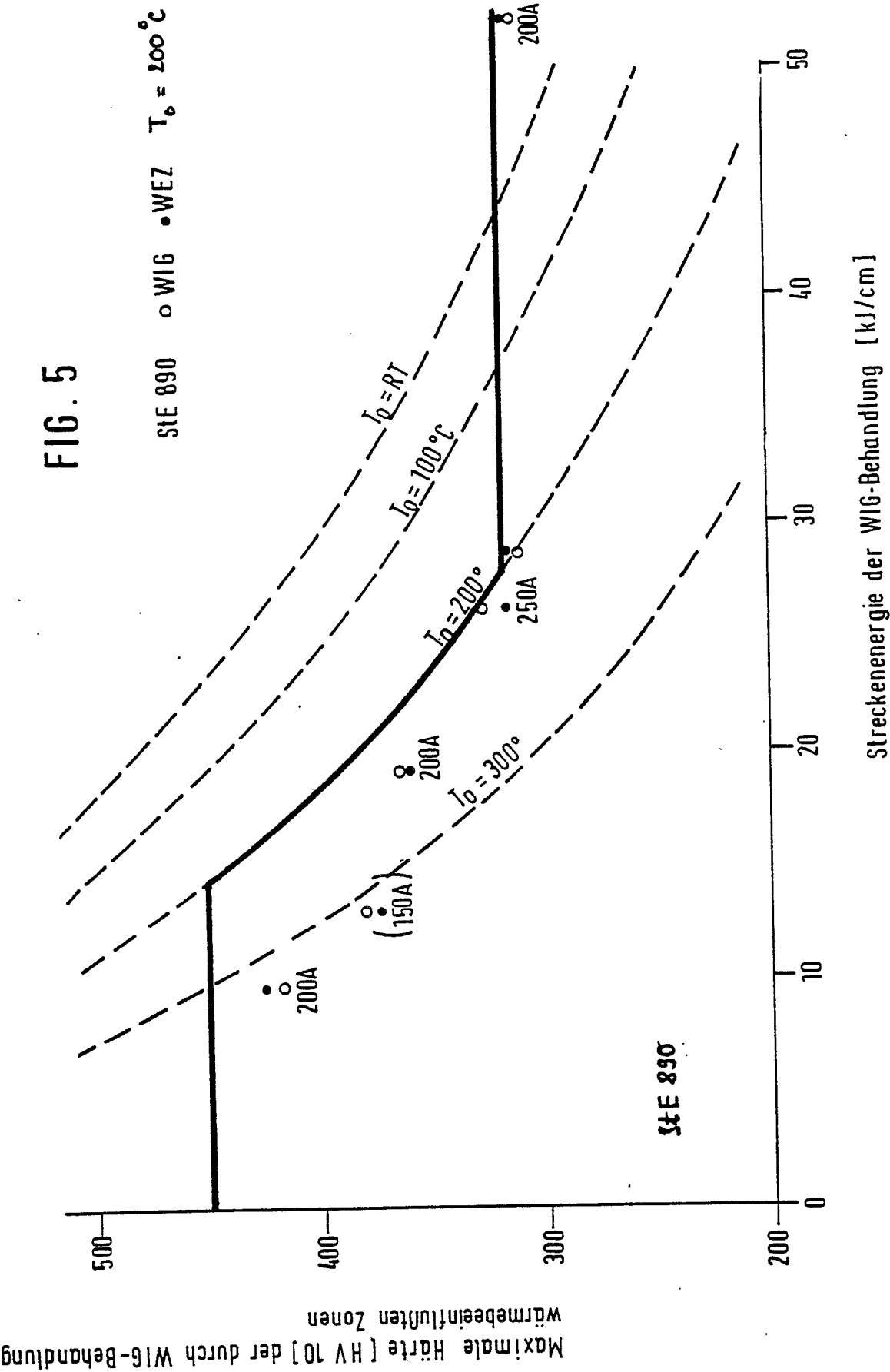
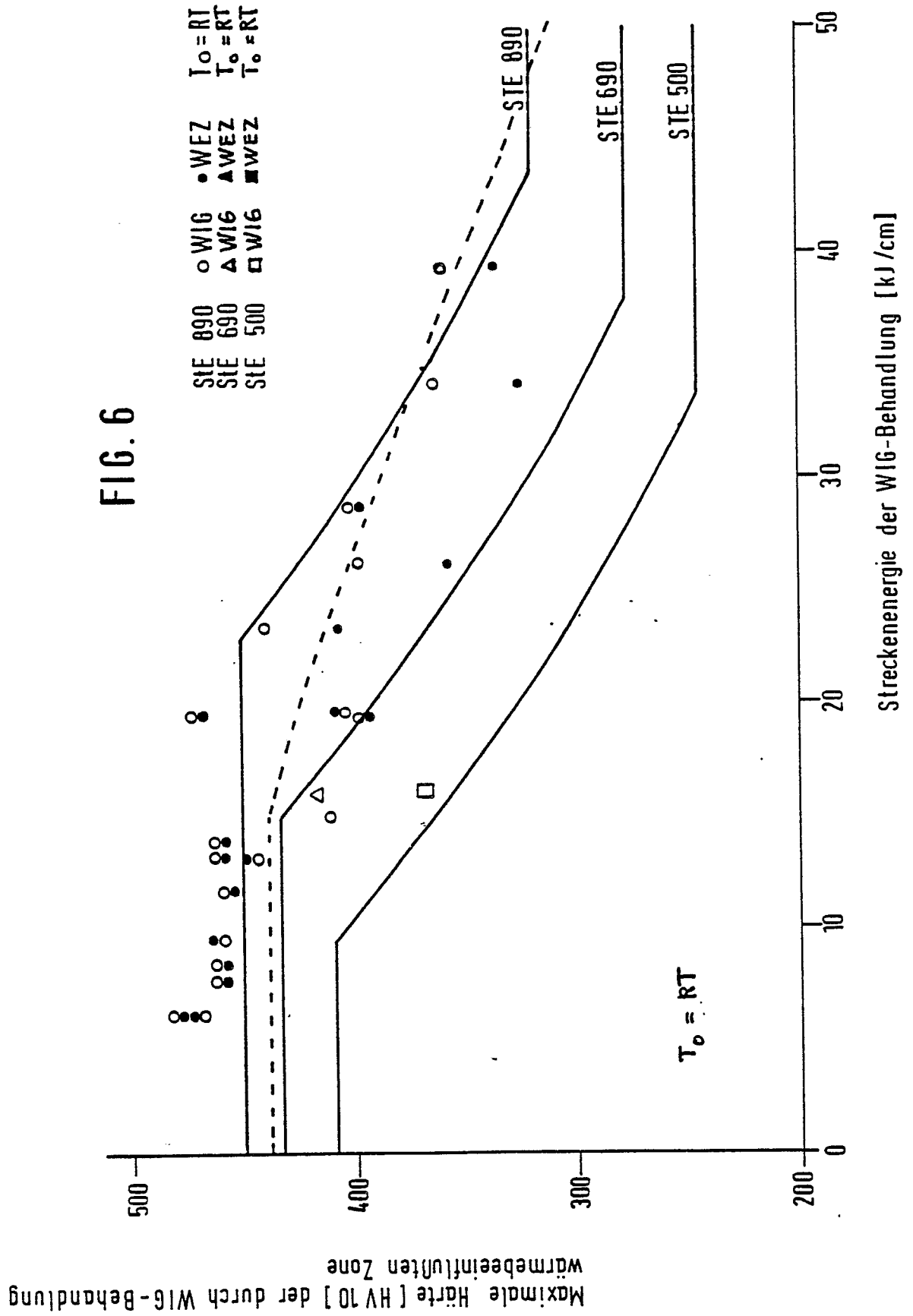


FIG. 4









EINSCHLÄGIGE DOKUMENTE			
Kategorie	Kennzeichnung des Dokuments mit Angabe, soweit erforderlich, der maßgeblichen Teile	Betrifft Anspruch	KLASSIFIKATION DER ANMELDUNG (Int. Cl.4)
X	REVUE DE METALLURGIE Band 84 (1987), Februar, Nr. 2, Paris, France, Seite 135-146 (1075); A. Bignonnet "Amélioration de la tenue à la fatigue des assemblages soudés" * Seite 139, Tabelle II *	1	C 21 D 9/50 B 23 K 31/00
A	THYSSEN TECHNISCHE BERICHTE Heft 1, 1987, Seite 67-79 Duisburg; B. Müsgen "Verbesserung der Schwingfestigkeit von Schweissverbindungen hochfester Stähle" * Seite 71-74 *	1	
A	STAHL UND EISEN Band 130 März 1983, Nr. 5, Düsseldorf, Deutschland(110), Seite 225-230; B. Müsgen "Verbesserung der Schwingfestigkeit von Schweissverbindungen hochfester wasservergüteter Feinkornbaustähle durch thermische und mechanische Nachbehandlung der Nähte" * Seite 229 *	1	
A,D	WELDING IN THE WORLD Band 14 (1976), Nr. 3/4, Seite 100-107, London; "The method of TIG dressing"		
A,D	ZIS-MITTEILUNGEN Band 28 (1986), Nr. 9, Seite 959-966, Halle/Saale, Spies et al.: "Untersuchungen zur Verbesserung der Dauerfestigkeit von Stumpfschweissverbindungen eines hochfesten bainitischen Baustahls"		
Der vorliegende Recherchenbericht wurde für alle Patentansprüche erstellt			
Recherchenort BERLIN		Abschlußdatum der Recherche 05-07-1989	Prüfer SUTOR W
KATEGORIE DER GENANNTEN DOKUMENTE X : von besonderer Bedeutung allein betrachtet Y : von besonderer Bedeutung in Verbindung mit einer anderen Veröffentlichung derselben Kategorie A : technologischer Hintergrund O : nichtschriftliche Offenbarung P : Zwischenliteratur		T : der Erfindung zugrunde liegende Theorien oder Grundsätze E : älteres Patentedokument, das jedoch erst am oder nach dem Anmeldedatum veröffentlicht worden ist D : in der Anmeldung angeführtes Dokument L : aus andern Gründen angeführtes Dokument & : Mitglied der gleichen Patentfamilie, übereinstimmendes Dokument	