



(11) **EP 1 929 055 B1**

(12) **EUROPÄISCHE PATENTSCHRIFT**

(45) Veröffentlichungstag und Bekanntmachung des Hinweises auf die Patenterteilung:
01.09.2010 Patentblatt 2010/35

(51) Int Cl.:
C21D 8/04 ^(2006.01) **C21D 6/00** ^(2006.01)

(21) Anmeldenummer: **06754580.6**

(86) Internationale Anmeldenummer:
PCT/EP2006/006184

(22) Anmeldetag: **27.06.2006**

(87) Internationale Veröffentlichungsnummer:
WO 2007/033711 (29.03.2007 Gazette 2007/13)

(54) **VERFAHREN ZUR BEHANDLUNG VON STAHLBAND**

METHOD FOR TREATING A STEEL STRIP

PROCEDE DE TRAITEMENT D'UN FEUILLARD EN ACIER

(84) Benannte Vertragsstaaten:
AT BE BG CH CY CZ DE DK EE ES FI FR GB GR HU IE IS IT LI LT LU LV MC NL PL PT RO SE SI SK TR

(74) Vertreter: **Basfeld, Rainer et al**
Fritz Patent- und Rechtsanwälte
Postfach 1580
59705 Arnsberg (DE)

(30) Priorität: **22.09.2005 DE 102005045466**

(56) Entgegenhaltungen:
US-A1- 2003 015 263

(43) Veröffentlichungstag der Anmeldung:
11.06.2008 Patentblatt 2008/24

- **PATENT ABSTRACTS OF JAPAN** Bd. 011, Nr. 300 (C-449), 29. September 1987 (1987-09-29) & JP 62 093341 A (KAWASAKI STEEL CORP), 28. April 1987 (1987-04-28)
- **PATENT ABSTRACTS OF JAPAN** Bd. 2003, Nr. 12, 5. Dezember 2003 (2003-12-05) & JP 2004 300567 A (KOBE STEEL LTD), 28. Oktober 2004 (2004-10-28)
- **KESTENS, L. ET AL:** "Grain refinement and texture change in interstitial free steels after severe rolling and ultra-short annealing" **MATERIALS SCIENCE FORUM**, 467-470 (PT. 1, RECRYSTALLIZATION AND GRAIN GROWTH), 287-291 CODEN: MSFOEP; ISSN: 0255-5476, 2004, XP009073395
- **MOULD, P. R.:** "Methods for producing high strength cold-rolled steel sheet" **METALS ENGINEERING QUARTERLY**, 15(3), 22-31 CODEN: MENQA3; ISSN: 0026-0967, 1975, XP009073420

(73) Patentinhaber:

- **VOLKSWAGEN AG**
38440 Wolfsburg (DE)
- **Universität Kassel**
34125 Kassel (DE)

(72) Erfinder:

- **PAAR, Uwe**
34128 Kassel (DE)
- **STEINHOFF, Kurt, Dr. Prof.**
47533 Kleve (DE)
- **BERGMANN, Klaudia**
34127 Kassel (DE)
- **MAIKRANZ-VALENTIN, Manuel**
34560 Fritzlar (DE)

Anmerkung: Innerhalb von neun Monaten nach Bekanntmachung des Hinweises auf die Erteilung des europäischen Patents im Europäischen Patentblatt kann jedermann nach Maßgabe der Ausführungsordnung beim Europäischen Patentamt gegen dieses Patent Einspruch einlegen. Der Einspruch gilt erst als eingelegt, wenn die Einspruchsgebühr entrichtet worden ist. (Art. 99(1) Europäisches Patentübereinkommen).

EP 1 929 055 B1

Beschreibung

[0001] Die vorliegende Erfindung betrifft ein Verfahren zur Behandlung von Stahlband nach dem Kaltwalzen mit mindestens einer ersten Wärmebehandlung umfassend ein Rekristallisationsglühen sowie mit mindestens einer weiteren nachfolgenden Wärmebehandlung umfassend ein Härten. Gegenstand der vorliegenden Erfindung ist weiterhin ein für eine weitere Verarbeitung vorgesehenes Blechhalbzeug, welches nach diesem Verfahren hergestellt wurde, sowie Kraftfahrzeugbauteile, insbesondere Karosseriebauteile von Kraftfahrzeugen, die aus einem solchen Blechhalbzeug hergestellt wurden.

[0002] In der Prozesskette der Stahlherstellung ist nach dem reduzierenden Kaltwalzen in der Regel eine Wärmebehandlung erforderlich. Durch das reduzierende Kaltwalzen erfährt das Stahlblech eine erhebliche Kaltverfestigung, die eine thermisch induzierte Gefüge Neubildung notwendig macht, da anderenfalls eine Weiterverarbeitung mittels konventioneller Kaltumformtechnik nicht hinreichend möglich wäre. Nach dem Kaltwalzen ist daher eine abschließende Wärmebehandlung erforderlich, die als Rekristallisationsglühen bezeichnet wird. Dieses Rekristallisationsglühen kann in einem Hauben- oder in einem Durchlaufofen erfolgen. Bei den herkömmlichen Verfahren wird dabei eine vollständige Rekristallisation angestrebt und erreicht. Das Stahlband liegt beim Rekristallisationsglühen meist als Coil vor. Dieser Schritt der Wärmebehandlung erfolgt im allgemeinen beim Stahlhersteller vor der Auslieferung des Blechhalbzeugs an den Verarbeiter. Als Antioxidationsschutz wird das Stahlband in aller Regel beschichtet, wobei das Beschichten in Kombination mit dem Glühprozess oder als entkoppelter Prozessschritt erfolgen kann. Der Anwender selbst nimmt dann den gewünschten Platinenzuschnitt vor.

[0003] Verfahren zum Rekristallisationsglühen von kaltgewalztem Stahlblech sind aus dem Stand der Technik hinlänglich bekannt. Beispielsweise beschreibt die DE-PS 1 168 462 ein solches Verfahren, bei dem kaltgewalztes Blech aus unlegiertem Stahl in einem Ofen bei Temperaturen von 600° C - 700° C für eine Zeitdauer von 40 Stunden geglüht wird, wobei vor dem Rekristallisationsglühen noch ein mehrstündiges Erholungsglühen vorgesehen ist.

[0004] Die DE 34 06 792 A1 beschreibt ein Verfahren zum Rekristallisationsglühen von kaltgewalztem Stahlband in einem Haubenofen unter Schutzgas.

[0005] Die DE 698 15 943 T2 beschreibt ein kontinuierliches Verfahren zum Durchlaufglühen von Stahlblech bei reduziertem Druck wobei ein kaltes Plasma in einer Gasatmosphäre erzeugt und bei etwa 700° C geglüht wird.

[0006] Allen vorstehend genannten, aus dem Stand der Technik bekannten Verfahren ist gemeinsam, dass durch die Wärmebehandlung eine vollständige Rekristallisation angestrebt wird und mit dieser der vollständige Abbau der feinkörnigen in Walzrichtung längsgestreckten Gefügestruktur einhergeht.

[0007] Die JP 62 093 341 A offenbart ein Verfahren zur Herstellung eines Stahlbands nach dem Kaltwalzen, bei dem bei der nachfolgenden Wärmebehandlung nur eine teilweise Rekristallisation erfolgt.

[0008] In der Automobilindustrie werden beispielsweise für anspruchsvolle Anwendungen im Karosseriebereich Vergütungsstähle, vorzugsweise höchstfeste Vergütungsstähle eingesetzt, die sich insbesondere durch eine sehr hohe Festigkeit auszeichnen. Nach dem Platinenzuschnitt erfolgt beim Anwender erneut eine Wärmebehandlung mit Erwärmung der Platinen auf die Austenitisierungstemperatur. Hiernach schließt sich eine beschleunigte Abkühlung (entspricht einer Abschreckung) an, um einen gehärteten Gefügezustand einzustellen. Diese Maßnahme kann beispielsweise als kombiniertes Umformen und Abschrecken in einem Pressenwerkzeug erfolgen, was dem sogenannten Formhärten entspricht. Nach dem Stand der Technik wird durch das Formhärten die endgültige Bauteilgeometrie und die Werkstofffestigkeit bzw. -zähigkeit des metallischen Gefüges eingestellt. Die beschleunigte Wärmeabfuhr innerhalb des Umformwerkzeugs führt durch die Initiierung einer Phasenumwandlung zur Aufhärtung des Bauteils und somit zu einer Steigerung der Festigkeit.

[0009] Da gemäß zuvor geschilderter Prozesskette im Zusammenhang mit dem warm umformenden Prozess des Formhärtens beim Anwender eine Wärmebehandlung erfolgt, ist aus dessen Sicht die Wärmebehandlung in der Blechhalbzeugherstellung (Rekristallisationsglühen) technologisch nicht erforderlich, gegebenenfalls im Hinblick auf die einzustellenden mechanischen Endeigenschaften des Bauteils sogar ungünstig.

[0010] Hier setzt die vorliegende Erfindung ein. Aufgabe der Erfindung ist es ein Verfahren zur Behandlung von Stahlband nach dem Kaltwalzen der eingangs genannten Gattung zur Verfügung zu stellen, welches unter prinzipieller Beibehaltung der bisherigen Prozessroute Blechhalbzeug liefert, das eine Herstellung von Bauteilen mit verbesserten Eigenschaften ermöglicht.

[0011] Die Lösung dieser Aufgabe liefert ein Verfahren zur Behandlung von Stahlband der eingangs genannten Gattung mit den kennzeichnenden Merkmalen des Hauptanspruchs.

[0012] Kern der vorliegenden Erfindung ist eine modifizierte Wärmebehandlung nach dem reduzierenden Kaltwalzen, durch die thermisch induzierte Gefügeänderungen so kontrolliert werden, dass der bei der bisher angestrebten vollständigen Rekristallisation eingetretene vollständige Abbau der sehr feinkörnigen in Walzrichtung längsgestreckten Gefügestruktur bewusst vermieden wird. Dazu wird über die Wahl des Zeit-Temperaturverlaufs nur solch ein Anteil an rekristallisiertem Gefüge und demzufolge gerade so viel an weiterer Kaltumformbarkeit eingestellt, dass eine Handhabung der Coils, das heißt eine Unterdrückung des so genannten Uhrfedereffekts sichergestellt ist und ein Richten über

zum Beispiel walzenbasierte Streckrichtanlagen zur Einstellung ebener Platinenzuschnitte für die insbesondere umformtechnische Weiterverarbeitung gewährleistet ist. Erfindungsgemäß erfolgt bei der ersten Wärmebehandlung ein Rekristallisationsglühen derart, dass ein rekristallisierter Anteil im Gefüge von etwa 15% bis etwa 45%, vorzugsweise von etwa 20% bis etwa 40% erzielt wird.

[0013] Die Reste der bedingt durch die erfindungsgemäße nur teilweise Rekristallisation noch vorhandenen feinkörnigen Deformationsstruktur wirken sich auch positiv auf den nachfolgenden Bearbeitungsschritt des Härtens beim Anwender aus. Beispielsweise kommt es durch die Vorerwärmung der Platinen für das Formhärten zu einer weiteren Gefügeänderung, die im Abgleich zwischen der Wechselwirkung von Temperatur- und Strukturabhängigkeit der Fließspannung ein hinreichendes Warmumformvermögen gewährleisten soll. Durch eine Anpassung der Zeit-Temperatur-Führung auf die veränderte Gefügeausbildung infolge der modifizierten ersten Wärmebehandlung kann zusätzlich auch die Vorerwärmung beim Formhärten durch ein Herabsetzen der bisher sehr hohen Temperaturen (oberhalb von A_{C3} im reinen Austenitbereich) optimiert werden. Erfindungsgemäß steht insbesondere das Ziel im Vordergrund, Reste der noch vorhandenen feinkörnigen längsgestreckten Deformationsstruktur aus dem reduzierenden Kaltwalzen zu erhalten. Diese Strukturanteile können aufgrund der Feinkörnigkeit für das formgehärtete Bauteil zu einer erhöhten Festigkeit führen, jedoch vor allem aufgrund der verbleibenden Deformationsstrukturanteile auch zu einer erhöhten Duktilität mit unmittelbar positiver Auswirkung z. B. auf das Crashverhalten bei aus den erfindungsgemäßen Blechhalbzeugen hergestellten Karosseriebauteilen.

[0014] Die in dem erfindungsgemäßen Verfahren angewandte weitere nachfolgende Wärmebehandlung kann eine Endwärmebehandlung, d.h. abschließende Wärmebehandlung des Bauteils beim Anwender sein. Diese abschließende Wärmebehandlung kann eine Umformung zur Schaffung einer gewünschten Bauteilgeometrie umfassen, z. B. ein Formhärten wie es zuvor erwähnt wurde. Die weitere Wärmebehandlung muss jedoch nicht unbedingt mit einer Umformung einhergehen. Vorzugsweise umfasst die weitere, in der Regel abschließende Wärmebehandlung allerdings eine Formgebung in einem formabbildenden Werkzeug. Dies schließt dabei aber auch den Fall ein, dass das Bauteil die Endform bereits vorher erhalten hat und das formabbildende Werkzeug dazu dient, dass das Bauteil bei der Wärmebehandlung diese Form beibehält (Vermeidung von Verzug etc.) Bei der weiteren nachfolgenden Wärmebehandlung ist weiterhin vorzugsweise ein Abkühlen über ein abkühlendes Medium oder über ein formabbildendes Werkzeug vorgesehen.

[0015] Das erfindungsgemäße Verfahren dient vorzugsweise zur Wärmebehandlung von Stahlband aus vergütbarem Stahl, insbesondere wird Stahlband aus höchstfesten Stählen wärmebehandelt. Besonders bevorzugt sind dabei Vergütungsstähle, die Mangan und/oder Bor als Legierungselement enthalten. Beispielsweise sei die Stahlsorte 22MnB5 genannt. Die Legierungselemente Mangan und Bor begünstigen eine schnelle Gefügeänderung, was insbesondere für das Formhärten vorteilhaft ist.

[0016] Ein weiterer Vorteil des erfindungsgemäßen Verfahrens liegt darin, dass das Fließverhalten des Werkstoffs bei einer nachfolgenden Umformung über bei der ersten Wärmebehandlung erhalten gebliebene richtungsabhängige Strukturanteile gesteuert werden kann.

[0017] Die Versuche haben weiter ergeben, dass vorzugsweise das Rekristallisationsglühen bei einer Temperatur unterhalb der Rekristallisationstemperatur, vorzugsweise etwa 1% bis etwa 10%, besonders bevorzugt etwa 2% bis etwa 6% unterhalb der Rekristallisationstemperatur erfolgt. Um die Rekristallisationstemperatur erfolgt die Rekristallisation deutlich am schnellsten. Wenn die Differenz zwischen der Glühtemperatur und der Rekristallisationstemperatur steigt, wird das Parameterfenster größer. Die erfindungsgemäße Lösung ermöglicht es somit bei der ersten Wärmebehandlung die Glühtemperatur deutlich abzusenken. Da nur eine teilweise Rekristallisation angestrebt wird, kann je nach Prozessroute auch die Glühzeit bei der ersten Wärmebehandlung gegenüber herkömmlichen Verfahren deutlich verkürzt werden. Dies ermöglicht ganz erhebliche Energieeinsparungen.

[0018] Bei der weiteren nachfolgenden Wärmebehandlung, das heißt beispielsweise dem Formhärten, ist ebenfalls eine Verkürzung der Glühzeit möglich. Unter Ausnutzung der beibehaltenen Richtungsabhängigkeit des Materials kann der Umformprozess flexibler gesteuert werden. Da somit bei beiden Glühbehandlungen die Glühzyklen verkürzt werden können, führt dies zu einer deutlichen Verkürzung der Prozesskette insgesamt.

[0019] Bei Anwendung des erfindungsgemäßen Verfahrens und Beibehaltung der bisher üblichen Austenitisierungsbedingungen lassen sich insbesondere bei Behandlung höchstfester Vergütungsstähle gleich gute oder sogar geringfügig verbesserte Zugfestigkeiten erzielen. Die Werte für die Bruchdehnung können dabei deutlich erhöht werden. Somit ergeben sich optimierte Festigkeits-/Dehnungs-Verhältnisse. Dies ist darauf zurückzuführen, dass nach der ersten Wärmebehandlung die Orientierung teilweise erhalten bleibt und nach der weiteren Wärmebehandlung (insbesondere dem Formhärten) sogar gegebenenfalls ein feineres Korngefüge erhalten wird. Es lassen sich somit deutlich bessere Werkstoffeigenschaften unter Beibehaltung der konventionellen Glühzeiten erzielen.

[0020] Erfindungsgemäß lassen sich jedoch auch im Vergleich zu den herkömmlichen Verfahren die Austenitisierungsbedingungen verändern, insbesondere lässt sich die Austenitisierungszeit verkürzen. Bei einer so modifizierten weiteren Wärmebehandlung wird immer noch ein besseres Festigkeits-/Dehnungs-Verhältnis erhalten als nach der konventionellen Prozessroute. Hier wird der technologische Fortschritt deutlich, den das erfindungsgemäße Verfahren mit sich bringt.

[0021] Die in den Unteransprüchen genannten Merkmale betreffen bevorzugte Weiterbildungen der erfindungsgemäßen Aufgabenlösung. Weitere Vorteile der Erfindung ergeben sich aus der nachfolgenden Detailbeschreibung.

[0022] Nachfolgend wird die vorliegende Erfindung anhand von Ausführungsbeispielen unter Bezugnahme auf die beiliegenden Zeichnungen näher erläutert.

Dabei zeigen:

Fig. 1 ein Diagramm zur Erläuterung der Rekristallisationskinetik bei der erfindungsgemäßen ersten Wärmebehandlung (Rekristallisationsglühen), wobei der rekristallisierte Anteil RX in % in Abhängigkeit von der Glühzeit in Minuten aufgetragen ist;

Fig. 2 eine Graphik zur Erläuterung der mechanischen Eigenschaften von Stahlband nach dem Rekristallisationsglühen, abhängig vom rekristallisierten Anteil RX, wobei Zugfestigkeit und Bruchdehnung gegen den rekristallisierten Anteil RX in % aufgetragen wurden;

Fig. 3 aus experimentellen Daten ermittelte Kurvenverläufe für Zugfestigkeit und Bruchdehnung nach der weiteren Wärmebehandlung (dem Formhärten), wobei auf der Ordinate links die Werte für die Zugfestigkeit und rechts diejenigen für die Bruchdehnung wiedergegeben sind, aufgetragen jeweils gegen den rekristallisierten Anteil RX in % (von links nach rechts zunehmend);

Fig. 4a eine Graphik, die den Einfluss der Austenitisierungszeit beim Formhärten verdeutlicht, wobei bei zwei verschiedenen Glühzeiten jeweils der Verlauf der Zugfestigkeit in Abhängigkeit von dem rekristallisierten Anteil RX in % wiedergegeben ist;

Fig. 4b eine Graphik, die den Einfluss der Austenitisierungszeit beim Formhärten verdeutlicht, wobei bei zwei verschiedenen Glühzeiten jeweils der Verlauf der Bruchdehnung in Abhängigkeit von dem rekristallisierten Anteil RX in % wiedergegeben ist;

Versuchsdurchführung

[0023] Als Ausgangsmaterial diente unbeschichtetes Kaltband aus höchstfestem Vergütungsstahl 22MnB5 (Zusammensetzung gemäß nachfolgender Tabelle 1) mit einer Dicke von jeweils $d = 1,75$ mm.

5

10

15

20

25

30

35

40

45

50

55

Tabelle 1: Schmelzrichtanalyse eines 22MnB5 (1.5528)

C	Si	Mn	P	S	Al	Cr	Ti	B
0,19-0,25	0,15-0,40	1,10-1,30	max.0,025	max.0,015	0,020-0,060	0,15-0,35	0,020-0,050	0,0008-0,0050

[0024] Das industriell auf einer Tandemwalzstrasse kaltgewalzte und in Form von Tafeln angelieferte Versuchsmaterial wurde in 600 mm lange und 20 mm breite Streifen geschnitten.

a) Versuche zur ersten erfindungsgemäßen Wärmebehandlung (Rekristallisationsglühen)

[0025] Die verschiedenen Temperatur-Zeit-Zyklen zur Variation der Rekristallisationsbedingungen wurden mit einem Versuchs-Durchlaufofen nachgefahren. Dazu fuhren pro Versuch jeweils zwei Streifen nebeneinander auf einem Transportband liegend in den Ofen ein. Nach Ablauf der entsprechenden Glühzeit wurde das Material aus dem Ofen heraus transportiert und an ruhender Luft bis auf Raumtemperatur abgekühlt. Einer der beiden geglühten Streifen stand für die nachfolgenden Formhärteversuche (weitere erfindungsgemäße Wärmebehandlung) zur Verfügung. Aus dem zweiten wurden drei Proben für Zugversuche nach DIN EN 10002 (Anfangsmesslänge $L_0 = 50$ mm ; Ermittlung der Kennwerte $R_{p0,2}$, R_m und A_{50}) sowie eine Gefügeprobe für metallographische Untersuchungen (Bestimmung des rekristallisierten Anteils und der Korngröße) entnommen.

b) Formhärten der Rekristallisationsproben

[0026] Der nach den Rekristallisationsproben zurückgelegte zweite Streifen wurde zunächst austenitisiert. Dazu fand, ebenfalls wieder im Versuchs-Durchlaufofen, eine Erwärmung auf 900° C bei einer Haltezeit von 300 s statt. Nach diesen fünf Minuten wurde der Streifen über einen Kettentransport zum Formhärtwerkzeug transportiert. Bis zum manuellen Einlegen des Streifens in das Werkzeug vergingen ca. 5 s. Das Werkzeug wurde durch ein Absenken einer oberen Platte geschlossen und 20 s in dieser Position gehalten. Nach Auffahren des Werkzeugs konnte das auf ca. 70° C abgekühlte Probenmaterial entnommen werden. Zwischen den einzelnen Versuchen kühlte das Werkzeug immer wieder aus, so dass es eine maximale Temperatur von 40° C aufwies. Die formgehärteten Proben wurden ebenfalls wieder in je drei Zugproben und eine Probe für metallographische Untersuchungen zertrennt.

c) Variation der Austenitisierungsbedingungen

[0027] Nach Auswertung der mechanischen Werkstoffprüfung und der metallographischen Untersuchungen an den Proben aus den Versuchen a) und b) konnte anhand der Ergebnisse über verschiedene Temperatur-Zeit-Zyklen bei der Wärmebehandlung ein genau definierter Rekristallisationsgrad eingestellt werden. Für jeden der fein abgestuften Rekristallisationsgrade wurden jeweils drei Streifen geglüht.

[0028] Die Variation der Austenitisierungsbedingungen beschränkte sich auf eine Glühzeitverkürzung auf 200 s bei 900° C (konventionell beträgt die Glühzeit 300 s) und zwei Temperaturverringerungen auf 850° C bzw. 800° C bei 300 s Glühzeit (die konventionelle Glühtemperatur beträgt 900° C). Für alle eingestellten Rekristallisationsgrade wurden diese drei veränderten Austenitisierungsbedingungen mit anschließendem Abschrecken im Werkzeug durchgeführt. Zugversuche und metallographische Untersuchungen erfolgten auch an diesen Zuständen.

Auswertung

[0029] Anhand von experimentellen Daten wurde der Verlauf des statisch rekristallisierten Anteils in Abhängigkeit von der Glühzeit ermittelt. Das Rekristallisationsglühen folgt der Kinetik des AVRAMI-Ansatzes gemäß der Formel :

$$RX[\%] = (1 - \exp(-a \cdot (t/t_{0,5})^b)) \cdot 100$$

In der

RX der statisch rekristallisierte Gefügeanteil
 a, b Konstanten (werkstoff- und temperaturabhängig)
 $t_{0,5}$ die Zeit, bei der 50% des Gefüges rekristallisiert sind, und
 t die Glühzeit ist.

[0030] In der Graphik gemäß Fig. 1 ist der rekristallisierte Anteil RX in % gegen die Glühzeit in Minuten aufgetragen. Dabei sind die Kurven für vier verschiedene Glühtemperaturen wiedergegeben, und zwar $T = 735^\circ \text{C}$ (Rekristallisationstemperatur), $T = 750^\circ \text{C}$ ($T_R + 15^\circ \text{C}$), $T = 715^\circ \text{C}$ ($T_R - 20^\circ \text{C}$) und $T = 700^\circ \text{C}$ ($T_R - 35^\circ \text{C}$). Aus der Darstellung ergibt sich, dass die Rekristallisation um die Rekristallisationstemperatur deutlich am schnellsten erfolgt. Die Rekristallisationskinetik kurz unterhalb und kurz oberhalb der Rekristallisationstemperatur weist annähernd den gleichen Verlauf auf.

Je größer die Differenz zwischen Glühtemperatur und Rekristallisationstemperatur ist (siehe Kurvenverlauf bei $T = 700^\circ\text{C}$), um so größer ist das Parameterfenster, das heißt der angestrebte rekristallisierte Anteil RX des Gefüges lässt sich dann am besten durch Variieren der Glühzeit beeinflussen. Der Graphik lässt sich entnehmen, dass bei dieser Temperatur nach einer Glühzeit von 20 min der rekristallisierte Anteil RX etwa bei 25 % liegt, während nach einer Glühzeit von etwa 30 min RX bereits bei etwa 80 % liegt.

[0031] In Fig. 2 sind als wichtige mechanische Eigenschaften die Zugfestigkeit (links) und die Bruchdehnung (rechts) nach dem Rekristallisationsglühen in Abhängigkeit von dem rekristallisierten Anteil RX aufgetragen. Die Werte ergeben sich aus experimentell ermittelten Daten, die nach der ersten erfindungsgemäßen Wärmebehandlung, das heißt nach dem Rekristallisationsglühen aufgenommen wurden. Man sieht, dass die Zugfestigkeit mit zunehmendem rekristallisiertem Anteil RX sinkt, wobei jedoch bei RX zwischen etwa 20% und etwa 40 % noch ausreichend niedrige Werte im Bereich von etwa 620 N/mm² und 740 N/mm² erzielt werden. Die Bruchdehnung steigt hingegen mit zunehmendem rekristallisierten Anteil RX, wobei man erkennt, dass bereits bei RX 20% bis 40% gute Werte erreicht werden und diese dann bei weiter zunehmendem RX nur noch wenig weiter ansteigen. Es ist die Bruchdehnung A_{50} in % wiedergegeben.

[0032] Anhand von Schlifffbildern lässt sich sehr gut erkennen, dass nach der ersten Wärmebehandlung Anteile der feinkörnigen längsgestreckten Deformationsstruktur aus dem reduzierenden Kaltwalzen teilweise erhalten bleiben. Nach der weiteren erfindungsgemäßen Wärmebehandlung (Formhärten) erhält man bei gleichen Austenitisierungsbedingungen mit einer Korngröße von ca. 5 µm sogar ein feineres Gefüge als bei herkömmlicher Prozessroute mit 100 %iger Rekristallisation (Korngröße ca. 8...10 µm) in der ersten Wärmebehandlung.

[0033] Fig. 3 zeigt die mechanischen Eigenschaften nach dem Formhärten in Abhängigkeit vom rekristallisierten Anteil RX vor dem Austenitisieren. Links ist auf der y-Achse wieder die Zugfestigkeit in N/mm² angegeben und auf der rechten y-Achse die Bruchdehnung A_{50} in %. Auf der x-Achse ist der rekristallisierte Anteil RX in % angegeben von links nach rechts zunehmend. Man erkennt, dass im Hinblick auf eine optimale Kombination aus hohen Festigkeiten und hohen Dehnwerten ein optimaler Bereich für RX bei etwa 20% bis etwa 40% liegt. Durch die erfindungsgemäße modifizierte Wärmebehandlung kann eine Verbesserung der Dehnung um mindestens 20% erzielt werden.

[0034] Die Fig. 4a und 4b verdeutlichen den Einfluss der Austenitisierungszeit, d. h. der Zeitdauer der zweiten Wärmebehandlung auf die mechanischen Eigenschaften nach dem Formhärten. In Fig. 4a ist die Zugfestigkeit in N/mm² aufgetragen gegen den rekristallisierten Anteil RX in %, wobei zwei Kurven für jeweils unterschiedliche Glühzeiten dargestellt sind. Die Glühzeit betrug 200 s bzw. 300 s bei gleicher Glühtemperatur von jeweils 900° C. Man erkennt, dass die Zugfestigkeitswerte bei der Glühzeit von 200 s über den gesamten Kurvenverlauf höher liegen als bei der längeren Glühzeit von 300 s. Die Differenz in den Zugfestigkeitswerten nimmt mit zunehmendem rekristallisierten Anteil RX nur noch leicht zu. Die in Fig. 4b wiederum für die beiden angegebenen Glühzeiten bei gleicher Glühtemperatur von 900° C ermittelten Kurvenverläufe für die Bruchdehnung in % zeigen, dass die Werte mit zunehmendem rekristallisierten Anteil RX zunächst wiederum ein Maximum im Bereich zwischen 20 und 40% erreichen und danach wieder abnehmen. Erstaunlich ist die Tatsache, dass die Bruchfestigkeitswerte trotz der kürzeren Glühzeit von 200 s (untere Kurve) bei einem rekristallisierten Anteil RX von etwa 40% noch immer besser sind, als die Werte bei längerer Glühzeit, wenn zuvor eine 100 %ige Rekristallisation vorgenommen wurde. Dies bedeutet, dass die Glühzeit beim Formhärten verkürzt werden kann, wobei höhere Zugfestigkeitswerte erreicht werden als bei vorheriger 100 %iger Rekristallisation nach der konventionellen Prozessroute. Zudem wird auch beim Rekristallisationsglühen selbst eine Verkürzung der Glühzeit dadurch möglich, dass der Glühprozess früher beendet werden kann, nämlich dann, wenn der gewünschte Rekristallisationsgrad von beispielsweise etwa 20% oder etwa 40% erreicht ist.

Patentansprüche

1. Verfahren zur Behandlung von Stahlband nach dem Kaltwalzen mit mindestens einer ersten Wärmebehandlung umfassend ein Rekristallisationsglühen sowie mit mindestens einer weiteren nachfolgenden Wärmebehandlung umfassend ein Härten, **dadurch gekennzeichnet, dass** der Zeit-Temperatur-Verlauf bei der ersten Wärmebehandlung so gewählt wird, dass bei der ersten Wärmebehandlung ein Rekristallisationsglühen derart erfolgt, dass ein rekristallisierter Anteil im Gefüge von etwa 15% bis etwa 45% erzielt wird und das durch die vorhergegangene Kaltverfestigung erzeugte längsgestreckte Gefüge teilweise erhalten bleibt.
2. Verfahren nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet, dass** die weitere nachfolgende Wärmebehandlung eine Endwärmebehandlung ist, die ein Formhärten umfasst.
3. Verfahren nach Anspruch 2, **dadurch gekennzeichnet, dass** die weitere nachfolgende Wärmebehandlung eine Umformung umfasst.
4. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, **dadurch gekennzeichnet, dass** die weitere nachfolgende Wärmebehandlung

eine Formgebung über ein formabbildendes Werkzeug umfasst.

5. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 4, **dadurch gekennzeichnet, dass** auf die weitere nachfolgende Wärmebehandlung ein Abkühlen über ein abkühlendes Medium oder über ein formabbildendes Werkzeug folgt.
6. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 5, **dadurch gekennzeichnet, dass** die weitere nachfolgende Wärmebehandlung eine Erwärmung auf Austenitisierungstemperatur einschließt.
7. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 6, **dadurch gekennzeichnet, dass** ein Stahlband aus einem vergütbaren Stahl wärmebehandelt wird.
8. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 7, **dadurch gekennzeichnet, dass** ein Stahlband aus einem höchstfesten Stahl wärmebehandelt wird.
9. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 8, **dadurch gekennzeichnet, dass** ein Stahlband aus einem Stahl behandelt wird, der Mangan und/oder Bor als Legierungselement enthält.
10. Verfahren nach Anspruch 9, **dadurch gekennzeichnet, dass** ein Stahlband aus 22MnB5 wärmebehandelt wird.
11. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** das Fließverhalten des Werkstoffs bei einer nachfolgenden Umformung über bei der ersten Wärmebehandlung erhaltene richtungsabhängige Strukturanteile gesteuert wird.
12. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** bei der ersten Wärmebehandlung ein Rekristallisationsglühen derart erfolgt, dass ein rekristallisierter Anteil im Gefüge von etwa 20% bis etwa 40% erzielt wird.
13. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** das Rekristallisationsglühen bei einer Temperatur unterhalb der Rekristallisationstemperatur, vorzugsweise etwa 1 % bis etwa 10%, besonders bevorzugt etwa 2% bis etwa 6% unterhalb der Rekristallisationstemperatur erfolgt.
14. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Glühzeit beim Rekristallisationsglühen gegenüber herkömmlichen Verfahren verkürzt wird und **dadurch** eine nur teilweise Rekristallisation erzielt wird,
15. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Glühzeit bei der weiteren nachfolgenden Wärmebehandlung gegenüber vergleichbaren herkömmlichen Verfahren verkürzt wird.

Claims

1. Process for the treatment of steel strip after cold rolling, including at least a first heat treatment comprising recrystallization annealing and also including at least a further, subsequent heat treatment comprising hardening, **characterized in that** the time-temperature curve during the first heat treatment is selected such that recrystallization annealing is effected during the first heat treatment in such a manner that a recrystallized fraction of about 15% to about 45% is obtained in the microstructure, and the elongated microstructure produced by the preceding cold work-hardening is partially retained.
2. Process according to claim 1, **characterized in that** the further, subsequent heat treatment is a final heat treatment comprising press hardening.
3. Process according to claim 2, **characterized in that** the further, subsequent heat treatment comprises deformation.
4. Process according to claim 1 or 2, **characterized in that** the further, subsequent heat treatment comprises shaping using a shaping tool.
5. Process according to one of claims 1 to 4, **characterized in that** the further, subsequent heat treatment is followed by cooling using a cooling medium or using a shaping tool.

6. Process according to one of claims 1 to 5, **characterized in that** the further, subsequent heat treatment includes heating to austenitization temperature.
- 5 7. Process according to one of claims 1 to 6, **characterized in that** a steel strip made of a steel which can be quenched and tempered is heat treated.
8. Process according to one of claims 1 to 7, **characterized in that** a steel strip made of a super-high-strength steel is heat treated.
- 10 9. Process according to one of claims 1 to 8, **characterized in that** a steel strip made of a steel containing manganese and/or boron as alloying element is treated.
10. Process according to claim 9, **characterized in that** a steel strip made of 22MnB5 is heat treated.
- 15 11. Process according to one of the preceding claims, **characterized in that** the flow properties of the material during subsequent deformation are controlled by way of directional-dependent structural fractions obtained during the first heat treatment.
- 20 12. Process according to one of the preceding claims, **characterized in that** recrystallization annealing is effected during the first heat treatment in such a manner that a recrystallized fraction of about 20% to about 40% is obtained in the microstructure.
- 25 13. Process according to one of the preceding claims, **characterized in that** the recrystallization annealing is effected at a temperature below the recrystallization temperature, preferably about 1% to about 10%, particularly preferably about 2% to about 6%, below the recrystallization temperature.
14. Process according to one of the preceding claims, **characterized in that** the annealing time for the recrystallization annealing is shortened compared to conventional processes, and only partial recrystallization is thereby achieved.
- 30 15. Process according to one of the preceding claims, **characterized in that** the annealing time for the further, subsequent heat treatment is shortened compared to comparable, conventional processes.

Revendications

- 35 1. Procédé de traitement d'un feuillard d'acier après le laminage à froid avec au moins un premier traitement thermique, comprenant un recuit de recristallisation, ainsi qu'avec au moins un traitement thermique supplémentaire consécutif, comprenant une trempe, **caractérisé en ce que** lors du premier traitement thermique, la courbe temps/température est choisie de façon à ce que lors du premier traitement thermique, un recuit de recristallisation s'effectue de telle sorte qu'une part recristallisée d'environ 15 % à environ 45 % soit obtenue dans la structure et que la structure allongée créée par la solidification à froid précédente reste partiellement conservée.
- 40 2. Procédé selon la revendication 1, **caractérisé en ce que** le traitement thermique supplémentaire consécutif est un traitement thermique final, qui comprend une trempe par refroidissement.
- 45 3. Procédé selon la revendication 2, **caractérisé en ce que** le traitement thermique supplémentaire consécutif comprend une déformation.
- 50 4. Procédé selon la revendication 1 ou 2, **caractérisé en ce que** le traitement thermique supplémentaire consécutif comprend un façonnage par l'intermédiaire d'un outil reproduisant la forme.
- 55 5. Procédé selon l'une quelconque des revendications 1 à 4, **caractérisé en ce qu'un** refroidissement par l'intermédiaire d'un fluide de refroidissement ou par l'intermédiaire d'un outil reproduisant la forme fait suite au traitement thermique supplémentaire consécutif.
6. Procédé selon l'une quelconque des revendications 1 à 5, **caractérisé en ce que** le traitement thermique supplémentaire consécutif inclut un échauffement à une température d'austénitisation.

7. Procédé selon l'une quelconque des revendications 1 à 6, **caractérisé en ce qu'on** soumet à un traitement thermique un feuillard d'acier en un acier trempable.
- 5 8. Procédé selon l'une quelconque des revendications 1 à 7, **caractérisé en ce qu'on** soumet à un traitement thermique un feuillard d'acier en un acier à résistance extrême.
9. Procédé selon l'une quelconque des revendications 1 à 8, **caractérisé en ce qu'on** traite un feuillard d'acier en un acier contenant du manganèse et/ou du bore en tant qu'élément d'alliage.
- 10 10. Procédé selon la revendication 9, **caractérisé en ce qu'on** soumet à un traitement thermique un feuillard d'acier en 22MnB5.
11. Procédé selon l'une quelconque des revendications précédentes, **caractérisé en ce qu'on** contrôle l'aptitude à l'écoulement de la matière ouvrable lors d'une déformation consécutive par l'intermédiaire des parties de structures directionnelles obtenues lors du premier traitement thermique.
- 15 12. Procédé selon l'une quelconque des revendications précédentes, **caractérisé en ce que** lors du premier traitement thermique, un recuit de recristallisation s'effectue de telle sorte qu'une part recristallisée d'environ 20 % à environ 40 % soit obtenue dans la structure.
- 20 13. Procédé selon l'une quelconque des revendications précédentes, **caractérisé en ce que** le recuit de recristallisation s'effectue à une température inférieure à la température de recristallisation, de préférence inférieure d'environ 1 % à environ 10 %, de façon particulièrement préférée d'environ 2 % à environ 6 % à la température de recristallisation.
- 25 14. Procédé selon l'une quelconque des revendications précédentes, **caractérisé en ce que** le temps de recuit lors du recuit de recristallisation est raccourci en comparaison de procédés conventionnels et que de ce fait, il n'est obtenu qu'une recristallisation partielle.
- 30 15. Procédé selon l'une quelconque des revendications précédentes, **caractérisé en ce que** lors du traitement thermique supplémentaire consécutif, le temps de recuit est raccourci par rapport à des procédés conventionnels comparables.

35

40

45

50

55

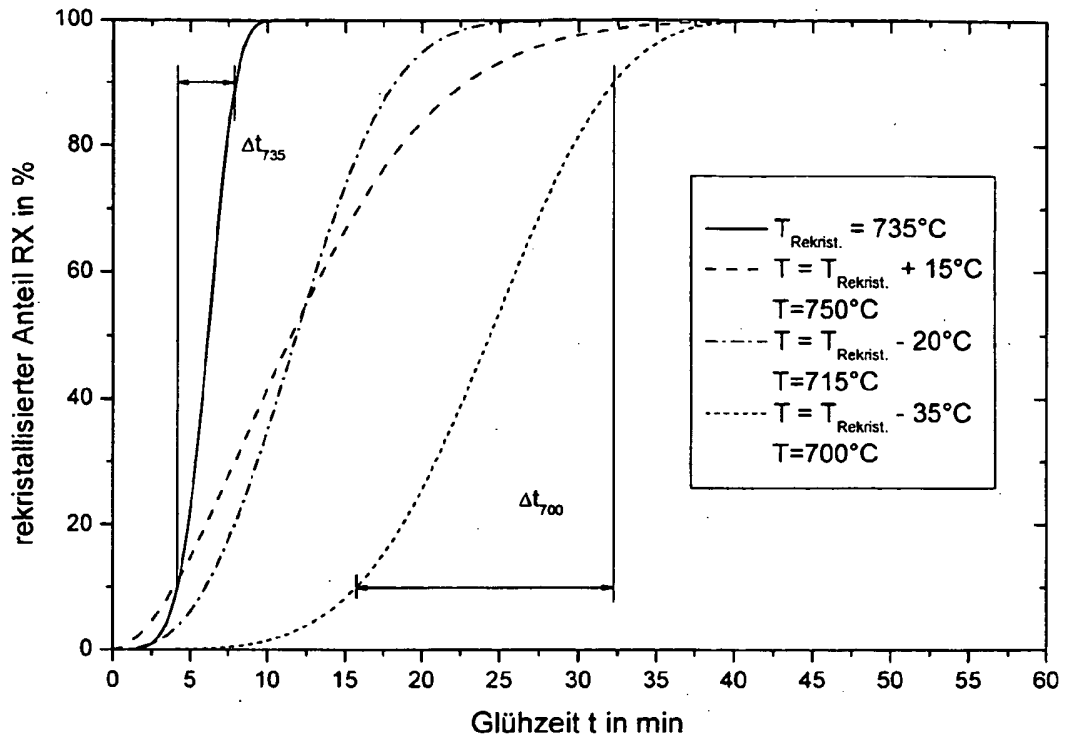


Fig. 1: aus experimentellen Daten ermittelter Verlauf des statisch rekristallisierten Anteils nach der Wärmebehandlung (nach AVRAMI)

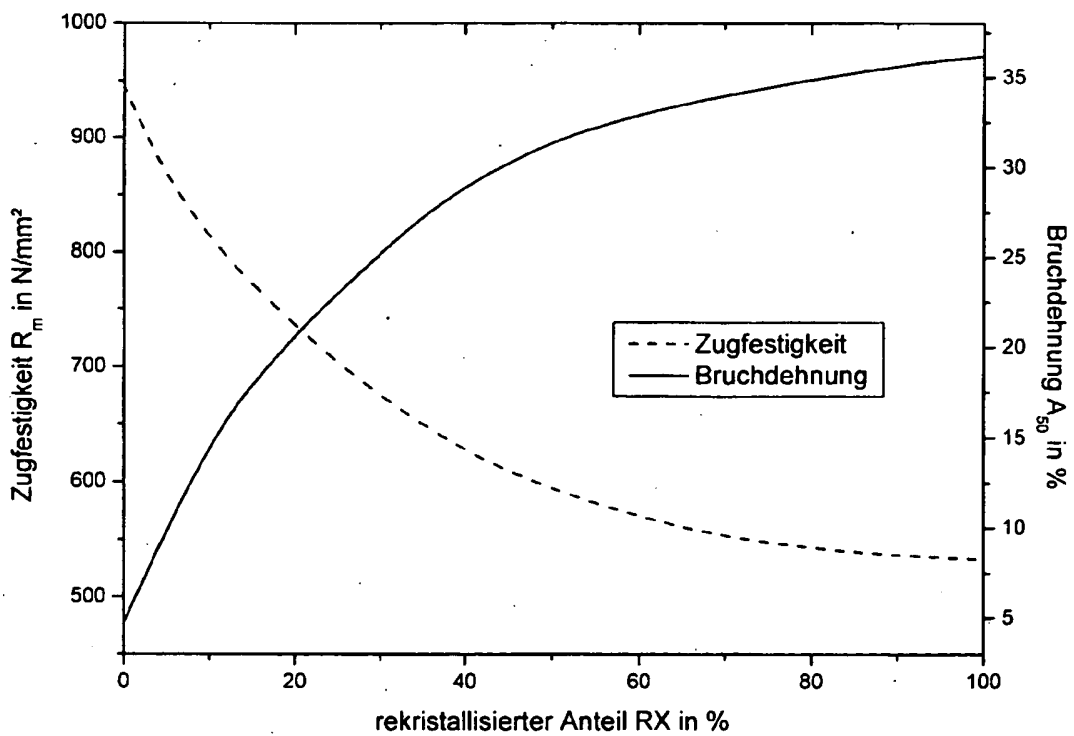


Fig. 2: aus experimentellen Daten ermittelte Kurvenverläufe für Zugfestigkeit und Bruchdehnung nach der Wärmebehandlung

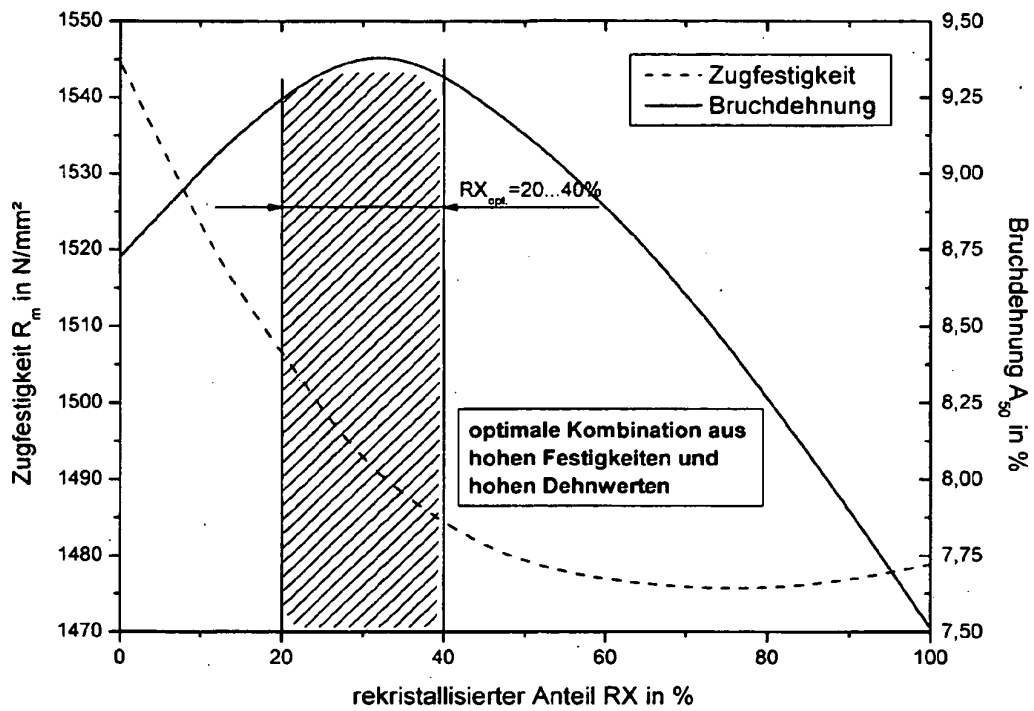


Fig. 3: aus experimentellen Daten ermittelte Kurvenverläufe für Zugfestigkeit und Bruchdehnung nach dem Formhärten

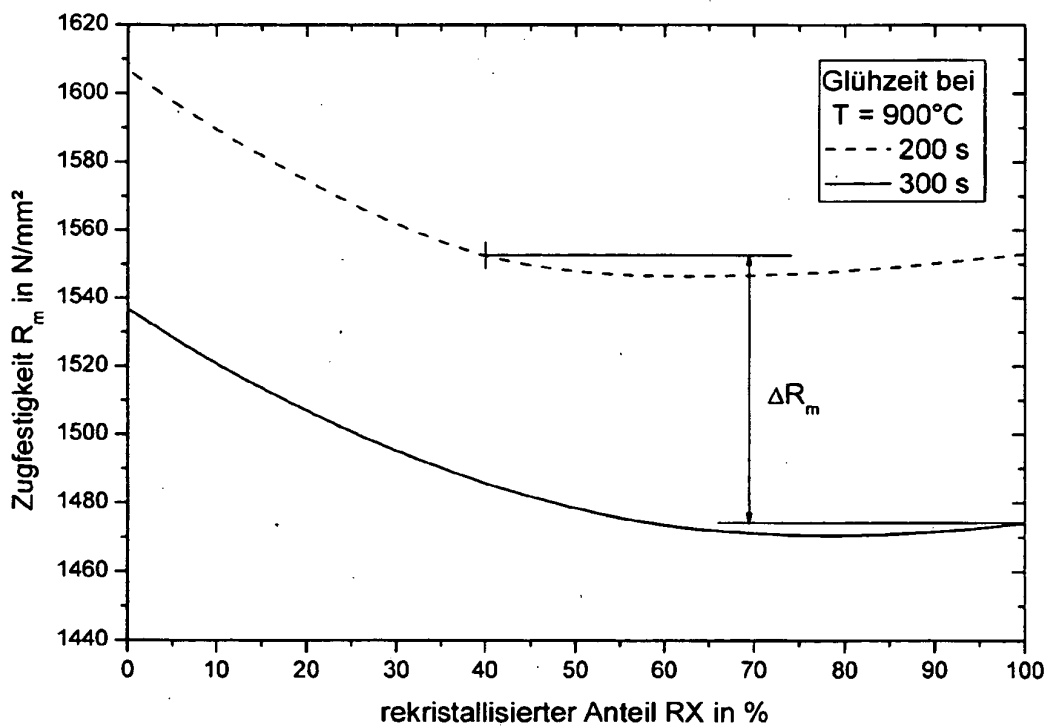


Fig. 4a: aus experimentellen Daten ermittelter Verlauf der Zugfestigkeit nach dem Formhärten

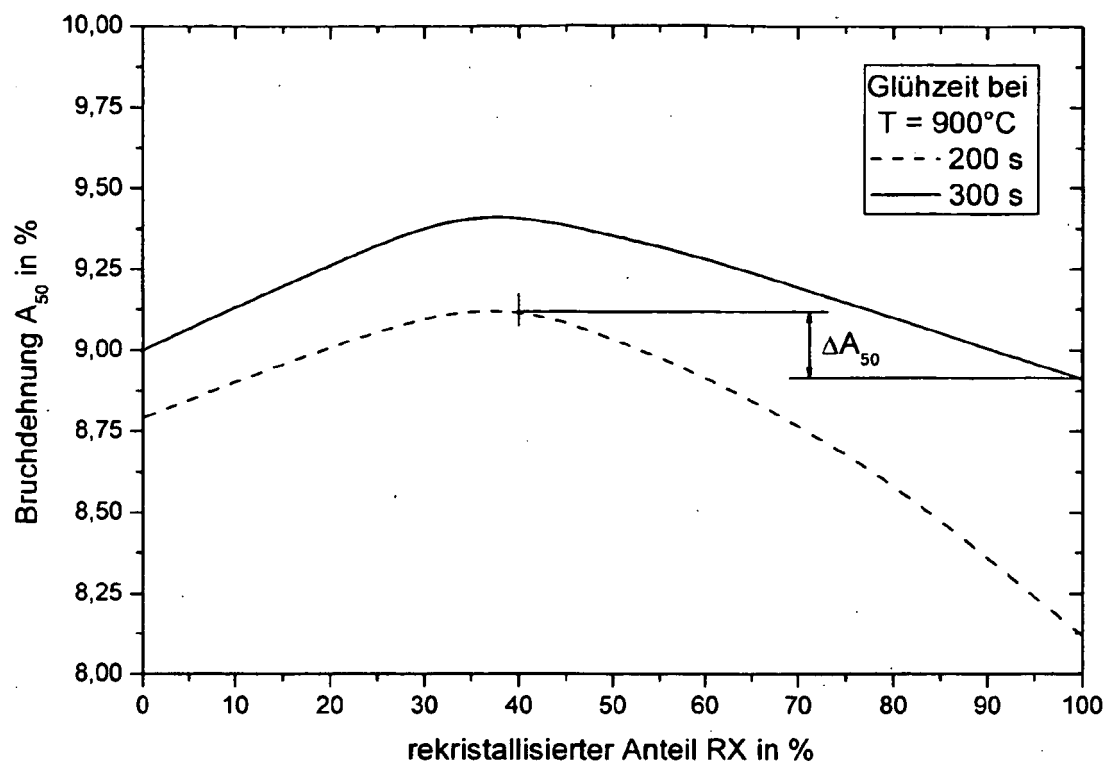


Fig. 4b: aus experimentellen Daten ermittelter Verlauf der Bruchdehnung nach dem Formhärten

IN DER BESCHREIBUNG AUFGEFÜHRTE DOKUMENTE

Diese Liste der vom Anmelder aufgeführten Dokumente wurde ausschließlich zur Information des Lesers aufgenommen und ist nicht Bestandteil des europäischen Patentdokumentes. Sie wurde mit größter Sorgfalt zusammengestellt; das EPA übernimmt jedoch keinerlei Haftung für etwaige Fehler oder Auslassungen.

In der Beschreibung aufgeführte Patentdokumente

- DE PS1168462 C [0003]
- DE 3406792 A1 [0004]
- DE 69815943 T2 [0005]
- JP 62093341 A [0007]