

(19)



(11)

EP 3 875 626 A1

(12)

EUROPÄISCHE PATENTANMELDUNG

(43) Veröffentlichungstag:
08.09.2021 Patentblatt 2021/36

(51) Int Cl.:
C22C 38/00 (2006.01) **C22C 38/02** (2006.01)
C22C 38/04 (2006.01) **C22C 38/06** (2006.01)
C21D 8/04 (2006.01) **C21D 9/48** (2006.01)
C23C 8/02 (2006.01) **C23C 8/80** (2006.01)

(21) Anmeldenummer: **21154978.7**

(22) Anmeldetag: **03.02.2021**

(84) Benannte Vertragsstaaten:
AL AT BE BG CH CY CZ DE DK EE ES FI FR GB GR HR HU IE IS IT LI LT LU LV MC MK MT NL NO PL PT RO RS SE SI SK SM TR
 Benannte Erstreckungsstaaten:
BA ME
 Benannte Validierungsstaaten:
KH MA MD TN

(30) Priorität: **06.03.2020 DE 102020106164**
08.10.2020 DE 102020126437

(71) Anmelder: **ThyssenKrupp Rasselstein GmbH**
56626 Andernach (DE)

(72) Erfinder:
 • **Kaup, Burkhard**
56626 Andernach (DE)
 • **Heine, Luisa-Marie**
56068 Koblenz (DE)
 • **Massicot, Blaise**
56659 Burgbrohl (DE)

(74) Vertreter: **Charrier Rapp & Liebau**
Patentanwälte PartG mbB
Fuggerstraße 20
86150 Augsburg (DE)

(54) VERPACKUNGSBLECHERZEUGNIS

(57) Die Erfindung betrifft ein Verpackungsblecherzeugnis aus einem kaltgewalzten Stahlblech mit einer Dicke von weniger als 0,6 mm, welches folgende Zusammensetzung in Bezug auf das Gewicht aufweist:

- C: 0,001 - 0,06 %,
- Si: < 0,03 %, bevorzugt 0,002 bis 0,03 %,
- Mn: 0,17-0,5 %,
- P: < 0,03 %, bevorzugt 0,005 bis 0,03 %,
- S: 0,001 - 0,03 %,
- Al: 0,001 - 0,1 %,
- N: 0,002 - 0,12 %, bevorzugt 0,004 bis 0,07 %,
- optional Cr: < 0,1 %, bevorzugt 0,01 - 0,1 %,
- optional Ni: < 0,1 %, bevorzugt 0,01 - 0,05 %,
- optional Cu: < 0,1 %, bevorzugt 0,002 - 0,05 %,
- optional Ti: < 0,01 %,
- optional B: < 0,005 %,
- optional Nb: < 0,01 %,
- optional Mo: < 0,02 %,
- optional Sn: < 0,03 %,

- Rest Eisen und unvermeidbare Verunreinigungen, wobei das Verpackungsblecherzeugnis bei einer biaxialen Verformung in einem Bulge-Versuch eine untere Streckgrenze (Sb_{eL}) von mehr als 300 MPa und eine zugehörige Bruchdehnung (Ab) von mehr als 10 % und im

plastischen Bereich zwischen der Lüdersdehnung (Abe) und einer oberen (plastischen) Grenzdehnung von $\varepsilon_{max} = 0,5 \cdot Ab \cdot (Sb_{eL}/Sb_m)$ ein biaxiales Spannungs/-Dehnungs-Diagramm $\sigma_B(\varepsilon)$ aufweist, das mit einer Funktion $\sigma_B = b \cdot \varepsilon^n$ darstellbar ist, wobei

- σ_B die wahre, biaxiale Spannung in MPa,
- ε der Betrag der wahren Dehnung in Dickenrichtung in %,
- Sb_{eL} die untere Streckgrenze,
- Sb_m die absolute Festigkeit,
- Abe die Lüdersdehnung,
- b ein Proportionalitätsfaktor und
- n ein Verfestigungsexponent ist,

und eine Verfestigung des Verpackungsblecherzeugnisses in Dickenrichtung durch einen Verfestigungsexponenten von

$$n \geq 0,353 - 5,1 \cdot Sb_{eL}/10^4 \text{ MPa}$$

charakterisiert ist.

EP 3 875 626 A1

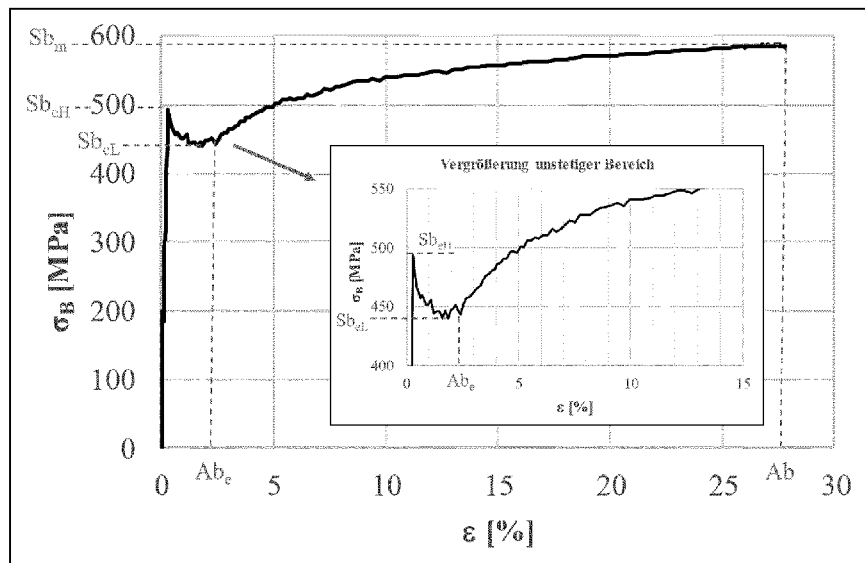


Fig. 1

Größe	Wert aus Beispiellkurve
Sb_m	584 MPa
Sb_{eH}	494 MPa
Sb_{eL}	440 MPa
Ab	27,8 %
Ab_e	2,4 %

Beschreibung

[0001] Die Erfindung betrifft ein Verpackungsblecherzeugnis aus einem kaltgewalzten Stahlblech mit einer Dicke von weniger als 0,6 mm.

[0002] Verpackungsblecherzeugnisse sind kaltgewalzte Stahlbleche mit einer Dicke von bis zu 0,6 mm, die zur Herstellung von Verpackungen, wie z.B. Getränke-, Konserven- oder Aerosoldosen, verwendet werden. Da die Verpackungsblecherzeugnisse bei der Herstellung von Verpackungen, beispielsweise in Tiefzieh- oder Abstreckzieh-Verfahren, starken Umformungen ausgesetzt werden, müssen Verpackungsblecherzeugnisse einerseits eine hohe Umformfähigkeit aufweisen. Um das Gewicht der Verpackungen zu reduzieren, werden andererseits möglichst dünne Stahlbleche hoher Festigkeit als Verpackungsblecherzeugnisse verwendet, welche in einem einfachen oder einem doppelten Kaltwalzschritt aus einem warmgewalzten Stahlblech auf die gewünschte Enddicke gebracht werden. Der Gesamtkaltwalzgrad (Reduktionsgrad der Dickenreduktion beim Kaltwalzen) liegt dabei in der Regel bei mindestens 80 %, wobei das warmgewalzte Stahlblech (Warmband) zur Dickenreduktion einfach oder zweifach kaltgewalzt wird. Einfach kaltgewalzte Stahlbleche (single-reduced: SR) werden nach dem Kaltwalzen zur Wiederherstellung der Umformbarkeit rekristallisierend geglüht und danach ggf. mit einem geringen Nachwalzgrad von weniger als 5 % nachgewalzt bzw. dressiert. Bei zweifach kaltgewalzten Stahlblechen (double-reduced: DR) erfolgt nach dem rekristallisierenden Glühen ein zweiter Kaltwalzschritt mit Nachwalzgraden zwischen 5 % und 45 %, um das Stahlblech auf eine gewünschte Enddicke von häufig weniger als 0,3 mm zu bringen.

[0003] Da der Gesamtkaltwalzgrad, also die Reduzierung der Dicke eines warmgewalzten Stahlblechs durch einfaches oder zweifaches Kaltwalzen auf eine gewünschte Enddicke, aus technologischen und materialspezifischen Gründen begrenzt ist, ist eine geringe Dicke des warmgewalzten Stahlblechs (Warmband) erstrebenswert, um möglichst geringe Enddicken beim kaltgewalzten Stahlblech zu erzielen. Allerdings sind geringe Dicken des Warmbands einerseits aus wirtschaftlichen Gründen und andererseits wegen auftretender Materialdefekte im Warmband nachteilig. Um aus Warmbändern mit üblichen Dicken durch ein- oder zweifaches Kaltwalzen Stahlbleche mit einer möglichst geringen Enddicke von weniger als 0,6 mm, bevorzugt von weniger als 0,5 mm und besonders bevorzugt von weniger als 0,35 mm herstellen zu können, sind Gesamtkaltwalzgrade von mehr als 85 % erforderlich. Allerdings kann der Gesamtkaltwalzgrad eines Stahlblechs mit einer vorgegebenen Komposition sowohl aus technologischen Gründen als auch wegen des für die Herstellung von Verpackungen erforderlichen Umformverhaltens der Stahlbleche nicht auf beliebig hohe Werte gesteigert werden. Bei zu hohen Gesamtkaltwalzgraden verschlechtert sich beispielsweise die Zipfligkeit der kaltgewalzten Stahlbleche. Ein Stahlblech mit einer vorgegebenen Komposition des Stahls weist eine vom Gesamtkaltwalzgrad abhängige Zipfligkeit auf, welche bei einem bestimmten, optimalen Kaltwalzgrad ein Minimum der Zipfelhöhe am oberen Rand eines aus dem kaltgewalzten Stahlblech geformten Napfs aufweist.

[0004] Der optimale Gesamtkaltwalzgrad (Gesamtkaltwalzgradoptimum) von kaltgewalzten Stahlblechen, bei denen diese eine möglichst geringe Zipfligkeit aufweisen, hängt wiederum von der Komposition des Stahls ab. Stähle mit relativ niedrigem Kohlenstoff- und Stickstoffgehalt weisen dabei ein hohes Gesamtkaltwalzgradoptimum auf. Allerdings tragen Kohlenstoff und Stickstoff zur Festigkeitssteigerung von Stählen bei, weshalb Stähle mit sehr niedrigem Kohlenstoff- und Stickstoffgehalt eine nur mäßige Festigkeit aufweisen. Aus Stählen mit einer nur mäßigen Festigkeit können jedoch keine Verpackungen geringer Dicke hergestellt werden, die eine ausreichende Endstabilität aufweisen.

Hiervon ausgehend liegt der Erfindung die Aufgabe zugrunde, ein kaltgewalztes Stahlblech zur Herstellung von Verpackungen aufzuzeigen, welches bei möglichst geringer Dicke eine ausreichend hohe biaxiale Festigkeit und gleichzeitig ein gutes Umformverhalten bei einer mehrachsigen Verformung zur Herstellung von Verpackungen aufweist. Das kaltgewalzte Stahlblech soll dabei aus einem warmgewalzten Stahlblech (Warmband) durch einfaches Kaltwalzen mit einem Dressieren nach dem Rekristallisationsglühen oder durch zweifaches Kaltwalzen mit einem zweiten Kaltwalzschritt nach dem Rekristallisationsglühen unter einem möglichst hohen Gesamtkaltwalzgrad herstellbar sein, so dass zu dessen Herstellung trotz der gewünschten niedrigen Enddicke von weniger als 0,6 mm und einer bevorzugten Enddicke im Bereich von 0,10 mm bis 0,50 mm Warmbänder im üblichen Dickenbereich verwendet werden können. Die kaltgewalzten Stahlbleche der Erfindung sollen dabei als Verpackungsblecherzeugnisse den hohen Anforderungen in mehraxialen Umformprozessen bei der Herstellung von Verpackungen, wie z.B. in Tiefzieh- oder Abstreckziehverfahren, gerecht werden, wobei die Verpackungsblecherzeugnisse insbesondere mehrachsigen Verformungen und Ausdünnungen in Dickenrichtung ohne Materialversagen und ohne Einbußen auf die Festigkeit der daraus hergestellten dreidimensionalen Verpackungskörper standhalten sollen.

[0005] Diese Aufgaben werden mit einem Verpackungsblecherzeugnis gemäß Anspruch 1 gelöst. Bevorzugte Merkmale und Eigenschaften der Verpackungsblecherzeugnisse der Erfindung sowie Verfahren zu deren Herstellung sind den abhängigen Ansprüchen zu entnehmen. Ein Verfahren zur Charakterisierung erfindungsgemäßer Verpackungsblecherzeugnisse ist im Anspruch 15 definiert.

[0006] Die Erfindung geht von folgenden Überlegungen aus:

In Umformverfahren zur Herstellung von Verpackungen aus Verpackungsblecherzeugnissen, wie z.B. in Tiefzieh- und Abstreckziehverfahren zur Herstellung von Getränkedosen, erfolgt eine mehrachsige Verformung des Verpackungs-

blechs (kaltgewalztes Stahlblech) und lokal eine erhebliche Ausdünnung der ursprünglichen Dicke des Verpackungsblechs von weniger als 0,6 mm. So wird beispielsweise die Dicke eines Verpackungsblechs beim Tiefziehen und Abstreckziehen einer Getränkedose durch die Umformung des Verpackungsblechs mittels Umformwerkzeuge im mittleren Abschnitt des Dosenkörpers auf ca. 30 % der ursprünglichen Dicke reduziert. Die dabei auftretende Werkstoffbeanspruchung wird durch die mechanischen Eigenschaften wie Zugfestigkeit und Bruchdehnung, die in einachsigen Zugversuchen anhand von Spannungs-/Dehnungs-Diagrammen ermittelt werden, nur unzureichend charakterisiert. Eine Optimierung der mechanischen Eigenschaften von Verpackungsblechen nach den in einachsigen Zugversuchen ermittelten Kennwerten ist aus diesem Grund nicht zu bevorzugen.

[0007] Die Erfindung geht daher davon aus, dass die Charakterisierung der mechanischen Eigenschaften von Verpackungsblechen und insbesondere deren Umformverhalten besser durch mehrachsige Zugversuche charakterisiert werden kann, um darauf basierend eine Optimierung der Werkstoffeigenschaften vornehmen zu können. Die mechanischen Eigenschaften und das Umformvermögen der erfindungsgemäßen Verpackungsblecherzeugnisse wird daher in vorteilhafter Weise mit dem in der Norm DIN EN ISO 16808 (entsprechend EN ISO 16808) definierten hydraulischen Tiefungsversuch mit optischen Messsystemen (im Folgenden auch als "Bulge-Test" oder als "Bulgeversuch" bezeichnet) erfasst. Bei dem hydraulischen Tiefungsversuch gem. der Norm DIN EN ISO 16808 wird an einer Probe eines Stahlblechs eine biaxiale Spannung-/Dehnung-Kurve mittels eines optischen Messsystems ermittelt, wobei bei einem reinen Streckziehen die wahre biaxiale Spannung über dem Umformgrad (Betrag der wahren Dehnung ε in Dickenrichtung) unter Berücksichtigung der Dickenreduktion erfasst wird. Hierfür wird eine Probe des Stahlblechs, die insbesondere in Form einer Ronde vorliegt, an ihrem Rand zwischen einer Matrize und einem Niederhalter eingespannt und anschließend wird eine Flüssigkeit gegen das eingespannte Stahlblech gedrückt, wodurch eine Wölbung ausgebildet wird, bis ein Riss im Stahlblech auftritt. Während dem hydraulischen Tiefungsversuch wird der Druck der Flüssigkeit gemessen und die Entwicklung der Umformung des Blechs mit einem optischen Messgerät aufgezeichnet. Basierend auf der aufgezeichneten Blechumformung können die örtliche Krümmung, die Umformgrade auf der Oberfläche und die Dicke des verformten Blechs erfasst werden. Aus dem Flüssigkeitsdruck, der Dicke und dem Krümmungsradius des verformten Blechs kann weiterhin die (wahre) biaxiale Spannung und die wahre Dehnung in Dickenrichtung berechnet werden. Aus diesen Daten wird die biaxiale Spannung-/Dehnung-Kurve (Fließkurve im biaxialen Spannungszustand) ermittelt. Der Kurvenverlauf der biaxialen Spannung-/Dehnung-Kurve aus einem Bulge-Test hat dabei im Vergleich zu einem uniaxialen Zugversuch (wie beispielsweise in der Norm DIN EN ISO 6892-1 definiert) einen ähnlichen Kurvenverlauf. Beim hydraulischen Tiefungsversuch des Bulge-Tests werden allerdings am gleichen Material höhere Formänderungswerte und insbesondere höhere Dehnungen sowie eine ausgeprägtere Kaltverfestigung nach Überwinden des elastischen Bereichs erzielt.

Es wird dabei davon ausgegangen, dass aufgrund der ähnlichen Kurvenverläufe der Spannung-/Dehnung-Kurven eines uniaxialen Zugversuches und eines Bulge-Tests an derselben Probe in der biaxialen Spannung-/Dehnung-Kurve des hydraulischen Tiefungsversuchs (Bulge-Test bzw. Bulgeversuch) die üblicherweise im uniaxialen Zugversuch ermittelten mechanischen Kenngrößen, wie z.B. die absolute Festigkeit, die untere und die obere Streckgrenze, die Bruchdehnung sowie die Lüders-Dehnung entsprechend zugeordnet werden können. **Tabelle 1** zeigt die dabei vorgenommene Zuordnung der mechanischen Kenngrößen aus einem uniaxialen Zugversuch und dem hydraulischen Tiefungsversuch gemäß dem Bulge-Test (Bulgeversuch). In Figur 1 ist ein Beispiel für die aus einem Bulge-Test ermittelte biaxiale Spannung-/Dehnung-Kurve einer gealterten Stahlblech-Probe gezeigt, wobei die wahre biaxiale Spannung σ_B in [MPa] über dem Betrag der wahren Dehnung in Dickenrichtung $|\varepsilon|$ in [%] dargestellt und die dabei erfassten mechanischen Kenngrößen gem. Tabelle 1 angegeben und eingezeichnet sind. Die wahre Dehnung in Dickenrichtung ist aufgrund der Dickenreduktion im biaxialen Zugversuch des Bulge-Tests negativ. Unter der (wahren) Dehnung ε wird daher immer der Betrag der negativen Dehnung in Dickenrichtung des Blechs verstanden, wobei bei der Erfassung der wahren Dehnung die Dickenreduktion berücksichtigt ist. Die Bereiche der elastischen und der plastischen Verformung sind dabei in den Einschüben der Figur 1 vergrößert dargestellt.

[0008] Die in Tabelle 1 angeführten mechanischen Kenngrößen einer Stahlblechprobe werden dabei in einem biaxialen Spannung-/Dehnung-Diagramm, wie es beispielhaft in Figur 1 gezeigt ist, wie folgt ermittelt:

Die Kurve des Spannung-/Dehnung-Diagramm zeigt auf der Abszisse hintereinander drei charakteristische Bereiche:

(1) Elastischer Bereich mit linearem Anstieg der Spannung über der Dehnung:

Im lokalen Maximum dieser Geraden, bevor der erste deutliche Spannungsabfall erfolgt, wird die obere Streckgrenze $S_{b_{eH}}$ abgelesen;

(2) Unstetiger Kurvenverlauf, der den Übergang zum bzw. Beginn des plastischen Bereichs markiert und in dem die Spannung etwa konstant ist über der Dehnung:

Die niedrigste Spannung innerhalb dieses unstetigen Bereichs entspricht der unteren Streckgrenze $S_{b_{eL}}$, wobei Einschwingerscheinungen keine Berücksichtigung finden. Am Ende des unstetigen Bereichs (2) und somit im Übergang zum sich anschließenden, wieder stetig ansteigenden Kurvenzug des Bereichs (3) wird die Lüdersdehnung

Abe ermittelt. Hierzu wird eine Parallele zu der anfänglichen Gerade des elastischen Bereichs gezogen und in deren Schnittpunkt mit der Abszisse die Lüdersdehnung abgelesen. Die elastische Rückfederung des Werkstoffs findet somit keine Berücksichtigung.

(3) Plastischer Bereich stetiger Kaltverfestigung, in dem die Spannung kontinuierlich über der Dehnung ansteigt bis zum Bruch:

Am Ende des Kurvenzugs wird einerseits die absolute Festigkeit Sb_m ermittelt, welche die maximale Spannung bei Bruch darstellt. Andererseits wird die Bruchdehnung Ab abgelesen, wobei das Vorgehen analog zur Ermittlung der Lüdersdehnung ist. Es wird eine Parallele zu der anfänglichen Gerade des elastischen Bereichs gezogen und in deren Schnittpunkt mit der Abszisse die Bruchdehnung abgelesen. Die elastische Rückfederung des Werkstoffs findet somit auch hier keine Berücksichtigung.

[0009] In Figur 2 ist der plastische Bereich der Spannung-/Dehnung-Kurve von Figur 1 im Bereich zwischen der Lüdersdehnung Ab_e und einer oberen (plastischen) Grenzdehnung von $\epsilon_{max} = 0,5 \cdot Ab \cdot (Sb_{eL}/Sb_m)$ gezeigt, wobei Ab die Bruchdehnung, Sb_{eL} die untere Streckgrenze und Sb_m die absolute Festigkeit ist. Der in Figur 2 dargestellte plastische Bereich der Spannung-/Dehnung-Kurve kann durch eine Funktion $\sigma_B = b \cdot \epsilon^n$ beschrieben werden, wobei σ_B die wahre, biaxiale Spannung (in MPa), ϵ der Betrag der wahren Dehnung in Dickenrichtung (in %), b ein Proportionalitätsfaktor und n ein Verfestigungsexponent ist. In dem Beispiel der Figur 2 kann der elastisch-plastische Bereich der Spannung-/Dehnung-Kurve zwischen der Lüdersdehnung Ab_e und der oberen (plastischen) Grenzdehnung ϵ_{max} durch die Funktion $\sigma_B = b \cdot \epsilon^n$ mit $b = 402$ MPa und $n = 0,132$ dargestellt werden. Eine entsprechende Fit-Kurve ist in dem Spannung-/Dehnung-Diagramm der Figur 2 eingezeichnet.

[0010] Ausgehend von diesen Vorüberlegungen betrifft die Erfindung ein:

Verpackungsblecherzeugnis aus einem kaltgewalzten Stahlblech mit einer Dicke von weniger als 0,6 mm, welches folgende Zusammensetzung in Bezug auf das Gewicht aufweist:

- C: 0,001 - 0,06 %,
- Si: < 0,03 %, bevorzugt 0,002 bis 0,03 %,
- Mn: 0,17 - 0,5 %,
- P: < 0,03 %, bevorzugt 0,005 bis 0,03 %,
- S: 0,001 - 0,03 %,
- Al: 0,001 - 0,1 %,
- N: 0,002 - 0,12 %, bevorzugt 0,004 bis 0,07 %,
- optional Cr: < 0,1 %, bevorzugt 0,01 - 0,08 %,
- optional Ni: < 0,1 %, bevorzugt 0,01 - 0,05 %,
- optional Cu: < 0,1 %, bevorzugt 0,002 - 0,05 %,
- optional Ti: < 0,01 %,
- optional B: < 0,005 %,
- optional Nb: < 0,01 %,
- optional Mo: < 0,02 %,
- optional Sn: < 0,03 %,
- Rest Eisen und unvermeidbare Verunreinigungen,

wobei das Verpackungsblecherzeugnis bei einer biaxialen Verformung in einem BulgeVersuch eine untere Streckgrenze (Sb_{eL}) von mehr als 300 MPa und eine zugehörige Bruchdehnung (Ab) von mehr als 10 % und im plastischen Bereich zwischen der Lüdersdehnung (Ab_e) und einer oberen (plastischen) Grenzdehnung von $\epsilon_{max} = 0,5 \cdot Ab \cdot (Sb_{eL}/Sb_m)$ ein biaxiales Spannungs-Dehnungs-Diagramm $\sigma_B(\epsilon)$ aufweist, das mit einer Funktion $\sigma_B = b \cdot \epsilon^n$ darstellbar ist, wobei

- σ_B die wahre, biaxiale Spannung (in MPa),
- ϵ der Betrag der wahren Dehnung in Dickenrichtung (in %),
- Sb_{eL} die untere Streckgrenze,
- Sb_m die absolute Festigkeit,
- Ab_e die Lüdersdehnung,
- Ab die Bruchdehnung,
- b ein Proportionalitätsfaktor und
- n ein Verfestigungsexponent ist,

und eine Verfestigung des Verpackungsblecherzeugnisses in Dickenrichtung durch einen Verfestigungsexponenten von

$$n \geq 0,353 - 5,1 \cdot \text{Sb}_{\text{eL}} / 10^4 \text{ MPa}$$

5 charakterisiert ist.

[0011] Verpackungsblecherzeugnisse mit entsprechenden Eigenschaften einer im Bulge-Test ermittelten biaxialen Spannung-/Dehnung-Kurve können durch eine Reduzierung der Dicke des Stahlblechs durch ein- oder zweifaches Kaltwalzen eines Warmbands mit einer bevorzugten Dicke von 2 mm bis 4 mm auf Enddicken von weniger als 0,6 mm erzeugt werden und zeichnen sich einerseits durch eine für die Herstellung von Verpackungen ausreichend hohen biaxialen Festigkeit aus, und weisen andererseits ein ausreichend hohes mehraxiales Umformvermögen auf, welches die Herstellung von Verpackungen in anspruchsvollen Tiefziehverfahren unter einer mehrachsigen Verformung auch bei einer erheblichen Ausdünnung des Materials in Dickenrichtung ermöglicht, ohne dass es zu Rissbildungen kommt. Aufgrund der hohen biaxialen Festigkeit und des hohen mehraxialen Umformvermögens können dünnere Verpackungsblecherzeugnisse für die Herstellung von Verpackungen eingesetzt werden, ohne dass Einbußen in der Stabilität der hergestellten Verpackungen zu befürchten sind. Durch die Verwendung von dünneren Verpackungsblecherzeugnissen kann das Gewicht der daraus hergestellten Verpackungen reduziert werden.

[0012] Es hat sich dabei gezeigt, dass diese vorteilhaften mechanischen Eigenschaften der erfindungsgemäßen Verpackungsblecherzeugnisse, die durch den hydraulischen Tiefungsversuch des Bulge-Tests durch Erfassung einer biaxialen Spannung-/Dehnung-Kurve ermittelt werden können, einerseits durch die Komposition des Stahls der kaltgewalzten Stahlbleche mit einem niedrigen Kohlenstoffgehalt im Bereich von 0,001 bis 0,06 Gew. % und andererseits durch einen hohen Stickstoffgehalt von 0,002 bis 0,12 Gew. % erzielt werden können. Der Stickstoff wird dabei bevorzugt und zumindest im Wesentlichen durch ein Aufsticken des kaltgewalzten Stahlblechs in einem Glühofen mit einer nitrierenden Gasatmosphäre, insbesondere einer Ammoniak-Atmosphäre, in das kaltgewalzte Stahlblech eingebracht. Durch das Aufsticken des Stahlblechs im Glühofen kann der eingebrachte Stickstoff sehr gleichmäßig über den Querschnitt des Stahlblechs interstitiell in das (Ferrit)-Gitter des Stahls eingelagert werden. Dadurch können die positiven Eigenschaften des warmgewalzten Stahlblechs (Warmband) zur Einhaltung eines hohen Gesamtkaltwalzgradoptimums und einer hohen Mischkristallverfestigung beibehalten werden. Insbesondere kann der Stickstoffgehalt im Warmband niedrig gehalten werden und insbesondere kleiner als 0,016 Gew. % sein. Dies stellt sicher, dass bei der Herstellung einer Bramme aus dem schmelzflüssigen Stahl keine Brammenrisse und -poren entstehen und dass das aus der Bramme durch Warmwalzen erzeugte Warmband nicht zu hohe Festigkeiten aufweist und daher mit den üblichen Walzgerüsten mit Gesamtkaltwalzgraden (gesamtes Reduktionsverhältnis des ein- oder zweifachen Kaltwalzens) von mehr als 80 % kaltgewalzt werden kann.

[0013] Der beim Aufsticken des kaltgewalzten Stahlblechs im Glühofen eingebrachte Stickstoff kann dabei homogen über die Dicke des Stahlblechs verteilt eingebracht werden, ohne dass sich an den Oberflächen des Stahlblechs harte und spröde Nitridschichten ausbilden. Dies kann insbesondere dadurch erreicht werden, dass die Aufstickerung des kaltgewalzten Stahlblechs in einem Durchlaufglühofen, durch den das Stahlblech in Bandform (also als kaltgewalztes Stahlband) mit einer vorgegebenen Bandgeschwindigkeit von bevorzugt mehr als zwei 200 m/min durchgeführt wird, erfolgt und ein nitrierendes Gas, insbesondere Ammoniakgas, einerseits zur Ausbildung einer stickstoffhaltigen Gasatmosphäre in den Glühofen eingebracht und andererseits mittels Düsen auf wenigstens eine oder beide Oberflächen des Stahlbands gleichmäßig aufgesprüht wird.

[0014] Bevorzugt weist das Warmband bereits einen anfänglichen Stickstoffanteil N_0 im Bereich von 0,001 Gew. % bis 0,016 Gew. % auf, um den gesamten Stickstoffgehalt im kaltgewalzten Stahlblech und dadurch die durch das Aufsticken des Kaltbands bewirkte Mischkristallverfestigung zu maximieren. Bevorzugt wird der anfängliche Stickstoffgehalt des Warmbands, beim Aufsticken im Glühofen um wenigstens 0,002 Gew. % erhöht. Der gesamte Stickstoffgehalt, der sich aus der Summe des anfänglichen Stickstoffanteil N_0 im Warmband und dem beim Aufsticken des kaltgewalzten Stahlblechs im Glühofen eingebrachten Stickstoffanteil ΔN zusammensetzt, wird beim Glühen des kaltgewalzten Stahlblechs durch die Anwesenheit des Stickstoffdonors in dem Glühofen eingestellt, indem bei den Glühtemperaturen dissoziierter, atomarer Stickstoff des Stickstoffdonors in das kaltgewalzte Stahlblech diffundiert und dadurch den Stickstoffanteil um ΔN erhöht. Der beim Aufsticken im Glühofen eingebrachte Stickstoffanteil ΔN liegt dabei bevorzugt bei mindestens 0,002 Gew. %. Gew. %

[0015] Der gesamte Gewichtsanteil des freien Stickstoffs im kaltgewalzten Stahlblech ergibt sich aus der Summe des freien Stickstoffgehalts im Warmband N_{frei} (Warmband) und des durch die Aufstickerung im Durchlaufglühofen hinzugefügten Stickstoffs ΔN :

$$N_{\text{frei}} = N_{\text{frei}} (\text{Warmband}) + \Delta N$$

Dabei wird davon ausgegangen, dass der beim Aufsticken im Durchlaufglühofen eingebrachte Stickstoffanteil ΔN zu-

mindest im Wesentlichen interstitiell in Zwischengitterplätze eingelagert wird. Die Obergrenze für den Gewichtsanteil des freien Stickstoffs im kaltgewalzten Stahlblech wird dabei durch die Löslichkeitsgrenze von Stickstoff im Ferritgitter des Stahls bestimmt, die bei ca. 0,1 Gew. % liegt.

[0016] Bei dem zum Aufsticken des kaltgewalzten Stahlblechs im Glühofen verwendeten Stickstoffdonor kann es sich bspw. um eine stickstoffhaltige Gasatmosphäre im Glühofen, insbesondere um eine ammoniakhaltige Atmosphäre, oder um eine stickstoffhaltige Flüssigkeit handeln, die auf die Oberfläche des kaltgewalzten Stahlblechs aufgebracht wird, bevor dieses in dem Glühofen erwärmt wird. Der Stickstoffdonor sollte dabei so ausgebildet sein, dass durch Dissoziation atomarer Stickstoff im Glühofen bereitgestellt wird, der in das Stahlblech diffundieren kann. Insbesondere kann es sich bei dem Stickstoffdonor um Ammoniakgas handeln. Damit dieses im Glühofen zur Bildung von atomarem Stickstoff dissoziiert, werden im Glühofen beim Aufsticken des kaltgewalzten Stahlblechs bevorzugt Ofen-Temperaturen von mehr als 400°C eingestellt.

[0017] Das Aufsticken des kaltgewalzten Stahlblechs im Durchlaufglühofen kann dabei vor, während oder nach dem rekristallisierenden Glühen erfolgen. So ist es bspw. möglich, das Aufsticken in dem Durchlaufglühofen in einer stromaufwärtigen ersten Zone des Durchlaufglühofens bei einer ersten Temperatur unterhalb der Rekristallisationstemperatur unter Anwesenheit eines Stickstoffdonors durchzuführen und das Stahlblech danach in einer stromabwärtigen zweiten Zone des Durchlaufglühofens zum rekristallisierenden Glühen auf eine zweite Temperatur oberhalb der Rekristallisationstemperatur zu erwärmen. Diese Reihenfolge des Aufstickens und rekristallisierenden Glühens kann auch umgekehrt werden. Eine solche Entkopplung des Aufstickens und des rekristallisierenden Glühens in verschiedenen Zonen des Durchlaufglühofens hat den Vorteil, dass für den jeweiligen Prozess die optimale Temperatur eingestellt werden kann, wobei die optimale Temperatur für das Aufsticken niedriger liegt als für das rekristallisierende Glühen. Aus ökonomischen Gründen ist jedoch ein gleichzeitiges Aufsticken und Glühen des Stahlblechs im Durchlaufglühofen bei einer Temperatur oberhalb der Rekristallisationstemperatur unter Anwesenheit eines Stickstoffdonors zu bevorzugen.

[0018] Durch das Aufsticken des kaltgewalzten Stahlblechs im Glühofen kann erreicht werden, dass der dabei eingebrachte Stickstoff im Wesentlichen in ungebundener Form, d.h. im Ferritgitter des Stahls in gelöster Form, in das Stahlblech eingebracht wird, da sich der beim Aufsticken im Glühofen eingebrachte Stickstoff nicht mit starken Nitridbildnern wie Aluminium oder Chrom zu Nitriden bindet. Dadurch wird wiederum eine hohe Festigkeit erzielt, weil der im Stahl gelöste, ungebundene Stickstoff aufgrund einer Mischkristallverfestigung zu einer Festigkeitssteigerung beiträgt. Bevorzugt ist ein Gewichtsanteil von mehr als 0,003 %, bevorzugt von mindestens 0,01 % des Stickstoffs in ungebundener Form interstitiell im Stahl eingelagert. Der durch das Aufsticken im Glühofen in das kaltgewalzte Stahlblech eingebrachte Stickstoff kann daher (fast) vollständig zu einer Mischkristallverfestigung und damit zu einer Erhöhung der Festigkeitsparameter des Verpackungsblecherzeugnisses beitragen, wodurch im hydraulischen Tiefungsversuch unter einer biaxialen Verformung (Bulge-Test) eine untere Grenzdehnung Sb_{eL} von mehr als 300 MPa erzielt werden kann.

[0019] Da die durch das Aufsticken des Stahlblechs erzeugte Mischkristallverfestigung am effizientesten ist, wenn der eingebrachte Stickstoff in ungebundener Form interstitiell in Zwischengitterplätzen des Stahls (insbesondere des Ferritgitters) eingelagert wird, ist es zweckmäßig, wenn die Legierungskomposition des Stahls möglichst wenig (starke) Nitridbildner wie Al, Ti, B, Cr, Mo und/oder Nb aufweist, um zu verhindern, dass der Stickstoff in Form von Nitriden gebunden wird. Daher weist die Legierungskomposition des Stahls bevorzugt folgende Obergrenzen für den Gewichtsanteil der folgenden, nitridbildenden Legierungsbestandteile auf:

- Al: < 0,1 %, bevorzugt weniger als 0,05 %;
- Ti: < 0,01 %, bevorzugt weniger als 0,002 %;
- B: < 0,005 %, bevorzugt weniger als 0,001 %;
- Nb: < 0,01 %, bevorzugt weniger als 0,002 %;
- Cr: < 0,1 %, bevorzugt weniger als 0,08 %;
- Mo: < 0,001 %.

[0020] Bevorzugt beträgt der gesamte Gewichtsanteil der Nitridbildner weniger als 0,1 %. Dadurch kann insbesondere ein Gewichtsanteil des ungebundenen Stickstoffs von mehr 0,003 % gewährleistet werden.

[0021] Weiterhin hat sich durch Vergleich erfindungsgemäßer Verpackungsblecherzeugnisse mit nicht-erfindungsgemäßen Vergleichsproben gezeigt, dass sich durch das Aufsticken des kaltgewalzten Stahlblechs im Glühofen bei den erfindungsgemäßen Verpackungsblecherzeugnissen höhere Werte für den Verfestigungsexponenten n erzielen lassen. Der Verfestigungsexponent n ist ein Maß für die Kaltverfestigung des Verpackungsblecherzeugnisses in Dickenrichtung. Die erfindungsgemäßen Verpackungsblecherzeugnisse zeichnen sich daher gegenüber nicht-erfindungsgemäßen Vergleichsproben aufgrund des höheren, durch das Aufsticken im Glühofen bewirkten hohen Stickstoffanteils durch eine erhöhte Kaltverfestigung im plastischen Bereich zwischen der Lüdersdehnung A_{be} und der oberen (plastischen) Grenzdehnung von $\epsilon_{max} = 0,5 \cdot A_b \cdot (Sb_{eL}/Sb_m)$ aus.

[0022] Die mechanischen Eigenschaften der erfindungsgemäßen Verpackungsblecherzeugnisse, die mit dem Bulge-Test durch Ermitteln einer biaxialen Spannung-/Dehnung-Kurve erfassbar sind, werden dabei nach einer (künstlichen

oder natürlichen) Alterung des Materials erreicht. Eine natürliche Alterung kann dabei durch eine längere Lagerung des Materials oder durch eine Lackierung mit anschließender Lacktrocknung hervorgerufen werden. Zur Charakterisierung des Materials kann jedoch auch eine künstliche Alterung durch eine thermische Behandlung der Verpackungsblecherzeugnisse über eine Behandlungsdauer von 20 bis 30 Minuten bei einer Alterungstemperatur von 200°C bis 210°C erfolgen.

[0023] Zur Herstellung erfindungsgemäßer Verpackungsblecherzeugnisse wird zunächst eine Bramme aus einem Stahl mit folgender Zusammensetzung in Bezug auf die Gewichtsanteile der angeführten Legierungsbestandteile gegossen:

- C: 0,001 - 0,06 %,
- Si: < 0,03 %, bevorzugt 0,002 bis 0,03 %,
- Mn: 0,17 - 0,5 %,
- P: < 0,03 %, bevorzugt 0,005 bis 0,03 %,
- S: 0,001 - 0,03 %,
- Al: 0,001 - 0,1 %,
- N: < 0,016 %, bevorzugt 0,001 bis 0,010 %,
- optional Cr: < 0,1 %, bevorzugt 0,01 - 0,08 %,
- optional Ni: < 0,1 %, bevorzugt 0,01 - 0,05 %,
- optional Cu: < 0,1 %, bevorzugt 0,002 - 0,05 %,
- optional Ti: < 0,01 %,
- optional B: < 0,005 %,
- optional Nb: < 0,01 %,
- optional Mo: < 0,02 %,
- optional Sn: < 0,03 %,
- Rest Eisen und unvermeidbare Verunreinigungen

[0024] Die Bramme wird zu einem Warmband warmgewalzt, wobei die Endwalztemperatur beim Warmwalzen der Bramme bevorzugt oberhalb der Ar3-Temperatur des Stahls ist und insbesondere im Bereich von 800 bis 920°C. Bevorzugt weist das Warmband eine Dicke im Bereich von 2 mm bis 4 mm auf. Aus wirtschaftlichen sowie qualitativen Gründen sind möglichst hohe Warmbanddicken von bevorzugt mehr als 2 mm anzustreben. Allerdings sind zur Erzielung niedriger Enddicken des kaltgewalzten Stahlblechs höhere Warmbanddicken erforderlich, wenn das Warmband mit üblichen Walzgerüsten kaltgewalzt werden soll, ohne den Gesamtkaltwalzgrad auf technologisch nicht mehr erzielbare Werte zu erhöhen. Daher sollte die Dicke des Warmbands 4 mm nicht übersteigen. Ein Bereich von 2 bis 4 mm der Warmbanddicke verhindert einerseits die Ausbildung von Defekten im Warmband aufgrund eines zu hohen Reduktionsgrads beim Warmwalzen sowie das Einhalten der bevorzugten Endwalztemperatur und ermöglicht andererseits die Herstellung dünner Stahlbleche durch ein- oder zweifaches Kaltwalzen des Warmbands mit herkömmlichen Walzgerüsten mit einem hohen Gesamtkaltwalzgrad im Bereich von 80 % bis 98 %.

[0025] Das Warmband wird anschließend bevorzugt bei einer Aufwickeltemperatur unterhalb der Ar1-Temperatur und insbesondere im Bereich von 500°C bis 750°C zu einer Rolle (Coil) aufgewickelt. Die aufgewickelte Rolle des Warmbands wird anschließend bevorzugt durch natürliche Abkühlung auf Raumtemperatur gekühlt und zweckmäßig durch Beizen vom Zunder befreit. Danach erfolgt ein (primäres) Kaltwalzen des Warmbands mit einem Reduktionsverhältnis (Kaltwalzgrad) von mindestens 80 % zu einem kaltgewalzten Stahlband. Das kaltgewalzte Stahlband wird danach in einen Glühofen gebracht. Bevorzugt handelt es sich bei dem Glühofen um einen Durchlaufglühofen, durch den das kaltgewalzte Stahlband mit einer vorgegebenen Bandgeschwindigkeit von bevorzugt mehr als 200 m/min durchgeführt wird. In dem Glühofen erfolgt einerseits ein Rekristallisationsglühen und andererseits ein Aufsticken, wobei das Aufsticken und Rekristallisationsglühen sowohl gleichzeitig und in denselben Abschnitten des Glühofens oder auch nacheinander und insbesondere in unterschiedlichen Abschnitten des Durchlaufglühofens erfolgen kann. Das Rekristallisationsglühen erfolgt dabei bei einer Glühtemperatur des Stahlbands von mindestens 630°C. Das Aufsticken des Stahlbands erfolgt in dem Glühofen unter Anwesenheit eines Stickstoffdonors, der in dem Glühofen eine nitrierende Gasatmosphäre bereitstellt. Bevorzugt wird der Stickstoffdonor, bei dem es sich um ein nitrierendes Gas und insbesondere um Ammoniakgas handelt, zusätzlich mittels Düsen auf mindestens eine Oberfläche und bevorzugt auf beide Oberflächen des Stahlbands aufgesprüht, um eine gleichmäßige Verteilung des eingebrachten Stickstoffs über die Dicke des Stahlbands zu erzielen.

[0026] Die Verweildauer des Stahlbands im Glühofen liegt bevorzugt zwischen 10 Sekunden und 400 Sekunden und kann bei Verwendung eines Durchlaufglühofens durch die Bandgeschwindigkeit, mit der das Stahlband durch den Durchlaufglühofen geführt wird, eingestellt werden. Diese Glühdauer reicht aus, um einerseits eine vollständige Rekristallisation des Stahlblechs zu erzielen und andererseits eine möglichst homogene Verteilung des beim Aufsticken in dem Glühofen in das Stahlband eingebrachten Stickstoffs über die Dicke des Stahlbands zu erzielen.

[0027] In dem Glühofen bzw. in dem Bereich des Glühofens, in dem das Aufsticken des Stahlbands erfolgt, wird

zweckmäßig zur Aufrechterhaltung einer nitrierenden Gasatmosphäre eine Temperatur eingestellt, bei welcher der in dem Glühofen eingebrachte Stickstoffdonor, bei dem es sich bevorzugt um Ammoniakgas handelt, zumindest teilweise zu atomarem Stickstoff dissoziiert. Dies stellt eine möglichst vollständige, schnelle und gleichmäßige Diffusion des Stickstoffs in atomarer Form auf Zwischengitterplätzen des Stahlgitters sicher und führt zu einer homogenen Verteilung von ungebundenem Stickstoff im Stahlband und dadurch zu einer hohen Mischkristallverfestigung.

[0028] Nach dem Aufsticken und Rekristallisationsglühen wird das Stahlband auf Raumtemperatur abgekühlt. Die Abkühlung kann dabei passiv durch Wärmeabgabe oder aktiv mittels Kühlfluid, wie z.B. Kühlgas oder -wasser, erfolgen. Nach dem Abkühlen des Stahlbands auf Raumtemperatur erfolgt ein Dressieren oder Nachwalzen des Stahlbands mit einem Nachwalzgrad von 0,2 % bis 45 %. Bevorzugt ist der Nachwalzgrad < 20 % und liegt insbesondere im Bereich von 1 bis 18 %.

[0029] Der sich nach dem Dressieren oder Nachwalzen aus der Dicke d des Verpackungsblecherzeugnisses und der Dicke D des Warmbands ergebende Gesamtkaltwalzgrad von $GKWG = 1 - d/D$ liegt bevorzugt bei mindestens 80 %, besonders bevorzugt bei 85 % oder mehr. Besonders bevorzugt reicht der Gesamtkaltwalzgrad an das von der Komposition des Stahls abhängige Gesamtkaltwalzgradoptimum heran und liegt zweckmäßig innerhalb einer Toleranz von ± 5 % am Gesamtkaltwalzgradoptimum. Das Gesamtkaltwalzgradoptimum korreliert mit der geometrischen Ausbildung von Zipfeln, die sich in einem Napfziehversuch an einer Blechprobe ausbilden und zeichnet sich dabei durch ein Minimum in der Zipfelhöhe und eine Anzahl von sechs Zipfeln aus. Die bevorzugten Enddicken der erfindungsgemäßen Verpackungsblecherzeugnisse liegen dabei im Bereich von 0,10 mm bis 0,50 mm und besonders bevorzugt im Dickenbereich von 0,12 mm bis 0,35 mm.

[0030] Aufgrund der durch eine Mischkristallverfestigung herbeigeführten Festigkeitssteigerung durch das Aufsticken des Stahlblechs beim Glühen in dem (Durchlauf-)Glühofen in Anwesenheit des Stickstoffdonors ist bei den erfindungsgemäßen Verpackungsblecherzeugnissen kein Nachwalzen mit einem hohen Nachwalzgrad erforderlich, um zusätzlich die Festigkeit noch durch eine Kaltverfestigung zu steigern. Der Nachwalzgrad kann daher bevorzugt auf maximal 20% und bevorzugt im Bereich von insbesondere im Bereich von 1 bis 18 % beschränkt werden, wodurch eine Verschlechterung der Isotropie der Materialeigenschaften durch ein zweites Kaltwalzen mit hohen Nachwalzgraden vermieden werden kann.

[0031] Nach dem zweiten Kaltwalzen bzw. Dressieren kann zur Verbesserung der Korrosionsbeständigkeit auf die Oberfläche des Stahlflächprodukts eine Beschichtung aufgebracht werden, bspw. durch elektrolytische Abscheidung einer Zinn- oder Chrom-/Chromoxid-Beschichtung und/oder durch Lackierung mit einem Lack oder durch Auflaminieren einer Polymerfolie aus einem thermoplastischen Kunststoff, insbesondere einer Folie aus einem Polyester wie PET oder einem Polyolefin wie PP oder PE.

[0032] Die erfindungsgemäßen Verpackungsblecherzeugnisse zeichnen sich trotz des niedrigen Kohlenstoffgehalts durch eine hohe Grundfestigkeit aus, die insbesondere durch eine Mischkristallverfestigung aufgrund des Einbringens von ungebundenem Stickstoff beim Aufsticken des Stahlblechs im Glühofen erzielt wird. Andererseits weisen die erfindungsgemäßen Verpackungsblecherzeugnisse eine höhere Kaltverfestigung während einer mehrachsigen plastischen Verformung bei der Herstellung von Verpackungen auf, was insbesondere bei hoch anspruchsvollen Umformungen (wie beispielsweise die als DWI-Verfahren bezeichneten Abstreckzieh-Verfahren) vorteilhaft ist, um eine ausreichende Bauteilsicherheit garantieren zu können. Die Festigkeit der erfindungsgemäßen Verpackungsblecherzeugnisse kann zusätzlich durch natürliche oder künstliche Alterung des Stahlblechs oder des daraus hergestellten Endprodukts (Verpackung) erhöht werden.

[0033] Die vorteilhaften Materialeigenschaften und weitere Merkmale der erfindungsgemäßen Verpackungsblecherzeugnisse sowie des Herstellungsverfahrens und der Charakterisierung der Verpackungsblecherzeugnisse gem. der Erfindung durch hydraulische Tiefungsversuche (Bulge-Tests) ergeben sich aus den nachfolgend unter Bezugnahme auf die zugehörigen Tabellen und Zeichnungen beschriebenen Beispiele. Die gezeigten Beispiele dienen lediglich zur Erläuterung der Erfindung und zur Darstellung der vorteilhaften Materialeigenschaften der erfindungsgemäßen Verpackungsblecherzeugnisse gegenüber nicht erfindungsgemäßen Vergleichsbeispielen und beschränken den Schutzbereich der Erfindung, der durch die abschließend definierten Patentansprüche bestimmt wird, nicht.

[0034] Die Zeichnungen zeigen:

Fig. 1: Beispiel für eine aus einem Bulge-Test ermittelte biaxiale Spannung-/Dehnung-Kurve $\sigma_B(\epsilon)$ einer gealterten Stahlblech-Probe, wobei die dabei erfassten mechanischen Kenngrößen gem. Tabelle 1 eingezeichnet sind und der Bereich der elastisch-plastischen Verformung in dem Einschub vergrößert dargestellt ist;

Fig. 2: Detaildarstellung des plastischen Bereichs der biaxialen Spannung-/Dehnung-Kurve von Figur 1 oberhalb der Lüders-Dehnung ($\Delta\epsilon_L$) mit einem zugehörigen Fit der Funktion $\sigma_B = b \cdot \epsilon^n$;

Fig. 3: aus einem Bulge-Test ermittelte biaxiale Spannung-/Dehnung-Kurven von erfindungsgemäßen und nicht-erfindungsgemäßen Stahlblech-Proben mit jeweils vergleichbarer Komposition des Warmbands und unterschiedlichem Stickstoffgehalt und jeweils gleichem Nachwalzgrad, wobei in Figur 3a die Spannung-/Dehnung-Kurve von erfindungsgemäßen und nichterfindungsgemäßen Stahlblech-Proben mit niedrigem Kohlenstoff-

gehalt ($C < 0,03$ Gew.%) und in Figur 3b die Spannung-/Dehnung-Kurven von erfindungsgemäßen und nicht-erfindungsgemäßen Stahlblech-Proben mit höherem Kohlenstoffgehalt ($C > 0,03$ Gew.%) gezeigt sind;

Fig. 4: Darstellung des Verlaufs der aus der biaxialen Spannung-/Dehnung-Kurve ermittelten unteren Streckgrenze ($S_{b_{el}}$ in MPa) von erfindungsgemäßen und nicht-erfindungsgemäßen Stahlblech-Proben in Abhängigkeit des Nachwalzgrads (NWG in %), wobei in Figur 4a die Werte von Proben mit niedrigem Kohlenstoffgehalt ($C < 0,03$ Gew.%) und in Figur 4b die Werte von Proben mit höherem Kohlenstoffgehalt ($C > 0,03$ Gew.%) gezeigt sind;

Fig. 5: Darstellung des Verlaufs der aus der biaxialen Spannung-/Dehnung-Kurve ermittelten Bruchdehnung (A_b in MPa) von erfindungsgemäßen und nicht-erfindungsgemäßen Stahlblech-Proben in Abhängigkeit des Nachwalzgrads (NWG in %), wobei in Figur 5a die Werte von Proben mit niedrigem Kohlenstoffgehalt ($C < 0,03$ Gew.%) und in Figur 5b die Werte von Proben mit höherem Kohlenstoffgehalt ($C > 0,03$ Gew.%) gezeigt sind;

Fig. 6: Darstellung des Verlaufs der aus dem plastischen Bereich der biaxialen Spannung-/Dehnung-Kurve $\sigma_B = b \cdot \epsilon^n$ ermittelten Verfestigungsexponenten n von erfindungsgemäßen und nicht-erfindungsgemäßen Stahlblech-Proben in Abhängigkeit des Nachwalzgrads (NWG in %), wobei in Figur 6a die Werte von Proben mit niedrigem Kohlenstoffgehalt ($C < 0,03$ Gew.%) und in Figur 6b die Werte von Proben mit höherem Kohlenstoffgehalt ($C > 0,03$ Gew.%) gezeigt sind;

Fig. 7: Darstellung des Verlaufs der aus dem elastisch-plastischen Bereich der biaxialen Spannung-/Dehnung-Kurve $\sigma_B = b \cdot \epsilon^n$ ermittelten Verfestigungsexponenten aus Figur 6 von erfindungsgemäßen und nicht-erfindungsgemäßen Stahlblech-Proben in Abhängigkeit ihrer unteren Streckgrenze ($S_{b_{el}}$ in MPa) gemäß Figur 4;

[0035] Für die Herstellung erfindungsgemäßer Verpackungsblecherzeugnisse wird aus einer Stahlschmelze eine Bramme gegossen und zu einem Warmband warmgewalzt. Im Folgenden werden die Bestandteile des Stahls, aus dem erfindungsgemäße Verpackungsblecherzeugnisse hergestellt werden können, im Einzelnen erläutert, wobei sich die Angaben in Prozent auf die Gewichtsanteile der Komponenten des Stahls beziehen:

Zusammensetzung des Stahls:

- Kohlenstoff, C: mindestens 0,001 % und höchstens 0,06 %;

[0036] Kohlenstoff wirkt härte- bzw. festigkeitssteigernd. Daher enthält der Stahl mindestens 0,001 Gew. % Kohlenstoff. Stähle mit niedrigem Kohlenstoffgehalt weisen ein höheres Gesamtkaltwalzgradoptimum auf, weshalb aus Warmbändern mit niedrigem Kohlenstoffgehalt und üblicher Warmbanddicken im Bereich von 2 bis 4 mm durch Kaltwalzen dünnere Stahlbleche bei gleichbleibender Zipfligkeit erzeugt werden können. Um die Walzbarkeit des Stahlblechs beim primären Kaltwalzen und ggf. in einem zweiten Kaltwalzschrift (Nachwalzen oder Dressieren) und gleichzeitig eine geringe Zipfligkeit zu gewährleisten und die Bruchdehnung nicht zu senken, sollte der Kohlenstoffgehalt deshalb nicht höher als 0,06 % sein. Ein niedriger Kohlenstoffgehalt verhindert ferner während der Herstellung und der Verarbeitung der Stahlbleche eine ausgeprägte Anisotropie in Form einer Zeiligkeit, da der Kohlenstoff aufgrund der niedrigen Löslichkeit im Ferritgitter des Stahls maßgeblich in Form von Zementit vorliegt. Darüber hinaus verschlechtert sich mit zunehmendem Kohlenstoffgehalt die Oberflächenqualität und die Gefahr von Brammenrissen steigt mit Annäherung an den peritektischen Punkt.

- Mangan, Mn: mindestens 0,17 % und höchstens 0,5 %;

[0037] Mangan wirkt ebenfalls härte- bzw. festigkeitssteigernd. Außerdem verbessert Mangan die Schweißbarkeit und den Verschleißwiderstand von Stahl. Ferner wird durch Zugabe von Mangan die Rotbruch-Neigung beim Warmwalzen gemindert, indem Schwefel zu weniger schädlichem MnS abgebunden wird. Weiterhin führt Mangan zu einer Kornfeinung und durch Mangan kann die Löslichkeit von Stickstoff im Eisengitter erhöht und eine Diffusion von Kohlenstoff an die Oberfläche der Bramme verhindert werden. Daher ist ein Mangangehalt von wenigstens 0,17 Gew. % zu bevorzugen. Zur Erzielung hoher Festigkeiten ist ein Mangangehalt von mehr als 0,2 Gew.%, insbesondere von 0,30 Gew. % oder mehr zu bevorzugen. Wenn der Mangangehalt jedoch zu hoch wird geht dies zu Lasten der Korrosionsbeständigkeit des Stahls und die Lebensmittelverträglichkeit ist nicht mehr gewährleistet. Außerdem wird bei zu hohen Mangangehalten die Festigkeit des Warmbands zu hoch, was dazu führt, dass das Warmband nicht mehr wirtschaftlich kaltwalzbar ist. Daher ist die Obergrenze für den Mangangehalt bei 0,5 Gew. %.

- Phosphor, P: weniger als 0,03 %

[0038] Phosphor ist ein unerwünschtes Begleitelement in Stählen. Ein hoher Phosphorgehalt führt insbesondere zu einer Versprödung des Stahls und verschlechtert daher die Umformfähigkeit von Stahlblechen, weshalb die Obergrenze

für den Phosphorgehalt bei 0,03 Gew. % liegt.

- Schwefel, S: mehr als 0,001 % und höchstens 0,03 %

[0039] Schwefel ist ein unerwünschtes Begleitelement, das die Dehnbarkeit und die Korrosionsbeständigkeit verschlechtert. Daher sollte nicht mehr als 0,03 Gew. % Schwefel im Stahl enthalten sein. Andererseits müssen für eine Entschwefelung von Stahl aufwändige und kostenintensive Maßnahmen ergriffen werden, weshalb aus wirtschaftlichen Gesichtspunkten ein Schwefelgehalt von weniger als 0,001 Gew. % nicht mehr vertretbar ist. Der Schwefelgehalt liegt daher im Bereich von 0,001 Gew. % bis 0,03 Gew. %, besonders bevorzugt zwischen 0,005 Gew. % und 0,01 Gew. %.

- Aluminium, Al: mehr als 0,001 % und weniger als 0,1 %

[0040] Aluminium wird bei der Stahlherstellung als Desoxidationsmittel zur Stahlberuhigung benötigt. Aluminium erhöht weiterhin die Zunderbeständigkeit und die Umformfähigkeit. Deshalb liegt der Aluminiumgehalt bei mehr als 0,001 Gew. %. Allerdings bildet Aluminium mit Stickstoff Aluminiumnitride, welche in den erfindungsgemäßen Stahlblechen nachteilig sind, da sie den Anteil des freien Stickstoffs reduzieren. Außerdem können zu hohe Aluminiumkonzentrationen zu Oberflächendefekten in Form von Aluminiumclustern führen. Deshalb wird Aluminium in einer Konzentration von maximal 0,1 Gew. % eingesetzt.

- Silizium, Si: weniger als 0,03 %;

[0041] Silizium erhöht im Stahl die Zunderbeständigkeit und ist ein Mischkristallhärter. Bei der Stahlherstellung dient Silizium als Desoxidationsmittel. Ein weiterer positiver Einfluss von Silizium auf Stahl ist, dass es die Zugfestigkeit und die Streckgrenze erhöht. Daher ist ein Siliziumgehalt von 0,002 Gew. % oder mehr zu bevorzugen. Wenn der Siliziumgehalt jedoch zu hoch wird und insbesondere 0,03 Gew. % übersteigt, kann die Korrosionsbeständigkeit des Stahls verschlechtert werden und Oberflächenbehandlungen, insbesondere durch elektrolytische Beschichtungen, können erschwert werden.

- optional Stickstoff, N₀: weniger als 0,007 %, und bevorzugt mehr als 0,001 %

[0042] Stickstoff ist ein optionaler Bestandteil in der Stahlschmelze, aus dem der Stahl für die erfindungsgemäßen Stahlbleche hergestellt wird. Zwar wirkt Stickstoff als Mischkristallverfestiger härte- und festigkeitssteigernd. Allerdings führt ein zu hoher Stickstoffgehalt in der Stahlschmelze dazu, dass das aus der Stahlschmelze hergestellte Warmband schwieriger kaltwalzbar ist. Weiterhin erhöht ein hoher Stickstoffgehalt in der Stahlschmelze die Gefahr von Defekten im Warmband, da bei Stickstoffkonzentrationen von 0,007 Gew. % oder mehr die Warmumformfähigkeit geringer wird. Bei der Herstellung erfindungsgemäßer Verpackungsblecherzeugnisse ist vorgesehen, den Stickstoffgehalt des Stahlblechs nachträglich durch Aufsticken des kaltgewalzten Stahlblechs in einem Glühofen zu erhöhen. Deshalb kann auf das Einbringen von Stickstoff in die Stahlschmelze auch gänzlich verzichtet werden. Zur Erzielung einer hohen Mischkristallverfestigung ist es jedoch zu bevorzugen, wenn bereits in der Stahlschmelze ein anfänglicher Stickstoffgehalt von mehr als 0,001 Gew. % enthalten ist.

[0043] Zur Einbringung eines anfänglichen Stickstoffgehalts N₀ in das Stahlblech vor dem Aufsticken im Glühofen kann der Stahlschmelze Stickstoff in entsprechender Menge zugegeben werden, bspw. durch Einblasen von Stickstoffgas und/oder durch Zugabe einer festen Stickstoffverbindung wie Kalk-Stickstoff (Calcium Cyanamid) oder Mangannitrid.

- optional: Nitridbildner, insbesondere Niob, Titan, Bor, Molybdän, Chrom:

[0044] Nitridbildende Elemente wie Aluminium, Titan, Niob, Bor, Molybdän und Chrom sind im Stahl der erfindungsgemäßen Stahlbleche von Nachteil, weil sie durch Nitridbildung den Anteil des freien Stickstoffs reduzieren. Außerdem sind diese Elemente teuer und erhöhen daher die Herstellkosten. Andererseits wirken bspw. die Elemente Niob, Titan und Bor über eine Kornfeinung als Mikrolegierungsbestandteile festigkeitssteigernd, ohne die Zähigkeit herabzusetzen. Deshalb können die genannten Nitridbildner vorteilhaft in gewissen Grenzen als Legierungsbestandteile der Stahlschmelze hinzugegeben werden. Der Stahl kann daher (optional) bezogen auf das Gewicht folgende nitridbildende Legierungsbestandteile enthalten:

- Titan, Ti: bevorzugt mehr als 0,0005 %, aber aus Kostengründen weniger als 0,01 %,
- Bor, B: bevorzugt mehr als 0,0005 %, aber aus Kostengründen weniger als 0,005 %, und/oder

EP 3 875 626 A1

- Niob, Nb: bevorzugt mehr als 0,001 %, aber aus Kostengründen weniger als 0,01 %, und/oder
- Chrom, Cr: bevorzugt mehr als 0,01 % um den Einsatz von Schrott bei der Herstellung der Stahlschmelze zu ermöglichen und die Diffusion von Kohlenstoff an der Oberfläche der Bramme zu erschweren, aber zur Vermeidung von Karbiden und Nitriden höchstens 0,1 %, und/oder
- Molybdän, Mo: weniger als 0,02 %, um eine zu starke Erhöhung der Rekristallisationstemperatur zu vermeiden;

[0045] Zur Vermeidung einer Herabsetzung des Anteils des freien, ungebundenen Stickstoffs N_{frei} durch Nitridbildung ist der gesamte Gewichtsanteil der genannten Nitridbildner in der Stahlschmelze bevorzugt geringer als 0,1 %.

Weitere optionale Komponenten:

[0046] Neben dem Reststoff Eisen (Fe) und unvermeidlichen Verunreinigungen kann die Stahlschmelze noch weitere optionale Bestandteile enthalten, wie z.B.

- optional Kupfer, Cu: mehr als 0,002 %, um den Einsatz von Schrott bei der Herstellung der Stahlschmelze zu ermöglichen, aber weniger als 0,1 % um die Lebensmittelverträglichkeit zu gewährleisten;
- optional Nickel, Ni: mehr als 0,01 %, um den Einsatz von Schrott bei der Herstellung der Stahlschmelze zu ermöglichen und die Zähigkeit zu verbessern, aber weniger als 0,1 % um die Lebensmittelverträglichkeit zu gewährleisten;
- optional Zinn, Sn: bevorzugt weniger als 0,03 %;

Herstellungsverfahren:

[0047] Mit der beschriebenen Zusammensetzung des Stahls wird zur Herstellung erfindungsgemäßer Verpackungsblecherzeugnisse zunächst eine Stahlschmelze erzeugt, welche stranggegossen und nach Abkühlung in Brammen zerteilt wird. Die Brammen werden anschließend wieder auf Vorwärmtemperaturen von mehr als 1100°C, insbesondere von 1200°C erwärmt und zur Erzeugung eines Warmbands mit einer Dicke im Bereich von 2 bis 4 mm warmgewalzt.

[0048] Die Endwalztemperatur beim Warmwalzen liegt bevorzugt oberhalb der Ar3-Temperatur, um austenitisch zu bleiben, und liegt insbesondere zwischen 800°C und 920°C.

[0049] Das Warmband wird bei einer vorgegebenen und zweckmäßig konstanten Aufwickeltemperatur (Haspeltemperatur, HT) zu einer Rolle (Coil) aufgewickelt. Die Aufwickeltemperatur liegt dabei bevorzugt unterhalb Ar1, um im ferritischen Gebiet zu bleiben, bevorzugt im Bereich von 500°C bis 750°C, und besonders bevorzugt bei weniger als 640°C, um das Ausfällen von A1N zu vermeiden. Aus wirtschaftlichen Gründen sollte die Aufwickeltemperatur bei mehr als 500°C liegen. Nach dem Aufwickeln kühlt sich die Rolle des Warmbands durch natürliche Abkühlung ab. Eine Ausbildung von Eisennitriden an der Oberfläche des Warmbands kann durch eine aktive Abkühlung des Warmbands nach Beendigung des Warmwalzens bis zum Aufwickeln bei höheren Abkühlraten vermieden werden.

[0050] Zur Herstellung eines Verpackungstahls in Form eines dünnen Stahlblechs im Dickenbereich von weniger als 0,6 mm (Feinstblechdicken) und bevorzugt mit einer Enddicke von weniger als 0,35 mm wird das Warmband zunächst gebeizt und anschließend kaltgewalzt, wobei zweckmäßig eine Dickenreduktion (Reduktionsgrad bzw. Kaltwalzgrad) von mindestens 80 % und bevorzugt im Bereich von 85 % bis 98 % erfolgt. Zur Wiederherstellung des beim Kaltwalzen zerstörten Kristallgefüges des Stahls wird das kaltgewalzte Stahlband anschließend rekristallisierend in einem Glühofen geglüht. Dies erfolgt bspw. durch Durchleiten des in Form eines kaltgewalzten Stahlbands vorliegenden Stahlblechs, bevorzugt mit einer Bandgeschwindigkeit von mindestens 200 m/min, durch einen Durchlaufglühofen, in dem das Stahlband auf Temperaturen oberhalb der Rekristallisationstemperatur des Stahls erhitzt wird. Dabei erfolgt vor oder bevorzugt gleichzeitig mit dem Rekristallisationsglühen ein Aufsticken des kaltgewalzten Stahlblechs durch ein Erwärmen des Stahlblechs im Glühofen in Anwesenheit eines Stickstoffdonors. Das Aufsticken wird dabei bevorzugt gleichzeitig mit dem Rekristallisationsglühen durchgeführt, indem in den Glühofen ein Stickstoffdonor, insbesondere in Form eines stickstoffhaltigen Gases eingebracht und das Stahlblech auf eine Glühtemperatur oberhalb der Rekristallisationstemperatur des Stahls erwärmt und für eine Glühdauer (Haltezeit) von bevorzugt 10 bis 150 Sekunden auf der Glühtemperatur gehalten wird. Die Glühtemperatur liegt dabei bevorzugt oberhalb von 630°C und insbesondere im Bereich von 640°C bis 750°C. Der Stickstoffdonor wird dabei so ausgewählt, dass sich bei den Temperaturen im Glühofen durch Dissoziation des Stickstoffdonors atomarer Stickstoff bildet, der in das Stahlblech diffundieren kann. Hierfür hat sich Ammoniak als geeigneter Stickstoffdonor erwiesen. Um beim Glühen eine Oxidation der Oberfläche des Stahlblechs zu vermeiden wird zweckmäßig in dem Glühofen eine Schutzgasatmosphäre verwendet. Bevorzugt besteht die Atmosphäre in dem Glühofen aus einer Mischung des als Stickstoffdonor wirkenden stickstoffhaltigen Gas und einem Schutzgas wie Formiergas oder Stickstoffgas (N_2 -Gas), wobei der Volumenanteil des Schutzgases bei der Einspeisung bevorzugt zwischen 95 % und 99,98 % liegt und der Rest des Volumenanteils des eingespeisten Gases von dem stickstoffhaltigen Gas,

insbesondere Ammoniakgas (NH_3 -Gas), gebildet wird. Bevorzugt wird während des Aufstickens in dem Glühofen eine Gleichgewichtskonzentration von 0,02 bis 2 Vol. % Ammoniak aufrecht erhalten und gleichzeitig wird Ammoniakgas mittels Düsen auf die Oberflächen des Stahlblechs gesprüht. Dadurch wird die Ausbildung einer harten und spröden Nitridschicht an der Oberfläche des Stahlblechs verhindert und gewährleistet, dass der Stickstoff in hoher Konzentration in das Innere des Stahlblechs diffundiert und sich dort gleichmäßig im (Ferrit-)Gitter des Stahls interstitiell einlagert. Durch das Aufsticken erfolgt bevorzugt eine Erhöhung der anfänglichen Stickstoffkonzentration N_0 um $\Delta N \geq 0,002$ Gew. %. Der durch das Aufsticken im Glühofen erzeugte Gewichtsanteil des gesamten Stickstoffs in dem rekristallisierten und aufgestickten Stahlblech liegt bevorzugt zwischen 0,002 und 0,12 %, besonders bevorzugt zwischen 0,004 und 0,07 %.

Ausführungsbeispiele:

[0051] Nachfolgend werden Ausführungsbeispiele der Erfindung und Vergleichsbeispiele erläutert. Die Stahlbleche der Ausführungsbeispiele der Erfindung und der Vergleichsbeispiele wurden aus Stahlschmelzen mit der in **Tabelle 2** aufgeführten Legierungskompositionen durch Warmwalzen und nachfolgendem Kaltwalzen hergestellt. Die kaltgewalzten Stahlbleche wurden anschließend in einem Durchlaufglühofen rekristallisierend geglüht, indem die Stahlbleche während einer vorgegebenen Glühdauer im Bereich von 10 bis 120 Sekunden auf Glühtemperaturen von 630°C oder mehr gehalten wurden.

[0052] Die erfindungsgemäßen Stahlbleche, die in Tabelle 2 mit "erfindungsgemäß" gekennzeichnet sind, wurden vor oder während des Rekristallisationsglühens in dem Glühofen aufgestickt, indem in dem Glühofen eine Ammoniakatmosphäre mit einer Gleichgewichtskonzentration des Ammoniaks von 0,02 bis bevorzugt 2 Vol. % eingestellt und gleichzeitig Ammoniakgas mittels Düsen auf die Oberflächen der Stahlbleche gerichtet worden ist. Der Stickstoffgehalt wurde dadurch bei den erfindungsgemäßen Stahlblechen vom anfänglichen Stickstoffgehalt N_0 des Warmbands auf einen höheren Stickstoffgehalt N aufgestickt. In Tabelle 2 ist bei den erfindungsgemäßen Stahlblechen sowohl der anfängliche Stickstoffgehalt N_0 als auch der nach dem Aufsticken im Glühofen erzielte Stickstoffgehalt $N = N_0 + \Delta N$ angegeben, wobei ΔN der beim Aufsticken im Glühofen in das Stahlblech eingebrachte Stickstoffgehalt ist.

[0053] Beim Rekristallisationsglühen der nicht-erfindungsgemäßen Stahlbleche, die in Tabelle 2 mit "nicht erfindungsgemäß" gekennzeichnet sind, war im Glühofen eine Inertgasatmosphäre ohne Stickstoffdonor (also ohne nitrierende Bestandteile) vorhanden, so dass die nicht erfindungsgemäßen Stahlbleche im Glühofen nicht aufgestickt worden sind und der Gewichtsanteil des Stickstoffs vor und nach der thermischen Behandlung im Glühofen gleich ist (d.h. $N = N_0$).

[0054] Nach der thermischen Behandlung im Glühofen wurden sowohl die erfindungsgemäßen Stahlbleche als auch die nicht im Glühofen aufgestickten Stahlbleche der nicht-erfindungsgemäßen Vergleichsbeispiele, die in Tabelle 2 mit "nicht erfindungsgemäß" gekennzeichnet sind, in einem zweiten Kaltwalzschritt nachgewalzt bzw. dressiert.

[0055] Abschließend, d.h. nach dem zweiten Kaltwalzen (Nachwalzen bzw. Dressieren), wurde eine künstliche Alterung der Stahlbleche durch Erwärmen der Probe für 20 Minuten auf 200°C erzeugt. Die mechanischen Eigenschaften der auf diese Weise künstlich gealterten Proben der erfindungsgemäßen Stahlbleche und der nicht-erfindungsgemäßen Vergleichsbeispiele sind in **Tabelle 3** angeführt, wobei

- Dicke die Enddicke der nachgewalzten Stahlbleche (in mm),
- NWG der Nachwalzgrad beim sekundären Kaltwalzen (in %),
- Sb_{eH} die obere Streckgrenze (in MPa),
- Sb_{eL} die untere Streckgrenze (in MPa),
- Sb_m die absolute Festigkeit (in MPa),
- Ab die Bruchdehnung (in %),
- Ab_e die Lüdersdehnung (in %),
- b ein Proportionalitätsfaktor in MPa und n ein Verfestigungsexponent ist, die sich aus der Beschreibung der im Bulge-Test ermittelten biaxialen Spannung-Dehnung-Kurve $\sigma_B(\varepsilon)$ im plastischen Bereich oberhalb der Lüdersdehnung (Ab_e) durch die Funktion $\sigma_B = b \cdot \varepsilon^n$ ergeben wenn σ_B die im Bulge-Test ermittelte (wahre) biaxiale Spannung in MPa und ε der Betrag der wahren Dehnung (in %) in Dickenrichtung ist (Die wahre Dehnung in Dickenrichtung ist aufgrund der Dickenreduktion im biaxialen Zugversuch des Bulge-Tests negativ; unter der Dehnung ε wird daher immer der Betrag der negativen Dehnung in Dickenrichtung des Blechs verstanden).

[0056] Die mechanischen Kenngrößen der Proben, wie die obere Streckgrenze (Sb_{eH} in MPa), die untere Streckgrenze (Sb_{eL} in MPa), die absolute Festigkeit (Sb_m in MPa), die Bruchdehnung (Ab in %) und die Lüdersdehnung (Ab_e in %) wurden dabei aus dem biaxialen Spannung-/Dehnung-Diagramm ermittelt wie anhand des Beispiels der Figur 1 beispielhaft erläutert.

[0057] In Figur 3 sind beispielhaft biaxiale Spannung-/Dehnung-Kurven gezeigt, die aus einem Bulge-Test an erfindungsgemäßen und nicht-erfindungsgemäßen Proben von Stahlblechen ermittelt worden sind, wobei in Figur 3a Proben

mit niedrigem Kohlenstoffgehalt ($C < 0,03\%$) und in Figur 3b Proben mit höherem Kohlenstoffgehalt ($C > 0,03\%$) gezeigt sind. Dabei sind jeweils erfindungsgemäße und nicht-erfindungsgemäße Proben mit jeweils identischer Komposition und gleichem Nachwalzgrad (NWG) gegenübergestellt. Aus dem Vergleich der biaxiale Spannung-/Dehnung-Kurven von erfindungsgemäßen und nicht-erfindungsgemäßen Proben ergibt sich, dass die biaxiale Spannung im plastischen Bereich oberhalb der Lüders-Dehnung ($\epsilon > A_{b_e}$) bei den erfindungsgemäßen Proben regelmäßig größer ist als bei den nicht-erfindungsgemäßen Proben. Dies deutet auf eine höhere Kaltverfestigung der erfindungsgemäßen Proben im Bulgeversuch hin. Besonders hoch fällt der Unterschied in der Kaltverfestigung zwischen den erfindungsgemäßen Proben und den nicht-erfindungsgemäßen Proben bei höheren Kohlenstoffkonzentrationen ($C > 0,03\%$) in der Komposition des Stahls auf (siehe Figur 3b).

[0058] Ein weiteres Maß für die Verfestigung einer Stahlblech-Probe ist die im Bulge-Test ermittelte (biaxiale) untere Streckgrenze Sb_{eL} . Diese ist u.a. vom Nachwalzgrad (NWG) abhängig. Zur graphischen Darstellung der Verfestigung von erfindungsgemäßen und nicht-erfindungsgemäßen Proben sind daher in Figur 4 die aus dem Bulge-Test ermittelten unteren Streckgrenzen Sb_{eL} in Abhängigkeit des Nachwalzgrads NWG (in %) dargestellt, wobei wiederum in Figur 4a Stahlblechproben mit niedrigem Kohlenstoffgehalt ($C < 0,03\%$) und in Figur 4b Proben mit höherem Kohlenstoffgehalt ($C > 0,03\%$) gezeigt sind.

[0059] Aus einem Vergleich der erfindungsgemäßen Proben und der nicht-erfindungsgemäßen Proben lässt sich aus den Darstellungen der Figur 4 erkennen, dass die erfindungsgemäßen Proben bei gleichem Nachwalzgrad (NWG) gegenüber den nicht-erfindungsgemäßen Proben eine höhere untere Streckgrenze (Sb_{eL}) aufweisen.

[0060] In Figur 5 ist der Verlauf der Bruchdehnung (Ab in %) aus dem Bulge-Test von erfindungsgemäßen Proben und nicht-erfindungsgemäßen Proben in Abhängigkeit des Nachwalzgrads (NWG in %) dargestellt, wobei in Figur 5a Proben mit niedrigerem Kohlenstoffgehalt ($C < 0,03\%$) und in Figur 5b Proben mit höherem Kohlenstoffgehalt ($C > 0,03\%$) gezeigt sind. Aus einem Vergleich der Bruchdehnung der erfindungsgemäßen Proben und der nicht-erfindungsgemäßen Proben lässt sich aus den Figuren 5a und 5b entnehmen, dass die Bruchdehnung der erfindungsgemäßen Proben bei gleichem Nachwalzgrad (NWG) höher ist.

[0061] Aus den im Bulge-Test ermittelten biaxialen Spannung-/Dehnung-Kurven der erfindungsgemäßen Proben und der nicht-erfindungsgemäßen Proben wurde im plastischen Bereich zwischen der Lüdersdehnung A_{b_e} und einer oberen (plastischen) Grenzdehnung von $\epsilon_{max} = 0,5 \cdot Ab \cdot (Sb_{eL}/Sb_m)$, wobei Ab die Bruchdehnung, Sb_{eL} die untere Streckgrenze und Sb_m die absolute Festigkeit ist, durch Fit-Funktionen $\sigma_B = b \cdot \epsilon^n$ der Proportionalitätsfaktor b und der Verfestigungsexponent n ermittelt. Die für die untersuchten Proben ermittelten Werte für den Proportionalitätsfaktor b und den Verfestigungsexponenten n sind in Tabelle 3 angegeben. Der Verfestigungsexponent n stellt dabei ein Maß für die Kaltverfestigung einer Stahlblechprobe im Bulge-Test dar. Da der Verfestigungsexponent n ebenfalls vom Nachwalzgrad (NWG) abhängig ist, sind in Figur 6 die aus dem Bulge-Test ermittelten Verfestigungsexponenten n von erfindungsgemäßen Proben und nicht-erfindungsgemäßen Proben in Abhängigkeit des Nachwalzgrads (NWG in %) dargestellt, wobei in Figur 6a Proben mit niedrigem Kohlenstoffgehalt ($C < 0,03\%$) und in Figur 6b Proben mit höherem Kohlenstoffgehalt ($C > 0,03\%$) gezeigt sind. Aus einem Vergleich der erfindungsgemäßen Proben und der nicht-erfindungsgemäßen Proben lässt sich entnehmen, dass der Verfestigungsexponent n der erfindungsgemäßen Proben bei gleichem Nachwalzgrad (NWG) höher ist als bei den nicht-erfindungsgemäßen Proben.

[0062] Eine vom Nachwalzgrad unabhängige Quantifizierung der Kaltverfestigung von Stahlblech-Proben im Bulge-Test lässt sich bei einer Darstellung des im Bulge-Test ermittelten Verfestigungsexponenten n in Abhängigkeit der unteren Streckgrenze Sb_{eL} erzielen. In Figur 7 sind daher die im Bulge-Test ermittelten Verfestigungsexponenten n in Abhängigkeit der unteren Streckgrenze Sb_{eL} gezeigt. Aus Figur 7 lässt sich entnehmen, dass die Verfestigungsexponenten n der erfindungsgemäßen Proben bei gleicher unterer Streckgrenze Sb_{eL} höher sind als bei den nicht-erfindungsgemäßen Proben. Für untere Streckgrenzen von $Sb_{eL} > 300$ MPa und einer Mindest-Bruchdehnung von $Ab > 10\%$ lässt sich eine Abgrenzung der erfindungsgemäßen Proben von den nicht-erfindungsgemäßen Proben durch folgenden Verlauf des Verfestigungsexponenten n in Abhängigkeit der unteren Streckgrenze Sb_{eL} (in MPa) angeben:

$$n \geq 0,353 - 5,1 \cdot Sb_{eL}/10^4 \text{ MPa.}$$

[0063] Die erfindungsgemäßen Proben, die obige Gleichung erfüllen, zeichnen sich im Vergleich zu den nicht-erfindungsgemäßen Proben durch eine höhere Streckgrenze und eine höhere Kaltverfestigung aus und sind daher im Vergleich zu den nicht-erfindungsgemäßen Proben besser für mehraxiale Umformungen geeignet, wie sie z.B. bei der Herstellung von dreidimensionalen Dosenkörpern aus Verpackungsblecherzeugnissen erfolgen. Die erfindungsgemäßen Proben zeichnen sich dabei insbesondere durch eine höhere Kaltverfestigung nach einer Alterung (d.h. nach einer natürlichen oder künstlichen Alterung der Probe) aus. Die höhere Kaltverfestigung lässt sich bei den erfindungsgemäßen Proben durch das Einbringen von ungebundenem Stickstoff beim Aufsticken der Proben im Glühofen und der sich daraus ergebenden Mischkristallverfestigung erzielen.

Tabelle 1

Größe	Obere Streckgrenze	Untere Streckgrenze	Absolute Festigkeit	Lüdersdehnung	Bruchdehnung	Obere Grenzdehnung	Verfestigungsexponent	Proportionalitätsfaktor
Zugversuch	R_{eH}	R_{eL}	R_m	ca. A_e	A	-	-	-
Bulge-Versuch	S_{bEH}	S_{bEL}	S_{bm}	Ab_e	Ab	ε_{max}	n	b
Beschreibung zum Bulge-Versuch	Höchste biaxiale wahre Spannung vor dem ersten deutlichen Spannungsabfall zum unstetigen Bereich hin	Kleinste biaxiale wahre Spannung im unstetigen Bereich während des plastischen Fließens	Höchste biaxiale wahre Spannung nach dem unstetigen Bereich und kurz vor Bruch	Bleibende wahre Dehnung in Dickenrichtung Übergang zwischen unstemigem und anschließendem stetigem Bereich	Maximale bleibende wahre Dehnung in Dickenrichtung kurz vor Bruch	Betrag einer wahren Dehnung in Dickenrichtung, welche sich in Abhängigkeit von Bruchdehnung, absoluter Festigkeit und unterer Streckgrenze ergibt	Exponent einer Potenzfunktion, die den Kurvenzug zwischen Lüdersdehnung und oberer Grenzdehnung beschreibt	Multiplikativer Faktor einer Potenzfunktion, die den Kurvenzug zwischen Lüdersdehnung und oberer Grenzdehnung beschreibt

Tabelle 2

Nr.	Kategorie	C [%]	N [%]	Mn [%]	P [%]	S [%]	Si [%]	Ni [%]	Cr [%]	Al [%]	Cu [%]	Mo [%]	Ti [%]	Nb [%]	N ₀ [%]
1	nicht erfindungsgemäß	0,0016	0,0016	0,1900	0,0080	0,0070	0,0070	0,0130	0,0140	0,0020	0,0290	0,0090	0,0008	0,0007	0,0016
2	nicht erfindungsgemäß	0,0017	0,0020	0,2300	0,0100	0,0040	0,0130	0,0150	0,0230	0,0020	0,0060	0,0020	0,0004	0,0007	0,0020
3	nicht erfindungsgemäß	0,0017	0,0020	0,2300	0,0100	0,0040	0,0130	0,0150	0,0230	0,0020	0,0060	0,0020	0,0004	0,0009	0,0020
4	nicht erfindungsgemäß	0,0017	0,0020	0,2300	0,0100	0,0040	0,0130	0,0150	0,0230	0,0020	0,0060	0,0020	0,0004	0,0004	0,0020
5	nicht erfindungsgemäß	0,0017	0,0020	0,2300	0,0100	0,0040	0,0130	0,0150	0,0230	0,0020	0,0060	0,0020	0,0004	0,0008	0,0020
6	nicht erfindungsgemäß	0,0017	0,0020	0,2300	0,0100	0,0040	0,0130	0,0150	0,0230	0,0020	0,0060	0,0020	0,0004	0,0007	0,0020
7	nicht erfindungsgemäß	0,0017	0,0018	0,2200	0,0120	0,0040	0,0100	0,0260	0,0210	0,0270	0,0090	0,0040	0,0004	0,0008	0,0018
8	erfindungsgemäß	0,0018	0,0430	0,2000	0,0070	0,0263	0,0070	0,0290	0,0180	0,0020	0,0100	0,0110	0,0006	0,0009	0,0022
9	erfindungsgemäß	0,0019	0,0041	0,2200	0,0090	0,0040	0,0160	0,0160	0,0190	0,0010	0,0070	0,0020	0,0010	0,0010	0,0017
10	erfindungsgemäß	0,0019	0,0041	0,2200	0,0090	0,0040	0,0160	0,0160	0,0190	0,0010	0,0070	0,0020	0,0010	0,0008	0,0017
11	erfindungsgemäß	0,0019	0,0041	0,2200	0,0090	0,0040	0,0160	0,0160	0,0190	0,0010	0,0070	0,0020	0,0010	0,0010	0,0017
12	nicht erfindungsgemäß	0,0019	0,0041	0,2200	0,0090	0,0040	0,0160	0,0160	0,0190	0,0010	0,0070	0,0020	0,0010	0,0010	0,0017
13	nicht erfindungsgemäß	0,0021	0,0016	0,2400	0,0110	0,0050	0,0230	0,0180	0,0350	0,0020	0,0070	0,0040	0,0004	0,0010	0,0016
14	nicht erfindungsgemäß	0,0022	0,0031	0,2200	0,0090	0,0050	0,0170	0,0380	0,0280	0,0010	0,0120	0,0070	0,0010	0,0010	0,0031
15	nicht erfindungsgemäß	0,0022	0,0031	0,2200	0,0090	0,0050	0,0170	0,0380	0,0280	0,0010	0,0120	0,0070	0,0010	0,0010	0,0031
16	nicht erfindungsgemäß	0,0022	0,0031	0,2200	0,0090	0,0050	0,0170	0,0380	0,0280	0,0010	0,0120	0,0070	0,0010	0,0010	0,0031

(fortgesetzt)

Nr.	Kategorie	C [%]	N [%]	Mn [%]	P [%]	S [%]	Si [%]	Ni [%]	Cr [%]	Al [%]	Cu [%]	Mo [%]	Ti [%]	Nb [%]	N ₀ [%]
17	nicht erfindungsgemäß	0,0022	0,0031	0,2200	0,0090	0,0050	0,0170	0,0380	0,0280	0,0010	0,0120	0,0070	0,0010	0,0010	0,0031
18	erfindungsgemäß	0,0024	0,0052	0,2300	0,0110	0,0050	0,0190	0,0160	0,0210	0,0010	0,0070	0,0030	0,0010	0,0007	0,0022
19	erfindungsgemäß	0,0024	0,0136	0,2300	0,0100	0,0050	0,0250	0,0150	0,0210	0,0010	0,0120	0,0040	0,0005	0,0005	0,0022
20	erfindungsgemäß	0,0024	0,0052	0,2300	0,0110	0,0050	0,0190	0,0160	0,0210	0,0010	0,0070	0,0030	0,0010	0,0010	0,0022
21	erfindungsgemäß	0,0024	0,0052	0,2300	0,0110	0,0050	0,0190	0,0160	0,0210	0,0010	0,0070	0,0030	0,0010	0,0011	0,0022
22	nicht erfindungsgemäß	0,0027	0,0020	0,2300	0,0110	0,0050	0,0250	0,0130	0,0240	0,0020	0,0070	0,0020	0,0004	0,0013	0,0020
23	nicht erfindungsgemäß	0,0029	0,0021	0,2300	0,0100	0,0050	0,0270	0,0150	0,0210	0,0020	0,0120	0,0040	0,0005	0,0005	0,0021
24	erfindungsgemäß	0,0030	0,0119	0,2400	0,0080	0,0040	0,0210	0,0180	0,0220	0,0020	0,0060	0,0020	0,0004	0,0005	0,0017
25	erfindungsgemäß	0,0041	0,0050	0,1800	0,0110	0,0194	0,0140	0,0540	0,0120	0,0260	0,0220	0,0140	0,0005	0,0008	0,0020
26	nicht erfindungsgemäß	0,0064	0,0025	0,1900	0,0100	0,0250	0,0280	0,0320	0,0180	0,0010	0,0090	0,0010	0,0005	0,0008	0,0025
27	erfindungsgemäß	0,0080	0,0050	0,1700	0,0110	0,0250	0,0060	0,0180	0,0140	0,0280	0,0210	0,0180	0,0006	0,0005	0,0018
28	erfindungsgemäß	0,0120	0,0090	0,1900	0,0140	0,0210	0,0160	0,0170	0,0190	0,0340	0,0290	0,0090	0,0028	0,0016	0,0024
29	nicht erfindungsgemäß	0,0120	0,0022	0,2300	0,0150	0,0060	0,0090	0,0130	0,0230	0,0370	0,0080	0,0140	0,0004	0,0023	0,0022
30	erfindungsgemäß	0,0130	0,0210	0,1800	0,0070	0,0220	0,0150	0,0140	0,0150	0,0410	0,0160	0,0030	0,0006	0,0005	0,0045
31	erfindungsgemäß	0,0140	0,0080	0,2100	0,0090	0,0028	0,0160	0,0150	0,0230	0,0270	0,0080	0,0030	0,0060	0,0010	0,0034
32	erfindungsgemäß	0,0140	0,0080	0,2100	0,0090	0,0016	0,0024	0,0150	0,0230	0,0270	0,0080	0,0030	0,0060	0,0010	0,0034
33	nicht erfindungsgemäß	0,0140	0,0080	0,2100	0,0090	0,0430	0,0160	0,0150	0,0230	0,0270	0,0080	0,0030	0,0060	0,0010	0,0034
34	erfindungsgemäß	0,0170	0,0420	0,2000	0,0080	0,0280	0,0190	0,0230	0,0200	0,0140	0,0220	0,0180	0,0004	0,0008	0,0043
35	erfindungsgemäß	0,0210	0,0120	0,2200	0,0100	0,0290	0,0230	0,0350	0,0130	0,0170	0,0120	0,0180	0,0007	0,0007	0,0037
36	nicht erfindungsgemäß	0,0210	0,0021	0,2500	0,0140	0,0260	0,0060	0,0170	0,0230	0,0450	0,0090	0,0040	0,0007	0,0009	0,0021

(fortgesetzt)

Nr.	Kategorie	C [%]	N [%]	Mn [%]	P [%]	S [%]	Si [%]	Ni [%]	Cr [%]	Al [%]	Cu [%]	Mo [%]	Ti [%]	Nb [%]	N ₀ [%]
37	erfindungsgemäß	0,0240	0,0170	0,2300	0,0200	0,0260	0,0260	0,0160	0,0170	0,0450	0,0250	0,0180	0,0007	0,0008	0,0028
38	nicht erfindungsgemäß	0,0280	0,0026	0,2100	0,0200	0,0120	0,0280	0,0120	0,0210	0,0460	0,0150	0,0070	0,0008	0,0010	0,0026
39	erfindungsgemäß	0,0290	0,0230	0,2200	0,0080	0,0250	0,0240	0,0450	0,0210	0,0470	0,0240	0,0060	0,0007	0,0023	0,0027
40	erfindungsgemäß	0,0320	0,0140	0,2800	0,0110	0,0090	0,0290	0,0330	0,0340	0,0380	0,0160	0,0040	0,0006	0,0006	0,0047
41	erfindungsgemäß	0,0330	0,0180	0,2300	0,0120	0,0060	0,0090	0,0160	0,0260	0,0330	0,0080	0,0030	0,0010	0,0009	0,0039
42	nicht erfindungsgemäß	0,0340	0,0041	0,2500	0,0090	0,0130	0,0130	0,0180	0,0260	0,0360	0,0100	0,0030	0,0007	0,0010	0,0041
43	nicht erfindungsgemäß	0,0350	0,0046	0,2300	0,0140	0,0070	0,0130	0,0190	0,0320	0,0370	0,0090	0,0030	0,0008	0,0009	0,0046
44	erfindungsgemäß	0,0360	0,0180	0,2200	0,0140	0,0070	0,0100	0,0150	0,0240	0,0350	0,0070	0,0020	0,0007	0,0010	0,0048
45	nicht erfindungsgemäß	0,0360	0,0028	0,2300	0,0150	0,0100	0,0060	0,0150	0,0260	0,0460	0,0090	0,0020	0,0007	0,0007	0,0028
46	nicht erfindungsgemäß	0,0360	0,0028	0,2300	0,0150	0,0100	0,0060	0,0150	0,0260	0,0460	0,0090	0,0020	0,0007	0,0010	0,0028
47	nicht erfindungsgemäß	0,0360	0,0028	0,2300	0,0150	0,0100	0,0060	0,0150	0,0260	0,0460	0,0090	0,0020	0,0007	0,0010	0,0028
48	nicht erfindungsgemäß	0,0360	0,0028	0,2300	0,0150	0,0100	0,0060	0,0150	0,0260	0,0460	0,0090	0,0020	0,0007	0,0002	0,0028
Nr.	Kategorie	C [%]	N [%]	Mn [%]	P [%]	S [%]	Si [%]	Ni [%]	Cr [%]	Al [%]	Cu [%]	Mo [%]	Ti [%]	Nb [%]	N ₀ [%]
49	erfindungsgemäß	0,0370	0,0200	0,2400	0,0180	0,0070	0,0170	0,0190	0,0290	0,0280	0,0110	0,0030	0,0009	0,0005	0,0043
50	erfindungsgemäß	0,0380	0,0176	0,2300	0,0130	0,0060	0,0130	0,0170	0,0260	0,0330	0,0090	0,0030	0,0007	0,0008	0,0039
51	erfindungsgemäß	0,0380	0,0215	0,2400	0,0100	0,0060	0,0100	0,0150	0,0220	0,0260	0,0080	0,0010	0,0007	0,0008	0,0041
52	nicht erfindungsgemäß	0,0380	0,0037	0,2500	0,0110	0,0060	0,0070	0,0160	0,0290	0,0390	0,0090	0,0030	0,0004	0,0011	0,0037
53	erfindungsgemäß	0,0410	0,0139	0,2300	0,0100	0,0060	0,0110	0,0150	0,0210	0,0390	0,0160	0,0010	0,0008	0,0010	0,0032
54	erfindungsgemäß	0,0410	0,0139	0,2300	0,0100	0,0060	0,0110	0,0150	0,0210	0,0390	0,0160	0,0010	0,0008	0,0010	0,0032

(fortgesetzt)

Nr.	Kategorie	C [%]	N [%]	Mn [%]	P [%]	S [%]	Si [%]	Ni [%]	Cr [%]	Al [%]	Cu [%]	Mo [%]	Ti [%]	Nb [%]	N ₀ [%]
55	erfindungsgemäß	0,0430	0,0133	0,2800	0,0080	0,0060	0,0110	0,0180	0,0250	0,0290	0,0080	0,0010	0,0007	0,0010	0,0035
56	erfindungsgemäß	0,0440	0,0180	0,2300	0,0130	0,0040	0,0130	0,0180	0,0270	0,0320	0,0140	0,0020	0,0010	0,0006	0,0045
57	nicht erfindungsgemäß	0,0440	0,0043	0,2400	0,0080	0,0120	0,0090	0,0150	0,0180	0,0450	0,0150	0,0010	0,0005	0,0005	0,0043
58	nicht erfindungsgemäß	0,0470	0,0038	0,2300	0,0090	0,0110	0,0210	0,0190	0,0310	0,0270	0,0180	0,0140	0,0008	0,0014	0,0038
59	nicht erfindungsgemäß	0,0480	0,0046	0,2400	0,0370	0,0140	0,0300	0,0570	0,0270	0,0360	0,0060	0,0040	0,0043	0,0013	0,0046
60	erfindungsgemäß	0,0490	0,0142	0,2500	0,0070	0,0060	0,0090	0,0180	0,0220	0,0440	0,0070	0,0010	0,0023	0,0010	0,0037
61	erfindungsgemäß	0,0490	0,0280	0,2100	0,0240	0,0020	0,0090	0,0200	0,0410	0,0270	0,0110	0,0030	0,0015	0,0007	0,0029
62	nicht erfindungsgemäß	0,0520	0,0052	0,1600	0,0140	0,0220	0,0023	0,0130	0,0230	0,0470	0,0130	0,0130	0,0009	0,0006	0,0052
63	erfindungsgemäß	0,0530	0,0490	0,4300	0,0100	0,0280	0,0270	0,0120	0,0260	0,0490	0,0030	0,0070	0,0005	0,0008	0,0057
64	erfindungsgemäß	0,0530	0,0540	0,4800	0,0150	0,0180	0,0270	0,0280	0,0330	0,0390	0,0300	0,0080	0,0005	0,0013	0,0063
65	erfindungsgemäß	0,0540	0,0570	0,5000	0,0280	0,0090	0,0220	0,0420	0,0430	0,0180	0,0130	0,0010	0,0004	0,0009	0,0023
66	nicht erfindungsgemäß	0,0560	0,0057	0,1600	0,0130	0,0260	0,0140	0,0200	0,0280	0,0430	0,0230	0,0150	0,0010	0,0010	0,0057
67	erfindungsgemäß	0,0570	0,0310	0,3400	0,0270	0,0130	0,0090	0,0110	0,0310	0,0260	0,0190	0,0010	0,0031	0,0009	0,0067
68	nicht erfindungsgemäß	0,0580	0,0037	0,3500	0,0110	0,0090	0,0080	0,0236	0,0240	0,0290	0,0180	0,0050	0,0005	0,0005	0,0037
69	erfindungsgemäß	0,0590	0,0101	0,3700	0,0230	0,0280	0,0120	0,0180	0,0480	0,0210	0,0200	0,0050	0,0007	0,0005	0,0048
70	nicht erfindungsgemäß	0,0710	0,0087	0,2500	0,0180	0,0030	0,0270	0,0150	0,0280	0,0460	0,0200	0,0180	0,0027	0,0007	0,0087

Tabelle 3

Nr.	Kategorie	Dicke [mm]	NWG [%]	Sb _{eH} [MPa]	Sb _{eL} [MPa]	Sb _m [MPa]	Ab _e [%]	Ab [%]	b [MPa]	n [1]
1	nicht erfindungsgemäß	0,48	0,4	351	276	494	1,7	42,3	264	0,201
2	nicht erfindungsgemäß	0,30	1	331	286	493	1,9	38,0	243	0,199
3	nicht erfindungsgemäß	0,22	7,5	390	350	536	0,7	39,0	371	0,095
4	nicht erfindungsgemäß	0,27	10	413	372	465	1,1	31,4	371	0,114
5	nicht erfindungsgemäß	0,25	15	464	435	487	0,8	27,3	443	0,061
6	nicht erfindungsgemäß	0,24	20	486	465	494	0,8	17,3	470	0,045
7	nicht erfindungsgemäß	0,20	0,4	364	291	501	1,8	39,4	279	0,183
8	erfindungsgemäß	0,17	0,6	387	315	541	4,1	42,7	264	0,201
9	erfindungsgemäß	0,22	1	409	317	557	2,7	41,8	257	0,215
10	erfindungsgemäß	0,19	10	486	454	587	2,1	28,7	404	0,128
11	erfindungsgemäß	0,18	15	537	486	594	1,6	21,6	471	0,114
12	nicht erfindungsgemäß	0,13	40	693	662	675	1,6	9,3	657	0,022
13	nicht erfindungsgemäß	0,22	6	417	367	566	1,3	42,8	356	0,130
14	nicht erfindungsgemäß	0,23	1	402	313	551	1,6	46,0	272	0,179
15	nicht erfindungsgemäß	0,21	10	490	425	581	1,8	33,5	409	0,108
16	nicht erfindungsgemäß	0,20	15	545	477	588	1,7	26,8	478	0,068
17	nicht erfindungsgemäß	0,14	40	685	640	645	1,4	10,5	650	0,013
18	erfindungsgemäß	0,22	1	405	341	591	2,5	41,1	283	0,207
19	erfindungsgemäß	0,21	4,5	463	421	656	1,3	32,9	395	0,163
20	erfindungsgemäß	0,20	8	548	496	663	2,0	26,0	455	0,126
21	erfindungsgemäß	0,18	16	551	502	629	1,4	21,8	481	0,100
22	nicht erfindungsgemäß	0,17	40	673	651	692	1,0	10,8	670	0,011
23	nicht erfindungsgemäß	0,21	4,5	424	405	580	1,5	42,6	351	0,141
24	erfindungsgemäß	0,18	5	472	428	645	1,9	36,4	376	0,163
25	erfindungsgemäß	0,28	0,6	444	354	514	3,4	43,1	375	0,177
26	nicht erfindungsgemäß	0,18	2	402	329	532	1,8	36,6	308	0,153

EP 3 875 626 A1

(fortgesetzt)

	Nr.	Kategorie	Dicke [mm]	NWG [%]	Sb _{eH} [MPa]	Sb _{eL} [MPa]	Sb _m [MPa]	Ab _e [%]	Ab [%]	b [MPa]	n [1]
5	27	erfindungsgemäß	0,32	0,4	441	347	578	2,5	36,5	309	0,183
	28	erfindungsgemäß	0,29	0,4	459	393	604	2,3	35,8	337	0,170
	29	nicht erfindungsgemäß	0,29	1	410	337	534	1,9	36,9	307	0,163
10	30	erfindungsgemäß	0,14	4,5	501	472	682	1,3	32,1	438	0,160
	31	erfindungsgemäß	0,48	0,6	451	375	597	2,1	36,7	337	0,174
	32	erfindungsgemäß	0,23	20	611	561	658	1,9	17,9	546	0,075
15	33	nicht erfindungsgemäß	0,45	33	717	683	698	0,8	5,4	694	0,031
	34	erfindungsgemäß	0,16	1	461	447	692	1,3	37,4	432	0,183
	35	erfindungsgemäß	0,15	11	567	514	661	2,1	25,8	478	0,118
20	36	nicht erfindungsgemäß	0,19	0,8	435	347	542	2,2	37,4	321	0,157
	37	erfindungsgemäß	0,26	20	643	614	715	1,5	17,1	602	0,079
25	38	nicht erfindungsgemäß	0,14	4,5	483	407	562	1,6	32,3	376	0,109
	39	erfindungsgemäß	0,34	7	567	538	717	1,6	28,4	504	0,133
	40	erfindungsgemäß	0,29	0,6	523	459	653	2,5	34,1	401	0,149
30	41	erfindungsgemäß	0,17	5	541	498	667	2,1	27,0	447	0,134
	42	nicht erfindungsgemäß	0,16	22	606	588	615	1,2	24,6	596	0,010
	43	nicht erfindungsgemäß	0,22	0,8	470	395	588	3,2	41,6	349	0,129
35	44	erfindungsgemäß	0,18	17	657	638	741	1,3	20,6	623	0,072
	45	nicht erfindungsgemäß	0,21	0,4	498	370	591	3,5	45,4	293	0,157
40	46	nicht erfindungsgemäß	0,21	1	509	401	580	3,0	40,4	344	0,132
	47	nicht erfindungsgemäß	0,20	5	543	486	588	2,7	26,5	454	0,066
45	48	nicht erfindungsgemäß	0,18	15	665	571	608	2,4	8,6	546	0,048
	49	erfindungsgemäß	0,17	10	645	602	762	1,5	26,6	575	0,103
	50	erfindungsgemäß	0,21	1,2	538	483	654	3,3	29,4	403	0,149
50	51	erfindungsgemäß	0,15	8	584	540	631	2,3	17,8	497	0,096
	52	nicht erfindungsgemäß	0,17	10	532	477	601	1,2	30,9	470	0,077
	53	erfindungsgemäß	0,22	0,4	559	430	667	3,0	40,5	343	0,168
55	54	erfindungsgemäß	0,19	15	720	649	703	3,3	13,3	632	0,039
	55	erfindungsgemäß	0,21	7,5	571	531	668	2,2	27,2	482	0,108

(fortgesetzt)

Nr.	Kategorie	Dicke [mm]	NWG [%]	Sb _{eH} [MPa]	Sb _{eL} [MPa]	Sb _m [MPa]	Ab _e [%]	Ab [%]	b [MPa]	n [1]
56	erfindungsgemäß	0,13	8	626	578	677	3,0	16,6	524	0,100
57	nicht erfindungsgemäß	0,17	10	565	507	597	1,7	20,0	488	0,081
58	nicht erfindungsgemäß	0,14	11	589	518	615	2,4	25,2	492	0,054
59	nicht erfindungsgemäß	0,28	2,2	525	454	588	2,6	32,1	401	0,104
60	erfindungsgemäß	0,21	6	573	522	655	2,3	24,1	481	0,096
61	erfindungsgemäß	0,14	0,6	581	546	747	1,9	31,9	498	0,137
62	nicht erfindungsgemäß	0,23	12	601	549	614	1,2	23,7	499	0,060
63	erfindungsgemäß	0,24	14	694	682	757	0,9	14,8	652	0,064
64	erfindungsgemäß	0,20	1,4	601	576	770	1,8	31,1	537	0,154
65	erfindungsgemäß	0,23	5	630	608	781	1,7	27,4	570	0,117
66	nicht erfindungsgemäß	0,35	18	667	607	647	0,8	18,1	586	0,036
67	erfindungsgemäß	0,15	8	661	641	793	1,6	24,4	607	0,101
68	nicht erfindungsgemäß	0,23	15	649	572	630	1,3	10,5	548	0,031
69	erfindungsgemäß	0,25	12	682	605	692	3,1	21,4	553	0,068
70	nicht erfindungsgemäß	0,22	6	624	545	646	2,7	27,3	503	0,054

Patentansprüche

1. Verpackungsblecherzeugnis aus einem kaltgewalzten Stahlblech mit einer Dicke von weniger als 0,6 mm, welches folgende Zusammensetzung in Bezug auf das Gewicht aufweist:

- C: 0,001 - 0,06 %,
- Si: < 0,03 %, bevorzugt 0,002 bis 0,03 %,
- Mn: 0,17 - 0,5 %,
- P: < 0,03 %, bevorzugt 0,005 bis 0,03 %,
- S: 0,001 - 0,03 %,
- Al: 0,001 - 0,1 %,
- N: 0,002 - 0,12 %, bevorzugt 0,004 bis 0,07 %,
- optional Cr: < 0,1 %, bevorzugt 0,01 - 0,1 %,
- optional Ni: < 0,1 %, bevorzugt 0,01 - 0,05 %,
- optional Cu: < 0,1 %, bevorzugt 0,002 - 0,05 %,
- optional Ti: < 0,01 %,
- optional B: < 0,005 %,
- optional Nb: < 0,01 %,
- optional Mo: < 0,02 %,
- optional Sn: < 0,03 %,
- Rest Eisen und unvermeidbare Verunreinigungen,

wobei das Verpackungsblecherzeugnis bei einer biaxialen Verformung in einem Bulge-Versuch eine untere Streck-

grenze (Sb_{eL}) von mehr als 300 MPa und eine zugehörige Bruchdehnung (Ab) von mehr als 10 % und im plastischen Bereich zwischen der Lüdersdehnung (Ab_e) und einer oberen (plastischen) Grenzdehnung von $\varepsilon_{\max} = 0,5 \cdot Ab \cdot (Sb_{eL}/Sb_m)$ ein biaxiales Spannungs/-Dehnungs-Diagramm $\sigma_B(\varepsilon)$ aufweist, das mit einer Funktion $\sigma_B = b \cdot \varepsilon^n$ darstellbar ist, wobei

- σ_B die wahre, biaxiale Spannung in MPa,
- ε der Betrag der wahren Dehnung in Dickenrichtung in %,
- Sb_{eL} die untere Streckgrenze,
- Sb_m die absolute Festigkeit,
- Ab_e die Lüdersdehnung,
- b ein Proportionalitätsfaktor und
- n ein Verfestigungsexponent ist,

und eine Verfestigung des Verpackungsblecherzeugnisses in Dickenrichtung durch einen Verfestigungsexponenten von

$n \geq 0,353 - 5,1 \cdot Sb_{eL}/10^4$ MPa charakterisiert ist.

2. Verpackungsblecherzeugnis nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet, dass** von dem Stickstoff ein Gewichtsanteil von mindestens 0,002 %, bevorzugt von mehr als 0,004 % in ungebundener Form interstitiell im Stahl eingelagert ist.

3. Verpackungsblecherzeugnis nach einem der voranstehenden Ansprüche, wobei das Verpackungsblecherzeugnis erhältlich ist durch

- Warmwalzen einer Bramme aus dem Stahl zu einem Warmband, wobei das Warmband bevorzugt eine Dicke im Bereich von 2 mm bis 4 mm aufweist,
- Aufwickeln des Warmbands bei einer Aufwickeltemperatur unterhalb der Ar1-Temperatur und insbesondere im Bereich von 500°C bis 750°C,
- Kaltwalzen des Warmbands bei einem Reduktionsverhältnis von mindestens 80 % zu einem kaltgewalzten Stahlband,
- Aufsticken des kaltgewalzten Stahlbands in einem Glühofen, insbesondere einem Durchlaufglühofen, unter Anwesenheit eines Stickstoffdonors bei einer Temperatur von mindestens 550°C und Rekristallisationsglühen des kaltgewalzten Stahlbands in einem Glühofen bei einer Glühtemperatur von mindestens 630°C,
- Abkühlen des rekristallisierend geglühten Stahlbands auf Raumtemperatur,
- Nachwalzen des rekristallisierten Stahlbands bei einem Nachwalzgrad von 0,2 % bis 45 %.

4. Verpackungsblecherzeugnis nach Anspruch 3, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Endwalztemperatur beim Warmwalzen der Bramme größer als die Ar3-Temperatur ist und insbesondere im Bereich von 800°C bis 920°C liegt.

5. Verpackungsblecherzeugnis nach einem der Ansprüche 3 oder 4, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Verweildauer des Stahlbands im Glühofen zwischen 10 Sekunden und 400 Sekunden liegt.

6. Verpackungsblecherzeugnis nach einem der Ansprüche 3 bis 5, **dadurch gekennzeichnet, dass** der Nachwalzgrad 20 % oder kleiner ist und insbesondere im Bereich von 1 bis 18 % liegt.

7. Verpackungsblecherzeugnis nach einem der Ansprüche 3 bis 6, wobei der Stickstoffdonor bei den Temperaturen im Glühofen zumindest teilweise zu atomarem Stickstoff dissoziiert ist.

8. Verpackungsblecherzeugnis nach einem der Ansprüche 3 bis 7, wobei es sich bei dem Stickstoffdonor um Ammoniakgas handelt.

9. Verpackungsblecherzeugnis nach einem der Ansprüche 3 bis 8, **dadurch gekennzeichnet, dass** das Warmband einen anfänglichen Stickstoffanteil No im Bereich von 0,001 Gew. % bis 0,016 Gew. %, bevorzugt von 0,001 Gew. % bis 0,008 Gew. %, aufweist und dass der Gewichtsanteil des Stickstoffs in dem Stahlflachprodukt beim Glühen durch die Anwesenheit des Stickstoffdonors um $\Delta N \geq 0,002$ Gew. % erhöht wird.

10. Verpackungsblecherzeugnis nach einem der voranstehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** es eine

Oberflächenbeschichtung auf mindestens einer Oberfläche des kaltgewalzten Stahlblechs enthält, insbesondere eine elektrolytisch aufgetragene Zinn- und/oder Chrom-/Chromoxid-Beschichtung und/oder eine organische Beschichtung, insbesondere in Form eines Lacks oder einer Polymerfolie.

- 5 11. Verpackungsblecherzeugnis nach einem der voranstehenden Ansprüche, wobei die Eigenschaften des Verpackungsblecherzeugnisses nach einer Alterung des Verpackungsblecherzeugnisses erhalten werden, insbesondere nach einer künstlichen Alterung durch eine thermische Behandlung über 20 bis 30 Minuten bei einer Alterungstemperatur im Bereich von 200°C bis 210 °C oder nach einer Lagerung und/oder durch eine Lackierung mit anschließender Trocknung.
- 10 12. Verpackungsblecherzeugnis nach einem der Ansprüche 3 bis 11, wobei der sich aus der Dicke (d) des Verpackungsblecherzeugnisses und der Dicke (D) des Warmbands ergebende Gesamtkaltwalzgrad von $GKWG = 1 - d/D$ bei mindestens 0,90 liegt.
- 15 13. Verpackungsblecherzeugnis nach einem der voranstehenden Ansprüche, wobei es sich um ein einfach oder doppelt reduziertes Feinstblech mit einer Dicke (d) im Bereich von 0,10 mm bis 0,50 mm, bevorzugt von 0,12 mm bis 0,35 mm, handelt.
- 20 14. Verwendung eines Verpackungsblecherzeugnisses nach einem der voranstehenden Ansprüche zur Herstellung von Dosenrumpfen.
- 25 15. Verfahren zur Herstellung und Charakterisierung eines Verpackungsblecherzeugnisses aus einem kaltgewalzten Stahlblech mit einer Dicke von weniger als 0,6 mm, wobei das Verpackungsblecherzeugnis aus einem Warmband durch ein- oder zweifaches Kaltwalzen des Warmbands bei einem Reduktionsverhältnis von mindestens 80 % hergestellt wird und das Warmband folgende Zusammensetzung in Bezug auf das Gewicht aufweist:
 - C: 0,001 - 0,06 %,
 - Si: < 0,03 %, bevorzugt 0,002 bis 0,03 %,
 - Mn: 0,17 - 0,5 %,
 - 30 - P: < 0,03 %, bevorzugt 0,005 bis 0,03 %,
 - S: 0,001 - 0,03 %,
 - Al: 0,001 - 0,1 %,
 - N: < 0,016%, bevorzugt 0,001 bis 0,008 %,
 - optional Cr: < 0,1 %, bevorzugt 0,01 - 0,08 %,
 - 35 - optional Ni: < 0,1 %, bevorzugt 0,01 - 0,05 %,
 - optional Cu: < 0,1 %, bevorzugt 0,002 - 0,05 %,
 - optional Ti: < 0,01 %,
 - optional B: < 0,005 %,
 - optional Nb: < 0,01 %,
 - 40 - optional Mo: < 0,02 %,
 - optional Sn: < 0,03 %,
 - Rest Eisen und unvermeidbare Verunreinigungen,
- 45 wobei das kaltgewalzte Stahlband in einem Glühofen, insbesondere einem Durchlaufglühofen, unter Anwesenheit eines Stickstoffdonors bei einer Temperatur von mindestens 550°C um einen auf das Gewicht bezogenen Stickstoffgehalt von $\Delta N \geq 0,002$ % aufgestickt und bei einer Glüh Temperatur von mindestens 630°C rekristallisierend geglüht, danach auf Raumtemperatur abgekühlt und bei einem Nachwalzgrad von 0,2 % bis 45 % kalt nachgewalzt wird und anschließend zur Charakterisierung des Umformvermögens einer biaxialen Verformung im Bulgeversuch im plastischen Bereich unterzogen wird, in der das Verpackungsblecherzeugnis eine untere Streckgrenze (Sb_{eL}) von mehr als 300 MPa und eine zugehörige Bruchdehnung (Ab) von mehr als 10 % sowie im Bereich zwischen der Lüdersdehnung (Ab_e) und einer oberen (plastischen) Grenzdehnung von $\varepsilon_{max} = 0,5 \cdot Ab \cdot (Sb_{eL}/Sb_m)$ ein biaxiales Spannungs-Dehnungs-Diagramm $\sigma_B(\varepsilon)$ zeigt, das mit einer Funktion $\sigma_B = b \cdot \varepsilon^n$ darstellbar ist, wobei
 - 55 - σ_B die wahre, biaxiale Spannung in MPa,
 - ε der Betrag der wahren Dehnung in Dickenrichtung in %,
 - Sb_{eL} die untere Streckgrenze,
 - Sb_m die absolute Festigkeit,
 - Ab_e die Lüdersdehnung,

EP 3 875 626 A1

- b ein Proportionalitätsfaktor und
- n ein Verfestigungsexponent ist, der $n \geq 0,353 - 5,1 \cdot S_{bL} / 10^4$ MPa erfüllt.

5

10

15

20

25

30

35

40

45

50

55

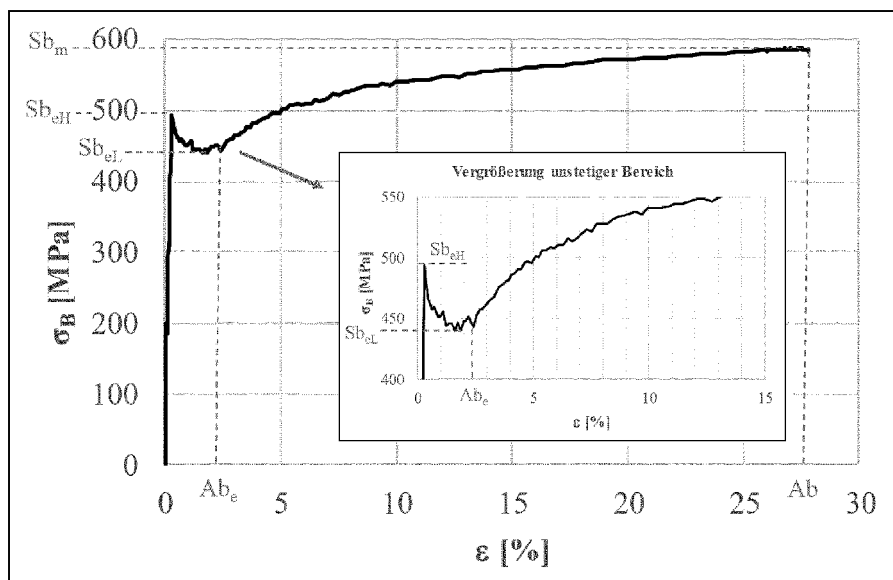
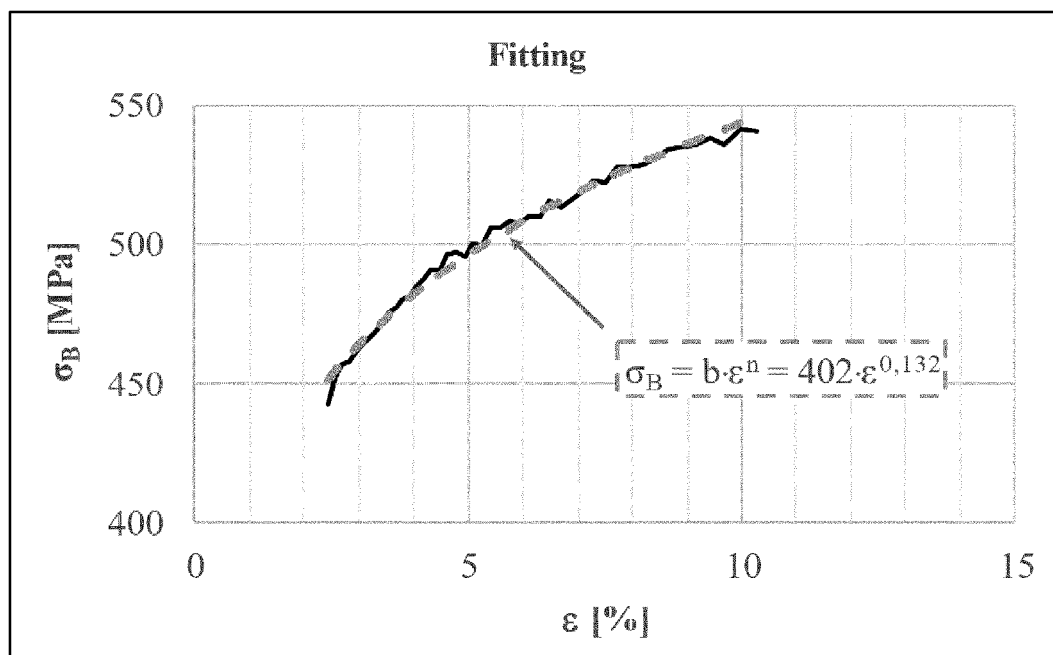


Fig. 1

Größe	Wert aus Beispielkurve
Sb_m	584 MPa
Sb_{eH}	494 MPa
Sb_{eL}	440 MPa
Ab	27,8 %
Ab_e	2,4 %

**Fig. 2**

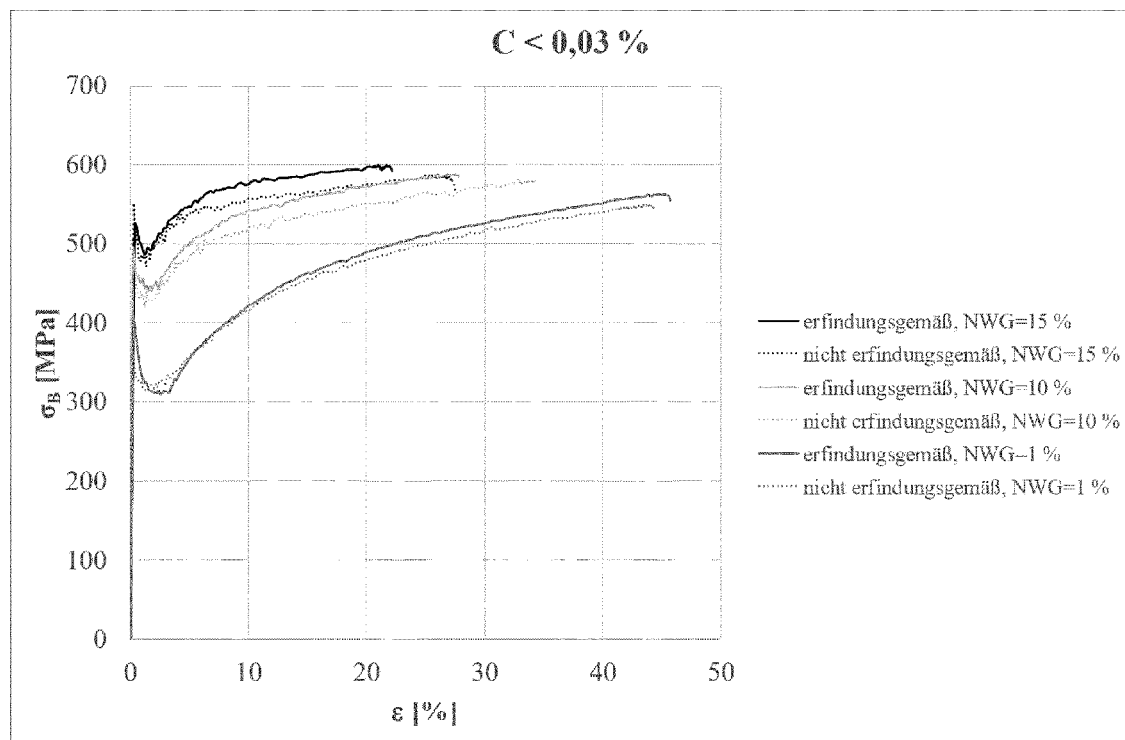


Fig. 3a

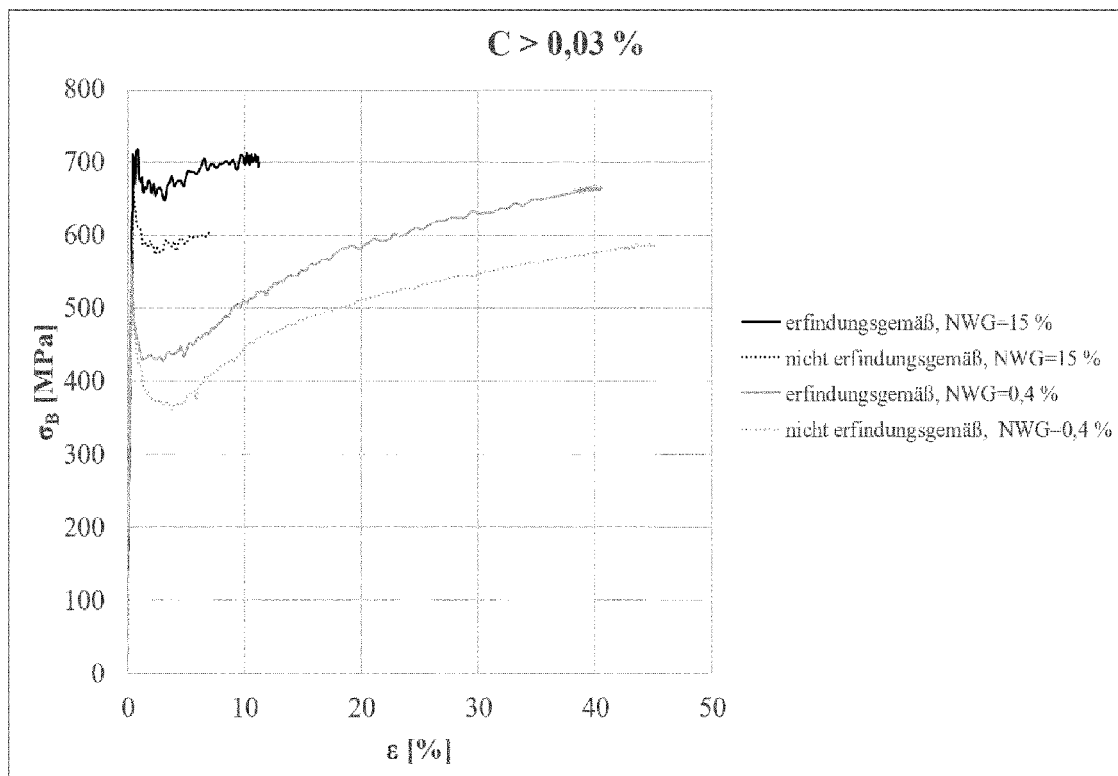


Fig. 3b

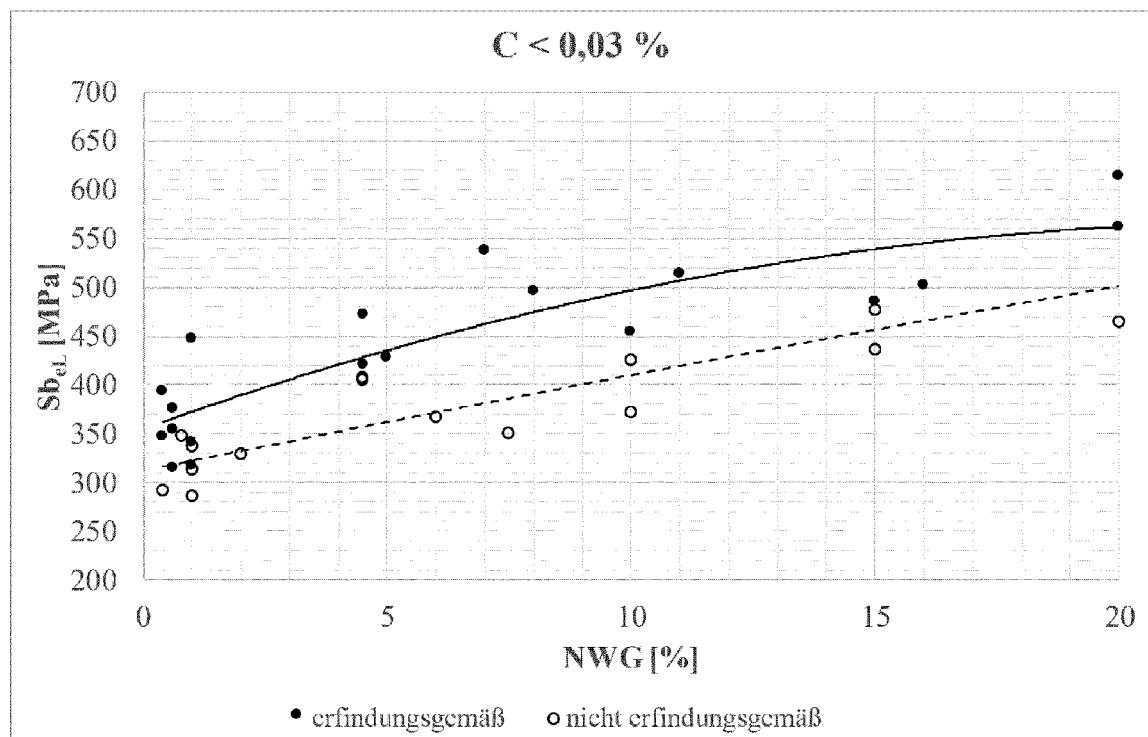


Fig. 4a

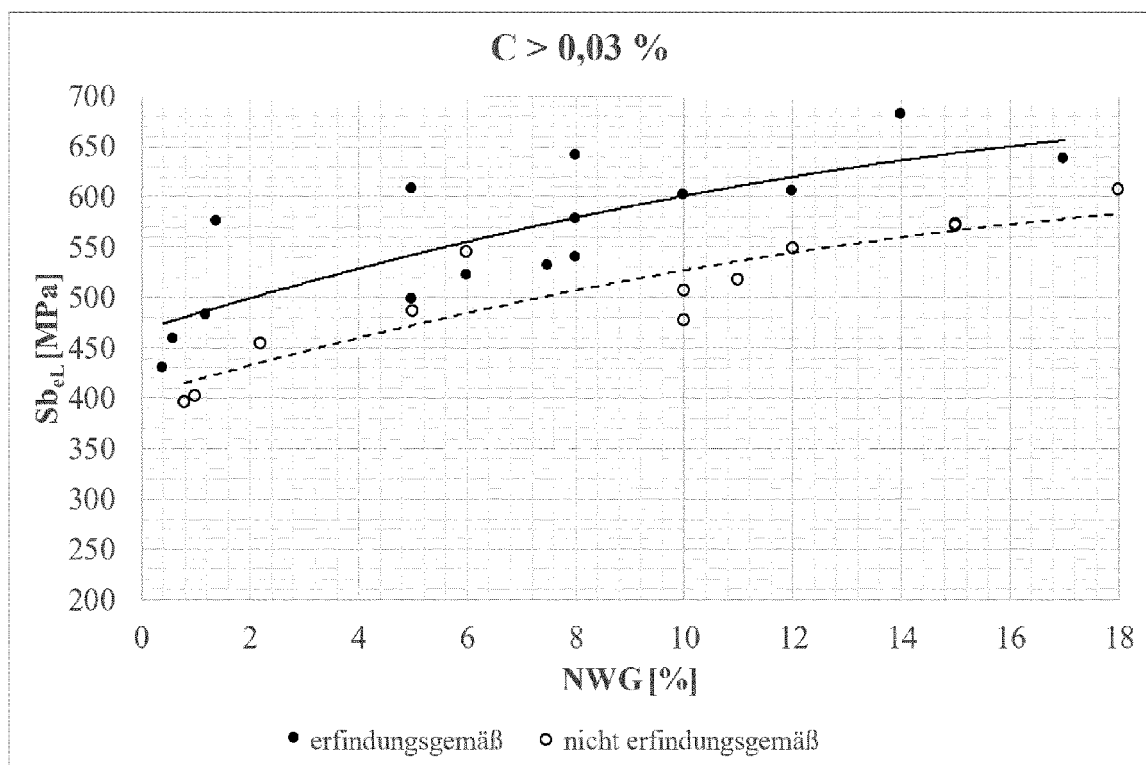


Fig. 4b

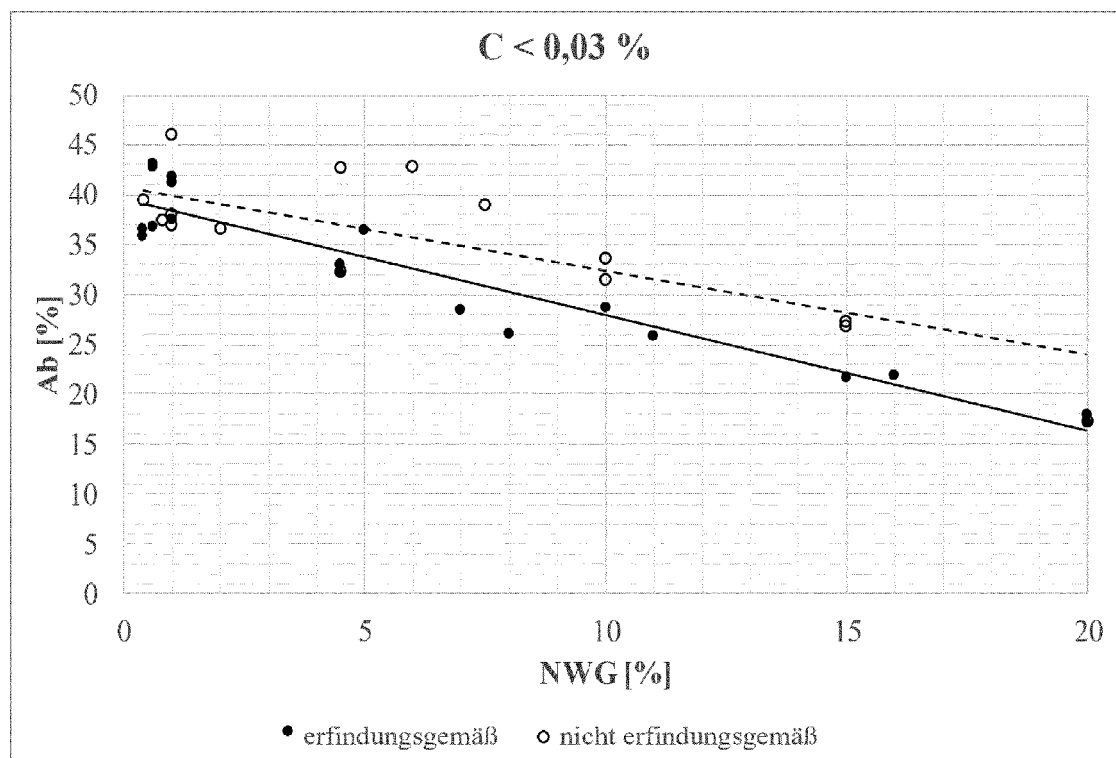


Fig. 5a

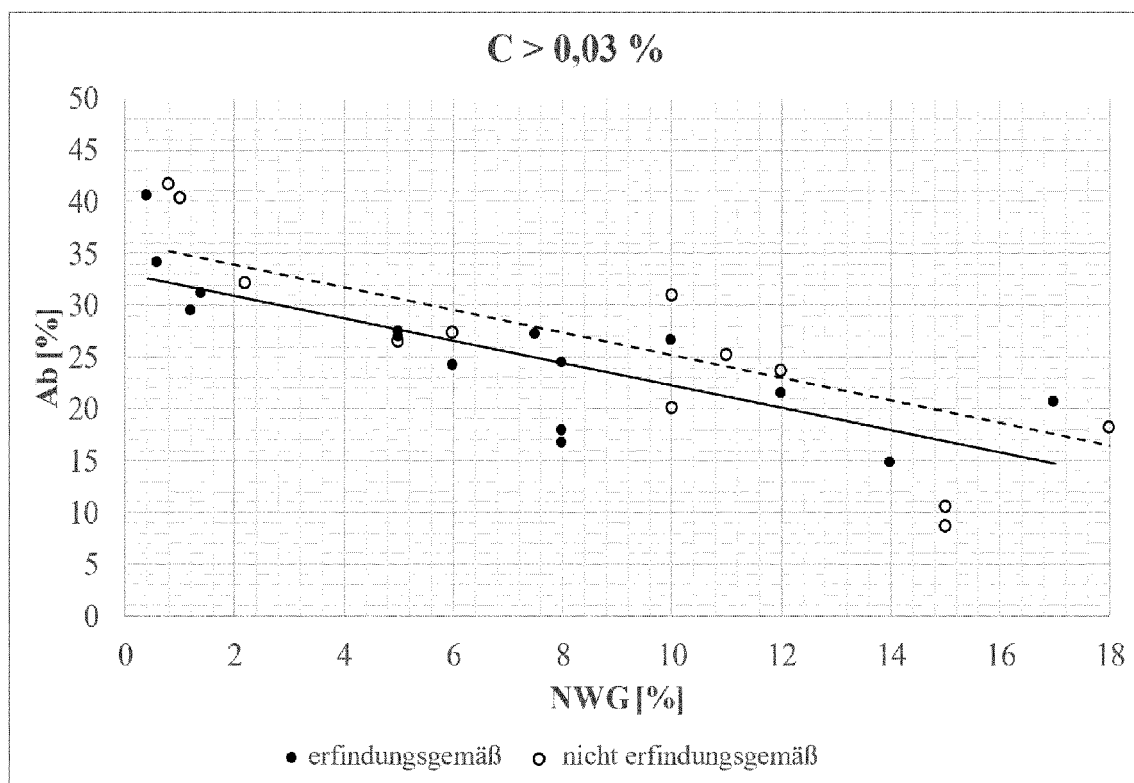


Fig. 5b

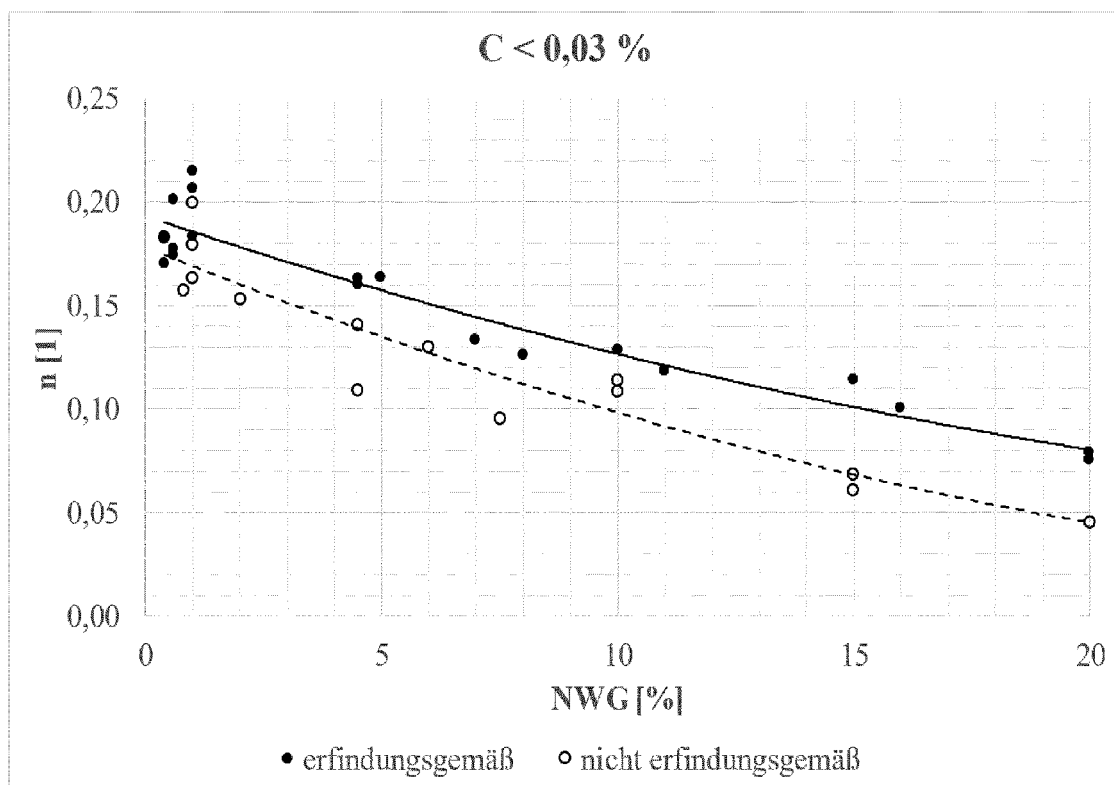


Fig. 6a

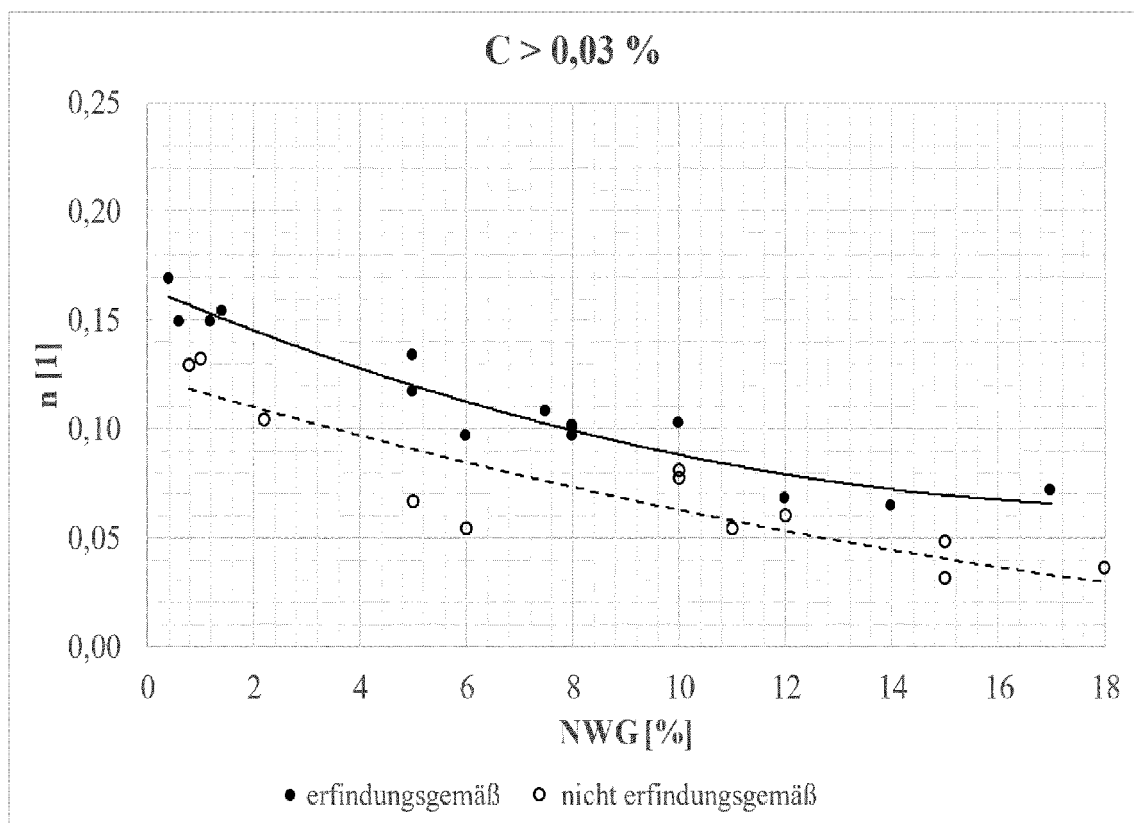


Fig. 6b

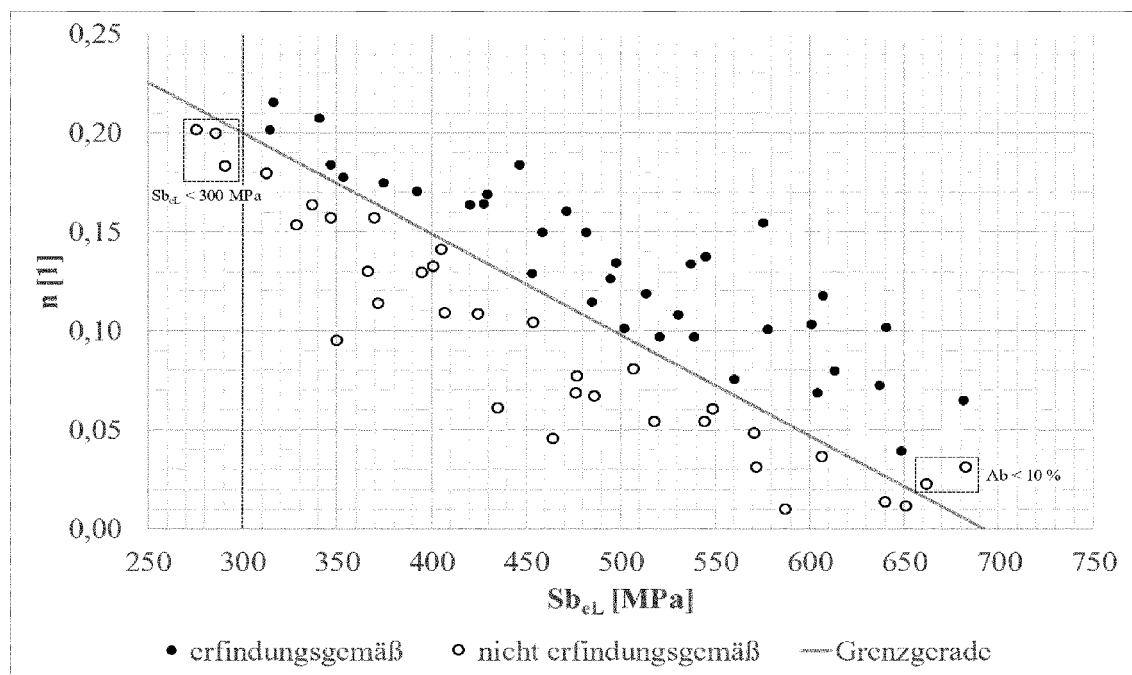


Fig. 7



EUROPÄISCHER RECHERCHENBERICHT

 Nummer der Anmeldung
EP 21 15 4978

5

10

15

20

25

30

35

40

45

50

55

1

EPO FORM 1503 03.82 (P04C03)

EINSCHLÄGIGE DOKUMENTE			
Kategorie	Kennzeichnung des Dokuments mit Angabe, soweit erforderlich, der maßgeblichen Teile	Betrifft Anspruch	KLASSIFIKATION DER ANMELDUNG (IPC)
X	WO 2005/068667 A1 (NIPPON STEEL CORP [JP]; MURAKAMI HIDEKUNI [JP] ET AL.) 28. Juli 2005 (2005-07-28) * Zusammenfassung; Ansprüche 1-17; Tabellen 1-2 * * Seite 18 *	1-15	INV. C22C38/00 C22C38/02 C22C38/04 C22C38/06 C21D8/04 C21D9/48 C23C8/02 C23C8/80
A	US 2011/076177 A1 (ARATANI MAKOTO [JP] ET AL) 31. März 2011 (2011-03-31) * das ganze Dokument *	1-15	
A	DE 10 2014 116929 B3 (THYSSENKRUPP AG [DE]; THYSSENKRUPP RASSELSTEIN GMBH [DE]) 5. November 2015 (2015-11-05) * das ganze Dokument *	1-15	
			RECHERCHIERTE SACHGEBIETE (IPC)
			C22C C23C C21D
Der vorliegende Recherchenbericht wurde für alle Patentansprüche erstellt			
Recherchenort Den Haag		Abschlußdatum der Recherche 16. März 2021	Prüfer Mikloweit, Alexander
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 : mündliche Offenbarung P : Zwischenliteratur		T : der Erfindung zugrunde liegende Theorien oder Grundsätze E : älteres Patentdokument, das jedoch erst am oder nach dem Anmeldedatum veröffentlicht worden ist D : in der Anmeldung angeführtes Dokument L : aus anderen Gründen angeführtes Dokument & : Mitglied der gleichen Patentfamilie, übereinstimmendes Dokument	

**ANHANG ZUM EUROPÄISCHEN RECHERCHENBERICHT
 ÜBER DIE EUROPÄISCHE PATENTANMELDUNG NR.**

EP 21 15 4978

5 In diesem Anhang sind die Mitglieder der Patentfamilien der im obengenannten europäischen Recherchenbericht angeführten Patentdokumente angegeben.
 Die Angaben über die Familienmitglieder entsprechen dem Stand der Datei des Europäischen Patentamts am
 Diese Angaben dienen nur zur Unterrichtung und erfolgen ohne Gewähr.

16-03-2021

	Im Recherchenbericht angeführtes Patentdokument	Datum der Veröffentlichung	Mitglied(er) der Patentfamilie	Datum der Veröffentlichung
10	WO 2005068667 A1	28-07-2005	CN 1910296 A	07-02-2007
			EP 1706514 A1	04-10-2006
			JP 4299858 B2	22-07-2009
15			JP 2007520628 A	26-07-2007
			KR 20060113984 A	03-11-2006
			WO 2005068667 A1	28-07-2005

20	US 2011076177 A1	31-03-2011	BR PI0911139 A2	06-10-2015
			CN 101983251 A	02-03-2011
			CN 103205657 A	17-07-2013
			JP 5365312 B2	11-12-2013
			JP 2009263788 A	12-11-2009
			KR 20100119821 A	10-11-2010
25			KR 20130045948 A	06-05-2013
			TW 200948985 A	01-12-2009
			US 2011076177 A1	31-03-2011
			US 2014174609 A1	26-06-2014
			WO 2009123356 A1	08-10-2009

30	DE 102014116929 B3	05-11-2015	AU 2015349052 A1	18-05-2017
			BR 112017008044 A2	19-12-2017
			CA 2961428 A1	26-05-2016
			CN 106795574 A	31-05-2017
			DE 102014116929 B3	05-11-2015
35			EP 3221477 A1	27-09-2017
			EP 3736348 A1	11-11-2020
			ES 2806523 T3	17-02-2021
			JP 6530488 B2	12-06-2019
			JP 2018506638 A	08-03-2018
40			KR 20170082514 A	14-07-2017
			US 2017226609 A1	10-08-2017
			WO 2016078784 A1	26-05-2016

45				
50				
55				

EPO FORM P0461

EPO FORM P0461

Für nähere Einzelheiten zu diesem Anhang : siehe Amtsblatt des Europäischen Patentamts, Nr.12/82