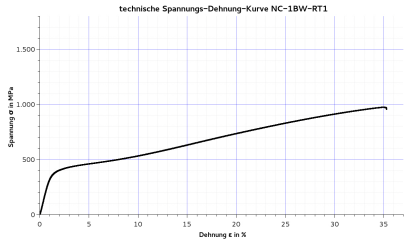
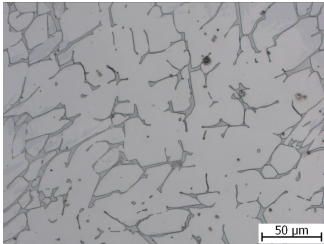


Kaltumformbarkeit der hochlegierten metastabilen Stahlgusslegierung G-X5CrMnNiN 19-3-4-0,18

Präsentation zur experimentellen Studienarbeit



ÜBERBLICK

Einleitung

Verformungsinduzierte Plastizität

- Charakteristika

- Thermodynamik der Martensitbildung

- SFE* und Austenitstabilität

Einordnung der Legierung

- Analyse

- Lage im Schaeffler-Diagramm

- Werte der Austenitstabilität

Experimentelle Methoden

Wärmebehandlung

- Glühen auf δ -Ferrit

- Rekristallisationsglühen

ÜBERBLICK II

Ergebnisse

- Walzversuche
- mechanische Eigenschaften
- Gefügeentwicklung
- Potenzial der Rekristallisation

Zusammenfassung und Ausblick

CHARAKTERISTIKA

- hochlegierter austenitischer Stahlguss
- metastabiler Austenit
- unter Verformung Umwandlung in Martensit (TRIP) und/oder Zwillingsbildung (TWIP)
- häufig Überlagerung beider Effekte

Besonderheit

gleichsinnige Zunahme von Festigkeit und Dehnbarkeit

CHARAKTERISTIKA II

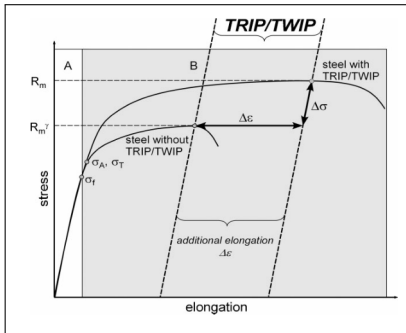


Abb. 1 : Schematischer Verlauf einer Spannungs-Dehnungs-Kurve mit und ohne TRIP/TWIP-Effekt [38]

CHARAKTERISTIKA III

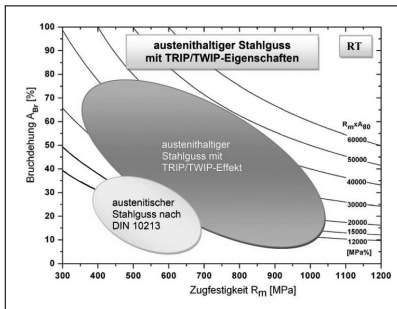


Abb. 2 : Vergleich von Bruchdehnung und Zugfestigkeit der TRIP/TWIP-Stahlgusswerkstoffe mit klassischen austenitischen Stahlgusswerkstoffen [71]

THERMODYNAMIK DER MARTENSITBILDUNG

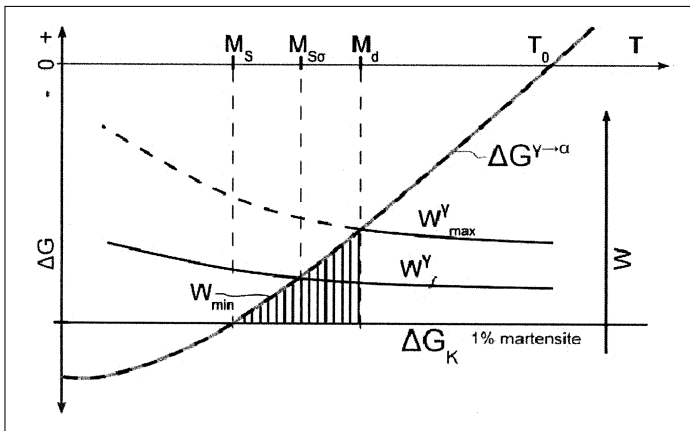


Abb. 3 : Thermodynamik der Martensitbildung, schematisch [38]

STAPELFEHLERENERGIE

- Stapelfehlerenergie für die α' -Bildung, nach [33]:

$$SFE = n\rho_A \left(\Delta G^{\gamma \rightarrow \alpha'} + E^{\text{str}} \right) + 2\sigma(n)$$

- Stapelfehlerenergie für die ε -Bildung, nach [33]:

$$SFE = 2\rho_A \left(\Delta G^{\gamma \rightarrow \varepsilon} \right) + 2\sigma^{\gamma/\varepsilon}$$

- Stapelfehlerenergie nach PICKERING in mJ m^{-2} [30]:

$$SFE =$$

$$25,7 + 2 \%Ni + 410 \%C - 0,9 \%Cr - 77 \%N - 13 \%Si - 1,2 \%Mn$$

AUSTENITSTABILITÄT

- Martensit-Starttemperatur in °C [33]:

$$M_s = 502 - 810 \%C - 1230 \%N - 13 \%Mn - 30 \%Ni - 12 \%Cr - 54 \%Cu - 46 \%Mo$$

- Temperatur für 50 % Martensit nach 30 % Verformung in °C [33]:

$$M_{d30} = 413 - 462 (\%C + \%N) - 9,2 \%Si - 8,1 \%Mn - 13,7 \%Cr - 9,5 \%Ni - 18,5 \%Mo$$

- Temperatur für 30 % Martensit nach dem Bruch in °C [33]:

$$M_{d30\%}^{\alpha'} = 15,6 Cr_M + 232,1 \quad \text{mit} \quad Cr_M = 20 - [\%Cr + 1,5 (\%Ni + \%Cu) + 0,7 \%Si + 0,75 \%Mn + 0,6 \%Mo]$$

ANALYSE

Tab. 1 : Ist-Analyse der untersuchten Legierung, Angaben in Masse-% [76]

Fe	C	Si	Mn	P
73,0	0,056	0,464	2,75	0,0215
Cr	Ni	N	S	
19,4	4,02	0,1813	0,0080	

LAGE IM SCHAEFFLER-DIAGRAMM

- Chrom-Äquivalent der Ferritbildner:

$$Cr_{\ddot{a}q} = \%Cr + \%Mo + 1,5 \%Si + 0,5 \%W + 0,9 \%Nb + 4 \%Al - 4 \%Ti + 1,5 \%V + 0,9 \%Ta$$

- Nickel-Äquivalent der Austenitbildner:

$$Ni_{\ddot{a}q} = \%Ni + 30 \%C + 18 \%N + 0,5 \%Mn + 0,3 \%Co + 0,2 \%Cu - 0,2 \%Al$$

Gleichungen aus [33].

LAGE IM SCHAEFFLER-DIAGRAMM II

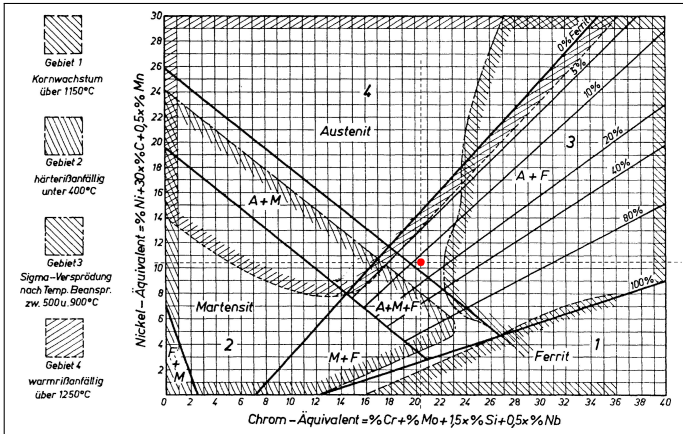


Abb. 4 : Lage der Probenlegierung im SCHAEFFLER-Diagramm, nach [20]

WERTE DER AUSTENITSTABILITÄT

Tab. 2 : Übersicht Austenitstabilität

SFE in mJ m^{-2}	M_s in $^{\circ}\text{C}$	M_{d30} in $^{\circ}\text{C}$
16	-161	-28

EXPERIMENTELLE METHODEN

- Walzversuche - Kaltwalzen
- Zugversuche bei Raumtemperatur
- Härteprüfung nach Vickers
- Lichtmikroskopie (LM)
- Rasterelektronenmikroskopie (REM)
- Energiedispersive Röntgenspektrometrie (EDX)
- Rückstreuелеlektronenbeugung (EBSD)
- Feritscope®-Untersuchung
- Magnetische Waage
- Dilatometrie

GLÜHEN AUF δ -FERRIT - VORGEHEN

- 1 h bei 950 °C gegläht, Argonabschreckung mit 8 bar
- 1 h bei 900 °C gegläht, Wasserabschreckung
- 1 h bei 1000 °C gegläht, Wasserabschreckung

GLÜHEN AUF δ -FERRIT

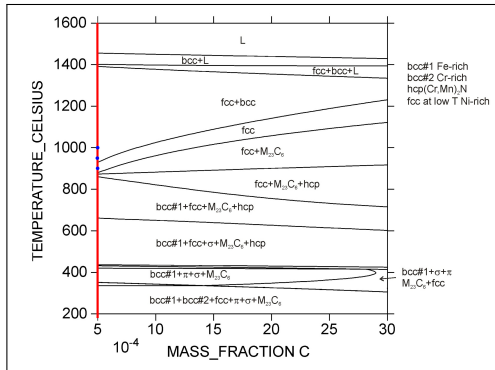


Abb. 5 : Zustandsschaubild nach FABRICHNAYA [75]

GLÜHEN AUF δ -FERRIT II

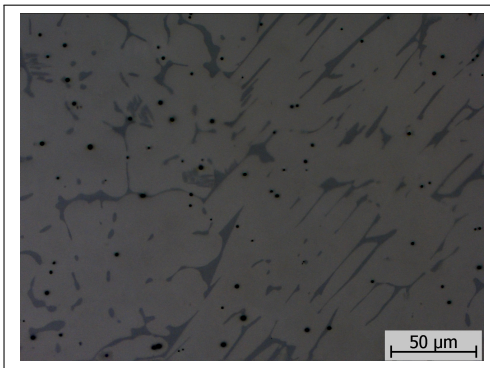


Abb. 6 : 1 h bei 950 °C geglüht, Ar-Abschreckung, 500x, elektrolytisch poliert, Vilella geätzt

GLÜHEN AUF δ -FERRIT III

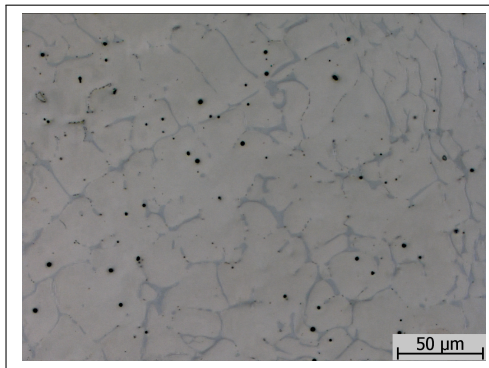


Abb. 7 : 1 h bei 900 °C geglüht, H₂O-Abschreckung, 500x, elektrolytisch poliert, Vilella geätzt

GLÜHEN AUF δ -FERRIT IV

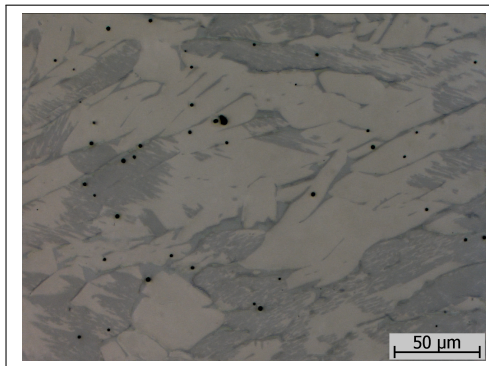


Abb. 8 : 1 h bei 1000 °C geglüht, H₂O-Abschreckung, 500x, elektrolytisch poliert, Vilella geätzt

REKRISTALLISATIONSGLÜHEN

Vorgehen analog WEIDNER, WEISS et al. [60]:

- $T = 700\text{ °C}$
- $t_H = 20\text{ min}$
- Wasserabschreckung
- Material mit $WG = 52,8\%$ und $WG = 75,4\%$

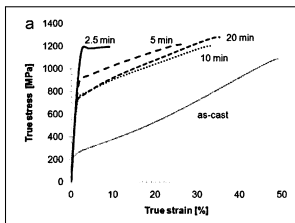


Abb. 9 : Mechanische Eigenschaften eines hochlegierten TRIP-Stahlgusses. Wahre Spannung über wahrer Dehnung für den Gusszustand und 90 % kaltverformte Proben nach Glühung bei 700 °C für unterschiedliche Haltezeiten [60].

WALZVERSUCHE

- Zwischenkühlen, Walzen bei Raumtemperatur
- sehr gute Kaltumformbarkeit
- 31 Stiche, Stichabnahme $s \approx 0,3$ mm
- $WG_{\max} = 75,4\%$

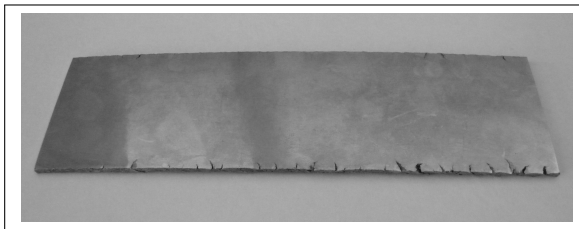


Abb. 10 : Walzgut mit Kantenrissen nach 31 Stichen

MECHANISCHE EIGENSCHAFTEN

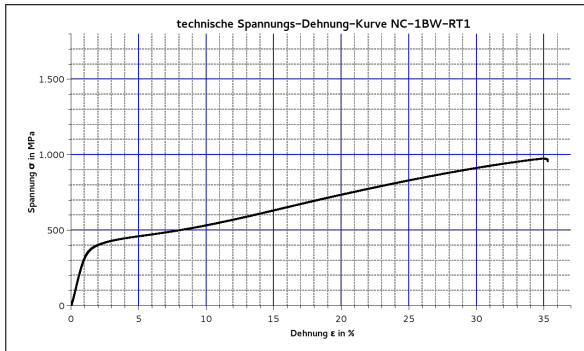


Abb. 11 : σ - ϵ -Kurve, Gusszustand, Versuch 1

MECHANISCHE EIGENSCHAFTEN II

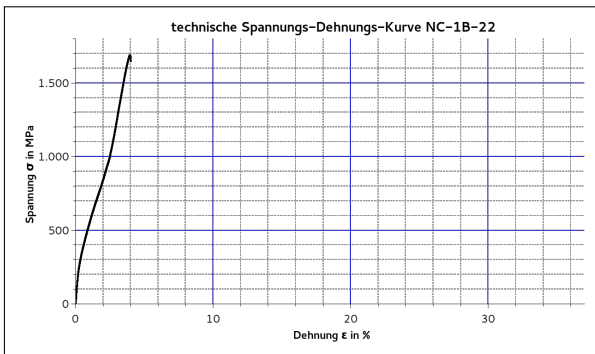


Abb. 12 : σ - ϵ -Kurve, $WG = 52,8\%$

MECHANISCHE EIGENSCHAFTEN III

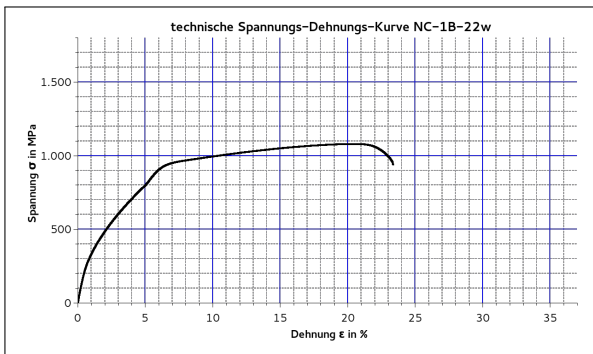


Abb. 13 : σ - ϵ -Kurve, $WG = 52,8\%$, rekristallisiert

MECHANISCHE EIGENSCHAFTEN IV

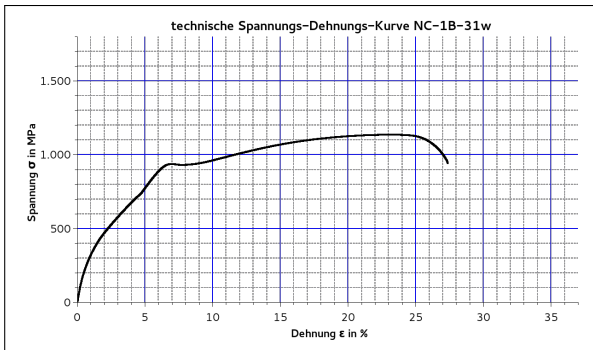


Abb. 14 : σ - ϵ -Kurve, $WG = 75,4\%$, rekristallisiert

MECHANISCHE EIGENSCHAFTEN V

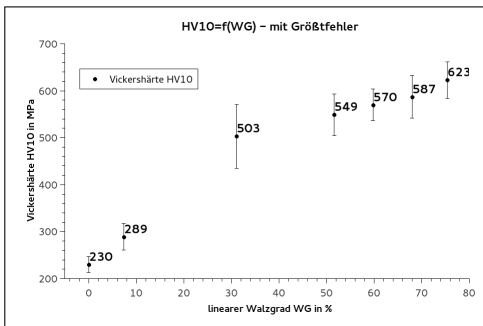


Abb. 15 : Abhängigkeit der Härte vom Walzgrad WG

MECHANISCHE EIGENSCHAFTEN VI

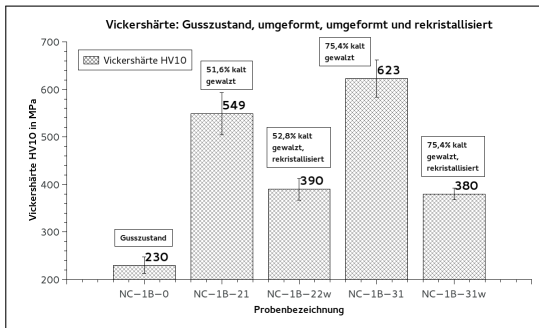


Abb. 16 : HV 10; Vergleich von Gusszustand, umgeformten und nach Umformung rekristallisierten Proben

MECHANISCHE EIGENSCHAFTEN VII

Tab. 3 : Vergleich der mechanischen Eigenschaften

Zustand	R_m in MPa	A in %	$R_m A$ in MPa%	HV10 in MPa
Gusszustand	912,5	29,725	27124,1	230
52,8% verformt	1688	4,0	6752	549
52,8%, rekristallisiert	1096	23,33	25573,3	390
75,4% verformt	1731	–	–	623
75,4%, rekristallisiert	1145	27,33	31296,7	380

GEFÜGEENTWICKLUNG - LM

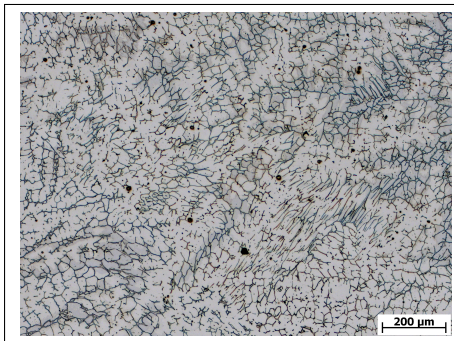


Abb. 17 : Gusszustand, 100x, mechanisch poliert, Vilella geätzt

GEFÜGEENTWICKLUNG - LM II

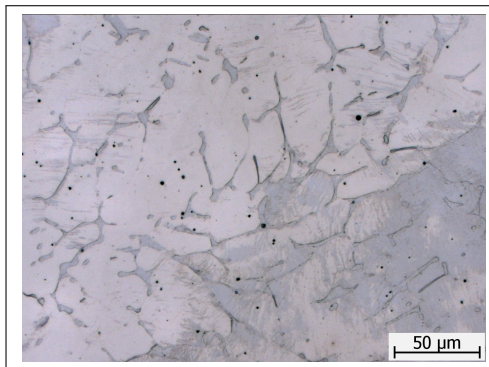


Abb. 18 : NC-1B-13, $WG = 31,1\%$, 500x, elektrolytisch poliert, Vilella geätzt

GEFÜGEENTWICKLUNG - LM III

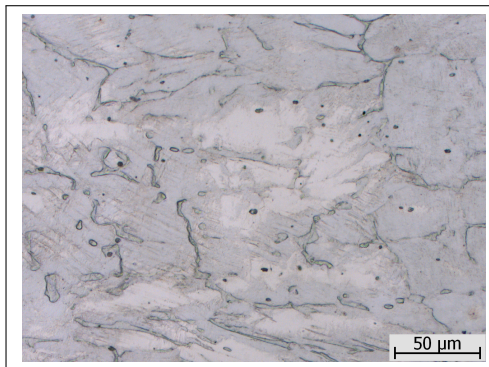


Abb. 19 : NC-1B-24, $WG = 59,8\%$, 500x, elektrolytisch poliert, Vilella geätzt

GEFÜGEENTWICKLUNG - LM IV

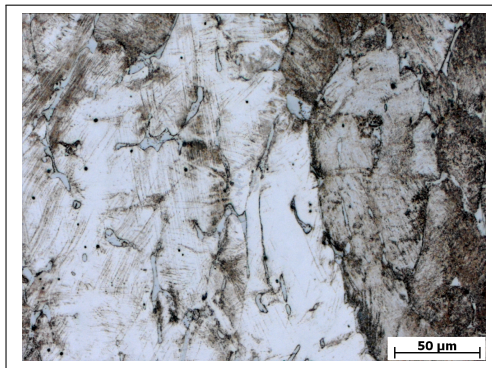


Abb. 20 : NC-1B-22w, $WG = 52,8\%$, rekristallisiert, 500x, elektrolytisch poliert, Vilella geätzt

GEFÜGEENTWICKLUNG - REM

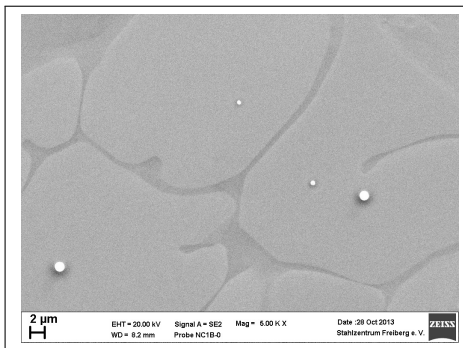


Abb. 21 : Gusszustand, 5000x, elektrolytisch poliert, Viella geätzt

GEFÜGEENTWICKLUNG - REM II

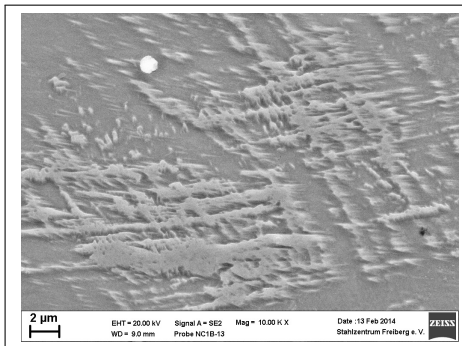


Abb. 22 : NC-1B-13, $WG = 31,1\%$, 10000x, elektrolytisch poliert, Oxalsäure geätzt

GEFÜGEENTWICKLUNG - MAGN. WAAGE

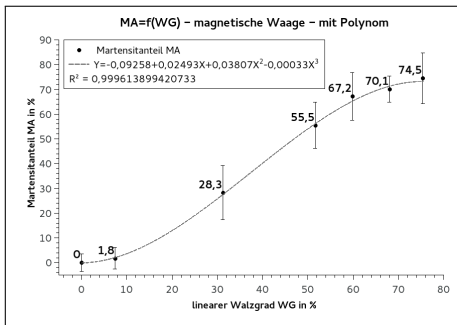


Abb. 23 : Abhängigkeit des Martensitanteils MA vom Walzgrad WG ; magn. Waage

GEFÜGEENTWICKLUNG - MAGN. WAAGE II

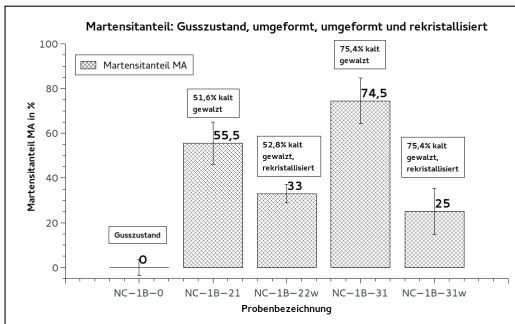


Abb. 24 : MA; Vergleich von Gusszustand, umgeformten und nach Umformung rekristallisierten Proben

GEFÜGEENTWICKLUNG - DILATOMETRIE

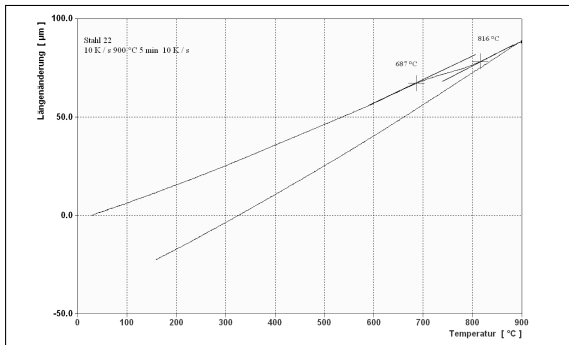


Abb. 25 : Dilatometerkurve der Probe NC-1B-22, $WG = 52,8\%$.

GEFÜGEENTWICKLUNG - DILATOMETRIE II

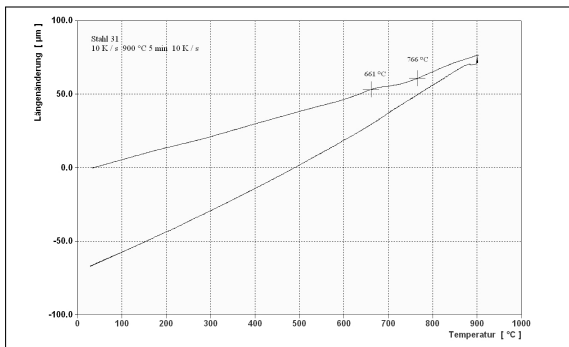


Abb. 26 : Dilatometerkurve der Probe NC-1B-31, $WG = 75,4\%$.

GEFÜGEENTWICKLUNG - DILATOMETRIE III

Tab. 4 : Zusammenfassung der Ergebnisse der Dilatometrie

Probe	WG in %	A_s in °C	A_f in °C
NC-1B-22	52,8	687	816
NC-1B-31	75,4	661	766

POTENZIAL DER REKRISTALLISATION

Nach 75,4 % Kaltwalzen und Rekristallisation, vgl. Tabelle 3:

- Festigkeit erhöht
- Bruchdehnung reduziert
- Umformvermögen auf höherem Spannungsniveau erhöht
- → mechanische Eigenschaften übertreffen trotz Anwesenheit von Martensit diejenigen des Gusszustandes

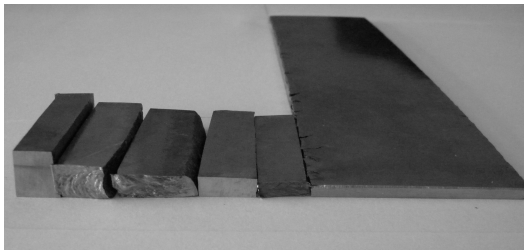
ZUSAMMENFASSUNG UND AUSBLICK

- geringe Austenitstabilität → umwandlungsfreudig
- sehr gute Kaltumformbarkeit (Gusswerkstoff!)
- $WG_{\max} = 75,4\%$
- $A \approx 30\%$
- $R_m A \approx 30\,000\text{ MPa}\%$
- nach maximalem Kaltwalzen und Rekristallisation hervorragende Kombination von Festigkeit und Zähigkeit
- → Rekristallisationsbehandlung ist viel versprechend

offene Fragen:

- Einfluss der Wärmebehandlung auf die Austenitstabilität
- lokales Maximum der Spannungs-Dehnungs-Kurve nach Rekristallisation
- dynamische Festigkeit nach Guss und Rekristallisation

VIELEN DANK!



**Volltext der Arbeit und Präsentation unter
<http://sandig-fg.de>**

QUELLEN

- [1] D. R. Askeland. *Materialwissenschaften - Grundlagen, Übungen, Lösungen*. ISBN 3-86025-357-3. Spektrum Akademischer Verlag GmbH, Heidelberg / Berlin / Oxford, 1996, 125f, 129–133, 247f.
- [2] Autorenkollektiv. *alibaba.com - Manganese Price*. Handelsportal für Rohstoffe. Alibaba.com Hong Kong Limited, 23.09.2013, 16:30 Uhr. URL: <http://german.alibaba.com/products/manganese-price.html>.
- [3] Autorenkollektiv. *boerse.de - Rohstoffpreise*. Börsenportal. boerse.de Finanzportal GmbH, Rosenheim, 23.09.2013, 16:22 Uhr. URL: <http://www.boerse.de/rohstoffe/Nickelpreis/XC0005705543>.

QUELLEN II

- [4] Autorenkollektiv. *Dilatometer-Produktblatt*. Firmenschrift. BÄHR-Thermoanalyse GmbH, Hüllhorst, 2006. URL: http://www.mpa.mw.tum.de/fileadmin/tumwmpa/www/MPA/pdf/Dilatometer_Produktblatt.pdf.
- [5] Autorenkollektiv. *DIN 50125: Prüfung metallischer Werkstoffe – Zugproben*. Deutsch. Deutsches Institut für Normung, 2009.
- [6] Autorenkollektiv. *DIN EN ISO 6507-1:2005: Härteprüfung nach Vickers - Teil 1: Prüfverfahren*. Deutsch. Deutsches Institut für Normung, 2005.
- [7] Autorenkollektiv. *DIN EN ISO 6892-1:2009: Zugversuch - Teil 1: Prüfverfahren bei Raumtemperatur*. Deutsch. Deutsches Institut für Normung, 2009.

QUELLEN III

- [8] Autorenkollektiv. *DIN EN ISO 6892-2:2011: Zugversuch - Teil 2: Prüfverfahren bei erhöhter Temperatur*. Deutsch und Englisch. Deutsches Institut für Normung, 2011.
- [9] Autorenkollektiv. *Electron Backscatter Diffraction in Materials Science*. Hrsg. von A. Schwartz. ISBN 978-0-387-88136-2. Springer US, Boston MA, 2009. DOI:
<http://dx.doi.org/10.1007/978-0-387-88136-2>.
- [10] Autorenkollektiv. *Physikalisches Praktikum*. Hrsg. von D. Geschke. 12. Auflage. ISBN 3-519-10206-4. B. G. Teubner GmbH, Stuttgart / Leipzig / Wiesbaden, 2001, 20–36, 285f.

QUELLEN IV

- [11] Autorenkollektiv. *Springer Handbook of Materials Measurement Methods*. Hrsg. von Horst Czichos. ISBN 978-3-540-30300-8. Springer-Verlag, Berlin / Heidelberg, 2007, S. 283–379.
- [12] Autorenkollektiv. *Stahlschlüssel-Taschenbuch*. 21. Aufl. ISBN: 978-3-922 599-22-7. Verlag Stahlschlüssel Wegst GmbH, Marbach/N., 2007.
- [13] Autorenkollektiv. *Tabellenbuch Metall*. 42. Aufl. ISBN 3-8085-1722-0. Verlag Europa-Lehrmittel, Haan-Gruiten, 2002.

QUELLEN V

- [14] Autorenkollektiv. *Werkstoffwissenschaft*. Hrsg. von H. Worch. 10. vollständig überarbeitete Auflage. ISBN 978-3-527-32323-4. WILEY-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA, Weinheim, 2011.
- [15] Theisen Berns. *Eisenwerkstoffe - Stahl und Gusseisen*. 4. bearbeitete Auflage. ISBN 978-3-540-79957-3. Springer-Verlag Berlin / Heidelberg, 2013.
- [16] H. Biermann. *SFB799 - Vision*. Homepage. TU Bergakademie Freiberg, 11.09.2013, 15.02 Uhr. URL: <http://tu-freiberg.de/ze/sfb799/vision.html>.

QUELLEN VI

- [17] W. Bleck. „Using the TRIP effect - the dawn of a promising group of cold formable steels“. In: *International Conference on TRIP-aided High Strength Ferrous Alloys 2002* (Gent). Hrsg. von B. C. Cooman. ISBN 3-86130-240-3, S. 13–23.
- [18] H. Blumenauer. *Werkstoffprüfung*. 6., stark überarbeitete und erweiterte Auflage. ISBN 3-342-00547-5. Deutscher Verlag für Grundstoffindustrie, Leipzig / Stuttgart, 1994, S. 56–74, 80–82, 112–126, 177–179, 184–188.
- [19] Kuokkala Curtze. „Dependence of tensile deformation behaviour of TWIP steels on stacking fault energy, temperature and strain rate“. In: *Acta Materialia* 58 (2010). ISSN 1359-6454, S. 5129–5141.

QUELLEN VII

- [20] U. Dilthey. *Schweißtechnische Fertigungsverfahren 2*. 3. bearbeitete Auflage. ISBN 978-3-540-27402-5. Springer-Verlag, Berlin / Heidelberg, 2005, S. 174. DOI: <http://dx.doi.org/10.1007/b139036>.
- [21] Behrens Doege. *Handbuch Umformtechnik - Grundlagen, Technologien, Maschinen*. ISBN 3-540-23441-1. Springer-Verlag, Berlin / Heidelberg, 2007, S. 55–63.
- [22] F. Eggert. *Standardfreie Elektronenstrahl-Mikroanalyse mit dem EDX im Rasterelektronenmikroskop; ein Handbuch für die Praxis*. ISBN 3-8334-2599-7. Books on Demand GmbH, Norderstedt, 2005.

QUELLEN VIII

- [23] S. Erdmann. *Titel unbekannt*. Experimentelle Studienarbeit. Institut für Eisen- und Stahltechnologie der TU Bergakademie Freiberg, Feb. 2010.
- [24] Fischer. *FERITSCOPE® MP30E - Ferritgehaltmessung in austenitischen und Duplex-Stählen*. Firmenschrift. Helmut Fischer GmbH - Institut für Elektronik und Messtechnik, Sindelfingen, 2005. URL: http://www.helmut-fischer.com/globalfiles/DE_Ferit_MP30E_%200605_DE.pdf.
- [25] V. Ginzburg. *Steel-rolling Technology - theory and practice*. ISBN 0-8247-8124-4. Dekker, New York, 1989.
- [26] W. Gorski. *Dilatometrie - Grundlagen und Messverfahren*. ISBN 3-89429-751-4. Wirtschaftsverlag NW, Verlag für neue Wissenschaften, Bremerhaven, 1996.

QUELLEN IX

- [27] G. Gottstein. *Physikalische Grundlagen der Materialkunde*. 3. Auflage. ISBN 978-3-540-71104-9. Springer-Verlag Berlin / Heidelberg, 2007. URL:
<http://link.springer.com/book/10.1007/978-3-540-71105-6/page/1>.
- [28] Weiß Gutte. *Spannungs- und verformungsinduzierte Martensitbildung in metastabilen austenitischen CrNi-Stählen*. Habilitationsschrift. Fakultät für Werkstoffwissenschaft und Werkstofftechnologie der TU Bergakademie Freiberg, 2011.
- [29] Weiß et al. Gutte. „Nichtrostender austenitischer Stahlguss mit TRIP-Effekt“. In: *Giessereiforschung* 62.1 (2010). ISSN 0046-5933, S. 2–11.

QUELLEN X

- [30] G. Heinemann. *Virtuelle Bestimmung des Verfestigungsverhaltens von Bändern und Blechen durch verformungsinduzierte Martensitbildung bei metastabilen rostfreien austenitischen Stählen*. Dissertation. Eidgenössische Technische Hochschule Zürich, 2004.
- [31] F. Herwig. *Untersuchungen der Gefügestabilität unterschiedlich legierter Cr-Ni-Stähle*. Diplomarbeit. Bergakademie Freiberg, 1982.
- [32] E. Hornbogen. *Werkstoffe - Aufbau und Eigenschaften von Keramik-, Metall-, Polymer- und Verbundwerkstoffen*. 10., neu bearbeitete Auflage. ISBN 978-3-642-22561-1. Springer-Verlag Berlin / Heidelberg, 2012. DOI: <http://dx.doi.org/10.1007/978-3-642-22561-1>.

QUELLEN XI

- [33] A. Jahn. *Einfluss der Martensitbildung auf die mechanischen Eigenschaften von ein- und mehrphasigen gegossenen und warmgewalzten Cr-Mn-Ni-Stählen*. 1. Aufl. Dissertation, ISBN 978-3-8440-0765-7. Shaker-Verlag, Herzogenrath, 2012.
- [34] A. Jahn. „Influence of Manganese and Nickel on the α' -Martensite Transformation Temperatur of High Alloyed Cr-Mn-Ni Steels“. In: *Steel Research International* 82.9 (2011). ISSN 0177-4832, S. 1108–1112.
- [35] Scheller Jahn Weiß. „Stähle für höchste Beanspruchung“. In: *Stahl und Eisen* 129.11 (2009). ISSN 0340-4803, S. 92–100.

QUELLEN XII

- [36] S. Kiehlmann. *Charakteristische Strahlung*.
Online-Lehrmaterial. Georg-August-
Universität Göttingen, 14.11.2013, 13:24 Uhr. URL:
<http://lp.uni-goettingen.de/get/text/6634>.
- [37] V. Kietov. *Festigkeitssteigerung durch Ausscheidungshärtung in hochlegiertem austenitischem CrMnNi-Stahlguss mit TRIP-/TWIP-Eigenschaften*. Diplomarbeit. Institut für Eisen- und Stahltechnologie der TU Bergakademie Freiberg, März 2013.

QUELLEN XIII

- [38] A. Kovalev. „Chracterization of the TRIP/TWIP effect in austenitic stainless steels using Stress-Temperature-Transformation (STT) and Deformation-Temperature-Transformation (DTT) Diagrams“. In: *Steel Research International* 82.1 (2011). ISSN 0177-4832, S. 45–50.
- [39] A. Kovalev. „Stress-Temperature-Transformation and Deformation-Temperature-Transformation Diagrams for an Austenitic CrMnNi as-cast steel“. In: *Steel Research International* 82.9 (2011). ISSN 0177-4832, S. 1101–1107.

QUELLEN XIV

- [40] N. Koyro. *Kaltwalzen von austenitischem Stahlguss mit Phasenumwandlungseffekten*. Experimentelle Studienarbeit. Institut für Eisen- und Stahltechnologie der TU Bergakademie Freiberg, 2013.
- [41] L. Krüger. *Werkstoffprüfung*. Vorlesungsunterlagen. Institut für Werkstofftechnik der TU Bergakademie Freiberg, 2007, S. 19, 30.
- [42] V. Läßle. *Wärmebehandlung des Stahls - Grundlagen, Verfahren und Werkstoffe*. 9., aktualisierte Auflage. ISBN 978-3-8085-1309-5. Verlag Europa-Lehrmittel, Haan-Gruiten, 2006.

QUELLEN XV

- [43] D. Liedtke. *Wärmebehandlung von Eisenwerkstoffen I - Grundlagen und Anwendungen*. 7. völlig neu bearbeitete Auflage. ISBN 978-3-8169-2435-8. Expert-Verlag Renningen-Malmsheim, 2007, S. 257–259.
- [44] H.-J. Neuhäuser. „Zur Erniedrigung der Martensittemperatur durch inkohärente Teilchen im Austenit“. In: *Archiv des Eisenhüttenwesens* 44.3 (März 1973), S. 235–240.
- [45] P. Neuhold. *Persönliches Gespräch*. Institut für Eisen- und Stahltechnologie der TU Bergakademie Freiberg, 17.10.2013.
- [46] P. Neuhold. *Schmelzprotokoll NC-1B*. Institut für Eisen- und Stahltechnologie der TU Bergakademie Freiberg, 14.03.2013.

QUELLEN XVI

- [47] L. Nocke. *Einfluss der Vorverformung auf die mechanischen Eigenschaften des Stahls X4CrMnNi16-7-7*. Deutsch. Experimentelle Studienarbeit. Institut für Eisen- und Stahltechnologie der TU Bergakademie Freiberg, Feb. 2012.
- [48] L. Nocke. *TRIP- und TWIP-Effekt in hochmanganhaltigen austenitischen Stählen*. Deutsch. Literaturarbeit. Institut für Eisen- und Stahltechnologie der TU Bergakademie Freiberg, Juli 2010.
- [49] H. Palkowski. *Praktikum Metallurgie Master - Versuch U1: Warmwalzen*. Versuchsanleitung. Institut für Metallurgie der TU Clausthal, 2012, S. 2, 8.

QUELLEN XVII

- [50] P. Palzer. *Bestimmung der Stickstofflöslichkeit im schmelzflüssigen und festen Zustand bei hochlegierten Cr-Mn-Ni-Stahlguss-Legierungen mit anschließender Charakterisierung der Mikrostruktur sowie der mechanischen Eigenschaften*. Masterarbeit. Institut für Eisen- und Stahltechnologie der TU Bergakademie Freiberg, Sep. 2012.
- [51] D. Peisker. *Eisenwerkstoffe - Anwendung mathematischer Methoden bei der Auswertung von Versuchen und der Aufstellung von Prozessgleichungen auf dem Gebiet der Schwarzmetallurgie*. Sektion Metallurgie und Werkstofftechnik der Bergakademie Freiberg, 1979.

QUELLEN XVIII

- [52] J. Roßner. *Persönliches Gespräch*. Institut für Eisen- und Stahltechnologie der TU Bergakademie Freiberg, 25.09.2013.
- [53] F. Sandig. *Schweißen von hochlegierten Stählen – Schweißgunnung und Probleme*. Literaturarbeit. Institut für Eisen- und Stahltechnologie der TU Bergakademie Freiberg, Juni 2009. URL: http://www.sandig-fg.de/hp/download/ganzneu/lit_niroweld_ss09.pdf.
- [54] P. Schmidt. *Praxis der Rasterelektronenmikroskopie und Mikrobereichsanalyse*. ISBN 3-8169-1038-6. Expert-Verlag Renningen-Malmsheim, 1994.

QUELLEN XIX

- [55] G. Schubert. *Persönliches Gespräch*. Institut für Eisen- und Stahltechnologie der TU Bergakademie Freiberg, 20.01.2014.
- [56] G Schulze. *Die Metallurgie des Schweißens*. 3., bearbeitete Auflage. ISBN 3-540-20649-3. Springer-Verlag Berlin / Heidelberg, 2004.
- [57] Oettel Schumann. *Metallografie*. 14. Auflage. ISBN 3-527-30679-x. WILEY-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA, Weinheim, 2005, S. 55–249, 565–772.
- [58] Bhadeshia Sourmail. *Stainless Steels*. Englisch. Online-Artikel. University of Cambridge, 5.11.2008, 18.47 Uhr. URL: http://www.msm.cam.ac.uk/phase-trans/2005/Stainless_steels/stainless.html.

QUELLEN XX

- [59] D. Stoyan. *Stochastik für Ingenieure und Naturwissenschaftler*. ISBN 978-3-86012-322-5. Technische Universität Bergakademie Freiberg, 2007.
- [60] Weiß et al. Weidner. „Ultrafine grained high-alloyed austenitic TRIP steel“. In: *Materials Science & Engineering A* 571 (2013), S. 68–76.
- [61] A. Weiß. *Eisenwerkstoffe I*. Vorlesungsunterlagen. Institut für Eisen- und Stahltechnologie der TU Bergakademie Freiberg, Dezember 2008.
- [62] A. Weiß. *Hochfester, kaltumformbarer austenitischer Stahlguss mit TRIP-/TWIP-Eigenschaften*. Deutsch. Vortragsunterlagen. Salzgitter, März 2013.

QUELLEN XXI

- [63] A. Weiß. *Patent DE 10 2005 024 029 B3*. Deutsches Patent- und Markenamt, 2005.
- [64] A. Weiß. *Persönliches Gespräch*. Institut für Eisen- und Stahltechnologie der TU Bergakademie Freiberg, 1.10.2013.
- [65] A. Weiß. *Persönliches Gespräch*. Institut für Eisen- und Stahltechnologie der TU Bergakademie Freiberg, 18.11.2013.
- [66] A. Weiß. *Persönliches Gespräch*. Institut für Eisen- und Stahltechnologie der TU Bergakademie Freiberg, 20.01.2014.

QUELLEN XXII

- [67] A. Weiß. *Persönliches Gespräch*. Institut für Eisen- und Stahltechnologie der TU Bergakademie Freiberg, 24.02.2014.
- [68] Eckstein Weiß. „Einfluss äußerer Spannungen auf die spannungs- und verformungsinduzierte Martensitbildung in austenitischen und austenitisch-ferritischen Cr-Ni-Stählen“. In: *Neue Hütte* 12.12 (Dez. 1992). ISSN 0028-3207, S. 438–444.
- [69] Gutte et al. Weiß. „Nichtrostende Stähle mit TRIP/TWIP/SBIP-Effekt“. In: *Materialwissenschaft und Werkstofftechnik* 40.8 (2009). ISSN 0933-5137, S. 606–611.

QUELLEN XXIII

- [70] Scheller Weiß Gutte. „Deformation Induced Martensite Formation and its Effect on Transformation Induced Plasticity (TRIP)“. In: *Steel Research International* 77.9/10 (2006). ISSN 0177-4832, S. 727–732.
- [71] Wendler et al. Weiß. „Hochfester kaltumformbarer austenitischer Stahlguss mit TRIP-/TWIP-Eigenschaften“. In: *Konstruktion* 6 (2012). ISSN 0720-5953, S. 1–5.
- [72] Wendler et al. Weiß. „Hochfester und kaltumformbarer austenitischer Stahlguss mit TRIP-/TWIP-Eigenschaften“. In: *Gießerei* 100 (4/2013). ISSN 0175-1034, S. 54–65.
- [73] M. Wendler. *Persönliches Gespräch*. Institut für Eisen- und Stahltechnologie der TU Bergakademie Freiberg, 4.03.2014.

QUELLEN XXIV

- [74] M. Wendler. *Persönliches Gespräch*. Institut für Eisen- und Stahltechnologie der TU Bergakademie Freiberg, 18.09.2013.
- [75] M. Wendler. *Persönliches Gespräch*. Institut für Eisen- und Stahltechnologie der TU Bergakademie Freiberg, 23.05.2013.
- [76] M. Wendler. *Protokoll Funkenspektrometrie NC-1B*. Ergänzt mit Ergebnissen der Sonderverfahren für C, N und O. Institut für Eisen- und Stahltechnologie der TU Bergakademie Freiberg, 15.03.2013.

QUELLEN XXV

- [77] S. Wolf. *Temperatur- und dehnratenabhängiges Werkstoffverhalten einer hochlegierten CrMnNi-TRIP/TWIP-Stahlgusslegierung unter einsinniger Zug- und Druckbeanspruchung*. 1. Aufl. Dissertation, ISBN 9783844015300. Shaker-Verlag, Herzogenrath, 2012.