

Einfluss einer lauwarmen Umformung auf die Gefügeausbildung in einem umwandlungsträgen Vergütungsstahl und dessen Einfluss auf ausgewählte Eigenschaften

Vortrag zur Ingenieurarbeit

XXII. ISDM 2015, RWTH Aachen

E. Frank Sandig

ÜBERBLICK

Einleitung

Verformungsinduzierte Plastizität

Charakteristika

Thermodynamik der Martensitbildung

Einordnung der Legierung

Analyse

ZTU-Diagramm

Lauwarme Umformung

Allgemeines

Eigenschaftsverbessernde Mechanismen

Umformversuche

Anlassbehandlung

Experimentelle Methoden

ÜBERBLICK II

Ergebnisse

Gusszustand

Lauwarme Umformung

Angelassene Proben

Zusammenfassung und Ausblick

CHARAKTERISTIKA

- umwandlungsträger Vergütungsstahl
- Temperaturbereich des metastabilen Austenits
- unter Verformung Umwandlung in Martensit (TRIP)

Besonderheit

gleichsinnige Zunahme von Festigkeit und Dehnbarkeit

CHARAKTERISTIKA II

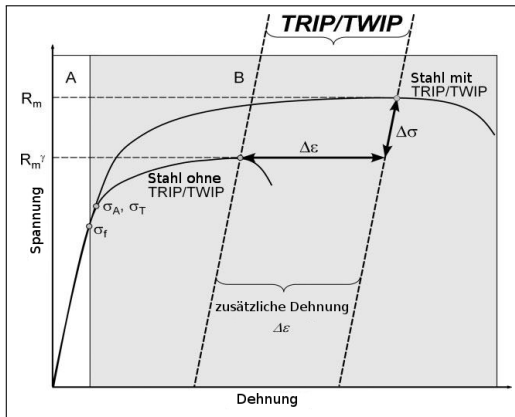


Abb. 1: Schematischer Verlauf einer Spannungs-Dehnungs-Kurve mit und ohne TRIP/TWIP-Effekt [1]

THERMODYNAMIK DER MARTENSITBILDUNG

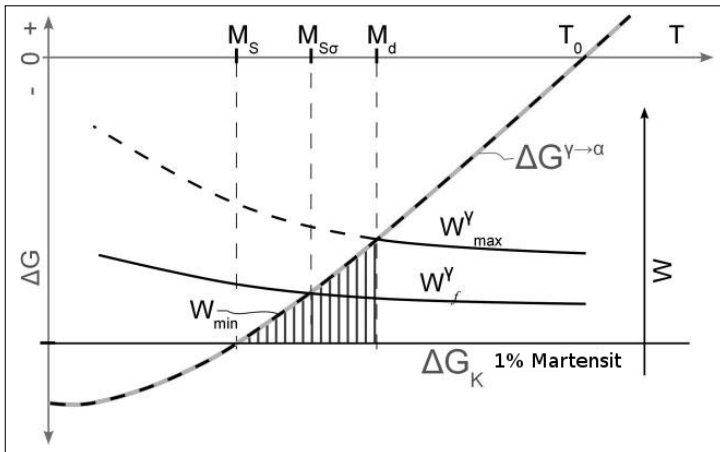


Abb. 2: Thermodynamik der Martensitbildung, schematisch [1]

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

Fe	C	Si	Mn
93,3	0,355	0,426	0,449
P	S	Cr	Ni
0,0064	0,0069	2,08	3,25

ZTU-DIAGRAMM GUSSZUSTAND

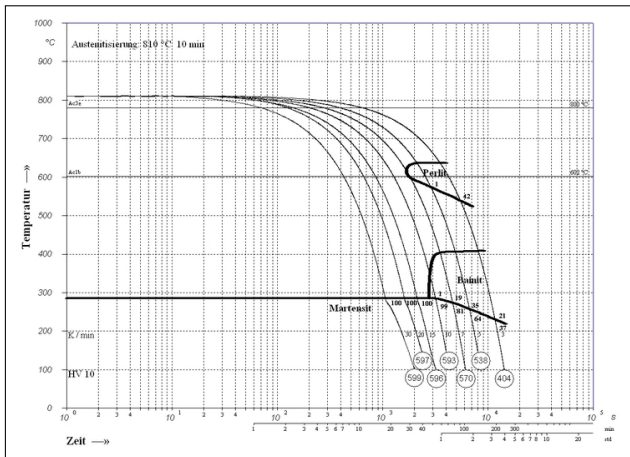


Abb. 3: kontinuierliches ZTU-Diagramm der Probenlegierung für den Gusszustand

ABKÜHLGESCHWINDIGKEITEN

Tab. 2: Beispiele für Abkühlgeschwindigkeiten im Zentrum eines 2,5 cm dicken Barrens in unterschiedlichen Medien, nach [2]

Medium	Abkühlgeschwindigkeit in $K s^{-1}$
ruhende Luft (maximal) [3]	2
Pressluft (maximal) [3]	36
Öl, unbewegt	18
Öl, bewegt	45
Wasser, unbewegt	45
Wasser, bewegt	190
Kühlsole, unbewegt	90
Kühlsole, bewegt	230

ALLGEMEINES

- 200 °C bis 500 °C
- keine Rekristallisation
- Kaltverfestigung
- TRIP-Effekt im metastabilen Bereich
→ höhere Umformgrade als bei herkömmlichem Presshärten

ALLGEMEINES II

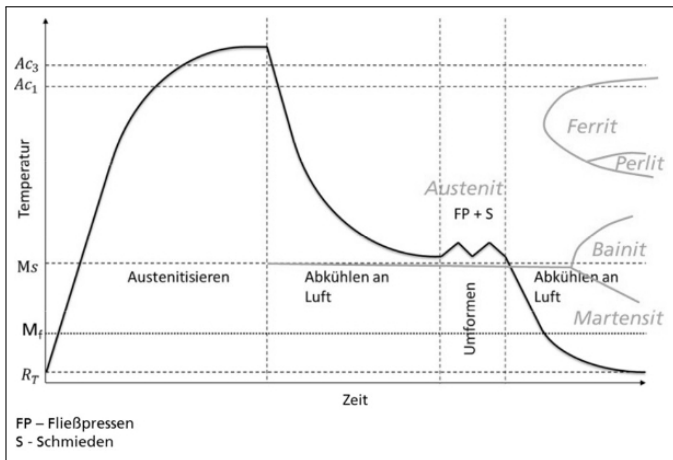


Abb. 4: Schema eines Umformprozesses im metastabilen Austenitbereich [4]

EIGENSCHAFTSVERBESSERENDE MECHANISMEN

- Verfeinerung der Struktur des aus dem Austenit gebildeten Martensits [5–7]
- Vererbung der Kaltverfestigung des Austenits an den Martensit [8–10]
- Ausbildung einer Verformungstextur [11–13]
- feindisperse Ausscheidungen von Carbiden an den Gleitlinien des Austenits [7, 14, 15]
- Zunahme der Störstellen- und Versetzungsdichte [7, 9]

Bislang kaum untersucht:

- TRIP-Effekt im metastabilen Austenitbereich

UMFORMVERSUCHE

- Zylinderstauchversuche, festes φ , nicht bis zum Bruch
- Aufnahme von Kraft und Weg, daraus Berechnung von

$$k_f = \frac{F}{A_0} \frac{h}{h_0} = \frac{F}{\pi r_0^2} \frac{h}{h_0} \quad (1)$$

Fließspannung, nach [16]

$$\varphi = \ln \left(\frac{h_0}{h} \right) = -\ln(1 + \varepsilon) = -\varepsilon_w \quad (2)$$

Vergleichsumformgrad, nach [16]

UMFORMVERSUCHE II

- Umformsimulationssystem „Gleeble[®] Systems HDS-V40“
- Probenabmessungen: $\varnothing 10 \text{ mm} \times 18 \text{ mm}$.
- Austenitisieren: 5 K s^{-1} , $840 \text{ }^\circ\text{C}$, 10 min
- anfängliche Umformtemperaturen: $270 \text{ }^\circ\text{C}$, **$290 \text{ }^\circ\text{C}$** , $310 \text{ }^\circ\text{C}$, $330 \text{ }^\circ\text{C}$, $350 \text{ }^\circ\text{C}$
- Temperaturmessung mittels Thermoelement
- Vergleichsumformgrade $\varphi = 0,3$, $\varphi = 0,6$ und $\varphi = 1,0$;
entspricht relativer Höhenänderung von 26,1 %, 45,0 % und 63,3 %
- Umformrate $\dot{\varphi} = 0,1 \text{ s}^{-1}$
- insgesamt 30 Proben
- anschließend Trennen, Metallografie, Härtemessung, Anlassen

ANLASSBEHANDLUNG

- stets unterhalb A_1 \longrightarrow keine Gefügemwandlung
- 350 °C bis 680 °C
- feindisperse Ausscheidung von Carbiden
- Kohlenstoffgehalt des Martensits \downarrow
- Festigkeit des Stahls \downarrow , Zähigkeit \uparrow
- hier: 2 h bei 550 °C

EXPERIMENTELLE METHODEN

- Digitale Lichtmikroskopie
- Funkenspektrometrie
- Dilatometrie
- Härteprüfung nach Vickers
- Zugversuche bei Raumtemperatur

MATERIAL IM GUSSZUSTAND

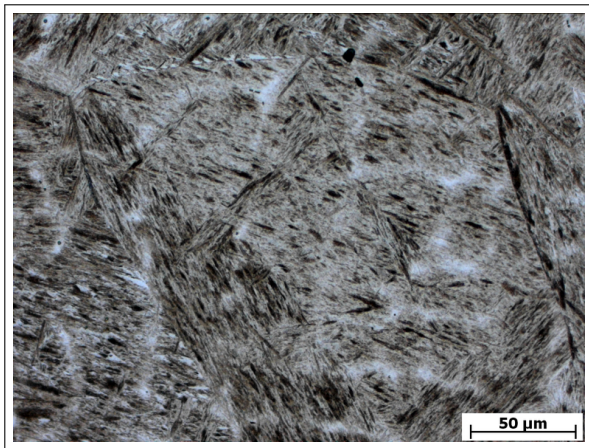


Abb. 5: Gusszustand, 500x, Nital geätzt

MATERIAL IM GUSSZUSTAND II

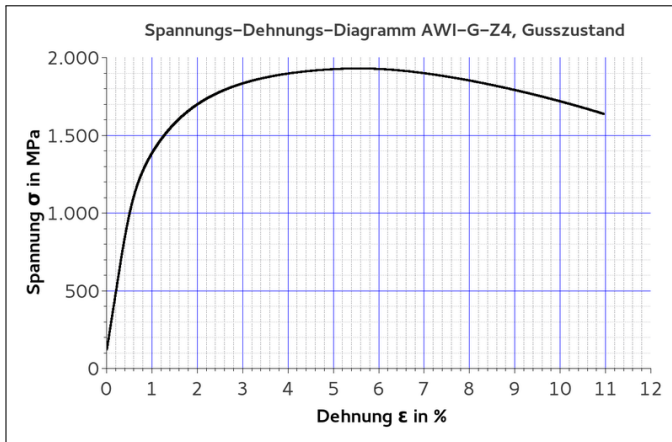


Abb. 6: Spannungs-Dehnungs-Kurve AWI-G-Z4, Gusszustand

MATERIAL IM GUSSZUSTAND III

Tab. 3: Mechanische Eigenschaften im Gusszustand

$R_{p0,2}$ in MPa	R_m in MPa	A_B in %	Z in %	$HV10$
1354	1977	8,7	15,9	627

LAUWARME UMFORMUNG

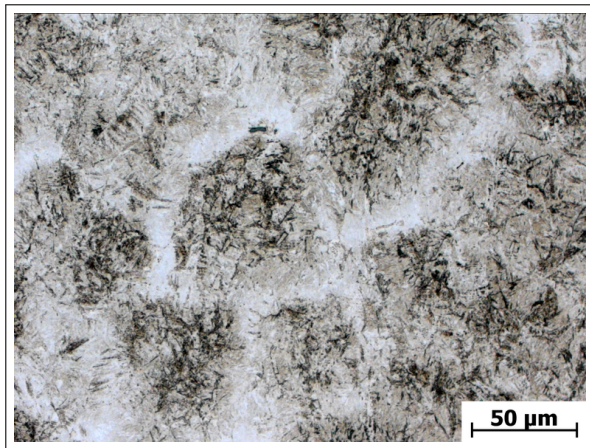


Abb. 7: AWI-G-3, $T_U=350\text{ }^\circ\text{C}$, $\varphi=1,0$, $\dot{\varphi}=0,1\text{ s}^{-1}$, Gusszustand, Nital geätzt, 500x

LAUWARME UMFORMUNG II

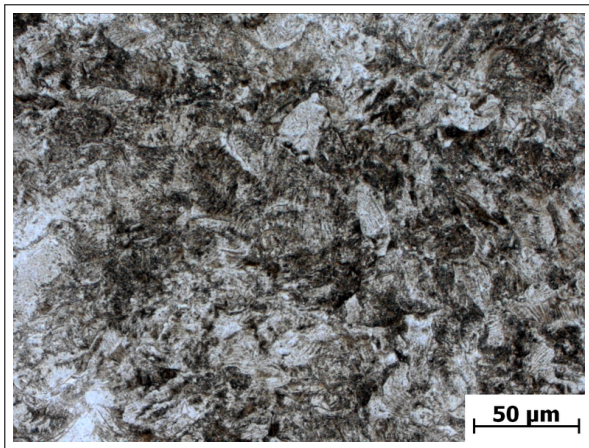


Abb. 8: AWI-G-9, $T_U=310\text{ }^\circ\text{C}$, $\varphi=1,0$, $\dot{\varphi}=0,1\text{ s}^{-1}$, Gusszustand, Nital geätzt, 500x

LAUWARME UMFORMUNG III

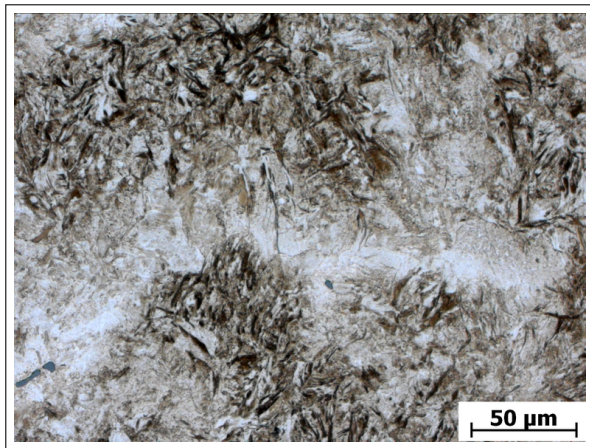


Abb. 9: AWI-G-15, $T_U=270\text{ }^\circ\text{C}$, $\varphi=1,0$, $\dot{\varphi}=0,1\text{ s}^{-1}$, Gusszustand, Nital geätzt, 500x

LAUWARME UMFORMUNG IV

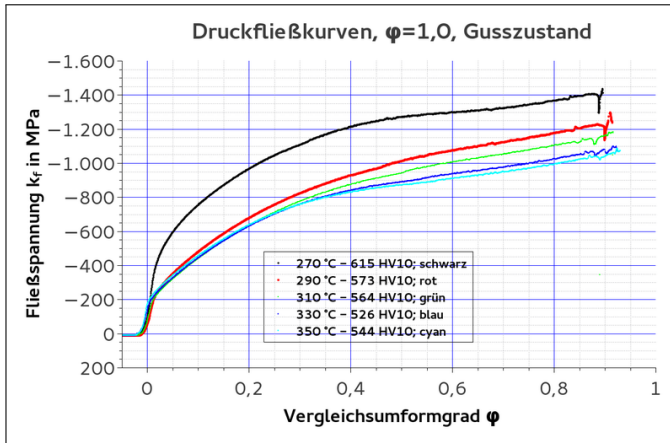


Abb. 10: Sammeldiagramm der Fließkurven, Gusszustand

LAUWARME UMFORMUNG V

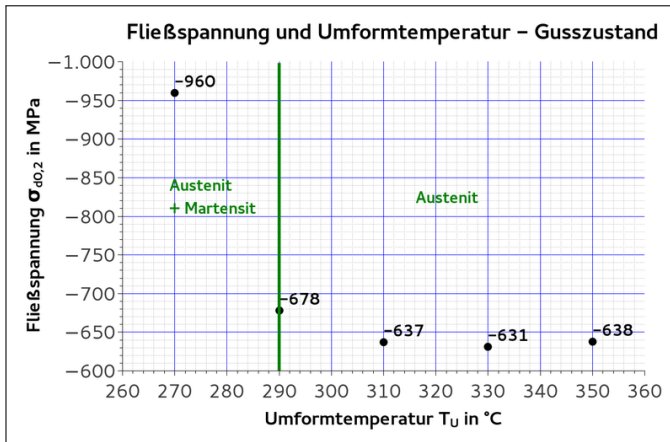


Abb. 11: Abhängigkeit der Ersatzfließspannung $\sigma_{d0,2}$ von der Umformtemperatur, $\varphi=1,0$, Gusszustand

LAUWARME UMFORMUNG VI

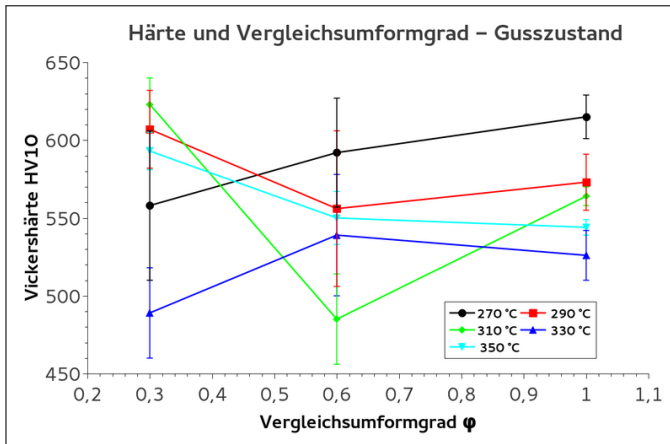


Abb. 12: Abhängigkeit der Härte vom Vergleichsumformgrad für unterschiedliche T_U , Gusszustand

ANGELASSENE PROBEN

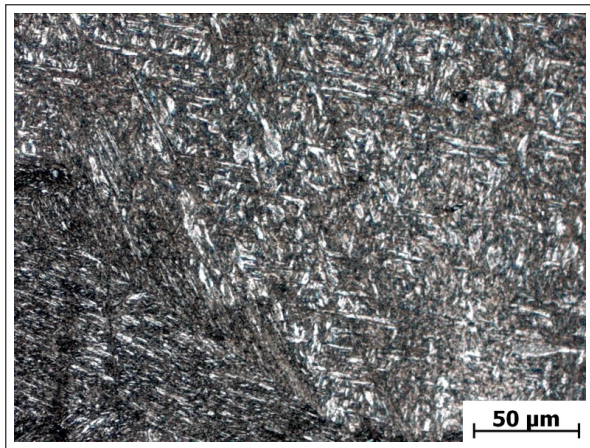


Abb. 13: AWI-GA, Gusszustand, angelassen, Nital geätzt, 500x

ANGELASSENE PROBEN II

Vickershärte:

- AWI-GA: 367 HV10
- AWI-WA: 349 HV10

ANGELASSENE PROBEN III

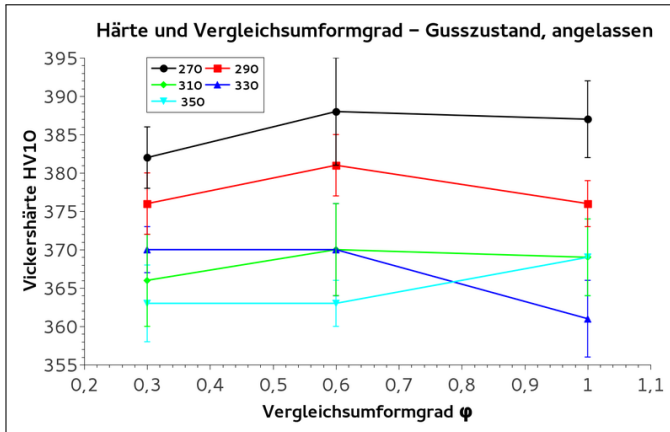


Abb. 14: Abhängigkeit der Härte vom Vergleichsumformgrad für unterschiedliche T_U , Gusszustand, angelassen

ZUSAMMENFASSUNG UND AUSBLICK

- lufthärtender Vergütungsstahl, nicht genormt
- in allen Zuständen unterschiedlich ausgeprägt martensitisch
- Umformvermögen im Bereich von 270 °C – 350 °C sehr gut
- lauwarmer Umformbarkeit im Gusszustand bemerkenswert
- Festigkeit im Gusszustand mit $R_m \approx 2000$ MPa und $R_{p0,2} \approx 1400$ MPa sehr hoch
- relativ hohe Zähigkeit von $A_B \approx 9\%$ und $Z \approx 16\%$
- Erwartung: Zähigkeit warmgewalzten und vergüteten Zustand sehr hoch

→ viel versprechender Konstruktionswerkstoff, erscheint für Befestigungselemente als geeignet



Ende der Präsentation

VIELEN DANK!

sandig@mailserver.tu-freiberg.de

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

QUELLEN

- [1] Kovalev, A.: „Characterization 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.
- [2] Askeland, D. R.:
Materialwissenschaften. Grundlagen, Übungen, Lösungen. Spektrum Akademischer Verlag GmbH, Heidelberg/Berlin/Oxford, 1996, 125f, 129–133, 247f. ISBN: 3-86025-357-3.
- [3] Eckstein, H.-J.: *Technologie der Wärmebehandlung von Stahl*.
2., stark überarb. Aufl.
Dt. Verl. für Grundstoffindustrie, Leipzig, 1987. ISBN: 3-342-00220-4.

QUELLEN II

- [4] Autorenkollektiv:
Hochfeste und bruchzähe Befestigungselemente für Windkraftanlagen.
Projektskizze. Stahlzentrum Freiberg e. V., 2013.
- [5] Kula, E. B. und Dhosi, J. M.: „Effect of Deformation Prior to Transformation on the Mechanical Properties of 4340 Steel“. In:
Transactions of the American Society for Metals 52 (1960), S. 321–328.
- [6] Potak, M.:
„Thermomechanische Behandlung von Stahl auf hohe Festigkeit“. In:
Metallovedenie i termiceskaja obrabotka metallov 5 (Mai 1961),
S. 2–9.

QUELLEN III

- [7] Shyne, J. C., Zackay, V. F. und Schmatz, D. J.: „The strength of Martensite Formed from Cold-Worked Austenite“. In: *Transactions of the American Society for Metals* 52 (1960), S. 346–360, 366–371.
- [8] Justusson, W. H. und Schmatz, D. J.: „Some Observations on the Strength of Martensite Formed from Cold-Worked Austenite“. In: *Transactions of the American Society for Metals* 55 (1962), S. 640–653.
- [9] Kogan, L. J. und Entin, R. J.: „Einfluss der Verformung des unterkühlten Austenits auf die mechanischen Eigenschaften der Stähle“. In: *Metallovedenie i termiceskaja obrabotka metallov* 1 (Jan. 1962), S. 3–9.

QUELLEN IV

- [10] Schmatz, D. J. und Zackay, V. F.: „Mechanical Properties of Deformed Metastable Austenite Ultra High Strength Steel“. In: *Transactions of the American Society for Metals* 51 (1959), S. 476–487.
- [11] Drjukova, J. N.: „Anisotropie der Eigenschaften des Stahles nach der thermo-mechanischen Behandlung“. In: *Metallovedenie i termiceskaja obrabotka metallov* 2 (Feb. 1965), S. 41–43.
- [12] Ermakov, W. N.: „Thermomechanische Behandlung von Konstruktionsstählen“. In: *Metallovedenie i termiceskaja obrabotka metallov* 4 (Apr. 1963), S. 25–29.

QUELLEN V

- [13] Pewsner, L. M.: „Struktur und Eigenschaften von Konstruktionsstahl nach der Niedertemperatur-thermomechanischen Behandlung“. In: *Metallovedenie i termiceskaja obrabotka metallov* 4 (Apr. 1963), S. 13–19.
- [14] Detert, K. und Schmidt-Krayer, C.: „Einfluss einer Austenitverformung vor der Martensitumwandlung in niedrig legierten Baustählen“. In: *Stahl und Eisen* 83 (1963), S. 449–457.
- [15] McEvily, A. J.: „On the Formation of Alloy Carbides During Ausforming“. In: *Transactions of the American Society for Metals* 54 (1963), S. 753–767.

QUELLEN VI

- [16] **Autorenkollektiv:**
Umformtechnik, Plastomechanik und Werkstoffkunde.
Hrsg. von Winfried Dahl. Verlag Stahleisen, Düsseldorf, 1993, S. 89.
ISBN: 3-514-00402-1.
- [17] **Autorenkollektiv: *Werkstoffkunde.***
Hrsg. von Hans-Jürgen Bargel und Günter Schulze. 11., bearb. Aufl.
Springer-Verlag, Berlin / Heidelberg, 2012, 453 S.
ISBN: 978-3-642-17717-0. DOI: 10.1007/978-3-642-17717-0.
- [18] **Autorenkollektiv:**
Springer Handbook of Materials Measurement Methods.
Hrsg. von Horst Czichos. Springer-Verlag, Berlin / Heidelberg, 2007,
S. 283–379. ISBN: 978-3-540-30300-8.

QUELLEN VII

- [19] *Autorenkollektiv: HÜTTE. Das Ingenieurwissen.*
Hrsg. von Horst Czichos und Manfred Hennecke.
34., aktualisierte Auflage. Springer-Verlag Berlin / Heidelberg, 2012.
ISBN: 978-3-642-22850-6. DOI: 10.1007/978-3-642-22850-6.
- [20] *Autorenkollektiv: Physikalisches Praktikum.*
Hrsg. von Dieter Geschke. 12. Aufl.
B. G. Teubner GmbH, Stuttgart/Leipzig/Wiesbaden, 2001, 20–6, 285f.
ISBN: 3-519-10206-4.
- [21] *Autorenkollektiv: Lehrbuch der Umformtechnik.*
Hrsg. von Kurt Lange. Bd. 1: Grundlagen.
Springer-Verlag Berlin / Heidelberg, 2002.

QUELLEN VIII

- [22] **Autorenkollektiv: *Werkstoffwissenschaft***. Hrsg. von Werner Schatt. 10. vollst. überarb. Aufl. WILEY-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA, Weinheim, 2011. ISBN: 978-3-527-32323-4.
- [23] **Autorenkollektiv: *Tabellenbuch Metall***. 42. Aufl. Verlag Europa-Lehrmittel, Haan-Gruiten, 2002. ISBN: 3-8085-1722-0.
- [24] **Autorenkollektiv: *Dilatometer-Produktblatt***. Firmenschrift. BÄHR-Thermoanalyse GmbH, Hüllhorst, 2006. URL: http://www.mpa.mw.tum.de/fileadmin/tumwmpa/www/MPA/pdf/Dilatometer_Produktblatt.pdf.
- [25] **Autorenkollektiv: *Stahlschlüssel-Taschenbuch***. 21. Aufl. Verlag Stahlschlüssel Wegst GmbH, Marbach/N., 2007. ISBN: 978-3-922 599-22-7.

QUELLEN IX

- [26] **Autorenkollektiv: *FOUNDRY-MASTER UV***. Firmenschrift. Oxford Instruments Analytical Limited, Wycomb, UK, 2011.
URL: <http://www.oxford-instruments.de/OxfordInstrumentsDE/media/industrial-analysis/oes/OES%20broschueren/foundry-master-uv-flyer-deutsch.pdf>.
- [27] **Autorenkollektiv: *DIN EN ISO 18265:2014-02: Metallische Werkstoffe – Umwertung von Härtewerten***. Deutsches Institut für Normung e. V., 2014.
- [28] **Autorenkollektiv: *DIN EN ISO 6507-1:2005: Härteprüfung nach Vickers – Teil 1: Prüfverfahren***. Deutsches Institut für Normung e. V., 2005.

QUELLEN X

- [29] Autorenkollektiv: *DIN EN ISO 6892-1:2009: Zugversuch – Teil 1: Prüfverfahren bei Raumtemperatur.*
Deutsches Institut für Normung e. V., 2009.
- [30] Autorenkollektiv:
DIN 50125: Prüfung metallischer Werkstoffe – Zugproben.
Deutsches Institut für Normung e. V., 2009.
- [31] Autorenkollektiv: *DIN EN ISO 6892-2:2011: Zugversuch – Teil 2: Prüfverfahren bei erhöhter Temperatur.* Deutsch und Englisch.
Deutsches Institut für Normung e. V., 2011.
- [32] Bartz, J.: „Wärme- und thermomechanische Behandlung ökonomisch legierter Vergütungsstähle im Zweiphasengebiet“.
Diss. Bergakademie Freiberg, 1989, 107 Bl.

QUELLEN XI

- [33] Berger, C.:
„Das Bruchverhalten von Vergütungs- und Einsatzstählen“.
Diss. Techn. Hochsch. Aachen, Fak. f. Bergbau u. Hüttenwesen, 1975,
165 S.
- [34] Berns, H. und Theisen, W.: *Eisenwerkstoffe. Stahl und Gusseisen*.
4. bearb. Aufl. Springer-Verlag Berlin / Heidelberg, 2013.
ISBN: 978-3-540-79957-3. DOI: 10.1007/978-3-540-79957-3.
- [35] Blumenauer, H.: *Werkstoffprüfung*. 6., stark überarb. und erw. Aufl.
Deutscher Verlag für Grundstoffindustrie, Leipzig/Stuttgart, 1994,
S. 56–74, 80–82, 112–127, 147–152, 177–179, 184–188.
ISBN: 3-342-00547-5.

QUELLEN XII

- [36] Brandt, S.: *Datenanalyse für Naturwissenschaftler und Ingenieure*. 5. Auflage. Springer-Verlag Berlin / Heidelberg, 2013. ISBN: 978-3-642-37664-1. DOI: 10.1007/978-3-642-37664-1.
- [37] Doege, E. und Behrens, B.-A.: *Handbuch Umformtechnik. Grundlagen, Technologien, Maschinen*. Springer-Verlag, Berlin / Heidelberg, 2010, S. 55–63. ISBN: 978-3-642-04249-2. DOI: 10.1007/978-3-642-04249-2.
- [38] Ginzburg, V. B.: *Steel-rolling Technology. Theory and Practice*. Dekker, New York, 1989. ISBN: 0-8247-8124-4.
- [39] Gorski, W.: *Dilatometrie. Grundlagen und Messverfahren*. Wirtschaftsverlag NW, Verlag für neue Wissenschaften, Bremerhaven, 1996. ISBN: 3-89429-751-4.

QUELLEN XIII

- [40] Gottstein, G.: *Physikalische Grundlagen der Materialkunde*. 3. Aufl. Springer-Verlag Berlin / Heidelberg, 2007. ISBN: 978-3-540-71104-9. DOI: 10.1007/978-3-540-71105-6.
- [41] Gutte, H. und Weiß, A.: *Spannungs- und verformungsinduzierte Martensitbildung in metastabilen austenitischen CrNi-Stählen*. Habilitationsschrift. Fakultät für Werkstoffwissenschaft und Werkstofftechnologie der TU Bergakademie Freiberg, 2011.
- [42] Heinemann, G.:
„Virtuelle Bestimmung des Verfestigungsverhaltens von Bändern und Blechen durch verformungsinduzierte Martensitbildung bei metastabilen rostfreien austenitischen Stählen“.
Diss. Eidgenössische Technische Hochschule Zürich, 2004.

QUELLEN XIV

- [43] Hornbogen, E., Eggeler, G. und Werner, E.:
Werkstoffe. Aufbau und Eigenschaften von Keramik-, Metall-, Polymer- und Verbundwerkstoffen. 10., neu bearb. Aufl.
Springer-Verlag Berlin / Heidelberg, 2012. ISBN: 978-3-642-22561-1.
DOI: 10.1007/978-3-642-22561-1.
- [44] Jahn, A.: „Einfluss der Martensitbildung auf die mechanischen Eigenschaften von ein- und mehrphasigen gegossenen und warmgewalzten Cr-Mn-Ni-Stählen“.
Veröff. Shaker-Verlag, Herzogenrath. Diss. Institut für Eisen- und Stahltechnologie der TU Bergakademie Freiberg, 2012.
ISBN: 978-3-8440-0765-7.

QUELLEN XV

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

QUELLEN XVI

- [48] Lehnert, W.: „Thermomechanische Behandlung der Stähle, wichtigste Einflussgrößen und erreichbarer Effekt“.
In: *Neue Hütte* 13.12 (Dez. 1968), S. 716–722. ISSN: 0028-3207.
- [49] Lehnert, W., Wohlfarth, U. und Zengler, P.:
Werkstoffseitige, verfahrenstechnische und prozesstheoretische Grundlagen der thermomechanischen Behandlung. 1. Aufl.
Dt. Verl. f. Grundstoffindustrie, Leipzig, 1982.
- [50] Liedtke, D.: *Wärmebehandlung von Eisenwerkstoffen I - Grundlagen und Anwendungen*. 7. völlig neu bearb. Aufl.
Expert-Verlag Renningen-Malmsheim, 2007, S. 257–259.
ISBN: 978-3-8169-2435-8.

QUELLEN XVII

- [51] Lührs, C. H. und Kudermann, G.: *Funkenspektrometrie - Leitfaden für die chemische Analyse von Metallen durch optische Emissionsspektralanalyse (OES) mit Funkenanregung*. GDMB, Clausthal-Zellerfeld, 1996. ISBN: 3-9804860-0-1.
- [52] Merziger, G. et al.: *Formeln und Hilfen zur Höheren Mathematik*. 4. Aufl. Binomi Verlag Springe, 2004. ISBN: 3-923923-35-X.
- [53] Neuhold, P.: *Schmelzprotokoll AWI*. Institut für Eisen- und Stahltechnologie der TU Bergakademie Freiberg, 15. Apr. 2013.
- [54] Palkowski, H.: *Praktikum Metallurgie Master. Versuch U1: Warmwalzen*. Versuchsanleitung. Institut für Metallurgie der TU Clausthal, 2012, S. 2, 8.

QUELLEN XVIII

- [55] Rooch, A.: *Statistik für Ingenieure*. Springer-Verlag Berlin / Heidelberg, 2014. ISBN: 978-3-642-54857-4. DOI: 10.1007/978-3-642-54857-4.
- [56] Rowland, E. S. und Lyle, S. R.: „The Application of MS Points to Case Depth Measurements“. In: *Transactions of the American Society for Metals* 37 (1946), S. 27–47.
- [57] Sandig, F.: „Kaltumformbarkeit der hochlegierten metastabilen Stahlgusslegierung G-X5CrMnNiN 19-3-4-0,18“. Experimentelle Studienarbeit. Institut für Eisen- und Stahltechnologie der TU Bergakademie Freiberg, 7. März 2014. URL: https://www.dropbox.com/s/sjydgx90yoxc8a3/Studienarbeit_Sandig_2014_HP.pdf.

QUELLEN XIX

- [58] Sandig, F.: „Einfluss einer lauwarmen Umformung auf die Gefügeausbildung in einem umwandlungsträgen Vergütungsstahl und dessen Einfluss auf ausgewählte Eigenschaften“.
Großer Beleg (Ingenieurarbeit). Institut für Eisen- und Stahltechnologie der TU Bergakademie Freiberg, 7. Okt. 2014.
URL: https://www.dropbox.com/s/u7e7nyzdzezwanj/Grosser-Beleg_Sandig_2014_HP.pdf?dl=1.
- [59] Schumann, H. und Oettel, H.: *Metallografie*.
15., überarb. und erw. Aufl.
WILEY-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA, Weinheim, 2011,
S. 55–249, 565–772. ISBN: 978-3-527-32257-2.

QUELLEN XX

- [60] Shapiro, S. S. und Wilk, M. B.:
„An Analysis of Variance Test for Normality (Complete Samples)“.
In: *Biometrika* 52.3/4 (Dez. 1965), S. 591–611.
URL: <http://sci2s.ugr.es/keel/pdf/algorithm/articulo/shapiro1965.pdf>.
- [61] Skoog, D. A., Holler, F. J. und Crouch, S. R.:
Instrumentelle Analytik. Grundlagen, Geräte, Anwendungen.
Hrsg. von Reinhard Nießner. 6., vollst. überarb. und erw. Aufl.
Springer-Verlag Berlin / Heidelberg, 2013. ISBN: 978-3-642-38169-0.
- [62] Steim, H.-J.: „Untersuchungen zum Verfestigungsverhalten
martensitaushärtbarer Stähle“. Diss. Universität Karlsruhe, 1970.
- [63] Stoyan, D.: *Stochastik für Ingenieure und Naturwissenschaftler*.
Technische Universität Bergakademie Freiberg, 2007.
ISBN: 978-3-86012-322-5.

QUELLEN XXI

- [64] Stry, Y. und Schwenkert, R.:
Mathematik kompakt für Ingenieure und Informatiker. 2. Auflage.
Springer-Verlag Berlin / Heidelberg, 2006. ISBN: 978-3-540-32311-2.
DOI: 10.1007/3-540-32312-0.
- [65] Thas, O.: *Comparing Distributions*.
Springer-Verlag Berlin / Heidelberg, 2010. ISBN: 978-0-387-92710-7.
DOI: 10.1007/978-0-387-92710-7.
- [66] Weiß, A.: „Hochfester und kaltumformbarer austenitischer
Stahlguss mit TRIP-/TWIP-Eigenschaften“.
In: *Gießerei* 100 (Apr. 2013), S. 54–65. ISSN: 0175-1034.
- [67] Weiß, A.: *Eisenwerkstoffe 1*. Vorlesungsunterlagen. Institut für Eisen-
und Stahltechnologie der TU Bergakademie Freiberg, Dez. 2008.

QUELLEN XXII

- [68] Weiß, A.: *Eisenwerkstoffe 2*. Vorlesungsunterlagen. Institut für Eisen- und Stahltechnologie der TU Bergakademie Freiberg, Mai 2009.
- [69] Weiß, A.: *Spezielle Eisenwerkstoffe*. Vorlesungsunterlagen. Institut für Eisen- und Stahltechnologie der TU Bergakademie Freiberg, Apr. 2010.
- [70] Weiß, A.: *Patent DE 10 2013 014 814 A1. Verfahren zur Herstellung eines hochfesten bzw. höchstfesten Formteils aus härtbarem Stahl*. Offenlegungsschrift. Deutsches Patent- und Markenamt, 5. März 2015.
- [71] Weiß, A., Gutte, H. und andere:
„Nichtrostende Stähle mit TRIP/TWIP/SBIP-Effekt“.
In: *Materialwissenschaft und Werkstofftechnik* 40.8 (Aug. 2009), S. 606–611. ISSN: ISSN 0933-5137.