

Entwicklung, Status und Zukunftstrends im Design und in der Produktion von Grobblechen der Festigkeitsstufe X80

Development, state of the art and future trends in design and production of heavy plates in X80 steel grades

Stefan Meimeth, Fabian Grimpe, Heike Meuser, Hans Siegel, Charles Stallybrass und Carl Justus Heckmann

Dieser Beitrag gibt einen Überblick über die Entwicklung von Großrohrstählen auf dem Festigkeitslevel API 5L X80 bzw. L555 für das 5,1-m-Quartoblechwalzwerk der Mannesmannröhren Mülheim GmbH (MRM). Bedingt durch den zunehmenden Kostendruck bei Pipelinekonstruktionen wurden hochfeste niedriglegierte Großrohrstähle entwickelt. MRM hat von Anfang an zusammen mit der Salzgitter Mannesmann Forschung GmbH maßgeblich zur Entwicklung dieser Stähle beigetragen. Die kommerzielle Herstellung von X80-Blechen begann bei MRM vor mehr als 20 Jahren. Die Weiterentwicklung dieser Blechsorten wird im vorliegenden Beitrag anhand von verschiedenen Aufträgen für Großrohrprojekte beschrieben.

This paper gives an overview of the development of steel grades in the X80 strength level at the 5.1 m heavy plate mill of Mannesmannröhren Mülheim (MRM). For reasons of increasing cost effectiveness in pipeline-construction, high strength low alloy line pipe steel grades were developed. MRM in close co-operation with Salzgitter Mannesmann Forschung (SZMF, former MFI) and their predecessors contributed to this development from the very beginning. Commercial manufacturing of steel plates in the X80 strength level at MRM began more than 20 years ago. These developments and optimisations are described in this paper, considering various contracts and present projects.

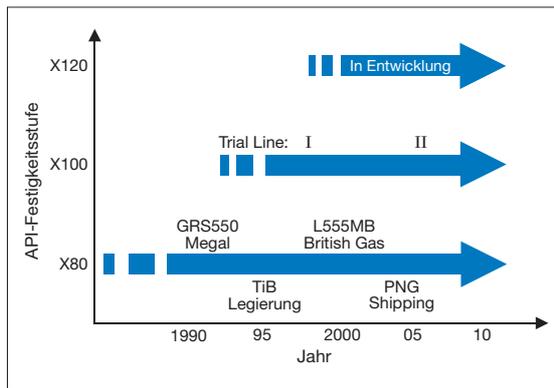
Die Mannesmannröhren Mülheim GmbH (MRM) ist spezialisiert auf die Herstellung von Grobblechen für längsnahtgeschweißte Großrohre. Diese Bleche werden in der Regel in einem thermomechanischen Walzprozess produziert. Auf der 5,1-m-Quarto-Grobbblechstraße von MRM begann die Großserienproduktion von Rohrblechen in der Gütestufe API 5L X80 (Mindeststreckgrenze 80 ksi bzw. 550 MPa) in den frühen 80er-Jahren. Der Markenname dieses frühen X80 war „GRS 550“, was damals für „Großrohrspezialstahl 550“ stand. Diese Blechsorte wurde im Jahr 1985 für die weltweit erste X80-Pipeline verwendet. Ein 3,2 km langes Teilstück aus GRS 550 wurde innerhalb der sog. „Megal 2“-Gaspipeline eingebaut. 1992 folgte die etwa 250 km lange Gasleitung Werne-Schlüchtern, die komplett aus GRS 550 hergestellt wurde [1].

Seit dieser Zeit hat MRM ca. 300 000 t Rohrbleche der hochfesten Stahlsorte X80 nach amerikanischen, europäischen und internationalen Stan-

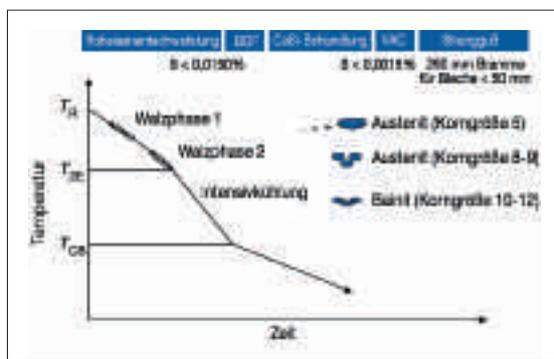


1
5,1-m-Quarto-Grobbblechstraße der Mannesmannröhren Mülheim GmbH
5.1 m rolling mill of Mannesmannröhren Mülheim GmbH

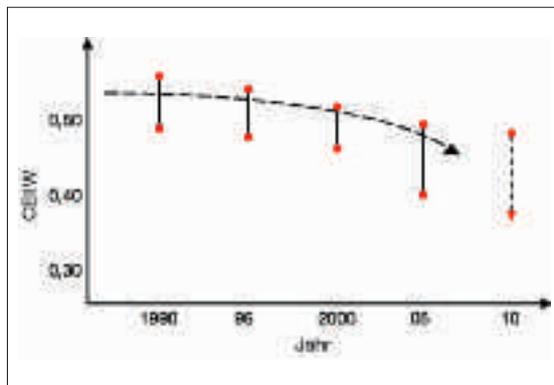
2
Entwicklung hochfester Großrohrstähle bei MRM
Development of high strength steel grades at MRM



3
Prozess vom Stahl zum hochfesten Blech
Process from steel to high strength heavy plate



4
Entwicklung des Kohlenstoffäquivalents moderner X80-Großrohrstähle
Change of chemistry in the development of modern X80 steel grades



dards produziert und ausgeliefert. Bild 1 zeigt eine aktuelle X80-Walzung.

Diese Bleche wurden zu Großrohren für verschiedenste Anwendungsfälle verarbeitet. Beispielhaft seien hier Gaspipelines, Dampfleitungen, Druckbehälter sowie Stahlbauanwendungen genannt. Die bei MRM und der konzern-eigenen Salzgitter Mannesmann Forschung GmbH (SZMF) betriebene Entwicklung der nächst höheren Festigkeitsstufen X100 (100 ksi/690 MPa) bzw. X120 (120 ksi/830 MPa) und die Erkenntnisse und Erfahrungen, die man dabei gewann, haben maßgeblich zur weiteren Optimierung der X80-Bleche von MRM beigetragen [2]. Bild 2 stellt den Ablauf dieser Entwicklungen dar.

Gestützt durch die jahrelange Erfahrung und Fortentwicklung werden bei MRM Bleche der Festigkeitsstufe X80 mit der gleichen Fertigungssicherheit und dem gleichen engen Streuband der Eigenschaften produziert wie Bleche niedrigerer Festigkeitsstufen.

Von 1990 bis heute haben sich die Kundenanforderungen deutlich verändert. So wurden z. B. Tieftemperaturanforderungen immer wichtiger und die maximalen Blechdicken stiegen dabei zusätzlich an. Viel Entwicklungsarbeit wurde in die Verbesserung der Schweißbarkeit von X80-Blechen investiert, in deren Folge das Kohlenstoffäquivalent weiter gesenkt werden konnte. Diese Entwicklung wurde gemeinsam mit dem größten Kunden von MRM, dem Großrohrhersteller Europipe (Joint Venture von Salzgitter AG und AG der Dillinger Hüttenwerke), vorangetrieben. Die Abmessungen gingen dabei hinauf bis zu Blechdicken von 40 mm und Blechbreiten von 3830 mm (entspricht einem Rohrdurchmesser von 48“).

Projekte und Entwicklung

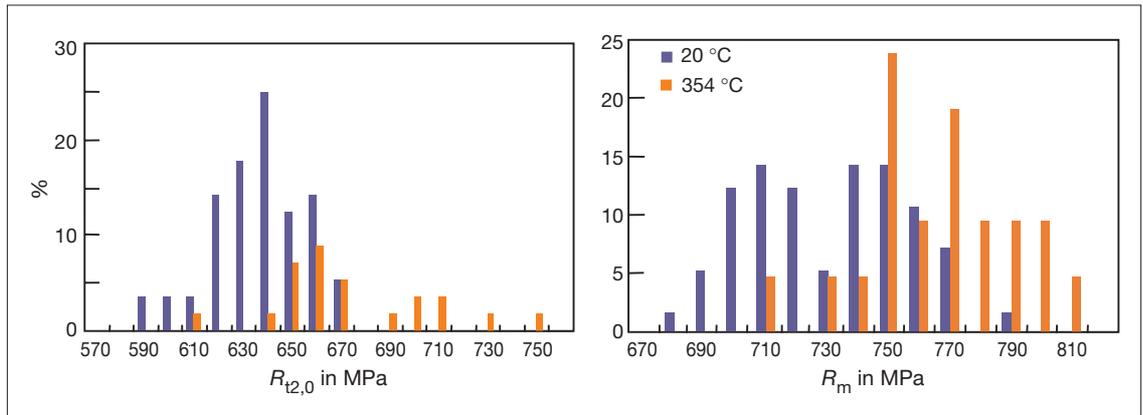
Die Anforderungen an mechanisch-technologische Eigenschaften von X80-Blechen sind in amerikanischen und europäischen Standards und Spezifikationen oft ähnlich, sodass die Blechproduktion für beide Bereiche mit angepassten, aber in der Regel ähnlich standardisierten Prozessparametern möglich ist. Der Produktionsprozess ist in Bild 3 schematisch dargestellt. Die Blechherstellung basiert auf einem zweiphasigen thermomechanischen Walzprozess mit anschließender Intensivkühlung, die mit Hilfe laminarer Wasservorhänge in der sog. Macos-Anlage (Mannesmann Accelerated Cooling System) erfolgt.

Bild 4 zeigt die Veränderung des Kohlenstoffäquivalents (CE) nach IIW als Folge der Optimierung der chemischen Zusammensetzungen der verwendeten Stähle. Hier wird deutlich, dass die Schweißbarkeit dieser Großrohrstähle ständig weiterentwickelt wurde. In den 80er-Jahren begann die Entwicklung des GRS-550-Stahls mit einem CMnNbTi-Legierungskonzept mit einem Kohlenstoffgehalt von etwa 0,1% und einem Mangangehalt von 1,95%. Beispielsweise hatte eines der frühen Projekte (Blechdicke 18,3 mm) die Anforderung an die Kerbschlagarbeit von mindestens 70 J bei -20°C. Im BDWT-Test waren 95% Scherbruchanteil bei -10°C gefordert.

Aktualisierte Fassung eines Vortrags auf der Steel Rolling Conference 2006 am 19. Juni 2006 in Paris.

Dr. Stefan Meimeth, Betriebschef Qualitätswesen und Planung; Dr. Fabian Grimpe, Geschäftsführer; Dr. Heike Meuser, Betriebsleiterin Qualitätswesen; Hans Siegel, Betriebsingenieur, Mannesmannröhren Mülheim GmbH, Mülheim/Ruhr; Charles Stallybrass, wiss. Mitarbeiter, Metallurgie und Werkstoffentwicklung; Dr. Carl Justus Heckmann, wiss. Mitarbeiter, Metallurgie und Werkstoffentwicklung, Salzgitter Mannesmann Forschung GmbH, Duisburg.

5
Festigkeitswerte eines C550 bei Raum- und Betriebstemperatur
Strength properties of C550 material at room temperature and 354 °C



C	Si	Mn	Andere	Ti	PCM
0,03	0,22	1,9	Nb, Cu, Cr, Ni	0,02	0,17

6
Chemische Zusammensetzung PNG-Behälter (Massenanteile in %)
Chemical Analysis PNG-Tanker (mass content in %)

Von diesem Status aus war die Entwicklung der Anforderungen in den Folgejahren gekennzeichnet durch zunehmende Blechdicke, Verbesserung der Zähigkeitseigenschaften, Absenken der Design- und damit der Prüftemperatur sowie durch Verbesserung der Schweißbarkeit.

Im Jahr 2001 wurden Bleche der X80-ähnlichen kanadischen Festigkeitsstufe C550 für Rohre einer Prozessdampfleitung erzeugt (Wanddicke 25,4 mm). Die Anforderungen an das Blech sind auf Raumtemperatur und auf Betriebstemperatur der Dampfleitung von 354 °C ausgelegt.

Warmzugversuche wurden für verschiedene Temperaturen auch außerhalb des geforderten Bereiches durchgeführt. Dabei zeigte sich, dass das Festigkeitsniveau der Bleche zwischen Raumtemperatur und etwa 150 °C leicht abfiel, die Min-

destanforderungen aber weiter klar überschritten wurden. Über 150 °C stieg das Festigkeitsniveau bis zu einem Maximum bei etwa 300 °C wieder an [3]. Die Zugversuchergebnisse für Raumtemperatur (RT) und 354 °C zeigt Bild 5. Die Anforderungen werden damit sicher erfüllt.

Die Anforderungen an den Kerbschlagbiegeversuch von 40 J bei -25 °C und 80 J bei 354 °C sowie die BDWT-Anforderung von mindestens 85% Scherbruchanteil bei -15 °C wurden ebenfalls sicher erfüllt.

Eine andere Anwendung hochfester Bleche stand im Jahr 2005 im Mittelpunkt der Weiterentwicklung eines Stahls der Festigkeitsstufe X80. Ein Betriebsversuch zur Herstellung von Blechen für die Fertigung sog. „PNG“-Behälter (Pressurised Natural Gas) wurde durchgeführt. Diese Behälter sollen in Zukunft für den Schifftransport von Gas auf mittleren Distanzen genutzt werden. Die hohen Zähigkeitsanforderungen von mindestens 150 J bei -55 °C wurden mit der in Bild 6 wiedergegebenen Durchschnittsanalyse sicher erreicht.

In Bild 7 ist die eingestellte Mikrostruktur der Bleche dargestellt. Ein minimaler Bainitgehalt von 85% ist notwendig, um die geforderten hohen Festigkeiten der Stahlsorte sicher einzustellen. Den Zusammenhang zwischen Mikrostruktur und Festigkeit verdeutlicht Bild 8.

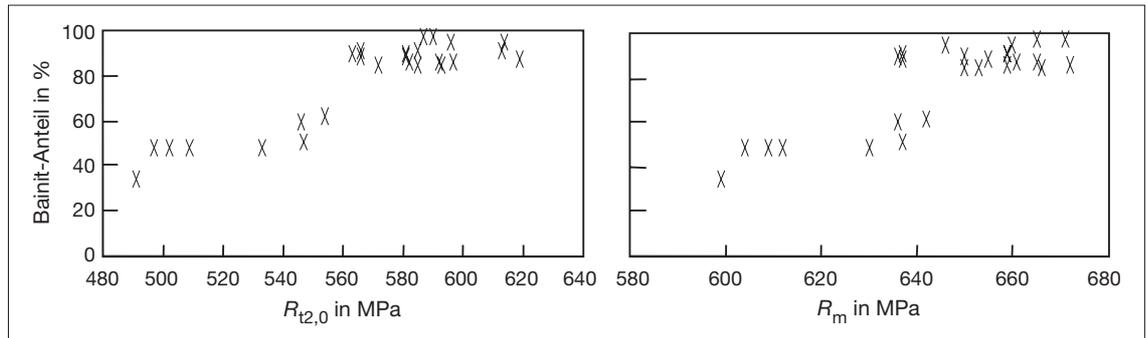
Im Vorfeld eines aktuellen großen Rohrblechauftrages in der europäischen Festigkeitsstufe L555MB (Wanddicken zwischen 14 und 22 mm) wurden aufgrund theoretischer Überlegungen und praktischer Erfahrungen verschiedene Legierungs- und Walzstrategien zunächst im Labormaßstab erprobt. Die erfolgreichsten Varianten wurden dann auf die Großserienproduktion übertragen. Anhaltspunkte zur chemischen Zusammensetzung der Stähle gibt Bild 9.

Für bestimmte Anwendungen konnte die Zulegierung von Molybdän durch entsprechend angepasste Walz- und Kühlstrategien ersetzt werden. Dies erhöht die Schweißbarkeit und senkt die Le-

7
Mikrostruktur der erzeugten Bleche
Microstructure of the investigated steel



8
Zusammenhang zwischen Mikrostruktur und Festigkeit
Influence of microstructure on strength properties



C	Si	Mn	Andere	Nb	Ti	PCM
0,06	0,30	1,9	V, Cr, Cu, Ni	0,06	0,02	0,21

9
Chemische Zusammensetzung der Stahlsorte L555MB (Massenanteile in %)
Chemical analysis of L555MB grade (mass content in %)

gierungskosten. Durch das dazu notwendige exakte Einhalten eines schmalen Produktionsfensters im Walzprozess ergibt sich ein enges Streuband der mechanischen Eigenschaften, wie es beispielhaft in Bild 10 dargestellt ist.

Eine bekannte Möglichkeit, das für höchstfeste Rohrgüten gewünschte bainitische Gefüge einzustellen, ist die Legierung mit Bor. Legiert in kleinen Gehalten von <40 ppm, seigert Bor an den Austenitkorngrenzen und verzögert die Umwandlung von Austenit in Ferrit. Dabei hat Bor eine hohe Affinität zu Kohlenstoff und Stickstoff. Durch Absenken des Kohlenstoffgehaltes auf unter 0,06% kann die unerwünschte Bildung von groben Fe₂₃(CB)₆-Karbonitriden unterdrückt werden.

Die Bildung von Bornitriden kann durch Zugabe von Titan beherrscht werden. Titan wird i. d. R. überstöchiometrisch zu Stickstoff legiert.

Durch Zugabe von Niob wird der verbleibende gelöste Kohlenstoff in Niobkarbiden gebunden. Eine homogene Verteilung von gelöstem Bor auf den Austenitkorngrenzen wird ermöglicht [4...8].

Das Produktionsfenster zur Herstellung der gewünschten bainitischen Mikrostruktur wird somit signifikant vergrößert.

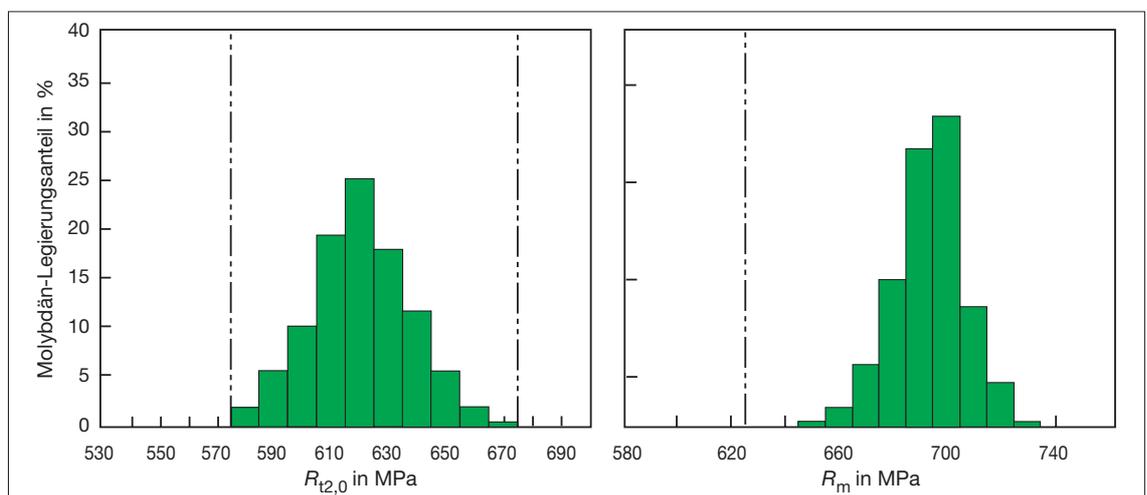
Die geschilderten Zusammenhänge wurden bei Betriebsversuchen genutzt, in denen NbTiB mikrolegierte Stähle mit niedrigem Kohlenstoffgehalt in 35 mm Blechdicke in der Festigkeitsstufe X80 erzeugt wurden [9]. Dabei wurde eine vollständig bainitische Struktur bereits bei Kühlraten von 10 bis 15 K/s erreicht. Die Mikrostruktur des untersuchten NbTiB-Stahls ist in Bild 11 dargestellt.

Eine typische chemische Zusammensetzung eines solchen Stahls zeigt Bild 12.

Durch gezielte Veränderungen der Prozessparameter konnten die mechanischen Eigenschaften in weiten Grenzen verändert werden. Beispielhaft zeigt Bild 13 den Einfluss der Brammenziehtemperatur auf das Festigkeitsniveau.

Die Forschung und Entwicklung bei MRM und SZMF wird auch für den Bereich der Festigkeitsstufe X80 weiter fortgesetzt. Ziel ist hier u. a., die Zähigkeiten bei niedrigen Temperaturen, vor allem

10
Verteilung mechanischer Eigenschaften der Stahlsorte L555MB, 22 mm Dicke
Yield and tensile strength of L555MB material in 22 mm wall thickness



11

Mikrostruktur des untersuchten NbTiB-Stahls
Microstructure of the investigated NbTiB steel



bei hohen Blechdicken, noch weiter zu verbessern. Bei der Definition des Festigkeitsniveaus rückt mehr und mehr die Form der Spannungs-/Dehnungskurve als Kriterium in den Vordergrund. Die Werkstoffentwicklung für Großrohrstähle wird durch ständig steigende Anforderungen an die Eigenschaften zum einen der späteren Rohrschweißnaht, vor allem aber der Wärmeeinflusszone neben den Schweißnähten immer weiter vorangetrieben. Auch die Entwicklung eines sauergasbeständigen Stahls der Festigkeitsstufe X80 ist ein Ziel der Forschungen.

Fazit

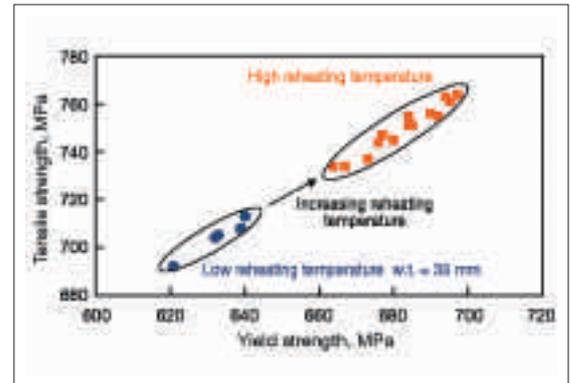
Bei der Entwicklung und Einführung von Grobblechen der Festigkeitsstufe X80 hat MRM zusammen mit SZMF in den letzten 20 Jahren eine wesentliche Rolle gespielt. In enger Kooperation mit den Rohr herstellenden Kunden und der konzernerneigenen Forschung wurden Grobbleche verschiedenster Anforderungen in der Festigkeitsstufe X80 für unterschiedliche Großrohrprojekte geliefert. Ca. 300 000 t an X80-Blechen wurden von MRM bisher nach amerikanischen und europäischen Standards geliefert. Verwendet wurden die Bleche für verschiedene Einsatzgebiete wie

C	Si	Mn	Andere	Nb	Ti	PCM
0,04	0,30	1,9	Mo, B	0,05	0,02	0,18

12

Chemische Zusammensetzung der NbTiB-Betriebsschmelze (Massenanteile in %)

Basic chemical composition (mass content in %)



13

Einfluss der Ziehtemperatur auf die Festigkeit

Influence of reheating temperature on strength properties

Gaspipelines, Dampfleitungsrohre, Gasbehälter und für Konstruktionsrohre. Die Entwicklungsarbeiten für die nächst höheren Festigkeitsstufen X100 und X120 sowie die Produktionserfahrung bei der Serienfertigung von X100-Blechen kamen in hohem Maße der Weiterentwicklung von X80-Blechen zugute. Bleche der Festigkeitsstufe API 5L X80 werden bei MRM mit der gleichen hohen Reproduzierbarkeit und Zuverlässigkeit produziert wie Bleche niedrigerer Festigkeitsstufen.

(S 31462)

angelika.koerber@mannesmann-mrm.de

Literatur

[1] Gräf, M. K.; Hillenbrand, H. G.; Niederhoff, K. A.: 9th Biennial Joint Technical Meeting, Houston, Texas, USA, 11. – 14. Mai 1993.
 [2] Grimpe, F.; Meimeth, S.; Heckmann, C. J.; Liessem, A.; Gehrke, A.: 1st Internat. Conf. Super-High Strength Steels, Rom, Italien, 2. – 4. Nov. 2005.
 [3] Bishop, M. D.; Reepmeyer, O.; Hillenbrand, H. G.; Schröder, J.; Liessem, A.: 3R Internat. (2002) Nr. 2.
 [4] Asahi, H.: ISIJ Internat. 42 (2002) Nr. 10, S. 1150/55.
 [5] Hara, T. et al.: ISIJ Internat. 44 (2004), No. 8, S. 1431/40.
 [6] Kern, A. et al.: Thyssen Techn. Ber. (1990) Nr. 1, S. 43/52.
 [7] Heckmann, C. J. et al.: Proc. 2nd Internat. Conf. on TMP of Steels, Lüttich, Belgien, 15. – 17. Juni 2004, S. 311/18.
 [8] Wang, S.-C. et al.: Materials Science and Engineering A157 (1992), S. 29/36.
 [9] Meuser, H.; Grimpe, F.; Meimeth, S.; Heckmann, C. J.; Träger, C.: Internat. Conf. on Microalloying for New Steel Processes and Applications, San Sebastian, Spanien, 7. – 9. Sept. 2005.