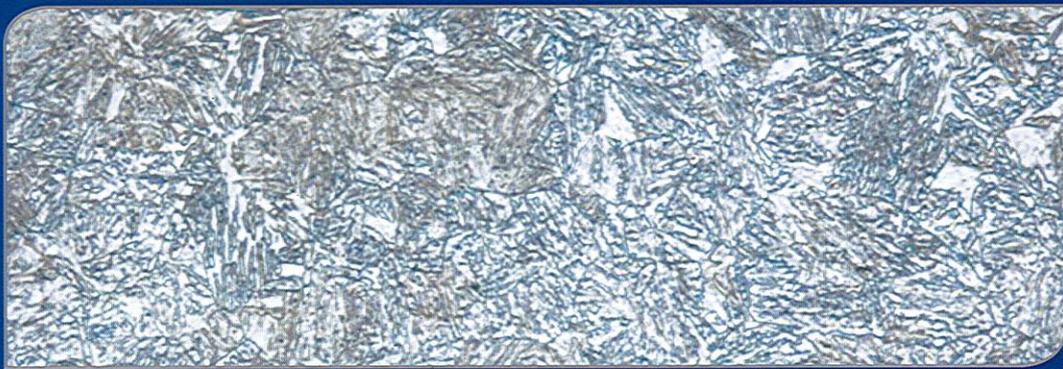


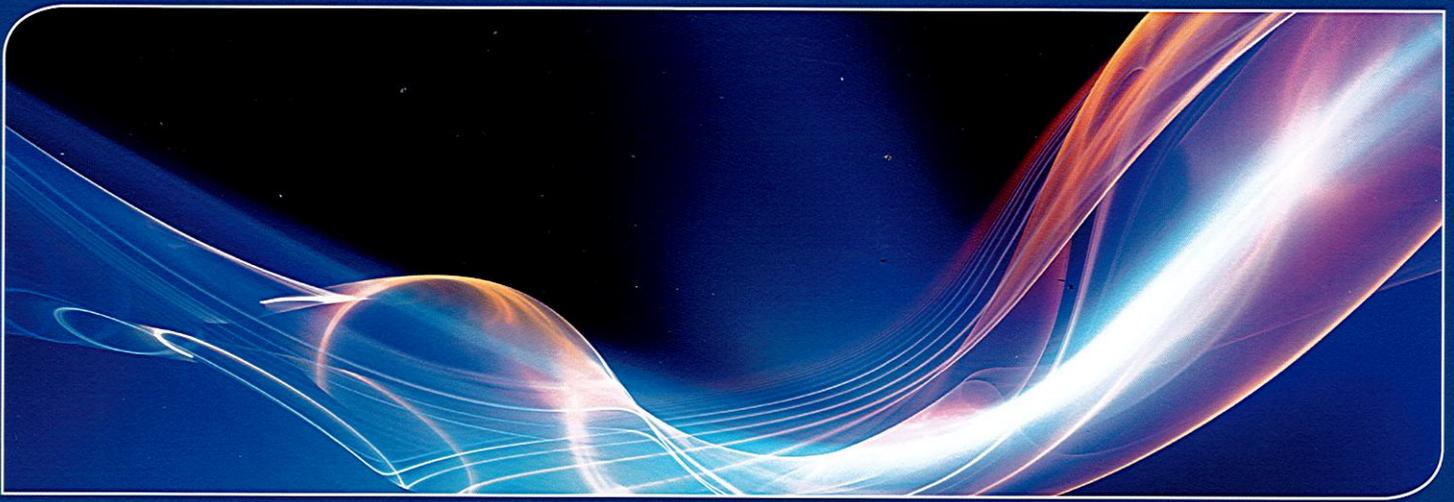


EZM EDELSTAHLZIEHEREI MARK



20MnCrMo7

**Ein neuer hochfester bainitischer Stahl /
*A new high-strength bainitic steel***



Inhaltsverzeichnis / Contents

Inhaltsverzeichnis.....	2	<i>Contents.....</i>	2
Einleitung.....	3-5	<i>Introduction.....</i>	3-5
Stahlzusammensetzung.....	6	<i>Steel Design.....</i>	6
Zeit-Temperatur-Umwandlungsschaubild (ZTU-Diagramm).....	7	<i>Time-Temperature Transformation Diagram (TTT Diagram).....</i>	7
Gefüge.....	8	<i>Microstructure.....</i>	8
Härtbarkeit.....	9	<i>Hardenability.....</i>	9
Mechanische Eigenschaften geschmiedeter Bauteile.....	10	<i>Mechanical Properties of Forged Components.....</i>	10
Vergleich der Kennwerte 20MnCrMo7 mit Vergütungsstählen.....	11	<i>Comparison of the Mechanical Properties 20MnCrMo7 with Quenched and Tempered Steels.....</i>	11
Verhalten beim Einsatzhärten.....	12-13	<i>Case Hardening Behaviour.....</i>	12-13
Schwingfestigkeit.....	14-15	<i>Fatigue Behaviour.....</i>	14-15
Kaltumformung.....	16	<i>Cold Forming.....</i>	16
Spanende Fertigung.....	17-18	<i>Machining.....</i>	17-18
Anwendungen für den 20MnCrMo7.....	19	<i>Applications for 20MnCrMo7.....</i>	19
Zusammenfassung.....	20-21	<i>Summary.....</i>	20-21
Quellennachweis.....	22	<i>References.....</i>	22
Kontakt.....	23	<i>Contact.....</i>	23

20MnCrMo7



Einleitung / Introduction

Die Einführung der Common-Rail- Dieselmotoren rund um das Jahr 1985 wurde zu einer unerwarteten Erfolgsgeschichte und steigerte die Verkaufszahlen von Dieselfahrzeugen beträchtlich. Zu Beginn dieser Entwicklung betrug der Druck in den Common-Rail-Dieselmotoren ca. 1200 bar. Die fortlaufende Verbesserung dieser Technologie führte zur Entwicklung von Common-Rail Dieselmotoren mit Drücken bis zu 2200/2400 bar. Die ständig zunehmenden Umweltauflagen hinsichtlich der Einschränkung und Reduktion von Emissionen, wie Stickoxide (NO_x) und Kohlendioxid (CO₂), als auch Rußpartikeln, erfordert eine immer sauberere Verbrennung des Dieselkraftstoffes im Zylinder. Dies kann erreicht werden, indem die Effizienz des Common-Rail Dieselmotors durch Verbesserung der Einspritztechnologie gesteigert wird. Hierzu ist es notwendig, den Einspritzdruck im Motor zu erhöhen.

The introduction of common-rail diesel technology in around 1985 became an unexpected success story and increased the sales of diesel cars dramatically. At the beginning of this development, the pressure level in the common-rail diesel engines was about 1200 bar. Continuous improvement of this technology led to the development of common-rail diesel engines with pressures going up to 2200/2400 bar.

The ever-increasing demands of environmental standards regarding the control and reduction of exhaust gases, such as NO_x and CO₂, as well as soot particles, require better combustion of diesel in the engine cylinders. This can be achieved by making the common-rail diesel engine more efficient by improving the injection technology. To reach this goal, it is also necessary to increase the injection pressure in diesel engines. The first-tier suppliers developing this technology are looking at pressures of up to 3000 bar.



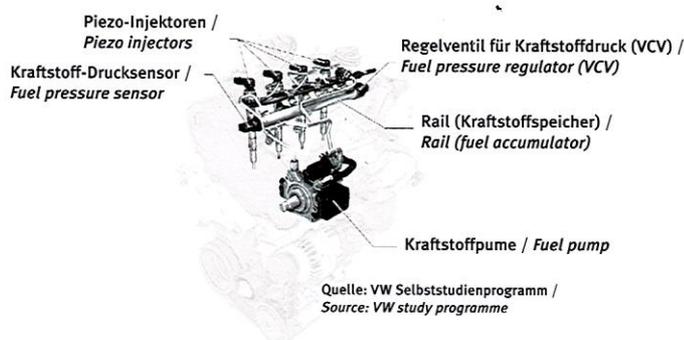


Die Direktzulieferer, welche diese Technologie entwickeln, rechnen z. Zt. mit Drücken bis zu 3000 bar. Dies hat auch zur Folge, dass höherfeste Stähle mit Festigkeiten von über 1150 MPa benötigt werden, die idealerweise durch Direktabkühlung von Draht oder Stäben aus der Warmumformhitze ohne anschließende Wärmebehandlung erreicht werden sollten.

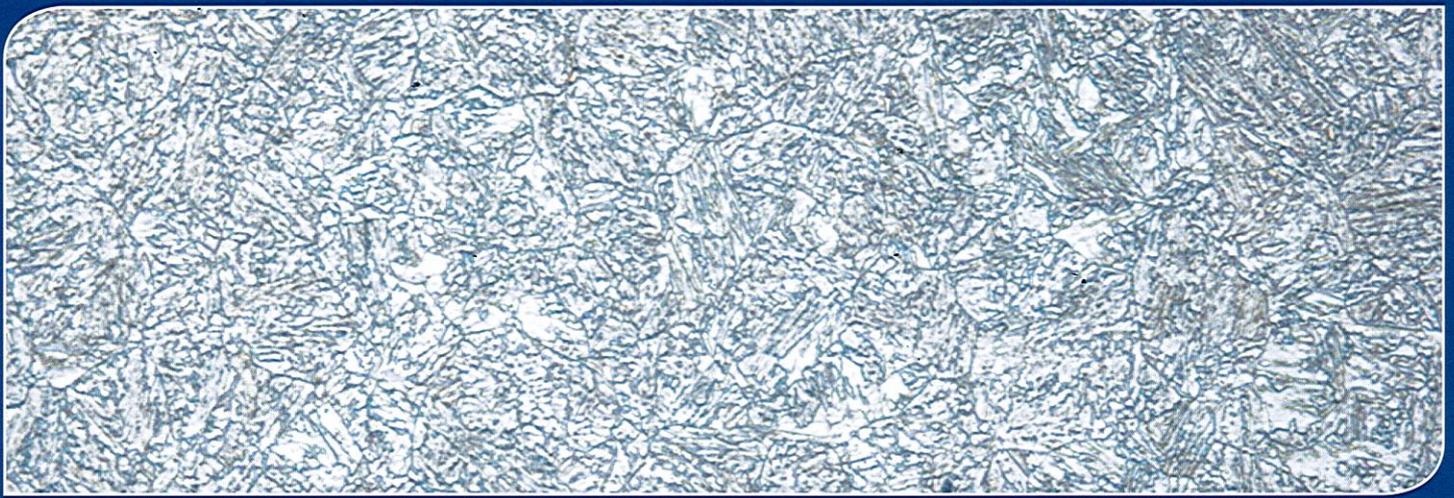
Die ersten Stahlewicklungen, welche ihre mechanisch-technologischen Eigenschaften direkt durch Abkühlung aus der Warmumformhitze erhalten, sind die ausscheidungshärtenden ferritisch-perlitischen Stähle, beschrieben in der DIN EN 10267. Solche Stähle erreichen Zugfestigkeiten bis zu 1050 MPa durch Abkühlen aus der Umformhitze. Diese Stähle können für Komponenten in Common-Rail Dieselmotoren eingesetzt werden, welche bei Drücken bis zu 2200 bar arbeiten. Daher ist für höhere Drücke die Entwicklung neuer Stähle für Komponenten der zukünftigen Generation von Common-Rail Dieselmotoren notwendig. Eine Möglichkeit, Stähle mit Zugfestigkeiten höher als 1150 MPa zu erreichen, ist es, ihre chemische Zusammensetzung so einzustellen, dass bei Abkühlung aus der Umformhitze ein bainitisch / martensitisches Gefüge erreicht werden kann.

This at the same time requires higher-strength steel grades with tensile strengths of over 1150 MPa, which are ideally to be obtained on cooling the bars or wire rods from hot-working temperatures without any subsequent heat treatment.

The first developments of steels that obtain their required technological properties on cooling from hot-working temperatures were the precipitation-hardening ferritic-pearlitic steels described in European Standard EN 10267.



These steels can reach tensile strengths of up to max. 1050 MPa on cooling from hot-working temperatures. These steel grades are used for components in common-rail diesel engines running at pressures of about 2200 bar. Thus, the development of new steel grades is necessary for components for the new generation of common-rail diesel engines of the future.



Um eine möglichst hohe Zähigkeit bei Abkühlung aus der Umformhitze zu erhalten, ist es notwendig, ein feinkörniges Gefüge einzustellen.

Die folgenden Anforderungen wurden für die Entwicklung dieser neuen Stähle, welche in Common-Rail Dieselmotoren mit Arbeitsdrücken bis zu 3000 bar zum Einsatz kommen sollen, gestellt: [1]

- Zugfestigkeit R_m zwischen 1150 und 1400 MPa mit möglichst hoher Zähigkeit nach dem Abkühlen aus der Warmformhitze
- Gutes Dauerschwingfestigkeitsverhalten unter Wechsellast
- Akzeptable Schweißbarkeit (Kohlenstoffäquivalent kleiner 0,8)
- Gefüge, welches für den Autofrettage-Prozess geeignet ist. Das Einstellen hoher Druckeigenstressungen im Inneren von Rohren führt zu hohen Dauerfestigkeiten in Komponenten wie dem Common-Rail (Druckrohr) des Motors.

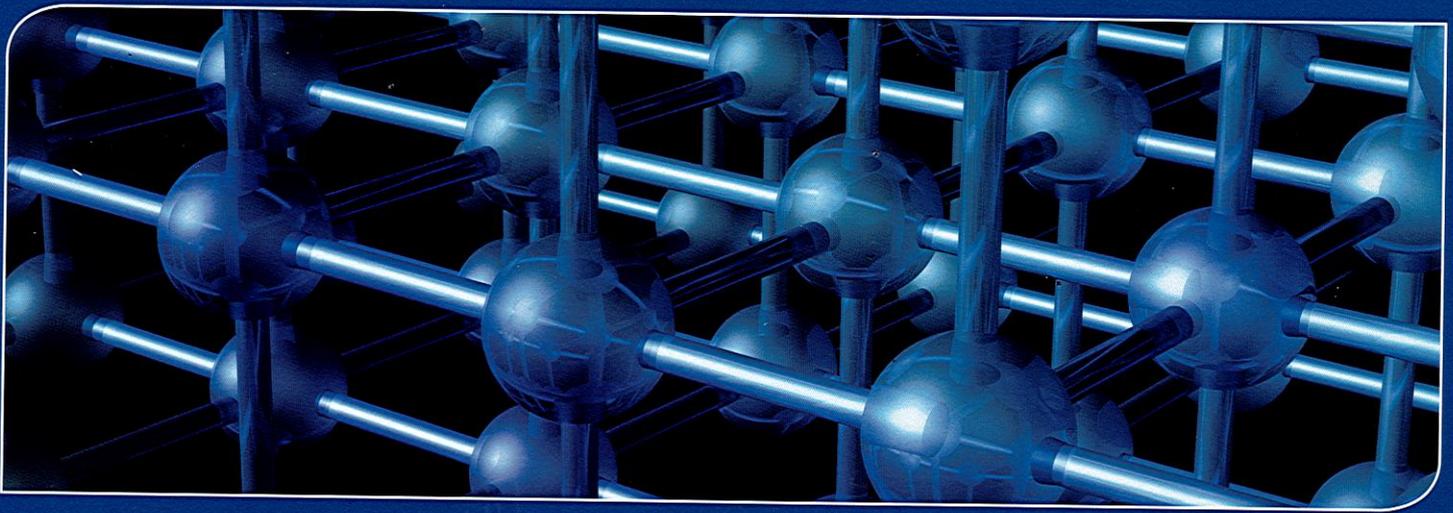


One possibility for increasing the tensile strengths of steels beyond 1150 MPa is to design their chemical composition in such a manner that a bainitic-martensitic microstructure is obtained on cooling from hot-working temperatures. Furthermore, a fine-grained microstructure is indispensable in order to keep these high-strength steels as ductile as possible on cooling from hot-working temperatures.

The following requirements were set up for the development of these new steel grades for use in common-rail diesel engines with pressures up to about 3000 bar: [1]

- *Tensile strengths R_m of 1150 to 1400 MPa with the highest possible ductility on cooling from hot-working temperatures,*
- *Good alternating stress load behaviour in fatigue tests,*
- *Acceptable weldability (carbon equivalent of less than 0,8),*
- *Microstructure suitable for autofrettage processes, to obtain high compressive stresses in the internal walls of tubes, which distinctly improves the fatigue behaviour of components such as the common rail in diesel engines.*

20MnCrMo7



Stahlzusammensetzung / *Steel Design*

Der Stahl 20MnCrMo7 (1.7911) wurde so entwickelt, dass sich bei Abkühlung aus der Umformhitze stabil ein Gefüge im unteren Bainitbereich mit Martensitanteilen ausbildet. Dieses Gefüge wird durch eine geeignete Kombination von Mangan- und Chromzusätzen erreicht, unter Zulegierung von geringen Mengen Molybdän. Zur Kornfeinung wird eine Kombination von Niob und Titan zugesetzt. Um die Bildung von harten Aluminiumoxiden zu vermeiden, wird auf die Desoxidation mit Aluminium verzichtet. Zur Erhaltung der Schweißbarkeit ist der Kohlenstoffgehalt auf ca. 0,2% beschränkt.

The steel 20MnCrMo7 (1.7911) is designed to obtain a robust microstructure of lower bainite and martensite on cooling from hot-working temperatures. This microstructure can basically be achieved with a suitable composition of manganese and chromium with a slight addition of molybdenum. A suitable combination of niobium (columbium) and titanium was taken into consideration to obtain a fine grain structure. No aluminium is added to the steel during melting to avoid hard aluminium precipitations. The carbon content is restricted to about 0.2% for weldability reasons.

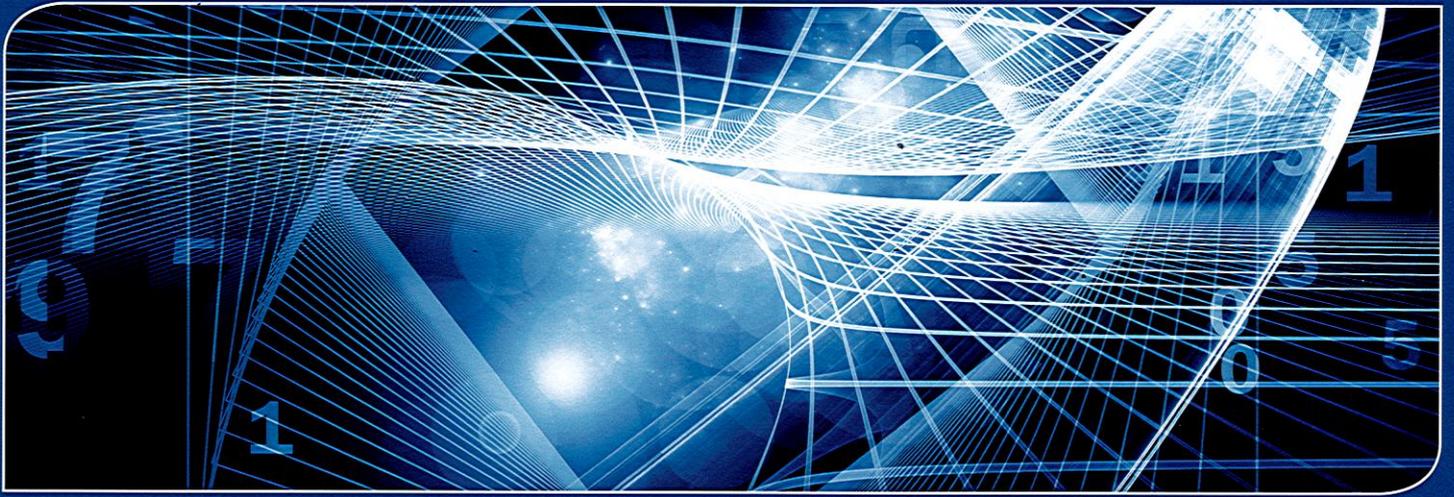
% C	% Si	% Mn	% Cr	% Ni	% Mo	+ Ti, Nb
0,17 – 0,24	0,37 – 0,63	1,55 – 1,8	1,50 – 1,75	0,10 – 0,30	0,25 – 0,38	Kornfeinung / Grain refining

Tab. 1: Chemische Zusammensetzung 20MnCrMo7 / *Chemical composition 20MnCrMo7*

Für die Gewährleistung der spanende Fertigung wird ein Schwefelgehalt von etwa 0,01% eingestellt. Höhere Schwefelgehalte würden sich negativ auf die Dauerschwingfestigkeit auswirken.

The sulphur content is kept at about 0.01% for machinability purposes. Higher sulphur contents could be detrimental to the fatigue behaviour of these high-strength steels.

20MnCrMo7



Zeit-Temperatur-Umwandlungsschaubild (ZTU-Diagramm) / Time-Temperature Transformation Diagram (TTT Diagram)

Das Phasenumwandlungsverhalten des Stahles 20MnCrMo7 ist in Bild 1 dargestellt.

The transformation characteristics of 20MnCrMo7 steel are shown in Fig. 1.

Das Diagramm wurde bei einer Austenitisierungstemperatur von 1000 °C aufgenommen, da dies in etwa der Endtemperatur vieler Warmumformoperationen entspricht. Bild 1 zeigt deutlich, dass die Luftabkühlung warmgewalzter Stäbe und Drähte bis zu Durchmessern von 60 mm rund zur Ausbildung eines bainitisch/martensitischen Gefüges führt.

This diagram is determined after austenitizing at a temperature of 1000 °C, as this is approximately the final temperature of many hot-working processes. Figure 1 clearly indicates that the microstructure of hot-rolled wire rods and round bars up to a diameter of 60 mm leads to a bainitic-martensitic microstructure on cooling in air after hot working.

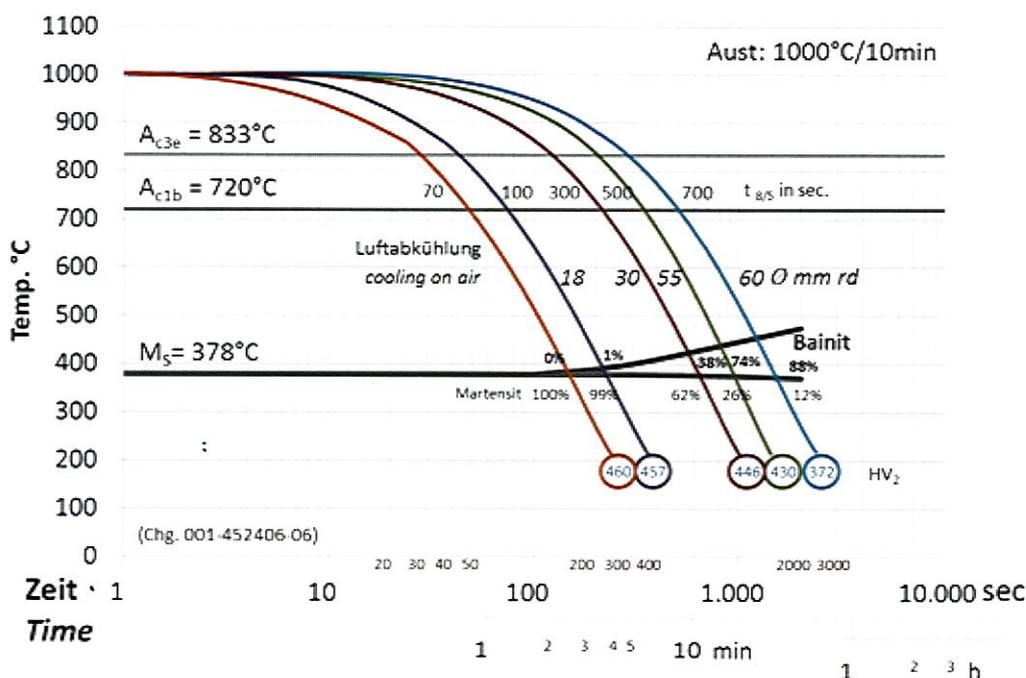


Bild / Fig. 1: ZTU-Schaubild des Stahles 20MnCrMo7 (T_{AUS}=1000°C, t=10 min) / TTT diagram of 20MnCrMo7



Gefüge / Microstructure

Ein Beispiel des bainitisch/martensitischen Gefüges ist in Bild 2 dargestellt. Dieses Bild zeigt das Gefüge von einem warmgewalzten Stab, Durchmesser 22 mm, ohne zusätzliche Wärmebehandlung.



An example of the bainitic-martensitic microstructure is shown in Fig. 2 above.

This microstructure is taken from a 22 mm hot-rolled steel bar without any subsequent heat treatment.

Bild / Fig. 2: Gefüge des 20MnCrMo7 / Microstructure (Vergr./Magn. 100:1)

Die Feinkornstabilität dieses Stahles wurde an Proben ermittelt, die bei Temperaturen von 950 °C, 1000 °C und 1050 °C und Haltezeiten zwischen 5 und 20 Stunden wärmebehandelt wurden. Die Korngröße der Proben wurde nach ASTM-Norm E112 ermittelt, die Ergebnisse sind Tab. 2 zu entnehmen. [1]

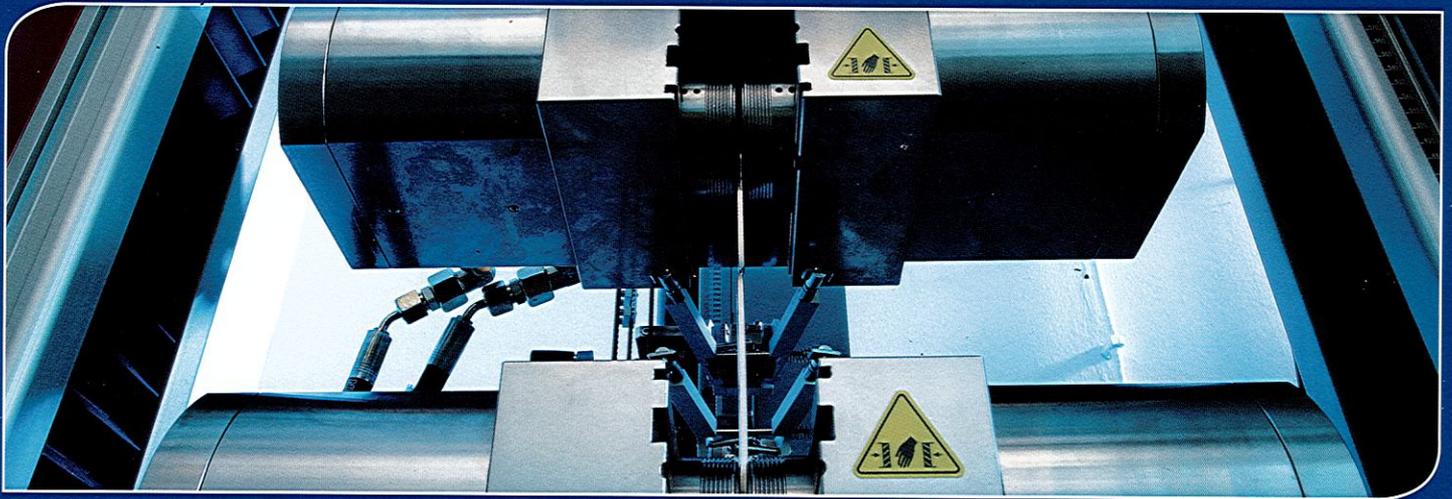
The fine grain stability of this steel grade was determined after heating samples at 950 °C, 1000 °C and 1050 °C for holding times between 5 and 20 hours in accordance with standard ASTM E 112. The results are documented in Table 2. [1]

Haltezeit / Holding Time	5 h	10 h	20 h
Temperatur (°C)/ Temperature (°C)	ASTM Grain Size / ASTM Grain Size		
950	8...9	8	8
1000	8	8	8
1050	8	7...8	7

Tab. 2: Feinkornstabilität bei höheren Temperaturen / Grain size stability at high temperatures

Die Ergebnisse belegen die Feinkornstabilität des Stahles 20MnCrMo7 an warmgewalztem Draht. Geringe Abweichungen von diesen Werten können bei Betrachtung der Korngröße, in Abhängigkeit des Umformgrades bei höherem Durchmesser auftreten.

The results confirm the grain size stability of 20MnCrMo7 steel on hot-rolled wire rod. Slight deviations from these results may occur on testing the grain size of larger sections, depending on the degree of deformation.



Härtbarkeit / Hardenability

Die Härbarkeit des Stahls 20MnCrMo7 im Stirnabschreckversuch ist in Bild 3 dargestellt. Zum Vergleich sind die Härbarkeitswerte der folgenden höher legierten Stähle zusätzlich angegeben:

- 18CrNiMo7-6 + HH (obere Werte des HH-Bereichs nach EN 10084)
- 34CrNiMo6 + HL (untere Werte des HL-Bereichs nach EN 10083)
- 30CrNiMo8 + HL (untere Werte des HL-Bereichs nach EN 10083)

The hardenability of 20MnCrMo7 steel is illustrated in Fig. 3. The hardenability values of the following higher-alloyed steel grades are also included for comparison:

- 18CrNiMo7-6 + HH (upper values of the HH range in EN 10084)
- 34CrNiMo6 + HL (lower values of the HL range in EN 10083)
- 30CrNiMo8 + HL (lower values of the HL range in EN 10083)

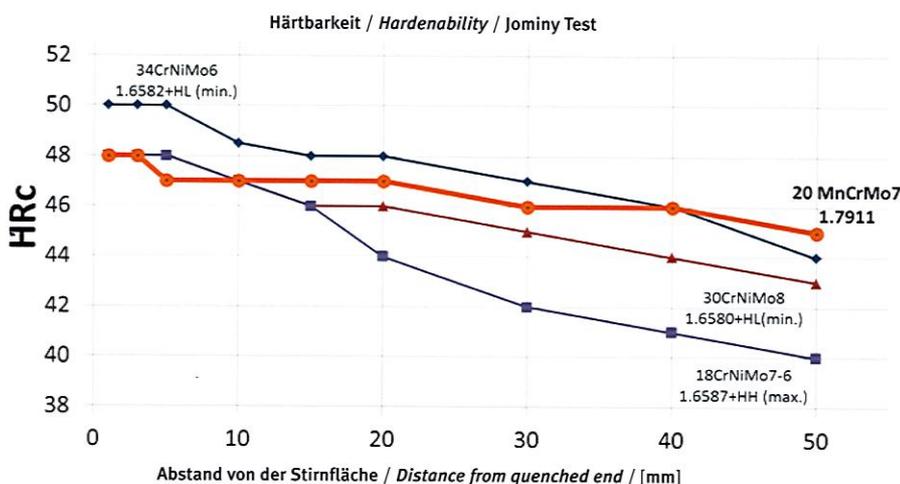
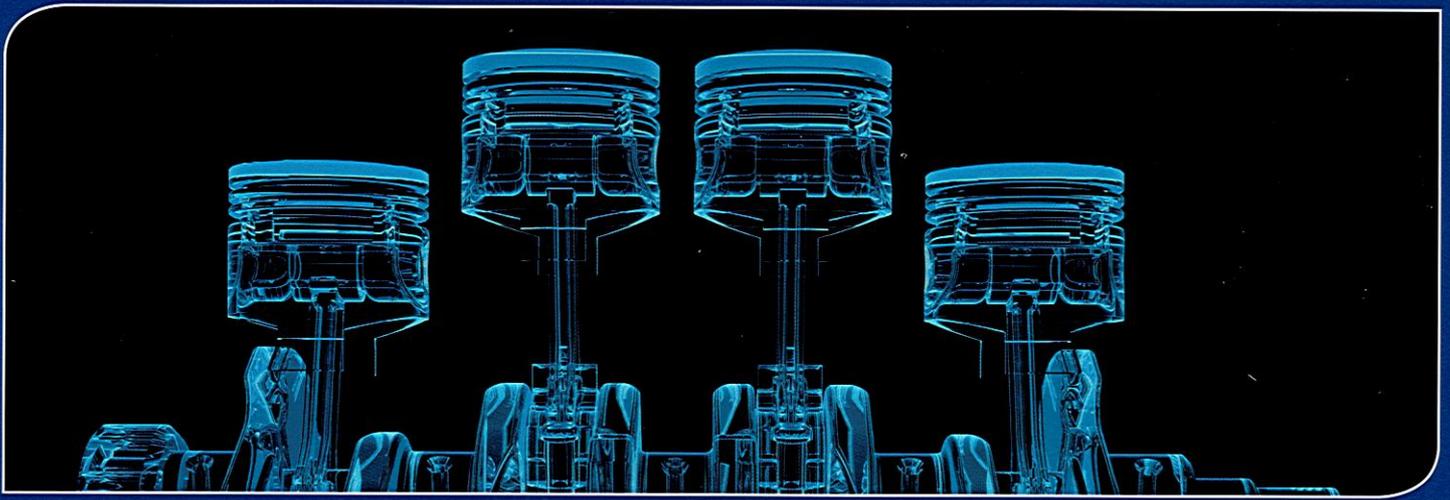


Bild / Fig. 3: Härbarkeit im Stirnabschreckversuch / Hardenability in Jominy Test

Die Daten zeigen, dass der Stahl 20MnCrMo7 (1.7911) eine bessere Härbarkeit aufweist als der Einsatzstahl 18CrNiMo7-6 (1.6587) in der HH-Variante. Die Härbarkeit liegt zwischen den jeweiligen Untergrenzen der Härbarkeitsstrebänder der HL-Varianten der Vergütungsstähle 34CrNiMo6 (1.6582) und 30CrNiMo8 (1.6580). Diese Ergebnisse zeigen die Möglichkeit auf, höherlegierte Stähle in bestimmten Abmessungsbereichen durch 20MnCrMo7 zu ersetzen. Der Zusammenhang zwischen dem Stabdurchmesser und dem Abstand vom abgeschreckten Ende der Jominyprobe ist der Norm DIN 17021 zu entnehmen. Dieser Zusammenhang ermöglicht eine Stahlauswahl nach dem Härbarkeitsschaubild.

The data show that the hardenability of 20MnCrMo7 (1.7911) is better than that of the case-hardening steel grade 18CrNiMo7-6 (1.6587) in HH state, and between the HL values of the quenched and tempered grades 34CrNiMo6 (1.6582) and 30CrNiMo8 (1.6580). These values indicate the possibility of substituting the higher-alloyed steels by 20MnCrMo7 steel within certain dimensional ranges. The correlation between the diameter of the bar and the distance from the quenched end of the Jominy sample can be derived from standard DIN 17021, which enables steel selection according to the Jominy hardenability.



Mechanische Eigenschaften geschmiedeter Bauteile / Mechanical Properties of Forged Components

Die mechanischen Eigenschaften von Schmiedeteilen nach Luftabkühlung aus der Schmiedehitze und anschließendem Anlassen der Teile bei Temperaturen zwischen 200 °C und 700 °C für 2 Stunden sind in Bild 4 dargestellt.

The mechanical properties of forged components are shown in Fig. 4, on cooling in air from the hot-forging process and after tempering treatment of the components for 2 hours at between 200 °C and 700 °C.

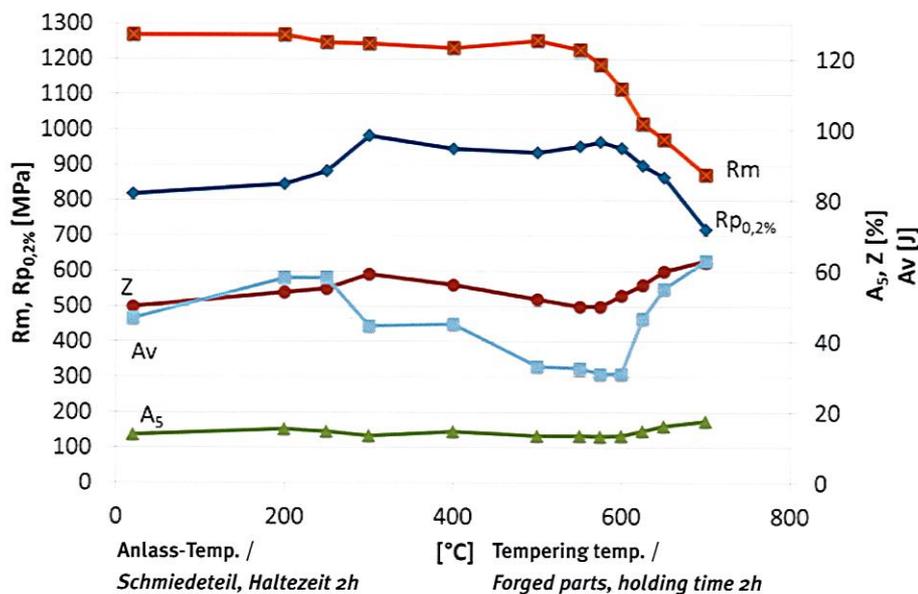


Bild / Fig. 4: Anlassverhalten von Schmiedeteilen aus 20MnCrMo7 /
Tempering behaviour of 20MnCrMo7 forged parts

Nach der Luftabkühlung aus der Schmiedehitze wurde an einem Schmiedebauteil eine Zugfestigkeit R_m von 1268 MPa, eine Streckgrenze $R_{p0,2\%}$ von 817 MPa und eine Bruchdehnung A von 13,6% mit einhergehender Brucheinschnürung Z von 50% bestimmt. Die Kerbschlagarbeit lag bei ca. 46 Joule.

Bei Schmiedeteilen, die bei Temperaturen oberhalb von ca. 550 °C angelassen wurden, wird ein signifikanter Abfall der Zugfestigkeit beobachtet. Die 0,2% Dehngrenze steigt bis zu einer Anlasstemperatur von 300 °C und bleibt konstant bis zu Anlasstemperaturen von 590 °C.

On cooling in air after the hot-forging process, a tensile strength of 1268 MPa, a 0.2% proof stress of 817 MPa, an elongation of 13.6% and a reduction in area of 50% were determined. The impact toughness of the components led to values of about 46 Joules.

A significant reduction in the tensile strength is observed on tempering the components at temperatures above 550 °C. The 0.2% proof stress increases on tempering up to 300 °C and remains constant up to tempering temperatures of 590 °C.



Vergleich der Kennwerte 20MnCrMo7 mit Vergütungsstählen / Comparison of the Mechanical Properties 20MnCrMo7 with Quenched and Tempered Steels

Tab. 3 zeigt einen Vergleich der mechanischen Kennwerte eines 21 mm Walzdrahtes nach Abkühlung aus der Walzhitze mit Werten der Vergütungsstähle 50CrMo4 (1.7228), 30CrNiMo8 (1.6580) und 34CrNiMo6 (1.6582) wie in der EN 10083 angegeben. [1,2]

Table 3 compares the mechanical properties obtained on a 21 mm wire rod after cooling in air from hot-rolling temperatures with those of the quenched and tempered steel grades 50CrMo4 (1.7228), 30CrNiMo8 (1.6580) and 34CrNiMo6 (1.6582) in standard EN 10083. [1,2] As can be seen, the

	20MnCrMo7 (1.7911) Luftabkühlung nach Warmwalzen / Air cooled after hot rolling	50CrMo4 (1.7228)	30CrNiMo8 (1.6580)	34CrNiMo6 (1.6582)
Zustand / State	Walzzust. / As rolled Ø 21mm	QT Ø 16-40 mm	QT Ø 16-40 mm	QT Ø 16-40 mm
Festigkeit R _m (MPa) / Tensile strength	1262	1000-1200	1250-1450	1100-1300
Streckgrenze R _{p0.2%} (MPa) / Yield strength	856	≥ 780	≥ 1050	≥ 900
Bruchdehnung A (%) / Elongation at break	18	≥ 10	≥ 9	≥ 10
Brucheinschnürung Z (%) / Reduction in area	62	≥ 45	≥ 40	≥ 45
Kerbschlagarbeit A _v (J) / DVM notch impact	40	≥ 30	≥ 30	≥ 45

Tab. 3: Vergleich Mechanischer Kennwerte / Comparison of mechanical properties

Es ist zu erkennen, dass die mechanischen Eigenschaften des 20MnCrMo7 (luftabgekühlt aus der Walzhitze) vergleichbar sind mit den Werten der Vergütungsstähle. Dies zeigt deutlich, dass eine kostenintensive Vergütung bei Einsatz eines Stahles wie dem 20MnCrMo7 eingespart werden kann. Neben der Reduzierung der Vergütungskosten ergibt sich zusätzlich eine Ersparnis aufgrund der niedrigeren Legierungskosten.

mechanical properties of 20MnCrMo7 steel after air cooling from hot-rolling temperatures are comparable to the values of the quenched and tempered steels. This clearly indicates that the costly quenching and tempering treatment can be omitted when using a steel grade like 20MnCrMo7. The cost savings lie not only in the elimination of the quenching and tempering heat treatment, but also in the lower alloying costs.



Verhalten beim Einsatzhärten / *Case Hardening Behaviour*

Untersuchungen zum Einsatzhärten des 20MnCrMo7 wurden zunächst im blindgehärteten Zustand durchgeführt, um die nach dem Einsatzhärten erreichbare Kernhärte zu bestimmen. Blindgehärtete Proben (880 °C/Ölabschreckung) wurden bei Temperaturen zwischen 180 °C und 450 °C entspannt und untersucht. Wie in Tab. 4 gezeigt, bleibt die Kernhärte bis zu einer Anlasstemperatur von 300 °C stabil. Erst oberhalb von 400 °C ist ein leichter Abfall zu erkennen.

Entspannungstemperatur (°C) / <i>Stress-Relieving Temp. (°C)</i>	Kernhärte (HV) / <i>Core Hardness (HV)</i>
180	~ 465
200	~ 462
250	~ 460
300	~ 458
400	~ 435
450	~ 415

Tab. 4: Kernhärte im blindgehärteten und entspannten Zustand bei 200 °C /
Core hardness in blank-hardening and stress-relieving state at 200 °C

Zur Ermittlung der Zähigkeit im blindgehärteten Zustand wurden Kerbschlagversuche bei Temperaturen zwischen -60 °C und +80 °C durchgeführt. Die Ergebnisse sind Tab. 5 zu entnehmen.

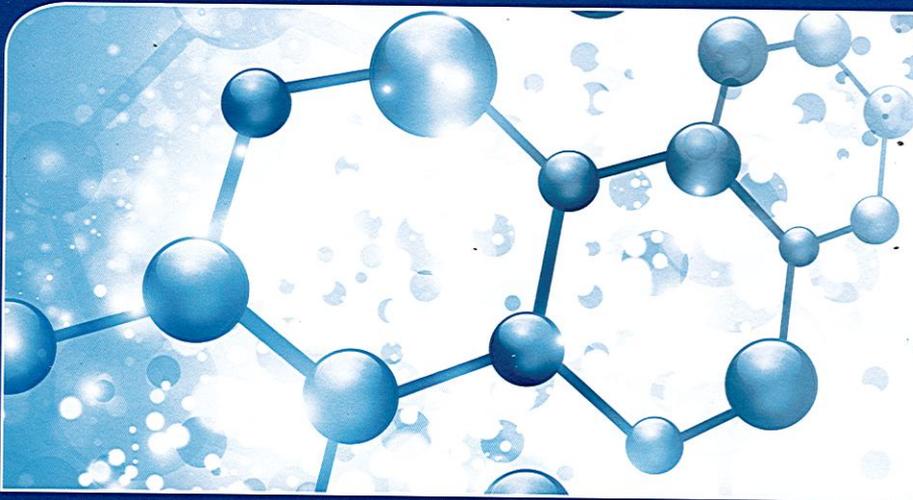
Tests on the case hardening behaviour of 20MnCrMo7 steel were first carried out in blank-hardened state in order to determine the core hardness obtainable after case hardening treatment.

The blank-hardened state was tested after the treatment 880 °C/oil cooling and stress relieving at temperatures between 180 and 450 °C. As shown in Table 4, the core hardness is very stable up to stress-relieving temperature of 300 °C. A slight drop is observed only above 400 °C.

Prüf­temperatur (°C) / <i>Test Temperature (°C)</i>	Kerbschlagarbeit AV (J) / <i>Impact Toughness (J)</i>
-60	30
-40	36
0	45
20	56
80	64

Tab. 5: Kerbschlagarbeit nach dem Blindhärten und Entspannen bei 200 °C /
Impact toughness after blank-hardening and stress-relieving at 200 °C

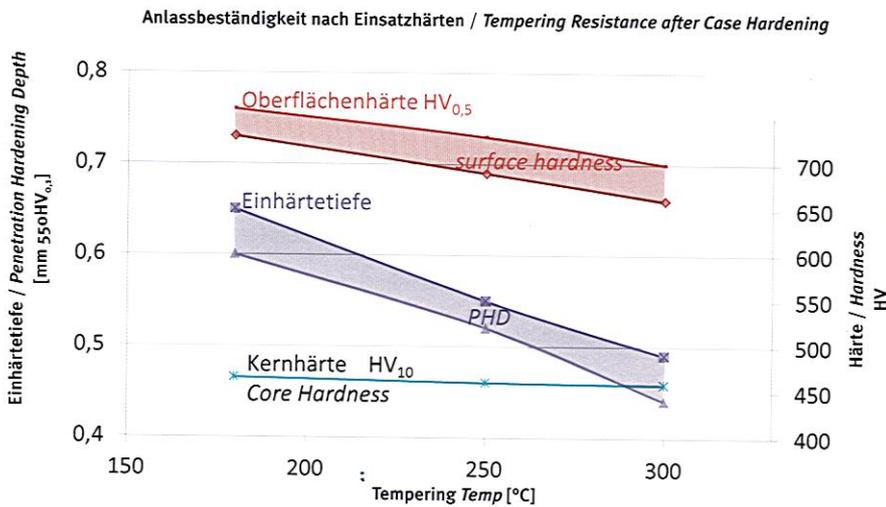
To determine the ductility in blank-hardened state the impact toughness was tested at temperatures ranging from -60 °C + 80 °C to . The results are shown in Tab. 5.



Diese Tabelle zeigt für die vorliegende Härte von 462 HV, relativ hohe Kerbschlagzähigkeiten für den 20MnCrMo7.

Die Eigenschaften beim Einsatzhärten wurden exemplarisch an einem Einsatzhärteprozess für Bauteile für die Automobilindustrie erprobt. Die Anlasstemperaturen lagen zwischen 180 und 300 °C (vgl. Bild 5). Die charakteristischen Werte nach der Einsatzhärtung sind die Oberflächenhärte 0,15mm vom Rand, die Einsatzhärtetiefe bei 550HV und die Kernhärte der Proben.

This Table shows the relatively high impact toughness at a hardness of about 462 HV. The case hardening behaviour was examined on carrying out an initial case hardening treatment used for certain automotive components. The stress relieving/tempering temperatures were kept between 180 °C and 300 °C (see Fig. 5). The characteristic values after case hardening treatment are the surface hardness 0.15 mm below the surface, the case hardening depth at a hardness of 550 HV and the core hardness of the samples.

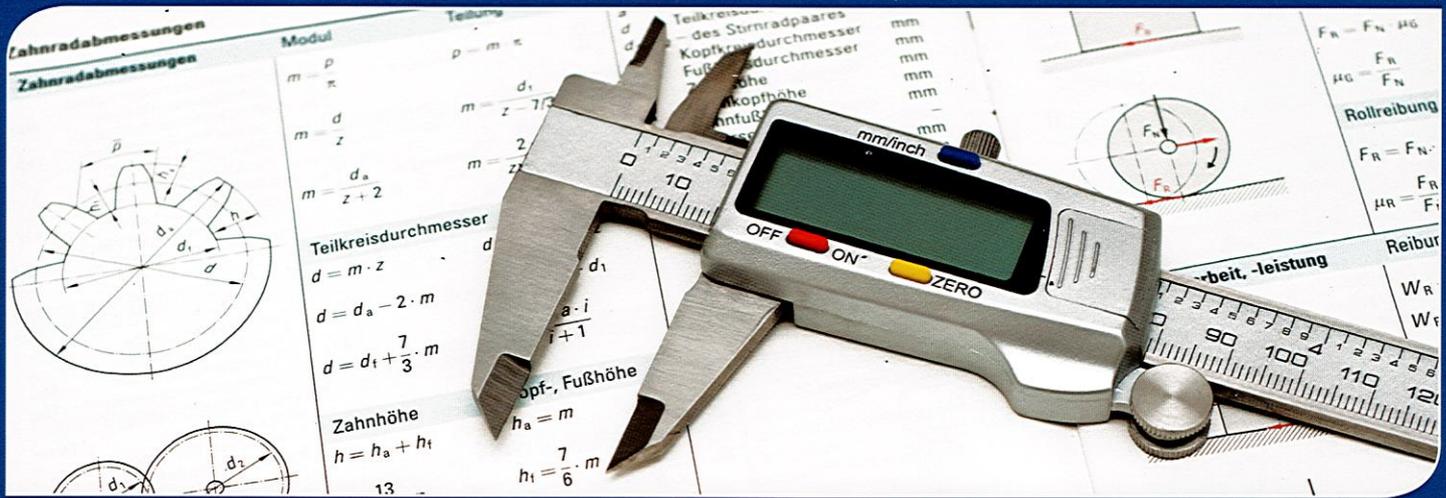


20MnCrMo7

Bild / Fig. 5: Verhalten beim Einsatzhärten / Case hardening behaviour

Selbst ein Anlassen bei 300 °C ergibt eine relativ hohe Oberflächenhärte. Je nach Anlasstemperatur liegt die Einsatzhärtetiefe bei 550 HV zwischen 0,44 und 0,65 mm. Der Restaustenitgehalt nach dem Einsatzhärten lag zwischen 10 und 20%.

A relatively high surface hardness is obtained, even on stress relieving/tempering at 300 °C. Depending on the stress relieving/tempering temperatures, the case hardening depth at a hardness of 550 HV lies between 0.44 and 0.65 mm. The residual austenite content after case hardening was between 10 and 20%.



Schwingfestigkeit / Fatigue Behaviour

Die Kornfeinung des 20MnCrMo7 erfolgt durch das Zulegieren von Niob und Titan. Dies hat jedoch zur Folge, dass vereinzelt Titan-Carbonitridausscheidungen mit bis zu 25 µm Größe auftreten können, wie aus Bild 6 ersichtlich.

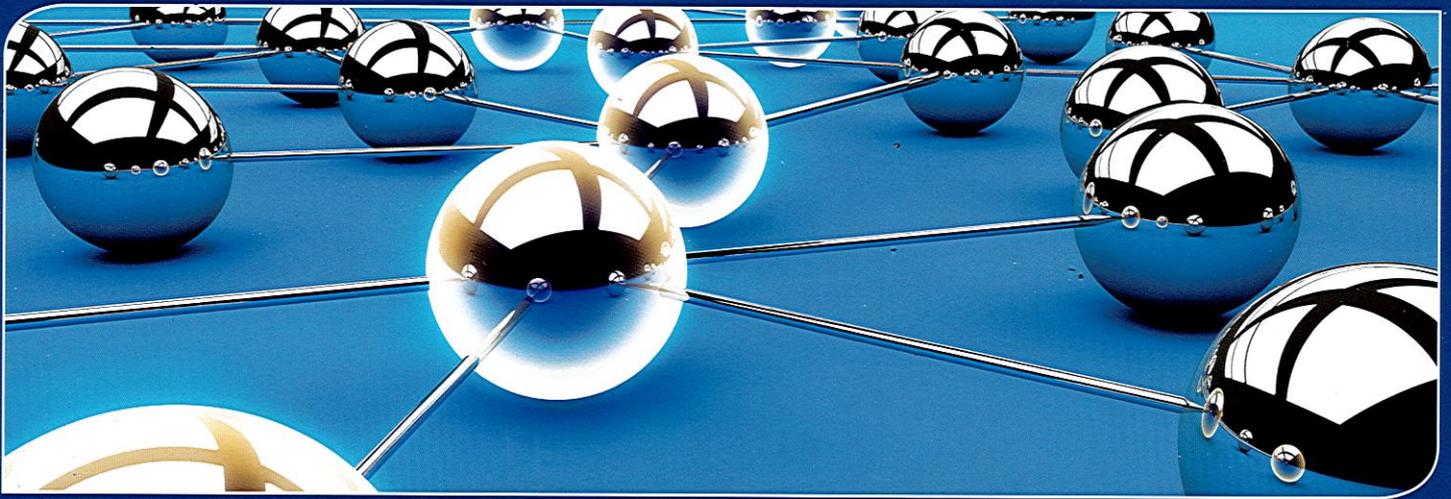


The fine grain treatment for 20MnCrMo7 steel is achieved by alloying niobium (columbium) and titanium during melting. This, however, leads to sporadic precipitations of titanium carbonitrides of max. 25 µm, as can be seen in Fig. 6.

Bild / Fig. 6 : Titancarbonitride in duktiler bainitischer Matrix (Vergrößerung 500:1) / Titanium carbonitrides embedded in ductile bainitic matrix (Magn. 500:1)

Da in der Literatur Titanausscheidungen oft als schädlich für die Dauerschwingfestigkeit angesehen werden, wurden erste Ermüdungsuntersuchungen an Proben aus 20MnCrMo7 und 18CrNi8 durchgeführt und verglichen. Die Proben wurden auf 450-464 HV blindgehärtet. Bei diesen Vorversuchen unter Zug-Schwellbeanspruchung ($R=0$) wurden Proben mit 10^7 Lastspielen als Durchläufer gewertet. Die Ergebnisse dieser nach dem Treppenstufenverfahren an 5 Proben durchgeführten Vorabuntersuchungen sind Tab. 6 zu entnehmen.

As titanium precipitations are often mentioned in the literature as being detrimental to the fatigue life of components, initial fatigue tests were carried out and compared with the values for samples made of steel grade 18CrNi8. The samples for this fatigue test were blank-hardened to 450 – 464 HV. In this initial test at alternating fatigue loads ($R = 0$), samples reaching a cycle life of 10^7 are classified as survivors. The results of the preliminary incremental step tests on 5 samples are given in Table 6.



Stress level MPa (R=0) / Stress level MPa (R=0)	20MnCrMo7 Lastspiele / 20MnCrMo7 Cycles	18CrNi8 Lastspiele / 18CrNi8 Cycles
525	$2 \cdot 10^7$	$10^7 / 10^7 / 10^7$
550	$10^7 / 10^7 / 5.2 \times 10^5$	$1.2 \times 10^5 / 1.2 \times 10^6$
575	2.8×10^6	

Tab. 6: Ergebnisse der Schwingfestigkeitsversuche / *Fatigue behaviour*

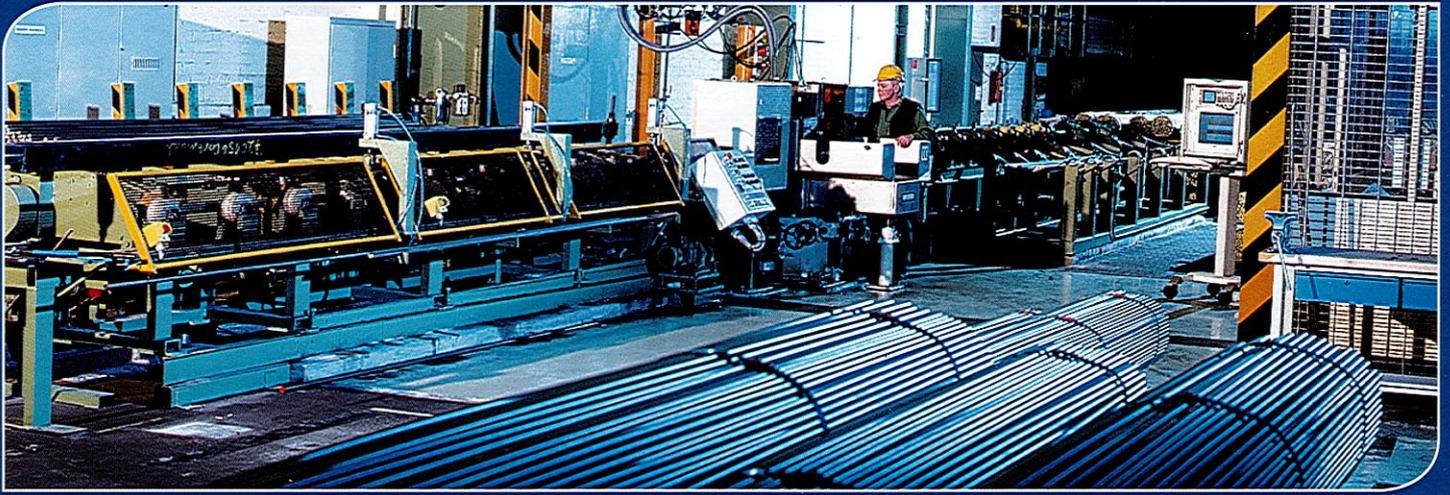
Die Ergebnisse der Vorabuntersuchung ergaben keinen signifikanten Unterschied zwischen den untersuchten Werkstoffen 20MnCrMo7 und 18CrNi8. Zur Zeit werden weitere Untersuchungen durchgeführt.

Bauteiluntersuchungen haben bisher keinen negativen Einfluss der Titanausscheidungen auf das Dauerschwingfestigkeitsverhalten von Common-Rail-Komponenten gezeigt.

The results of this initial test did not show any significant difference between 20MnCrMo7 and 18CrNi8. The tests are now being carried out on more samples.

Up to now, the results of component tests in the past have not shown any negative impact of the titanium precipitations on the fatigue lives of common-rail components.

20MnCrMo7



Kaltumformung / Cold Forming

Das Gefüge im AC (GKZ) geglähten Zustand und das Verhalten bei der Kaltverfestigung sind zwei relevante Charakteristika für die Kaltumformfähigkeit eines Stahles. Das Gefüge des Stahles 20MnCrMo7 nach einer geeigneten Glühung auf kugeligem Zementit (AC) ist in Bild 7 abgebildet.

The microstructure in spheroidized annealed condition (AC annealed) and the strain hardening behaviour are two relevant characteristics in defining the cold forming behaviour of a steel grade. The microstructure obtained after suitable spheroidized annealing treatment of 20MnCrMo7 steel is shown in Fig. 7.

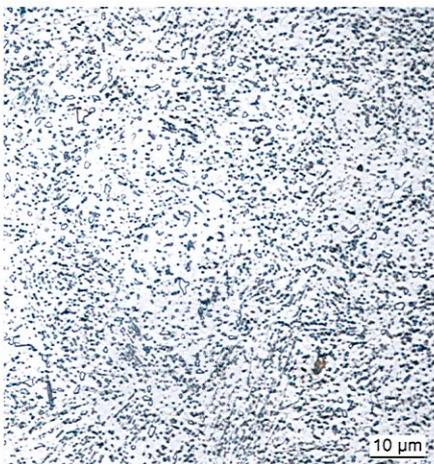


Bild / Fig. 7: Gefüge nach AC-Glühung (Vergr./Magn. 1000:1)
Spheroidized annealed microstructure
 $R_{p0,2} = 409 \text{ MPa}/R_m = 614 \text{ MPa}/A_5 = 30\%/Z = 70\%$

Diese Abbildung zeigt ein für die Kaltumformung geeignetes Gefüge. Die Verfestigungsfähigkeit bis zu einer Querschnitts-abnahme von 60% bezogen auf den Ausgangsquerschnitt ist in Bild 8 abgebildet.

Die ermittelten Werte nach den einzelnen Querschnitts-abnahmen zeigen eine niedrige Verfestigungsrate, welche sich günstig auf den Kaltumformprozess auswirkt.

Kaltverformungsverhalten nach GKZ-Glühung Strain Hardening Behaviour after Spherodizing

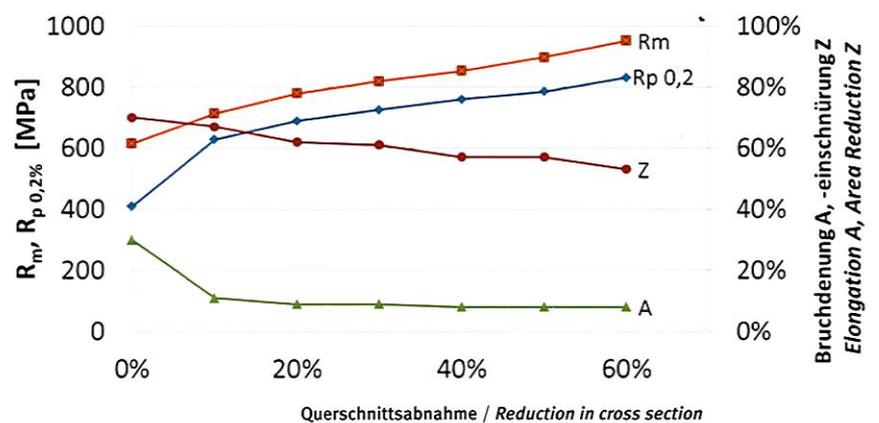


Bild / Fig. 8: Verfestigungsschaubild / Strain hardening diagram

This Figure shows a suitable microstructure for further cold-working operations. The strain hardening behaviour up to a reduction of 60% in the cross-section is illustrated in Fig. 8.

The values determined after the different reduction steps indicate a relatively low strain hardening rate, as is necessary for cold-forming processes.



Spanende Fertigung / Machining

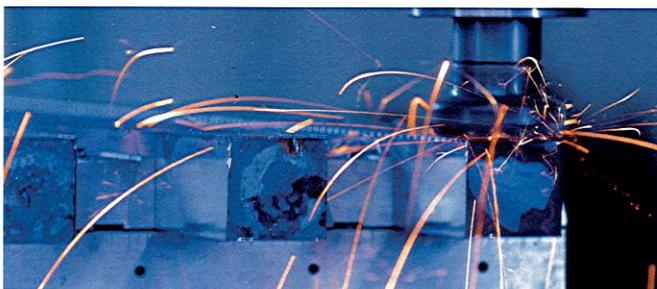
Die Zerspanung von höherfesten Stählen stellt eine Herausforderung dar, die jedoch durch den Einsatz angepasster Werkzeuge und geeigneter Schnittwerte gemeistert werden kann, so dass die Produktivität gewahrt bleibt. [3]

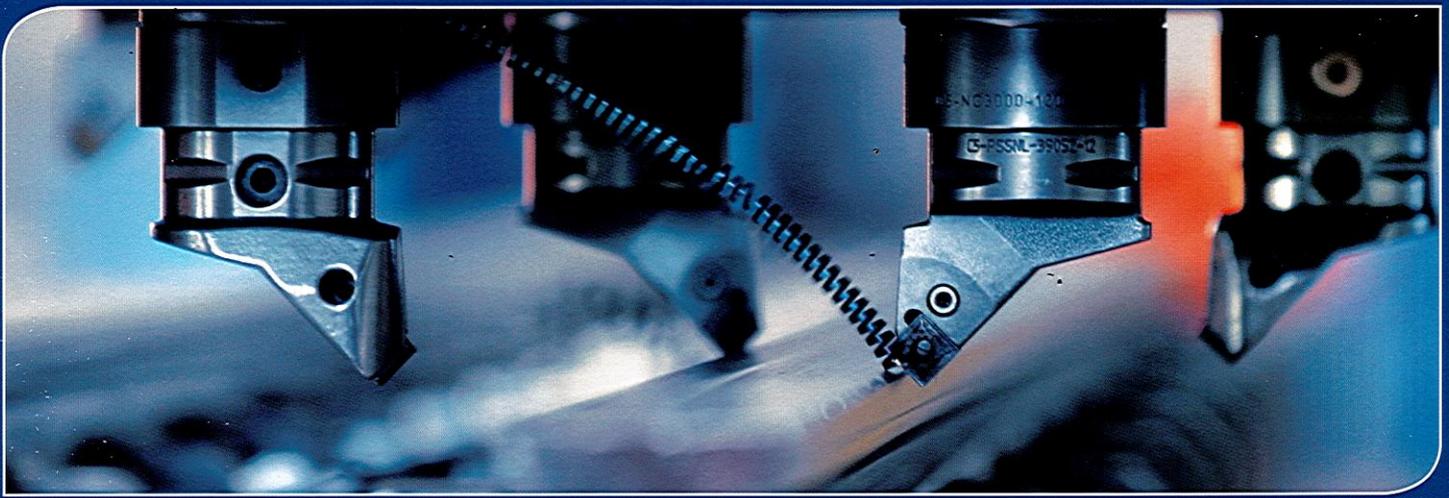
In einem Verbundforschungsprojekt mit dem Institut für Spanende Fertigung der TU Dortmund und verschiedenen Stahl- und Werkzeugherstellern sowie namhaften Automobilzulieferern konnte gezeigt werden, dass durch den Einsatz angepasster Werkzeuge die Produktivität verschiedener, an Teilen aus 20MnCrMo7 durchgeführter, Zerspanungsprozesse so optimiert werden konnte, dass sie vergleichbar waren mit der Zerspanung von 42CrMoV4 (1.7225) im vergüteten Zustand. Für das Drehen wurde die notwendige Werkzeug- und Prozessstabilität (definiert durch eine Werkzeugstandzeit von 18 min bei konstanten Zerspankraftkomponentenverlauf) durch ein Werkzeug mit einem erhöhten Eckradius und einem verschleißfesteren Substratmaterial erreicht. Durch eine zusätzliche Anpassung der Schnittwerte (Erhöhung der Schnitttiefe auf 1,2 mm, Senkung der Schnittgeschwindigkeit auf 180 m/min)

Machining of high-strength steels is a challenge which can, however, be met by choosing appropriate tooling and machining parameters in order to maintain the necessary productivity. [3]

In a joint research project with the Technical University of Dortmund and several tool as well as steel manufacturers and automobile suppliers, it has been shown that through the use of adopted tools, the productivity of various machining processes performed on 20MnCrMo7 could be optimized to be comparable to that of a 42CrMo4 (1.7225) in the QT state.

For the turning process, an adopted tool with an increased edge radius and stronger substrate material (ISO class P 05), the necessary tool and process stability for a turning process (indicated through 18 minutes tool life and constant load forces) was reached. (Fig. 9) Through an additional adjustment of the machining parameters (raising cutting depth to 1.2 mm but lower speed to 180m/min), an 8% higher productivity than that of the 70 HV softer benchmark steel 42CrMo4 could be achieved [5]. When comparing the machining of 20MnCrMo7 with the QT steel 50CrMoV4, which exhibits comparable mechanical values, 20MnCrMo7 behaves slightly more benevolently.





wurde eine 8% höhere Produktivität erreicht als beim Ausgangsprozess am 70 HV weicheren Vergleichswerkstoff 42CrMoV4. [5] Wird das Zerspanungsverhalten des 20MnCrMo7 mit dem des Vergütungsstahls 50CrMoV4, der ähnliche mechanische Kennwerte aufweist, verglichen, zeigt sich der 20MnCrMo7 als etwas vorteilhafter.

Das Tieflochbohren mit einem Durchmesser von 5 mm bei einer definierten Bohrtiefe zeigte ebenfalls ein gutes Verhalten, sowohl beim Einlippen- als auch beim Wendelbohren, sofern geeignete angepasste Werkzeuge gewählt wurden. [6]

Das Einlippenbohren konnte sogar unter recht hohen Schnittwerten von 70 om/min Schnittgeschwindigkeit und einem Vorschub von 0,08 mm durchgeführt werden.

Die Prozesse Tieflochbohren, Fräsen, Drehen und Gewindegewinde schneiden wurden unter seriennahen Bedingungen bei Zerspanungsversuchen an geschmiedeten 20MnCrMo7 Common-Rail Druckrohren mit Seriengeometrie auf Mehrspindel-Serienmaschinen untersucht. Das entsprechende Serienteil wird aus 38MnVSi6 gefertigt.

Bitte sprechen Sie uns bei Fragen zu den Untersuchungen und den Werkzeuglieferanten an.

Deep-hole drilling with 5 mm diameter and 150 mm drilling depth also showed favourable behaviour when appropriate tools were selected, both in gun drills and in "conventional" twist drills [6]. For the gun drill, machining could even be performed at a comparatively high cutting speed (70 m/min) and feed rate (0.08 mm). Deep hole drilling, turning, milling, boring and threading tests under near industrial conditions were performed on 20MnCrMo7 forged common rails with series geometry on serial multispindle machines. Here, the actual series part is made out of 38MnSiV6.

Please contact us for details regarding the investigations and tool suppliers (turning, milling, drilling) with experience of machining 20MnCrMo7.

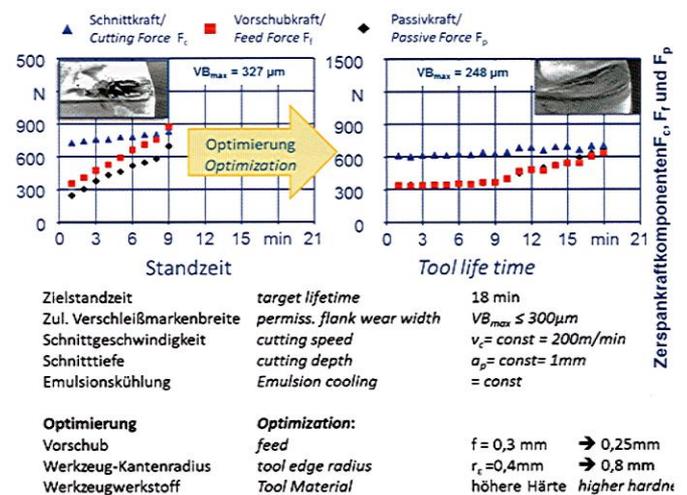
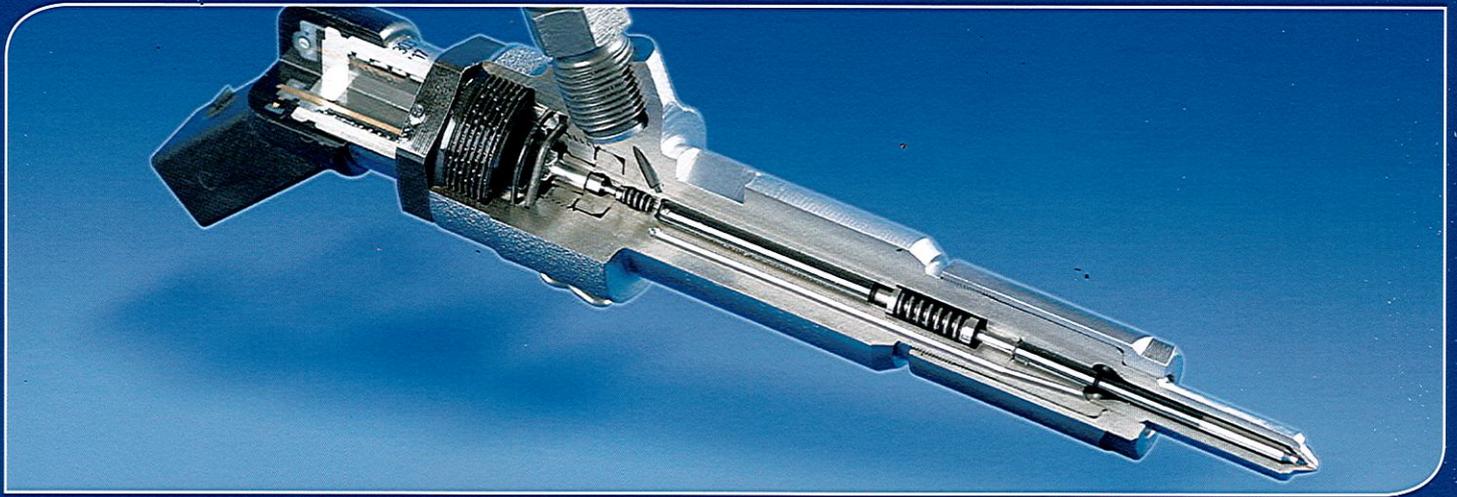


Bild / Fig. 9: Zerspankräfte vor und nach der Werkzeugoptimierung [4] / Machining forces before and after Tool Optimisation.



Anwendungen für den 20MnCrMo7 / Application for 20MnCrMo7

Bild 11 stellt Einsatzmöglichkeiten für den Einsatz von 20MnCrMo7 in Common-Rail Dieselsystemen dar, ein bereits in Serie laufendes Teil ist Bild 10 zu entnehmen. [1,2] Dieser neu entwickelte Stahl ist ebenfalls für andere Anwendungen, wie z.B. Werkzeuge und hochfeste Schrauben geeignet.

Eine weitere Anwendungsmöglichkeit für den 20MnCrMo7 ist der Einsatz für Teile, welche bisher vergütet werden mussten. Hierbei kann die Vergütung durch eine kontrollierte Abkühlung aus der Umformhitze mit evtl. zusätzlicher Anlassbehandlung ersetzt werden, um die erwünschten mechanischen Eigenschaften einzustellen. Dies führt nicht nur zu einer Kostenersparnis, sondern auch zu einer Ressourceneinsparung durch den Entfall der Wärmebehandlung.

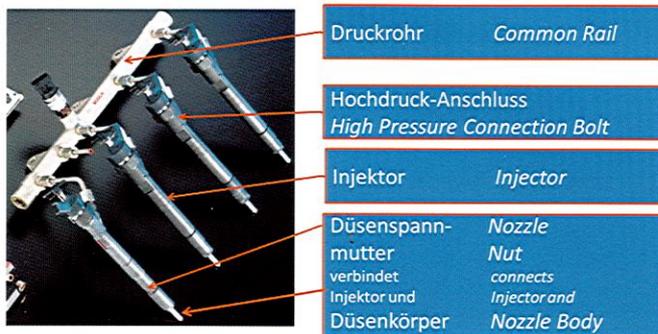


Bild / Fig. 11: Einsatzmöglichkeiten für 20MnCrMo7 am Common Rail / Possible applications of 20MnCrMo7 in common rail systems

Fig. 11 shows possible applications of 20MnCrMo7 in the common-rail diesel system, a series part is shown in Fig. 10. 20MnCrMo7 steel is also suitable for other applications, such as tools and high strength fasteners.

Another possibility for the application of 20MnCrMo7 is to



Bild / Fig. 10: Kaltumgeformter Hochdruckanschluss / Cold-formed high pressure connection

substitute steels for components that have to be quenched and tempered. The quenching and tempering treatment can be avoided either by a controlled cooling operation or by just tempering the 20MnCrMo7 steel to obtain the mechanical properties demanded. This not only leads to a cost reduction, but also saves the resources required for heat treatment.

20MnCrMo7



Zusammenfassung / Summary

Dieser feinkörnige, bainitisch-martensitische Stahl verfügt über eine günstige Kombination von hoher Festigkeit und Zähigkeit nach Abkühlung aus der Warmumformhitze. Der 20MnCrMo7 zeigt eine wesentlich bessere Kombination von Festigkeit und Zähigkeit als mikrolegierte AFP-Stähle, wie aus Bild 12 entnommen werden kann.

This fine-grain bainitic-martensitic steel has a good combination of strength and ductility on cooling wire rods, bars and components from hot-working temperatures. Bainitic-martensitic steel grades show a much better combination of strength and ductility in comparison with ferritic-pearlitic steel grades, as seen in Fig. 12.

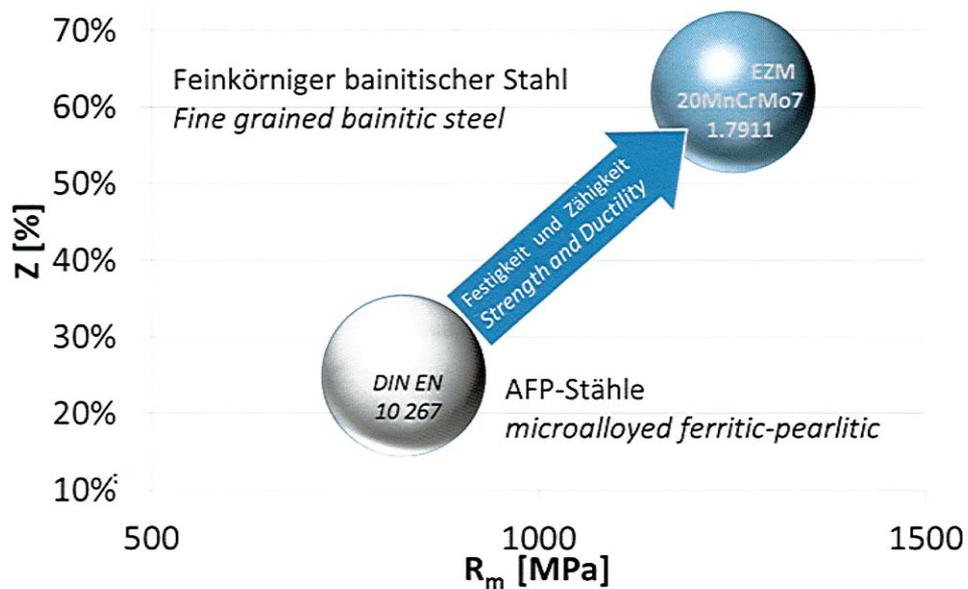


Bild / Fig.12 : Vergleich 20MnCrMo7 – AFP-Stähle / Comparison of 20MnCrMo7 vs. microalloyed ferritic-pearlitic steels



Es ist ungewöhnlich, dass Stähle mit einer höheren Festigkeit auch bessere Zähigkeiten aufweisen. Dies wird möglich durch die Feinkörnigkeit des bainitisch-martensitischen Gefüges im Vergleich zum Ferrit-Perlit-Gefüge der AFP-Stähle. Die vorgestellten Ergebnisse zeigen zudem, dass der Stahl 20MnCrMo7 sowohl als Einsatz- als auch als Vergütungsstahl verwendet werden kann. Der Stahl ist auch eine Alternative zu herkömmlichen nickelhaltigen Baustählen, da er einen wesentlich geringeren Legierungszuschlag aufweist.

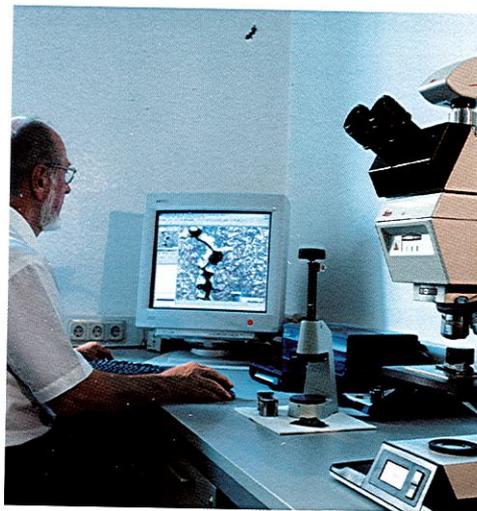
Hinzu kommt, dass die Einsparung von Wärmebehandlungsprozessen an Fertigteilen zu Kostenersparnissen führt, die diesen Stahl noch attraktiver machen.

It is seldom the case that steels with a higher strength also possess higher ductility. This is possible due to the fine-grain

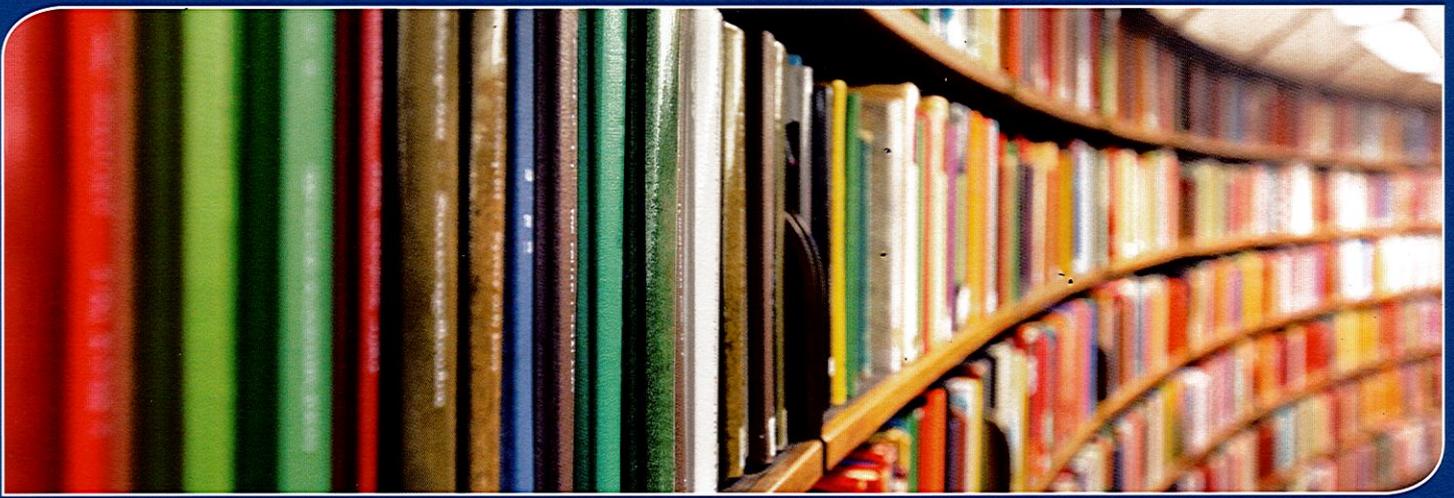
bainitic-martensitic microstructure, compared to the ferritic-pearlitic microstructure.

The results also indicate that 20MnCrMo7 steel can be used as a case hardening steel, as well as in quenched and tempered state. 20MnCrMo7 steel is also a suitable alternative to nickel-containing engineering steels, as it has a much lower alloy surcharge than the latter. Furthermore, the possibility of saving the cost

of heat treating components makes this steel grade even more attractive.



20MnCrMo7



Quellennachweis / References

- [1] Engineer, S., Janssen, P., Härtel, M., Hampel, C., Randelhoff, F.: "Technological Properties of the New High-Strength Bainitic Steel 20MnCrMo7", Proceedings of the 3rd International Conference on Steels in Cars and Trucks, Salzburg 2011, pp. 404-411
- [2] Engineer, S., Merkel, C.: "New High-Strength Bainitic Steel 20MnCrMo7 for Automobile Applications in Powertrains", Presentation held at the 2nd International Conference on Automotive Steels 2013, 19-20 June 2013, Düsseldorf, Germany
- [3] Biermann, D., Felderhoff, F., Engineer, S., Justinger, H.: "Machinability of high-strength bainitic steel 20MnCrMo7", Proceedings of the 3rd International Conference on Steels in Cars and Trucks, Salzburg 2011, pp. 567-574
- [4] Biermann, D., Hartmann, H., Terwey, I., Merkel, C., Kehl, D.: "Turning of high-strength bainitic and quenched and tempered steels", 46th CIRP Conference on Manufacturing Systems, 26-29 May 2013, Setúbal, Portugal
- [5] Hartmann, H.: "Prozessauslegung für die spanende Bearbeitung hochfester bainitischer Stähle", in: Begleitband zum Fachgespräch zwischen Industrie und Hochschule "Zerspanen im modernen Produktionsprozess", 10.9.-11.9.2013, Dortmund, Biermann, D. (Hrsg./Ed.), ISBN 978-3-9808718-8-6, S. 161-174
- [6] Hartmann, H.; Biermann, D.; Wenzelburger, J.; Merkel, C.: "Prozessgestaltung für das Hochleistungstiefbohren von bainitischen Stählen", Werkstoffe in der Fertigung (2013) 4, pp. 4-6

20MnCrMo7



Kontakt / Contact

Autoren / Authors

Dr.-Ing. Serosh Engineer +49 2335 977-440

Dr.-Ing. Birgit Wewers +49 2335 977-279

Dipl.-Ing. Charlotte Merkel +49 2335 977-227

E-Mail:

s.engineer@ezm-mark.de

b.wewers@ezm-mark.de

c.merkel@ezm-mark.de

Fax: + 49 2335 977-273



Besuchen Sie uns auf unserer Internetseite/
Visit us on our website



EZM EDELSTAHLZIEHEREI MARK

EZM EdelstahlZieherei Mark GmbH
Nordstrasse 14 · 58300 Wetter/GERMANY · Postfach 41 63 · 58294 Wetter
Tel.: +49 2335 977-0 · Fax: +49 2335 977-462
www.ezm-mark.de