

Werkstoffentwicklung für Schmiedeteile im Automobilbau

Von Karl-Wilhelm Wegner

Dieser Aufsatz gibt einen Überblick über die heute verwendeten Stahlwerkstoffe für Schmiedeteile in der Automobilindustrie. Es werden die Entwicklungen und die damit verbundenen Vorteile der letzten Jahre an Beispielen dargestellt. Außerdem wird ein Beispiel behandelt, in dem von Stahl auf eine speziell hierfür entwickelte Aluminiumlegierung umgestellt wurde.

Darüber hinaus wird näher auf die seit längerer Zeit anhaltende Entwicklung zur Verwendung immer legierungsärmerer und damit kostengünstigerer Eisenwerkstoffe und solcher Werkstoffe eingegangen, die Einsparungen in der Prozeßkette Schmieden – Wärmebehandeln ermöglichen.

1 Werkstoffüberblick

Dieses Kapitel gibt einen allgemeinen Überblick über die möglichen Werkstoffvarianten, die für Schmiedeteile eingesetzt werden können.

Das sind zunächst die konventionellen Vergütungsstähle. In **Tabelle 1** sind die Grundtypen dieser Gruppe mit steigenden Legierungsgehalten aufgelistet.

Welcher dieser Werkstoffe die richtige Wahl für ein bestimmtes Bauteil darstellt, hängt im einzelnen von den konkreten Anforderungen ab. Das Ziel muß jedoch sein, so wenig Legierungselemente wie möglich einzusetzen. Dies ist auch der Grund dafür, daß nur noch in äußerst seltenen Fällen Cr-, Ni-, Mo-Varianten im Automobilbau Verwendung finden.

Neben einer konventionellen Wärmebehandlung können besonders die niedriger legierten Stähle dieser Gruppe auch direkt aus der Schmiedehitze gehärtet werden. Ein Anlassen auf die gewünschten Bauteileigenschaften muß aber in jedem Fall anschließend erfolgen.

Beim Härten aus der Schmiedehitze wird prinzipiell der energieaufwendige Arbeitsgang des Erwärms von Raumtemperatur

Tabelle 1: Grenzen der Mittelwerte der einzelnen Hauptelemente für die verschiedenen Stahltypen

Table 1: Limits of the mean values of each main element for the different steel types

Vergütungsstähle							
Stahltypen	C	Si	Mn	Cr	Mo	Ni	DM/t*
C-Stähle	0,20/0,60	≤ 0,40	0,55/0,75	≤ 0,40	≤ 0,10	≤ 0,40	980,-
Mn/B-Stähle	0,30/0,40	≤ 0,50	1,30/1,60	≤ 0,50	≤ 0,10	+ B	1355,-
Cr-Stähle	0,33/0,42	≤ 0,40	0,65/0,75	1,05	---	1365,-
Cr-Mo-Stähle	0,25/0,50	≤ 0,40	0,65/0,75	1,05	0,22-	1450,-
Cr-Ni-Mo-Stähle	0,30/0,35	≤ 0,40	0,45/0,65	1,50/2,00	0,22/0,40	1,50/2,00	1610,-

* Die Preise wurden der letzten EGKS-Liste entnommen

auf Austenitisierungstemperatur eingespart. Zusätzlich sind – wegen des im Vergleich zu normalen Härtetemperaturen höheren Lösungszustandes zum Zeitpunkt des Abhärtens – beim Härten aus der Schmiedehitze geringere Legierungsgehalte zum Erreichen gleicher mechanischer Eigenschaften möglich.

Aus diesen Stählen leitet sich eine weitere Gruppe, die sogenannten „Weichmartensite“ ab. Diese Stähle sind den Mn-B- oder Cr-Stählen vom Legierungsaufbau her ähnlich, haben aber einen auf maximal 0,1 % abgesenkten Kohlenstoffgehalt, **Tabelle 2**.

Durch diese Maßnahme bildet sich beim

Härten aus der Schmiedehitze ein relativ weicher und spannungsarmer Martensit, der nicht angelassen werden muß. Bei diesen Stählen wird also zusätzlich das abschließende Anlassen eingespart. Die mechanischen Eigenschaften (800 bis 1 200 MPa) dieser Werkstoffe werden durch eine in engen Grenzen einzustellende Analyse bestimmt und bauteilabhängig eingestellt. Sie erreichen den Vergütungsstählen vergleichbare Eigenschaften. Diese Stähle werden zum Beispiel unter den Handelsnamen Imaform® oder Saaramart® angeboten. Wie bei allen aus der Schmiedehitze gehärteten Bauteilen ist die Schmiede-Endtemperatur bei Einsatz dieses Verfahrens in vorgegebenen engen Grenzen zu halten, um die mar-

Tabelle 2: Richtwerte der Hauptelemente für Weichmartensite [2, 3]

Table 2: Guide values of the main elements for soft martensites [2, 3]

Weichmartensite							
Stahlsorten	C	Si	Mn	Cr	B	Ti	DM/t*
Imaform® (≈ 5CrB4)	0,05	0,35	0,80	1,25	0,0035	0,02	1.200,-
Saaramart® (≈ 10MnB6)	0,10	0,30	1,5	-	0,0030	0,03	1.200,-

* Die Preise wurden der letzten EGKS-Liste entnommen bzw. hochgerechnet.

tensitische Umwandlung sicherzustellen. Als Nachteil des Verfahrensweges „SH“ (Härten aus der Schmiedehitze) ist jedoch zu erwähnen, daß Härteeinrichtungen direkt an den Pressenlinien vorgehalten werden müssen, die den prinzipiellen Kostenvorteil reduzieren. Außerdem muß in Abhängigkeit von der Komplexität der Bauteile mit der Gefahr von Härterissen, Verzug und bei vorliegenden Wanddicken-Unterschieden vor allem bei den Weichmartensiten auch mit Härteunterschieden in den verschiedenen dicken Bereichen gerechnet werden.

Als letzte Gruppe sind die AFP-Stähle (Ausscheidungshärtende-ferritisch-perlitische Stähle) zu nennen, deren Entwicklung in den 70er Jahren durch einen enormen Kostendruck auf Kurbelwellen angestoßen wurde. Hier galt es, ebenfalls Kosteneinsparungen durch den Wegfall von aufwendigen Wärmebehandlungen zu ermöglichen [1]. Ausgangspunkt waren die Kohlenstoffstähle Ck45 und Ck53, deren mechanische Eigenschaften nach einem geregelten Abkühlen aus der Warmformtemperatur jedoch zu wünschen übrig ließen. Die Entwicklungen führten dann über den Werk-

stoff 49MnVS3 durch Absenkung des Kohlenstoffgehaltes und gleichzeitiger Anhebung des Si- und Mn-Gehaltes, um den durch die Kohlenstoffabsenkung entstandenen Härteabfall wieder auszugleichen, zu dem Werkstoff 38MnSiVS5 und weiter zu dem Stahl 27MnSiVS6, **Tabelle 3**.

Bei den in Klammern genannten Bezeichnungen handelt es sich um die alten Bezeichnungen aus dem SEW 101, deren Analysengrenzen im Vergleich zur EN 10267 leicht verändert sind.

Diese Stähle erreichen Festigkeiten zwischen 800 und 1 000 MPa, die denen der Vergütungsstähle vergleichbar sind. Im Gegensatz zu diesen erreichen sie aber „nur“ Streckgrenzen – in Abhängigkeit von den Abmessungen – von maximal 600 MPa. Zusätzlich ist zu berücksichtigen, daß die erreichten Zähigkeiten nicht an die der Vergütungsstähle heranreichen. Für die Umlaufbiegefestigkeit der AFP-Stähle bestätigt sich der von den Vergütungsstählen her bekannte lineare Zusammenhang mit der statischen Festigkeit, **Bild 1**.

Im Vergleich zu Vergütungsstählen ist das Auftreten des Anrisses hier zu höheren Lastspielzahlen verschoben. Dies scheint ein genereller Zusammenhang zu sein, der schon oft bestätigt wurde.

Zusätzliche Vorteile ergeben sich bei den AFP-Stählen durch ihre Gefügeausbildung, welche die Spanbarkeit positiv beeinflusst. Dies zeigt sich durch wesentlich längere Standzeiten der Spanwerkzeuge bei gleichen Schnittgeschwindigkeiten im Vergleich zu normalen Vergütungsstählen, **Bild 2**.

Ein weiterer Vorteil bei komplexen Teilen ist darin zu sehen, daß kaum mit Verzügen beim Abkühlen zu rechnen ist. Auch fällt der bei vergüteten Teilen normale Rand-/Kernabfall deutlich geringer aus.

Ein relativ neuer Vertreter in dieser Gruppe ist der Werkstoff C70S6, der durch seinen hohen Kohlenstoffgehalt ein sprödes Bruchverhalten hat und damit erst die „Crack“-Technik für Pleuel ermöglichte.

Im **Bild 3** sind die prozeßbedingten Einsparungspotentiale der bisher genannten Werkstoffvarianten miteinander verglichen.

Wie zu erwarten, ist das Potential bei den APF-Stählen am höchsten.

AFP-Stähle					
Stahlsorten	C	Si	Mn	V	DM/t*
19MnVS6	0,18	0,50	1,40	0,14	1.300,-
30MnVS6 (≈ 27MnSiVS6)	0,30	0,50	1,40	0,14	1.300,-
38MnVS6 (≈ 38MnSiVS5)	0,38	0,50	1,40	0,14	1.300,-
C70S6	0,70	0,20	0,50	0,035	1.100,-

* Die Preise wurden der letzten EGKS-Liste entnommen.

Tabelle 3: Richtwerte der Hauptelemente von AFP-Stählen nach EN 10267

Table 3: Guide values from the main elements of AFPsteels acc. to EN 10267

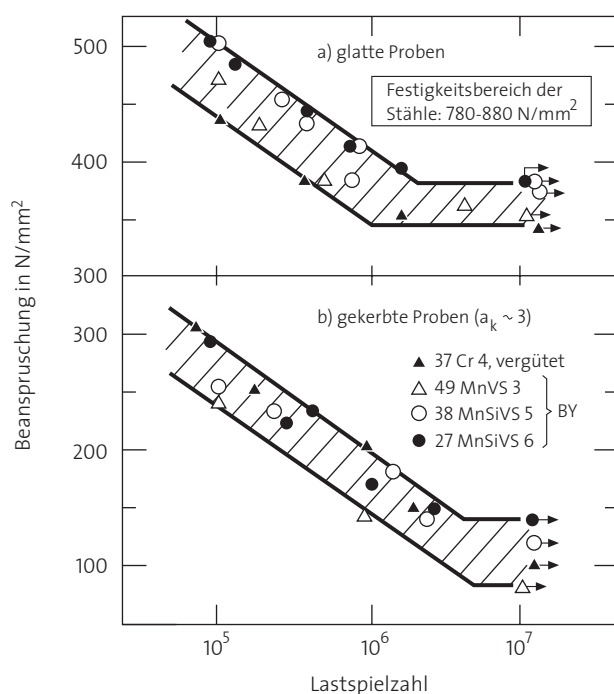


Bild 1: Umlaufbiege-Wechselfestigkeit von AFP-Stählen im Vergleich zu einem Vergütestahl (Beanspruchungsart: $R = -1$) [1]

Fig. 1: Rotating bar fatigue limit of AFPsteels in comparison to a construction steel (Load $R = -1$) [1]

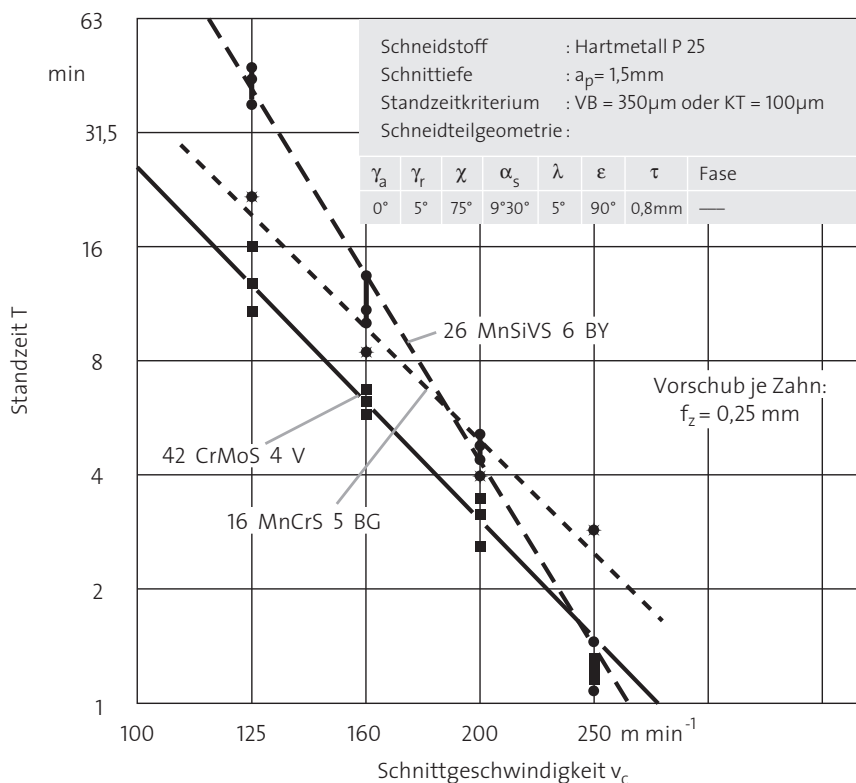


Bild 2: Standzeit in Abhängigkeit von der Schnittgeschwindigkeit beim Stirnfräsen [4]

Fig. 2: Life of tools in dependance of cutting speed during front milling [4]

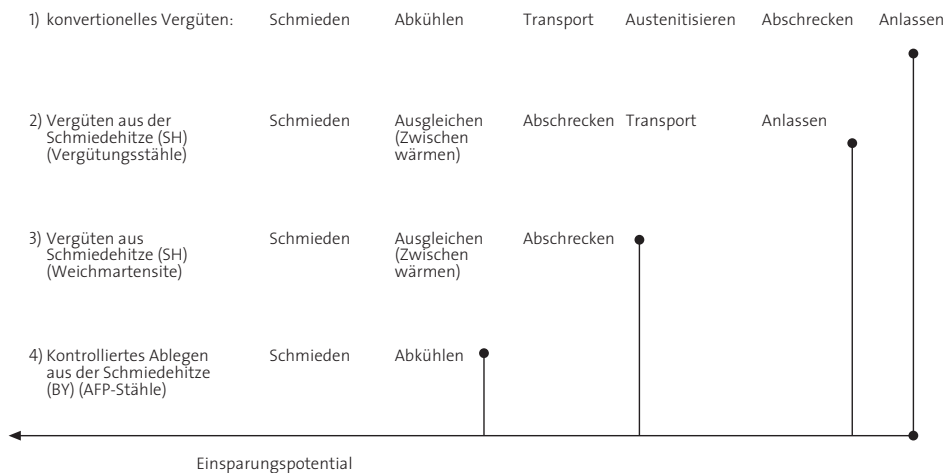


Bild 3: Mögliche Einsparungen durch Änderung der Wärmebehandlung von Schmiedestücken

Fig. 3: Possible saving potentials caused by different heat treatments for forging

Stahl wurde in die 1. Ringnut eine Panzerung unter anderem aus dem Werkstoff „Ni-Resist“ (austenitischer Grauguß) eingebracht, [6].

Durch die verschärfte Umweltgesetzgebung – vor allem in den USA – mußten zur Reduzierung der Schadstoffe im Abgas die Drücke und damit auch die Temperaturen im Brennraum der Dieselmotoren erhöht werden. Eine typische Temperaturverteilung in einem Kolben zeigt Bild 4.

Die gezeigten Temperaturen gelten für Al-Legierungen. Unter den neueren, verschärfen Bedingungen für Ferrothermkolben dürften im Brennraum die Temperaturen eher etwas höher, nämlich bis zu 500 °C liegen und auf der Innenseite des Kolbens eher etwas niedriger. Der Grund hierfür ist unter anderem in der schlechteren Wärmeleitfähigkeit von Stahl im Vergleich zu Aluminium zu suchen.

Den geforderten Belastungssteigerungen ist die bis dahin verwendete Aluminiumlegierung immer weniger gewachsen. Als Ausweg bot sich in diesem Fall eine zweiteilige Lösung an, die aus einem hoch belastbaren Kolbenoberteil und dem „Kolbenhemd“ besteht. Als Standardwerkstoff für das Kolbenoberteil wurde der Werkstoff 42CrMo4 in vergüteter Ausführung gewählt. Die Festigkeit dieser Bauteile beträgt zwischen 870 und 1 080 MPa. Auch die Warmfestigkeit, Wechsellast-Beständigkeit, Temperaturschock-Banspruchbarkeit und Oxidationsbeständigkeit dieses Vergütungsstahles sind für die vorliegenden Bedingungen ausreichend. Die Analyse dieses Stahles zeigt Tabelle 4.

Die Mindestanforderungen an die mechanischen Eigenschaften für Kolbenoberteile sind in Tabelle 5 dargestellt.

Auch diese Bauteile unterliegen einem gewaltigen Kostendruck, so daß intensiv nach Einsparungspotentialen gesucht wurde. Als möglicher Weg erwies sich der Einsatz des AFP-Stahles 38MnSiVS5 (Analyse siehe Tabelle 4), der zwar im Vergleich zum 42CrMoS4 eine geringere Streckgrenze aufweist, aber vergleichbare Festigkeiten erzielt, Tabelle 5.

Des weiteren sind – wie bereits erwähnt – durch das hier vorliegende Schwarz-Weiß-Gefüge Vorteile bei der Zerspanung zu erwarten, die neben dem Wegfall der Wärmebehandlung zu Buche schlagen.

Die Warmfestigkeitseigenschaften dieses

2 Beispiele

2.1 Motorenteile

2.1.1 Kolben

„Ferrothermkolben“ aus Stahl werden heute in großen Stückzahlen in den USA für Dieselmotoren eingesetzt.

Ursprünglich wurden Kolben, wie dies auch heute noch vornehmlich in Europa geschieht, hauptsächlich aus dem gegossenen Aluminiumwerkstoff AlSi12CuMgNi hergestellt. Die Festigkeiten dieser Legierung liegen zwischen 200 bis 250 MPa. Zur Minimierung des Verschleißes und Anpassung der unterschiedlichen Ausdehnungskoeffizienten zwischen Aluminium und

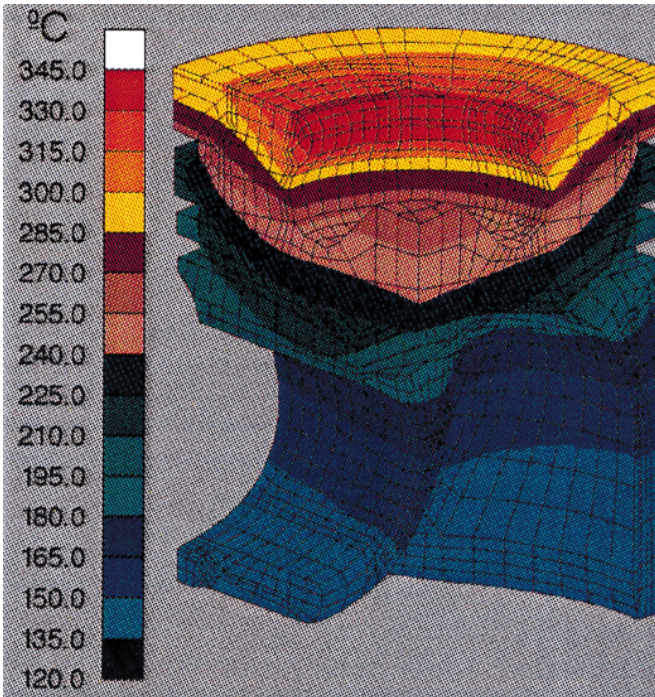


Bild 4: Schematische Temperaturverteilung an einem Al-Kolben bei Vollast [5]

Fig. 4: Temperature distribution on an aluminium piston during full load (schematic) [5]

Stahles sind für die heute üblichen Anwendungsfälle ebenfalls ausreichend, auch wenn sie unter den CrMo-Stählen liegen. Die Entwicklung geht jedoch immer weiter zu leistungsstärkeren und höher belasteten Maschinen. Hiermit geht eine stetige Anhebung der Drücke und Temperaturen einher, so daß die Warmfestigkeit der bisher verwendeten Stähle an ihre Grenzen stößt. Bei Carl Dan. Peddinghaus in Ennepetal wurde deshalb auf der Basis des 38MnSiVS5 ein Stahl entwickelt, der höhere Warmfestigkeiten besitzt. Die Analyse ist ebenfalls in Tabelle 4 aufgeführt. Der entscheidende Unterschied zum 38MnSiVS5 ist der Mo-Gehalt, der die gesteigerte Warmfestigkeit begründet, aber auch ein Zwischenstufengefüge nach dem Ablegen aus der Schmiedehitze im Gegensatz zum Schwarz-Weiß-Gefüge des normalen 38MnSiVS5. Dieses Gefüge sollte sich wie ein Vergütungsgefüge zerspannen lassen. Die Vorteile des Schwarz-Weiß-Gefüges bezüglich der Zerspanbarkeit sind allerdings nicht mehr zu erwarten.

Tabelle 5 zeigt die mechanischen Eigenschaften dieses Stahles im Vergleich zum 42CrMoS4 und 38MnSiVS5. **Tabelle 6** vergleicht die mechanischen Eigenschaften bei 500 °C. Hier zeigt sich der positive Einfluß des Mo-Gehaltes deutlich. Dieser zuletzt genannte Stahl ist bisher nur zu einigen Mustern verarbeitet worden.

Bild 5 zeigt einen prozentualen Vergleich der Kosten für einen Kolben mittlerer Größe aus den verschiedenen Werkstoffen. Wenn der Al-Kolben mit 100 % angesetzt

wird, muß für den Ferrothermkolben ein Wert von etwa 200 % angesetzt werden. Der Einsatz des AFP-Stahles führt dann auf einen Wert zwischen 185 und 190 % für den fertig bearbeiteten Kolben. Für das Stahl-Rohteil gilt ein Unterschied von etwa 10 %, zwischen dem Werkstoff 42CrMo4 und

38MnSiVS5. Der Werkstoff 38MnSiVS5 wird bereits in der Serie eingesetzt.

2.1.2 Pleuel

Pleuel wurden in der Vergangenheit grundsätzlich aus den bereits oben genannten Vergütungsstählen hergestellt. In Abhängigkeit von der Belastung und Größe der Pleuel wurden alle in Tabelle 1 aufgeführten Stähle eingesetzt. Nach und nach wurde die Fertigung der Pleuel dann auf ein Abschrecken aus der Schmiedehitze umgestellt, wobei in der Hauptsache Kohlenstoffstähle der Typen C35 oder C45 Verwendung fanden, die jedoch zur Steigerung der Härbarkeit leicht durch Zulegieren von Si, Mn und/oder Cr modifiziert wurden. Der Kostendruck führte auch bei diesem Produkt zu Überlegungen, möglichst die nötigen mechanischen Eigenschaften „nur“ durch eine gezielte Ablage aus der Schmiedehitze zu erreichen. Wiederum in Abhängigkeit von den Belastungen und Abmessungen der einzelnen Pleuel wurden oder werden die Werkstoffe C45, 44MnSiVS6, 38MnSiVS5 und 27MnSiVS6 mit kontrollierter Ablage aus der Schmiedehitze verwendet. Als Vorteil schlägt der Entfall der Wärmebehandlung und eine günstigere Zerspanbarkeit direkt zu Buche, ohne daß die Konstruktion geändert werden muß. In **Tabelle 7** sind für ein Pleuel mittleren Ge-

Tabelle 4: Analysen der für Kolben verwendeten Werkstoffe

Table 4: Analysis of materials used for pistons

Analyse						
Werkstoff	C	Si	Mn	P	S	Cr
AlSi12CuNiMg/6/	-	,11/,13	≤,3	-	-	-
42CrMoS4	,38/,45	,15/,40	,50/,80	≤,020	,015/,025	,90/,120
38MnSiVS5	,36/,39	,60/,75	1,35/,150	≤,025	,020/,050	-
38MnSiVS5+Mo	,36/,39	,50/,80	1,20/,150	≤,025	,0,20/,050	-

Werkstoff	Ni	Mo	V	Cu	Mg	Fe	Ti	Zn
AlSi12CuNiMg	,8/,1,3	-	-	,8/,1,5	,8/,1,3	≤,7	≤,2	≤,3
42CrMoS4	-	,15/,30	-	≤,25	-	Rest	-	-
38MnSiVS5	≤,15	-	,09/,13	-	-	Rest	-	-
38MnSiVS5+Mo	-	,10/,50	,09/,13	-	-	Rest	-	-

Tabelle 5: Mechanische Eigenschaften für Kolben aus unterschiedlichen Werkstoffen

Table 5: Mechanical properties for pistons out of different materials

Mechanische Eigenschaften				
Werkstoff	R _{p0,2} MPa	R _M MPa	A ₅ %	Z %
AlSi12CuNiMg/6/	190/230	200/250	0,1/1,5	-
42CrMoS4	≥ 740	870/1080	≥ 11,0	≥ 40,0
38MnSiVS5	≥ 580	≥ 850	≥ 10,0	≥ 20,0
38MnSiVS5 + Mo	≥ 600	≥ 900	≥ 10,0	≥ 20,0

Tabelle 6: Vergleich der mechanischen Eigenschaften bei 500 °C an Warmzugproben (Anhaltswerte)

Table 6: Comparison of the mechanical properties at 500 °C tested with a hot tensile testbar (reference data)

Mechanische Eigenschaften					
Werkstoff	R _{p0,2} MPa	R _M MPa	A ₅ %	Z %	R _M MPa RT
ALSi12CuNiMg, /6/	-	-	-	-	-
42CrMoS4 (Literatur)	≥ 450	≥ 630	≥ 25,0	≥ 75,0	930
38MnSiVS5	330	470	23	67	910
38MnSiVS5 + Mo	600	800	14	58	1000

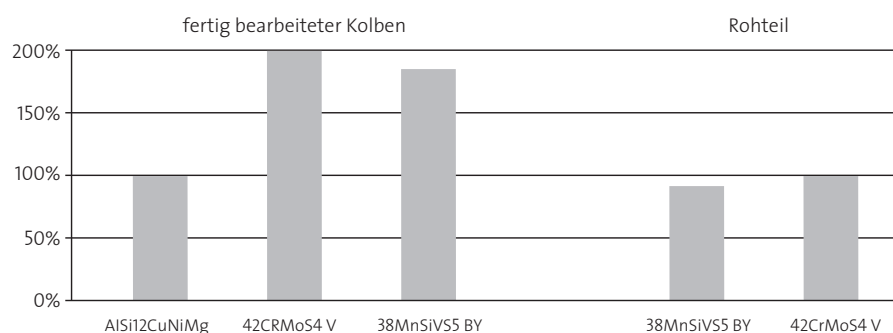


Bild 5: Kostenvergleich in Prozent für einen Kolben mittlerer Größe, fertig bearbeitet und als Rohteil

Fig. 5: Comparison of costs in percent for a middle shaped piston, machined and as forged

Mechanische Eigenschaften				
Werkstoff	R _{p0,2} MPa	R _M MPa	A ₅ %	Z %
41CrS4 V	≥ 530	730/860	≥ 14	≥ 50
38MnSiVS5 BY	≥ 550	820/1000	≥ 12	≥ 25
C70S6 BY	≈ 530	≈ 820/1000	≥ 12	≥ 25

Tabelle 7: Mechanische Anforderungen an ein mittelschweres Pleuel in Abhängigkeit vom eingesetzten Werkstoff

Table 7: Mechanical demands for a middle heavy conrod in dependence from the used material

wichtiges (etwa 5 kg) die mechanischen Anforderungen für Proben aus dem Steg der Pleuel aufgelistet. Im vorliegenden Fall wurde das Pleuel ursprünglich aus dem Werkstoff 41CrS4 V gefertigt. Danach wurde direkt auf den Werkstoff 38MnSiVS5 umgestellt, der gezielt aus der Schmiedehitze abgekühlt wird. Als nächster Schritt ist die Einführung der „Crack“-Technik für diese Pleuel geplant, die jedoch konstruktive Änderungen am Pleuel mit sich bringt. Andere Pleuel sind bereits in der Serie auf diese Technik umgestellt und dieser Anteil wird immer größer. Der Hauptvorteil dieser Technik liegt in der Einsparung aufwendiger Bearbeitungsschritte im Bereich der Hubzapfenbohrung. An Stelle des normalen Trennens des Pleuelkopfes mit nachgeschalteter aufwendiger Bearbeitung der

Trennflächen zur Fixierung von Ober- und Unterteil wird beim „Cracken“ ein spröder Bruch mit „kristallinem“ Bruchgefüge erzeugt, das für eine Fixierung von Ober- und Unterteil zueinander sorgt. Um diese Bruchfläche zu erzeugen, muß ein spröde brechender Stahl eingesetzt werden. Die Eigenschaften des bereits oben erwähnten Stahles C70S6 erfüllen diese Anforderung. Auch die mechanischen Eigenschaften dieses Stahles liegen in der Größenordnung des bereits eingeführten 38MnSiVS5, Tabelle 7.

Bild 6 vergleicht die Kosten für die Rohteile inklusive Wärmebehandlung der drei Varianten 41CrS4 vergütet, AFP-Stahl aus der Schmiedehitze abgelegt und C70S6 aus der Schmiedehitze abgelegt. Der Vorteil der

Cracktechnik am einbaufertigen Pleuel ist bei dem C70S6-Pleuel zusätzlich mit etwa 25 bis 30 % [9] zu veranschlagen.

2.2 Fahrwerksteile

2.2.1 Schwenklager

Schwenklager wurden bis Anfang der 80er Jahre aus dem Werkstoff C45 mit konventioneller Vergütung gefertigt. Auch diese Bauteile standen und stehen im direkten Wettbewerb zu Gußvarianten, so daß ein permanenter Preisdruck auch auf diesem Gebiet zur Einführung der kostengünstigsten Produktionsmethode zwang. Über verschiedene Stationen wurde unter anderem der Werkstoff C45 in seiner Analyse, besonders im Si- und C-Gehalt soweit verändert, bis der heutige Standardstahl „C38“ entstand, der die geforderten Eigenschaften nach einer „BY“-Behandlung erreicht. Die Richtanalysen und mechanischen Anforderungen sind in den **Tabellen 8 und 9** vergleichend dargestellt.

In neuerer Zeit wurde von Kundenseite der Wunsch nach höheren Festigkeiten mit dem Ziel der Gewichtsreduzierung gestellt, wobei man bei der Steifigkeit Kompromißbereitschaft signalisierte. In diesem Zusammenhang und mit dieser Stoßrichtung wurden für Schwenklager Versuche mit einem Weichmartensit (Saaramart® ≈ 10MnB6) durchgeführt. Die Ergebnisse dieser Versuche, [7], wurden in die Tabellen 8 und 9 aufgenommen. Als Nachteil dieses Verfahrens bestätigt sich das Auftreten eines streuenden Verzuges, der sich im vorliegenden Fall mit etwa 25 % Richtanteil [7] niederschlägt.

In **Bild 7** sind die Unterschiede in den Fertigungskosten für die drei genannten Varianten für ein typisches Schwenklager dargestellt. Der höhere Richtanteil für den Werkstoff 10MnB6 wurde dabei bereits berücksichtigt.

Für höher belastete Schwenklager bieten sich ebenfalls die höherfesten AFP-Stähle wie der 27MnSiVS6 an. In der Praxis wird dieser Werkstoff für mehrere Schwenklager beziehungsweise Radträger eingesetzt.

Bild 7 zeigt, daß der Werkstoff C 38 BY im Vergleich zu den anderen genannten Möglichkeiten die deutlich günstigste Fertigungsvariante darstellt.

2.2.2 Pkw-Achsschenkel

Achsschenkel für Pkw wurden vor einigen Jahren noch ausschließlich aus Vergü-

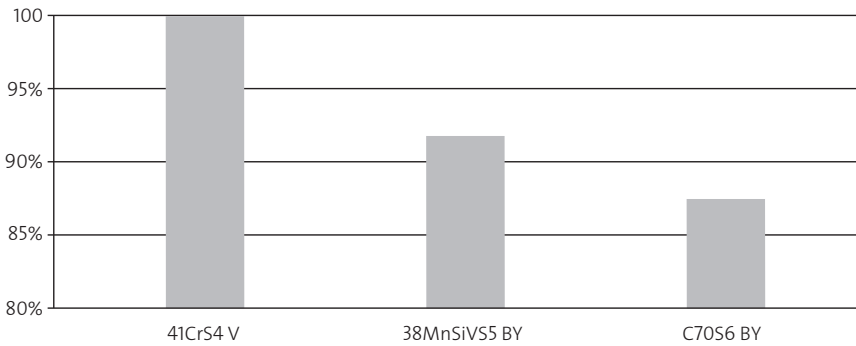


Bild 6: Kostenvergleich an Pleueln bei Einsatz verschiedener Werkstoffe (Rohteile Wärmebehandlung)

Fig. 6: Comparison of costs for conrods using different materials (as forged parts inclusive heat treatment)

	Analyse					
	C	Si	Mn	P	S	V
C45	,46	,30	,65	≤ ,035	,030	
C38	,36	,70	,80	≤ ,045	,035	-
Saaramart® ≈ 10 MnB6 /3/	,10	,30	1,5	≤ 0,35	,030	+B, Ti
27MnSiV56	,30	,50	1,40	≤ 0,35	,040	,14

Tabelle 8: Richtwerte der Analysen die für Schwenklager verwendet werden.

Table 8: Standard analysis which will be used for sviwel hubs

Mechanische Eigenschaften				
Werkstoff	R _{p0,2} MPa	R _M MPa	A ₅ %	Z %
C45	≥ 420	650/800	≥ 16	≥ 40
C38	≥ 420	700/800	-	≥ 45
Saaramart® ≈ 10 MnB6 /3/*	880/940	1120/1170	11,1/11,9	59/61
27MnSiV56	≥ 570	800/1000	-	≥ 45

Tabelle 9: Mechanische Eigenschaften für C45 V, C38 und 27MnSiV56 BY sowie 10MnB6 SH

Table 9: Mechanical properties for C45 V, C38, 27MnSiV56 BY and 10MnB6 SH

*Prüfergebnisse im Versuch [7]

tungsstählen hergestellt. Es handelte sich im allgemeinen um Cr-Stähle mit Kohlenstoffgehalten zwischen 0,30 und 0,40 Gew.%, die auf Festigkeiten zwischen etwa 880 und 1 100 MPa vergütet wurden.

Da die AFP-Stähle den Festigkeitsbereich zwischen 800 und 1 000 MPa bei Streckgrenzen von „nur“ maximal 600 MPa im Vergleich zu mindestens 730 MPa bei den Vergütungsstählen abdecken, wurde auch über ein Härten aus der Schmiedehitze mit anschließendem Anlassen bei Verwendung der üblichen Vergütungsstähle und dem Einsatz von Weichmartensiten nachgedacht und das Härten aus der Schmiedehitze mit anschließendem Anlassen – zumindest zeitweilig – für einige Varianten eingeführt.

Bei den zum Teil komplexen Formen der Achsschenkel mußte allerdings mit erheblichem Verzug beim Abschrecken aus der

Schmiedehitze gerechnet werden. Auch die Härterißgefahr kann bei einem Härten aus der Schmiedehitze bei komplexeren Bauteilen nicht vernachlässigt werden.

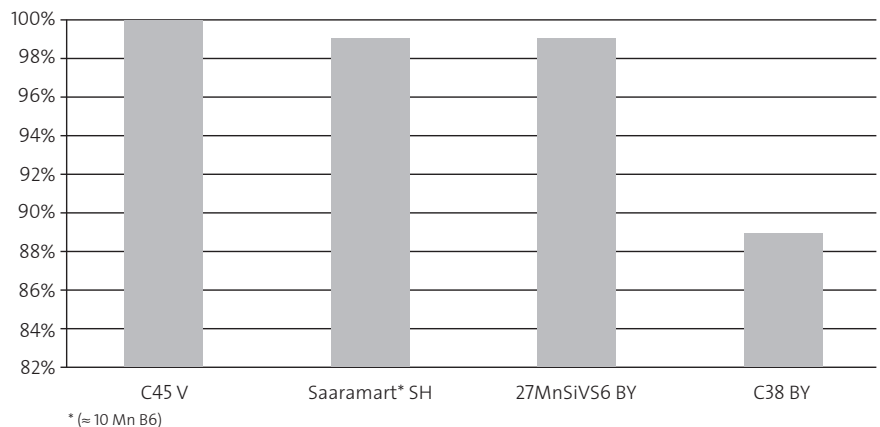


Bild 7: Kostenvergleich (Rohteil) für Schwenklager aus verschiedenen Werkstoffen (Anhaltangaben)

Fig. 7: Comparison of costs (rough part) for sviwel hubs out of different materials (reference data)

Bei den Weichmartensiten, die keiner weiteren Anlaßbehandlung unterworfen werden, ist zusätzlich mit größeren Härteschwankungen in Abhängigkeit von der jeweils vorliegenden Wanddicke zu rechnen.

Wegen der niedrigeren Kerbschlagarbeit der AFP-Stähle im Vergleich zu den Vergütungsstählen und der höheren Reißfortschritts-Geschwindigkeit, wenn einmal ein Reiß initiiert wurde, bestanden und bestehen teilweise heute noch Vorbehalte gegenüber dem Einsatz von AFP-Stählen für Achsschenkel. Außerdem kommen für eine Umstellung in erster Linie Achsschenkel mit Kompaktlager in Frage, um die Belastungen an der höchst belasteten Stelle des Achsschenkels möglichst gering zu halten und so der relativ niedrigen Streckgrenze im Vergleich zu Vergütungsstählen entgegenzukommen. Als aber unter enormem Kostendruck sogar spezielle Gußvarianten (mit im Vergleich zum AFP-Stahl ungünstigeren Zähigkeiten und mechanischen Eigenschaften) bei Achsschenkeln mit Kompaktlagern mit einem zusätzlichen Rollverdichten diskutiert wurden, mußte zwangsläufig auch der AFP-Stahl neu bewertet werden. Auf Vorschlag von Peddinghaus hin wurden dann auch für den AFP-Stahl die üblichen Maßnahmen zur Verbesserung der Lebenszeit eines Achsschenkels durch Rollverdichten, Induktionshärten oder Vergrößerung des Zapfendurchmessers betrachtet und Versuche mit AFP-Stählen bei Peddinghaus durchgeführt.

Im Folgenden sind die Ergebnisse für zwei Achsschenkel exemplarisch dargestellt.

Eine Übersicht über die Härteverteilung der direkt abgeschreckten Bauteile aus den Werkstoffen Imaform und Saaramart zeigt **Tabelle 10**.

Deutlich sind die Härteschwankungen in Abhängigkeit von der Wanddicke im Bauteil ersichtlich. Die Härte wurde jeweils in der Mitte des Querschnitts bestimmt.

Die mechanischen Eigenschaften für die oben genannten Achsschenkel 1 und 2 sind in der **Tabelle 11** zusammengefaßt.

Die notwendigen Tests wurden damals von beiden von Peddinghaus vorgeschlagenen Werkstoffen an verschiedenen Bauteilen im Zustand „BY“ bestanden, so daß beide in der Großserie eingesetzt wurden und werden. Der Zustand, SH, kam aus Kostengründen über den Versuchszustand nicht hin-

aus. Nach dem ersten Einsatz von AFP-Stählen in diesem Bereich vor einigen Jahren sind inzwischen weitere Achsschenkel hinzugekommen. Der Kostenvergleich der Rohteile ist im **Bild 8** wiedergegeben. Wie zu erwarten, schneiden die AFP-Stähle im Zustand BY im Vergleich zu den normalen Vergütungsstählen günstiger ab, aber auch die Weichmartensite liegen in diesen beiden Fällen fast gleich auf.

2.2.3 Lkw-Achsschenkel

Früher wurden Achsschenkel für schwere Lkw fast ausschließlich aus Cr-Ni-Mo-Stählen hergestellt, um Vergütungsprobleme von vornherein zu vermeiden. Pedding-

haus schlug schon sehr früh vor, die relativ hoch legierten Cr-Ni-Mo-Stähle durch niedriger legierte Stähle zu ersetzen. Der Weg ging dann über den Werkstoff 42CrMo4 zu dem von Peddinghaus entwickelten Mn-B-Stahl (40MnB5), der sich inzwischen durchgesetzt hat. Richtanalysen sind bereits in der Tabelle 1 neben den Unterschieden der Werkstoffkosten enthalten. Einen negativen Einfluß auf die mechanischen Eigenschaften hatten diese Umstellungen auf die preiswerteren Werkstoffe nicht, **Tabelle 12**. Diese Tabelle listet die mechanischen Anforderungen für die genannten Werkstoffe auf.

Aufgrund der relativ großen Abmessungen und der Notwendigkeit einer Dimensionierung, die ein Versagen unter den möglichen sehr unterschiedlichen Beanspruchungen sicher ausschließt, hat es der AFP-Stahl, unter anderem auch wegen seiner relativ geringen Streckgrenze, in diesem Segment schwer. Es wird jedoch an geeigneten Analysen für entsprechende Anforderungen gearbeitet. Es dürfte bisher kein AFP-Stahl für Lkw-Achsschenkel in Serie eingesetzt worden sein, obwohl bereits 1990 ein etwa 19 kg schwerer Achsschenkel mit guten Ergebnissen erprobt wurde [8].

In der **Tabelle 12** sind die mit AFP-Stahl bisher erreichten mechanischen Eigenschaften in großen Achsschenkeln ebenfalls aufgelistet. Zur Verbesserung der Lebensdauer ist auch bei diesen Achsschenkeln über ein Induktivhärten oder Rollieren nachzudenken. **Bild 9** zeigt den werkstoff-abhängigen Kostenvorteil für einen schweren Achsschenkel.

2.2.4 Querlenker

Der Querlenker, auf den hier Bezug genommen wird, wurde ursprünglich aus dem Kohlenstoffstahl C40 mit einer kontrollierten Abkühlung aus der Schmiedehitze produziert. Um das Bauteil leichter zu gestalten, sollte in der neuen Fahrzeuggeneration auf Kundenwunsch dieser Querlenker dann auf ein Aluminium-Schmiedeteil umgestellt werden. Diese Umstellung erforderte aufgrund der gänzlich anderen Kennwerte des Aluminiums im Vergleich zum Stahl, **Tabelle 13**, eine Neukonstruktion. Interessant ist ein Gewichtsvergleich: Das Aluminiumteil wiegt in seiner heutigen Form etwa 2,1 kg, das Stahlteil zirka 3,6 kg. Damit ist es im Vergleich zum Stahlbauteil 42 % leichter. Der gesamte theoretische Vorteil des spezifischen Gewichts läßt sich – wie sich auch hier zeigt – bei einem Aluminiumteil aufgrund der niedrigen mechanischen Eigenschaften und des geringen

Tabelle 10: Härteverteilung an direkt aus der Schmiedehitze abgeschreckten Bauteilen

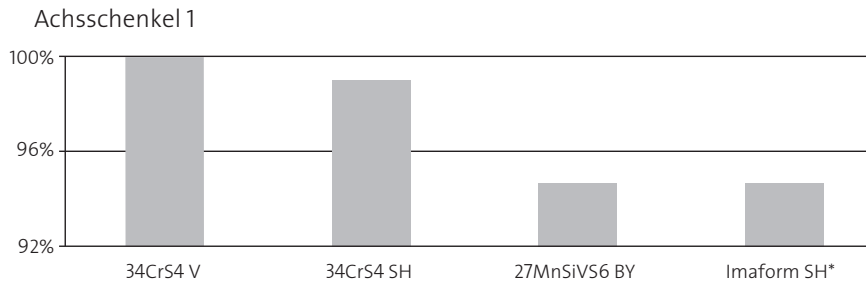
Table 10: Hardness scattering of directly quenched components

Prüfort	Achsschenkel 1 (Imaform)	Achsschenkel 2 (Saaramart)
ABS-Auge	368 HV	-
Spritzblechauflage	395 HV	-
Zinken/Bremsflansch	339 HV	390 HV
Zapfen	278 HV	301 HV
Lenkhebelauge	-	378 HV

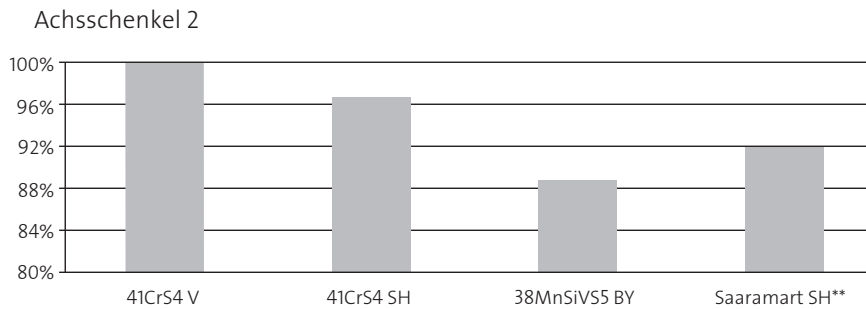
Tabelle 11: Mechanische Eigenschaften von zwei Achsschenkeln mit verschiedenen Werkstoffen (Probenlage Zapfen)

Table 11: Mechanical properties of two spindles with different materials (sample location pivot)

Werkstoff	Achsschenkel 1	Achsschenkel 2
34CrS4, V	R _{p0,2} 718 MPa R _m 865 MPa A ₅ 12,5 % Z 51,0 %	-
41CrS4, V	-	R _{p0,2} 786 MPa R _m 943 MPa A ₅ 15,3 % Z 54,5 %
Imaform, SH	R _{p0,2} 771 MPa R _m 932 MPa A ₅ 10,0 % Z 65,0 %	-
Saaramart, SH	-	R _{p0,2} 719 MPa R _m 905 MPa A ₅ 12,3 % Z 62,0 %
27MnSiVS6, BY	R _{p0,2} 649 MPa R _m 888 MPa A ₅ 18,0 % Z 57,5 %	-
38MnSiVS5, BY	-	R _{p0,2} 604 MPa R _m 866 MPa A ₅ 13,2 % Z 38,7 %



* Imaform SH ≈ 5CrB4



** Saaramart SH ≈ 10MnB6

Bild 8: Kostenvergleich

Fig. 8: Costs comparison

Werkstoff	$R_{p0,2}$ MPa	R_M MPa	A_5 %	Z %
34CrNiMo6	≥ 755	920/1070	≥ 10,0	≥ 40,0
42CrMoS4	≥ 755	920/1070	≥ 10,0	≥ 40,0
≈ 40 MnB5	≥ 755	920/1070	≥ 10,0	≥ 40,0
38MnSiV55	573	887	15,9	40,0
Versuchswerte				

Tabelle 12: Mechanische Eigenschaften an einem Lkw-Achsschenkel, Spezifikationsvorgaben

Table 12: Mechanical properties of a commercial vehicle spindle, specification requirements

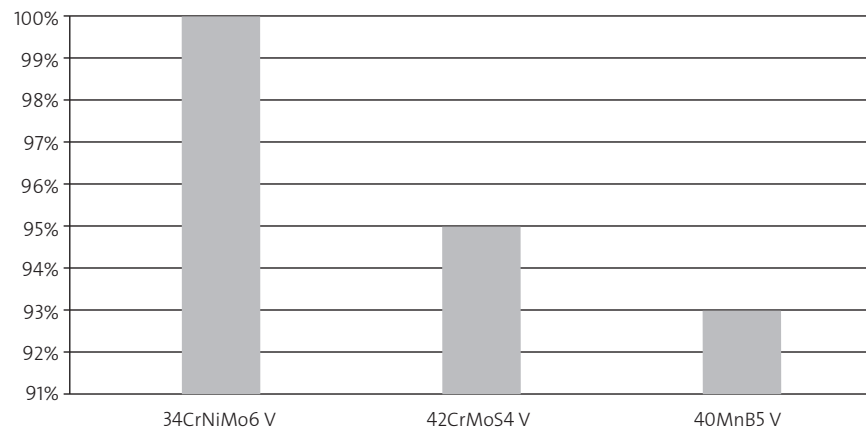


Bild 9: Kostenvergleich für große Achsschenkel bei Verwendung unterschiedlicher Werkstoffe

Fig. 9: Costs comparison for big spindles when using different materials

E-Moduls im Vergleich zum Stahlbauteil nicht nutzen.

Zunächst war die Standard-Knetlegierung AlMgSi1 für dieses Bauteil vorgesehen. Es stellte sich jedoch sehr schnell heraus, daß die Anforderungen an den Querlenker mit der Standardlegierung AlMgSi1 nicht zu erfüllen waren (unter anderem Streckgrenzen von möglichst ≥ 380 MPa bei einer Dehnung von $\geq 10,0$ %). Es wurde deshalb über Möglichkeiten einer Steigerung der mechanischen Eigenschaften dieses Legierungstyps nachgedacht. In Zusammenarbeit mit einem bekannten Aluminiumhersteller wurde dann eine Cu-haltige Variante (AlMnSiCu) entwickelt, welche die geforderten Bedingungen erfüllt. In **Tabelle 14** sind die Richtanalysen der Stahl- sowie Aluminium-Legierungen zusammengestellt. Diese Werte wurden den entsprechenden Bauteilvorschriften beziehungsweise der DIN 1725, Teil 1, entnommen.

Tabelle 15 faßt die mechanischen Eigenschaften zusammen.

Ein Vergleich der mechanischen Eigenschaften zeigt, daß es in diesem Fall möglich war, mit harten Aluminiumschmelzen fast die Streckgrenzen des Kohlenstoffstahles zu erreichen. Für die Festigkeiten gelingt dieses natürlich nicht.

Der beschriebene Querlenker aus Aluminium wird inzwischen in der Serie eingesetzt. Im **Bild 10** sind die Bauteilkosten für Stahl und Aluminium dem Gewicht gegenübergestellt. Deutlich zeigt sich in dieser Darstellung, daß das Stahlteil bei etwa doppeltem Gewicht im Vergleich zum Aluminiumteil zirka 50 % des Aluminiumteiles kostet und umgekehrt das Aluminiumteil im Vergleich zum Stahlteil etwa 50 % wiegt, aber – unabhängig von der Legierung – zirka doppelt so teuer ist.

2.3 Antriebsstrang

2.3.1 Tellerräder

Tellerräder werden nach wie vor je nach Anforderung aus den Werkstoffen 16MnCr5, 20MnCr5, 25MoCr4 oder 17CrNiMo6 produziert. Wegen der aufwendigen Zerspanung wird meistens ein Gefügezustand vorgegeben, der dem Zustand „BG“ entspricht oder nahekommt.

Konventionell wird dieser Zustand durch ein spezielles „BG“-Glühen eingestellt. Eine Einsparungsmöglichkeit ergibt sich, wenn die „BG“-Behandlung direkt aus der

Schmiedeteile

	Stahl	Aluminium
Dichte (kg/dm ³)	7,85	2,7
Spez. Wärmekapazität 25 °C (kJ/K.kg)	0,46	0,91
Wärmeausd. koeffizient 20 - 100 °C (1/K)	11,2 x 10 ⁻⁶	23 x 10 ⁻⁶
Wärmeleitfähigkeit 20 - 100 °C (W/km)	47	195
Elastizitätsmodul MPa	212000	70500

Tabelle 13: Vergleich der physikalischen Eigenschaften

Table 13: Comparison of the physical properties

Tabelle 14: Richtwerte für die Analysen der verwendeten Al- und Fe-Werkstoffe

Table 14: Standard analysis of the use aluminium and steel materials

Werkstoff	C	Si	Mn	Cr	Al	Fe	Cu	Mg
C40	,40	,40	,80	≤ ,25	,035	Rest	-	-
AlMgSi1	-	1,0	≤ ,50	≤ ,30	Rest	≤ ,50	≤ ,30	,55
AlMgSiCu	-	0,90	0,50	0,20	Rest	0,25	0,45	0,80

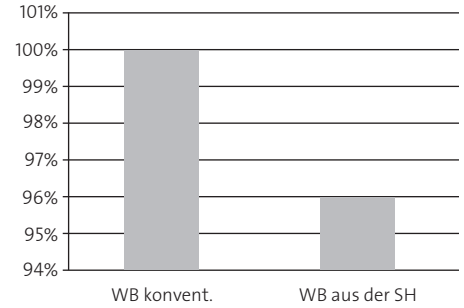


Bild 11: Kostenvorteil durch eine direkt aus der Schmiedehitze durchgeführte Wärmebehandlung für ein spezielles Tellerrad

Fig. 11: Cost advantage caused by a heat treatment directly out of forging heat for a special ring gear

Werkstoffe	R _{p0,2} MPa	R _M MPa	A ₅ %	Z %
C40	≥ 420	620/800	≥ 18,0	≥ 45,0
AlMgSi1	≥ 260	≥ 310	≥ 6,0	-
AlMgSiCu	345/400	370/420	≥ 10,0	-

Tabelle 15: Mechanische Anforderungen für die oben genannten Analysen

Table 15: Mechanical demands for the above mentioned analysis

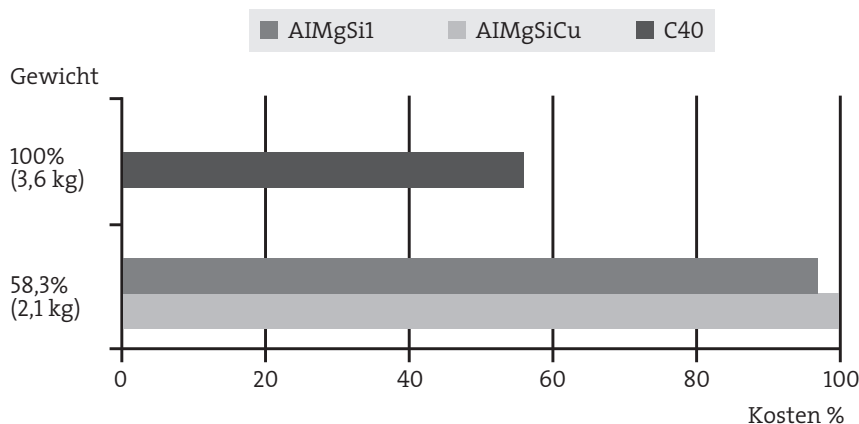


Bild 10: Darstellung der Bauteilkosten in Abhängigkeit vom Gewicht für Stahl und Aluminium

Fig. 10: Production costs for the component in dependence of the weight for steel and aluminium

Schmiedehitze erfolgen kann. Die Machbarkeit in realistischen Zeiten hängt allerdings sehr stark vom verwendeten Werkstoff und seinem jeweiligen Umwandlungsverhalten ab.

Für die höher legierten Stähle 25MoCr4 oder 17CrNiMo6 ergeben sich Vorteile bei der Wärmebehandlung durch ein isothermes Anlassen aus der Schmiedehitze. Bei einer solchen Behandlung entsteht zu etwa 80 % ein angelassener gleichmäßiger Bainit, der sich ohne Probleme zerspannen lassen sollte. Die Bearbeitbarkeit dieser bainitisch/ferritischen Mischgefüge im Vergleich zu einem konventionellen BG-Gefüge

ge wird augenblicklich in einem Forschungsvorhaben näher untersucht. In **Bild 11** ist für ein etwa 4 kg schweres Tellerrad aus dem Werkstoff 16MnCr5 das Einsparungspotential durch die Umstellung von einer konventionellen Wärmebehandlung zur Einstellung eines BG-Gefüges auf eine Umwandlung aus der Schmiedehitze dargestellt.

Die beschriebene Vorgehensweise des Wärmebehandelns direkt aus der Schmiedehitze hat sich bereits in einigen Bereichen durchgesetzt, ist aber noch nicht allgemein eingeführt.

Literaturhinweise

- [1] Huchtemann, B.; Schüler, V.: Thyssen Edelstahl, Technische Berichte, 16. Band 1990, Heft 1, S. 3 – 11
- [2] NN: Produkt Information der Fa. Imatra
- [3] NN: Produkt Information der Fa. Saarstahl
- [4] Huchtemann, B.; Engineer, S.; Schüler, V.: HTM 44 (1989), S. 17-24
- [5] Werkbild Mahle
- [6] NN: Mahle, Kleine Kolbenkunde, 1995
- [7] Doppler, G.: Vortrag anlässlich des Härtereikolloquiums, am 10.10. 1997 in Wiesbaden
- [8] Hertogs, J. AM.; Ravenshorst, H.; Richter, K. E.; Schüler, V.; Wolff, J.: Thyssen Edelstahl, Technische Berichte, 16. Band 1990, Heft 1, S. 12 - 19
- [9] NN: „Pleuel-Bruchtrennen...“, Informationsbroschüre der Fa. Alfiing

Der Verfasser

Dr. rer. nat. Karl-Wilhelm Wegner ist Leiter der Werkstofftechnik bei der Carl Dan. Peddinghaus GmbH & Co. KG in Ennepetal.



You can read the English version of this article in ATZ worldwide.

Subscription Hotline: ++49 / 6 11 / 78 78 151