

(12)

Patentschrift

(21) Anmeldenummer: A 1904/2008

(22) Anmeldetag: 05.12.2008

(45) Veröffentlicht am: 15.09.2010

(51) Int. Cl.⁸: **C22C 38/18**

(2006.01)

(56) Entgegenhaltungen:

JP 2000-326003A EP 0672761A2

AT 411268B JP 2002-294396A

(73) Patentinhaber:

BÖHLER EDELSTAHL GMBH & CO KG

A-8605 KAPFENBERG (AT)

(72) Erfinder:

SILLER INGO DR.

SEMRIACH (AT)

SCHWEIGER HERBERT ING.

WARTBERG I. M. (AT)

CALISKANOGLU DEVRIM DR.

BRUCK/MUR (AT)

ZINNER SILVIA DIPL. ING.

ST. LORENZEN (AT)

(54) STAHLLEGIERUNG FÜR MASCHINENKOMPONENTEN

(57) Die Erfindung bezieht sich auf Maschinenkomponenten oder Bauteile mit einer Festigkeit von größer 2000 [MPa] für wechselnde, mechanische Belastungen bis zu einer Temperatur von 160 °C, gebildet aus einer thermisch vergüteten Stahllegierung.

Um verbesserte Langzeiteigenschaften, insbesondere Ermüdungssicherheit bei hohen Beanspruchungen auf einen höheren E-Modul des Werkstoffes zu erreichen, ist gemäß der Erfindung vorgesehen, dass die Stahllegierung eine chemische Zusammensetzung in Gew.-% von

Kohlenstoff (C) 0.48 bis 0.55

Silicium (Si) 0.18 bis 0.25

Mangan (Mn) 0.35 bis 0.45

Chrom (Cr) 4.40 bis 4.70

Molybdän (Mo) 2.90 bis 3.10

Vanadin (V) 0.72 bis 0.77

Eisen (Fe) und erschmelzungsbedingte Begleitelemente und Verunreinigungen als

Rest

besitzt.

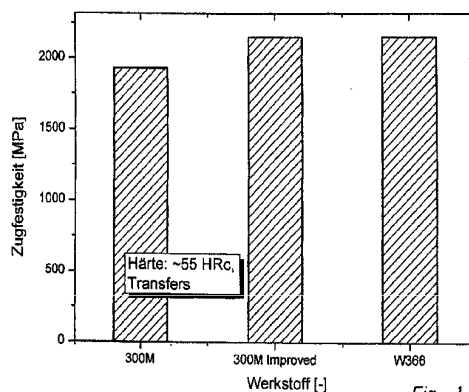


Fig. 1

Beschreibung

[0001] Die Erfindung bezieht sich auf Maschinenkomponenten oder Bauteile mit einer Zugfestigkeit von größer 2000 [MPa] für wechselnde, mechanische Belastungen bis zu einer Temperatur von 160°C, gebildet aus einer thermisch vergüteten Stahllegierung. Insbesondere bezieht sich die Erfindung auf Motor- und/oder Antriebskomponenten von Fahrzeugen.

[0002] Maschinenkomponenten mit wechselnder, mechanischer Beanspruchung werden in der modernen Technik in zunehmendem Maße höher, bis an die Grenzen des jeweiligen Materialwiderstandes, belastet. Insbesondere trifft dies für Komponenten in Fahrzeugen zu, weil die dadurch erreichten Gewichtsverminderungen auch für Einsparungen von Treibstoffen und dgl. nutzbar sind.

[0003] Von den Werkstoffen, aus welchen die Komponenten gebildet sind, werden im thermisch vergüteten Zustand hohe Werte für das Eigenschaftsprofil Zähigkeit, Festigkeit und Duktilität verlangt, weil diese Eigenschaftswerte für eine dimensionale Auslegung der Teile von entscheidender Bedeutung sind.

[0004] Begründet durch Versagen von Teilen im Langzeitbetrieb sind, wie evident wurde, auch die Eigenschaften der Materialermüdung zu berücksichtigen, um eine hohe Betriebssicherheit zu erreichen.

[0005] Für Teile mit bedeutender, mechanischer Wechselbelastung im Bahn-, Automobil- und Luftfahrtbereich werden derzeit nach dem Stand der Technik zumeist legierte, gegebenenfalls niedrig legierte Vergütungsstähle verwendet. Ein bevorzugter Vertreter dieser Stähle ist die Legierung gemäß DIN der Werkstoff Nr. 1.6928. Dieser eher niedrig legierte Werkstoff enthält 1.40 bis 1.90 Gew.-% Silicium, um eine hohe Zeitstandfestigkeit weitgehend sicherzustellen. Es wurde auch mit Vorteil versucht, den Siliciumgehalt dieser Legierung auf bis zu 3.0 Gew.-% zu erhöhen, um beste Ermüdungseigenschaften des Werkstoffes bei Beanspruchung der Teile zu erzielen.

[0006] Eine Verwendung von Stahllegierungen mit einer Zusammensetzung entsprechend jener von Vergütungsstählen der vorher genannten Art hat sich für eine Herstellung von hochbeanspruchten Maschinenkomponenten gemäß dem Stand der Technik durchaus bewährt, allerdings sind deren Ermüdungseigenschaften oft nicht ausreichend für eine mechanische Wechselbelastung im Grenzwertbereich eingesetzten Werkstoffes.

[0007] Es ist nun Ziel der Erfindung, Maschinenkomponenten oder Bauteile mit einer Zugfestigkeit von größer 2000 [MPa] anzugeben, welche im thermisch vergüteten Zustand wechselnden, mechanischen Belastungen bis zu einer Temperatur von 160°C ausgesetzt sind und wesentlich verbesserte Langzeiteigenschaften und einen hohen E-Modul aufweisen.

[0008] Dieses Ziel wird mit einer thermisch vergüteten Stahllegierung für Maschinenkomponenten und/oder Bauteile der eingangs genannten Art erreicht, welche eine chemische Zusammensetzung in Gew.-% von

[0009] Kohlenstoff (C)	0.48 bis 0.55
[0010] Silicium (Si)	0.18 bis 0.25
[0011] Mangan (Mn)	0.35 bis 0.45
[0012] Chrom (Cr)	4.40 bis 4.70
[0013] Molybdän (Mo)	2.90 bis 3.10
[0014] Vanadin (V)	0.72 bis 0.77

[0015] Eisen (Fe) und verschmelzungsbedingte Begleitelemente und Verunreinigungen als Rest besitzt.

[0016] Die mit der Verwendung eines erfindungsgemäßen Werkstoffes erreichten Vorteile sind

im Wesentlichen darin zu sehen, dass die Maschinenkomponenten der genannten Art bei gleichen oder verbesserten, mechanischen Festigkeitseigenschaften eine wesentlich höhere Ermüdungssicherheit bei hohen Belastungen aufweisen. Weiters hat der Werkstoff bzw. das Bauteil nach der Erfindung einen wesentlich höheren E-Modul, was bei gleicher spezifischer, mechanischer Beanspruchung zu geringeren Dehnwerten im elastischen Bereich und somit zu höherer Lebensdauer der Teile führt.

[0017] Begleit- und Verunreinigungselemente stellen gegebenenfalls die Ursache für verminderte Langzeiteigenschaften dar, weil diese Elemente an den Korngrenzen des Gefüges angereichert vorliegen oder Verbindungen bilden können. Es wurde gefunden, dass die Werkstoffeigenschaften bei Langzeit-Wechselbelastung nur geringfügig beeinträchtigt sind, wenn die höchsten Gehalte eines oder mehrerer der folgenden Begleit- oder Verunreinigungselemente in Gew.-%

[0018] Phosphor (P)	0.005
[0019] Schwefel (S)	0.001
[0020] Nickel (Ni)	0.1
[0021] Kupfer (Cu)	0.1
[0022] Cobalt (Co)	0.1
[0023] Titan (Ti)	0.005
[0024] Aluminium (Al)	0.01
[0025] Stickstoff (N)	0.003
[0026] Sauerstoff (O)	0.002
[0027] Calcium (Ca)	0.001
[0028] Magnesium (Mg)	0.001
[0029] Zinn (Sn)	0.005 betragen.

[0030] Mit Vorteil ist bei einer vorgenannten, chemischen Zusammensetzung durch thermisches Vergüten eine homogene Verteilung und eine frei von Spitzenwerten gebildete Härte von größer 54 HRC, insbesondere von größer 55 HRC, einstellbar, welche die Ermüdungssicherheit steigert.

[0031] Von besonderer Bedeutung ist der Reinheitsgrad der Stahllegierung im Hinblick auf eine Rissinitiation. Es wurde gefunden, dass in einem auf hohe Festigkeitswerte thermisch vergüteten Werkstoff auch kleine, nichtmetallische Einschlüsse, auch mit etwas gerundeten Kantenformen, sich höchst negativ auf die Ermüdungssicherheit, bei wechselnder, mechanischer Belastung auswirken. Dieser Gegebenheit muss auch schmelztechnisch Rechnung getragen werden, wobei nach einer reaktionskinetischen Flüssigstahlbehandlung in der Regel noch ein zweimaliges Vakuum-Lichtbogen-Umschmelzen der Stahllegierung vorzusehen ist, um einen Reinheitsgrad der erfindungsgemäßen Stahllegierung von kleiner/gleich D/0.5/DÜNN 1 (A-, B-, C-Typ Einschlüsse nicht vorhanden) nach ASTM E 45 einzustellen (Messfläche 160mm²).

[0032] Wenn die Maschinenkomponenten bzw. das Bauteil einen Elastizitätsmodul des Werkstoffes von größer 200 000 MPa besitzen (besitzt), weisen diese bzw. weist dieses im elastischen Bereich der mechanischen Spannungen bei wechselnder Belastung geringere Dehn- und Stauchwerte auf, wodurch eine höhere Lebensdauer erreicht wird bzw. bessere Ermüdungswerte gegeben sind.

[0033] Besonders bewährt, hinsichtlich des gesamten Eigenschaftsprofils, hat sich die vergütete Stahllegierung bzw. der Werkstoff als Maschinenkomponente im Fahrzeugbau und zwar insbesondere als Motor- und/oder Antriebs- und/oder Federteil.

[0034] Im Folgenden wird die Erfindung anhand von Untersuchungsergebnissen sowie verglei-

chenden Diagrammen näher dargelegt.

[0035] Es zeigen:

[0036] Fig. 1 Zugfestigkeit

[0037] Fig. 2 Fließgrenze

[0038] Fig. 3 Bruchdehnung und Einschnürung

[0039] Fig. 4 E-Modul

[0040] Fig. 5 Bruchlastspielzahl

[0041] Fig. 6 Erprobungsanordnung

[0042] von Vergleichswerkstoffen und erfindungsgemäßen Maschinenkomponenten.

[0043] Stahllegierungen, enthaltend im Wesentlichen die Elemente in Gew.-% Kohlenstoff 0.49 bis 0.53, Silicium 0.20 bis 0.23, Mangan 0.36 bis 0.42, Chrom 4.50 bis 4.60, Molybdän 2.80 bis 3.00, Vanadin 0.70 bis 0.85, Rest Eisen und Verunreinigungen, wurden aufgrund von Ergebnissen aus Vorversuchen als Werkstoffe mit einem erfindungsgemäßen Eigenschaftspotential ermittelt und mit höchstmöglichem Reinheitsgrad hergestellt.

[0044] Derartig chemisch zusammengesetzte Werkstoffe sind, wie dem Fachmann geläufig ist, Warmarbeitsstähle für Verwendungstemperaturen bis 500°C. Überraschend war gefunden worden, dass diese Legierungen im thermisch vergüteten Zustand für Maschinenkomponenten oder Bauteile mit wechselnder, mechanischer Beanspruchung bei niedrigen Temperaturen vorteilhaft anwendbar sind, wenn eine chemische Zusammensetzung in engen Grenzen der Legierungselemente gemäß der Erfindung gegeben ist.

[0045] Von erfindungsgemäßen Stahllegierungen mit hohem Reinheitsgrad, die mit W366 gekennzeichnet sind, waren verformte und thermisch vergütete Proben gefertigt worden, welche in Untersuchungen zur Ermittlung der Werkstoffkennwerte geprüft wurden.

[0046] Vergleichend mit dem erfindungsgemäßen Material erfolgte eine Feststellung der Werkstoffkennwerte von gleich behandelten Werkstoffen, die gemäß dem Stand der Technik bislang für Maschinenkomponenten der genannten Art Verwendung fanden und gemäß einer US-Norm mit einer Bezeichnung 300 M, entsprechend DIN Werkstoff Nr. 1.6928, sowie 300 M „improved“ mit höherem Si-Gehalt in den Gegenüberstellungen gekennzeichnet sind.

[0047] In Fig. 1 ist vergleichend die Zugfestigkeit mit den höchsten Werten für den erfindungsgemäß vorgeschlagenen Werkstoff wiedergegeben.

[0048] Fig. 2 zeigt in einem, wie in Fig. 1 veranschaulicht, gleichen Balkendiagramm die 0.2%-Dehngrenze der Werkstoffe, wobei die Werte der Proben aus Bauteilen mit einer Zusammensetzung W366 auf höchstem Niveau liegen.

[0049] Fig. 3 vermittelt, dass sowohl die Werte für die Bruchdehnung als auch jene für die Brucheinschnürung des Werkstoffes W366 im Vergleich mit 300 M und 300 M „improved“ wesentlich höher sind, was wesentliche Vorteile für dessen Verwendung für Maschinenkomponenten mit wechselnder, mechanischer Beanspruchung offenbart.

[0050] Auch der Elastizitätsmodul von Werkstoff W366 ist, wie aus Fig. 4 ersichtlich, im Vergleich mit den Materialien gemäß dem Stand der Technik höher, sodass im schweren Einsatz geringere, elastische Verformungen bei einer mechanischen Belastung des Materials gegeben sind, wodurch ein Ermüdungsversagen eines Teiles aus W366 wesentlich vermindert ist.

[0051] Fig. 5 zeigt das Ermüdungsverhalten der thermisch vergüteten Proben aus den untersuchten Legierungen im Vergleich.

ZUM ERMÜDUNGSVERHALTEN

[0052] Bei zyklisch wiederholter Beanspruchung kommt es in einem Werkstoff zum subkriti-

schen Risswachstum. Ursache sind mikroplastische Verformungen, die sich im Laufe der Wechselbeanspruchung zu einer relativ hohen Gesamtverformung summieren. Diese Form der Werkstoffschädigung wird als Ermüdung bezeichnet. Auch zyklische, mechanische Spannungen, die weit unter der Dehngrenze liegen, können zu Rissbildung und Risswachstum oder sogar zum Bruch des Werkstoffes führen. Die Dauerschwingfestigkeit (Dauerfestigkeit) ist der Grenzwert der Beanspruchung, bei dem auch nach unendlich vielen Schwingspielen (Lastwechsel) kein Bruch mehr auftritt. Für die Bestimmung der Dauerfestigkeit muss der Wöhlerversuch bis zum Erreichen einer Grenzschnitzspielzahl N_G durchgeführt werden.

[0053] Bei den Werkzeugstählen können Brüche bis 10^7 Lastwechsel auftreten. Bei dieser Untersuchung wurde jedoch eine Grenzschnitzspielzahl von 2×10^6 Lastwechsel gewählt.

[0054] Die Ermüdungsversuche wurden an einer Resonanzprüfmaschine des Typs „TESTRONIC“ mittels Vierpunkt-Biegeanordnung durchgeführt. Diese auch so genannte Dauerschwingprüfmaschine ist eine dynamische Prüfmaschine, die bei Vollresonanz arbeitet.

[0055] In Fig. 6 ist die Vierpunkt-Biegeanordnung schematisch dargestellt. Die Belastung der Proben erfolgte über Rollen mit einem Durchmesser von 5mm. Der Abstand der Rollen zueinander betrug im oberen Bereich 15mm und im unteren 30mm. Für diese Prüfung wurden Vierkantproben mit folgenden Abmessungen verwendet: Höhe $h = 5\text{mm}$; Breite $b = 7\text{mm}$; Länge $l = 55\text{mm}$.

[0056] Die Randfaserspannung σ_b wurde bei der Annahme einer linear elastischen Spannungsverteilung entsprechend der Gleichung bestimmt.

$$\sigma_b = \frac{M_b}{W_b} = \frac{3 \times F \times x'}{b \times h^2}$$

[0057] Dabei ist $M_b = x' \times F/2$ das Biegemoment und $W_b = b \times h^2/6$ das Widerstandsmoment der Probe. F ist die Kraft, die auf die Rollen wirkt und x' ($= 7.5\text{mm}$) ist der Hebelarm, der zusammen mit der zeitabhängigen Belastung F das Biegemoment bildet.

[0058] Aus Fig. 5 sind deutlich die Vorteile bezüglich eines verbesserten Ermüdungsverhaltens von Maschinenkomponenten oder Bauteilen gemäß der Erfindung ersichtlich, wobei der Wertebereich „Durchlaufniveau“ diejenige Spannungsamplitude kennzeichnet, bis zu welcher bei unendlichem Lastspiel kein Bruch der Probe eintritt.

[0059] Um die Wirkung von Begleit- und Verunreinigungselementen auf das Eigenschaftsprofil festzustellen, wurde mit diesen Elementen mit unterschiedlichen Konzentrationen die erfindungsgemäße Stahllegierung dotiert und vergütete Proben aus dieser untersucht. Nachfolgend sind die Ergebnisse der Erprobungen und die daraus resultierenden Grenzwerte angegeben.

[0060] Die Verunreinigungselemente Phosphor und Schwefel führen bei Festigkeitswerten des Werkstoffes von über 53 HRC zu spröden Ausscheidungen, wobei ein signifikanter Anstieg der Versprödung ab 0.005 Gew.-% P und 0.001 Gew.-% S festzustellen war.

[0061] Calcium, Magnesium, Aluminium sind Desoxidierungselemente und bilden mit Sauerstoff oxidische Einschlüsse, die aufgrund der scharfkantigen Ausformung und bei verformten Werkstoffen der zellenförmigen Anordnung wegen Nachteile bezüglich der Ermüdungssicherheit des Werkstoffes bewirken, welche auch gegebenenfalls von der Verformungsrichtung abhängt. Trotz mehrmaligem Vakuum-Lichtbogen-Umschmelzen ergaben die Materialuntersuchungen obere Grenzwerte, die bei den erfindungsgemäßen Werkstoffen nicht überschritten werden sollen. Diese Grenzwerte sind 0.01 Gew.-% Al, 0.001 Gew.-% Ca, 0.001 Gew.-% Mg und 0.002 Gew.-% O.

[0062] Stickstoff kann, insbesondere mit Legierungselementen sowie Titan und Sauerstoff, scharfkantige Nitride bilden, welche durch eine erhöhte Festigkeit Spannungsspitzen im Mikrobereich und derart eine Rissinitiation bewirken. Die gefundenen oberen Grenzwerte der Gehalte liegen bei 0.003 Gew.-% N und 0.005 Gew.-% Ti.

[0063] Nickel, Kupfer und Cobalt in geringen Konzentrationen stellen Einlagerungselemente in die Kristallformation der Legierung dar, sollten jedoch wegen einer nachteiligen Wirkung von Gitterstörungen auf die Langzeiteigenschaften des Werkstoffes Gehalte von jeweils 0.1 Gew.-% nicht überschreiten.

[0064] Zinn ist aufgrund der äußerst geringen Löslichkeit in Eisenbasiswerkstoffen als ein die Korngrenzen belegende Element zu sehen und wirkt ab einer Konzentration von 0.005 Gew.-% äußerst negativ auf die Ermüdungs- und insbesondere Zähigkeitseigenschaften eines Bauteils mit wechselnder, mechanischer Beanspruchung.

Patentansprüche

1. Maschinenkomponenten oder Bauteile mit einer Zugfestigkeit von größer 2000 [MPa] für wechselnde, mechanische Belastungen bis zu einer Temperatur von höchstens 160°C, gebildet aus einer thermisch vergüteten Stahllegierung, enthaltend in Gew.-%

Kohlenstoff (C)	0.48	bis	0.55
Silicium (Si)	0.18	bis	0.25
Mangan (Mn)	0.35	bis	0.45
Chrom (Cr)	4.40	bis	4.70
Molybdän (Mo)	2.90	bis	3.10
Vanadin (V)	0.72	bis	0.77

 Eisen (Fe) und verschmelzungsbedingte Begleitelemente und Verunreinigungen als Rest.
2. Maschinenkomponenten nach Anspruch 1, mit höchsten Gehalten eines oder mehrerer der folgenden Begleit- oder Verunreinigungselemente in Gew.-%

Phosphor (P)	0.005
Schwefel (S)	0.001
Nickel (Ni)	0.1
Kupfer (Cu)	0.1
Cobalt (Co)	0.1
Titan (Ti)	0.005
Aluminium (Al)	0.01
Stickstoff (N)	0.003
Sauerstoff (O)	0.002
Calcium (Ca)	0.001
Magnesium (Mg)	0.001
Zinn (Sn)	0.005
3. Maschinenkomponenten nach Anspruch 1 oder 2 mit einer durch thermische Vergütung erstellten Härte von größer 54 [HRC], insbesondere von größer 55 [HRC].
4. Maschinenkomponenten nach einem der Ansprüche 1 bis 3 mit einem Reinheitsgrad der Stahllegierung.
5. Maschinenkomponenten nach einem der Ansprüche 1 bis 4 mit einem Elastizitätsmodul des Werkstoffes von $E =$ größer 200 000 MPa, insbesondere von größer 205 000 MPa.
6. Verwendung von Maschinenkomponenten, gebildet aus einer thermisch vergüteten Stahllegierung nach einem der Ansprüche 1 bis 5, im Fahrzeugbau, insbesondere als Motor- und/oder Antriebs- und/oder Federteil.

Hierzu 3 Blatt Zeichnungen

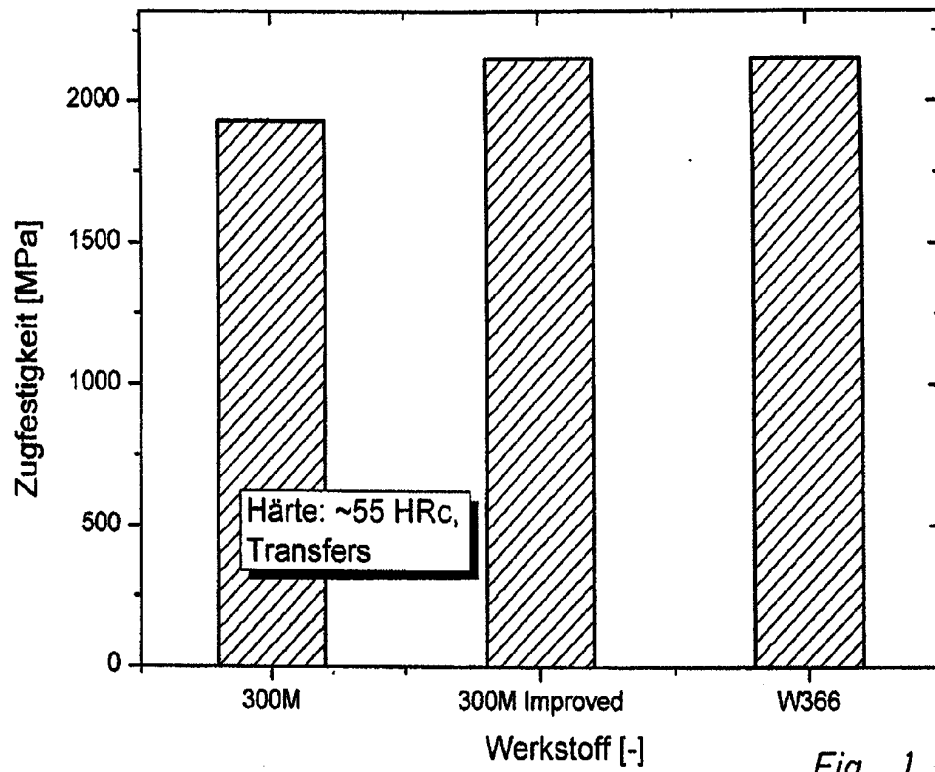


Fig. 1

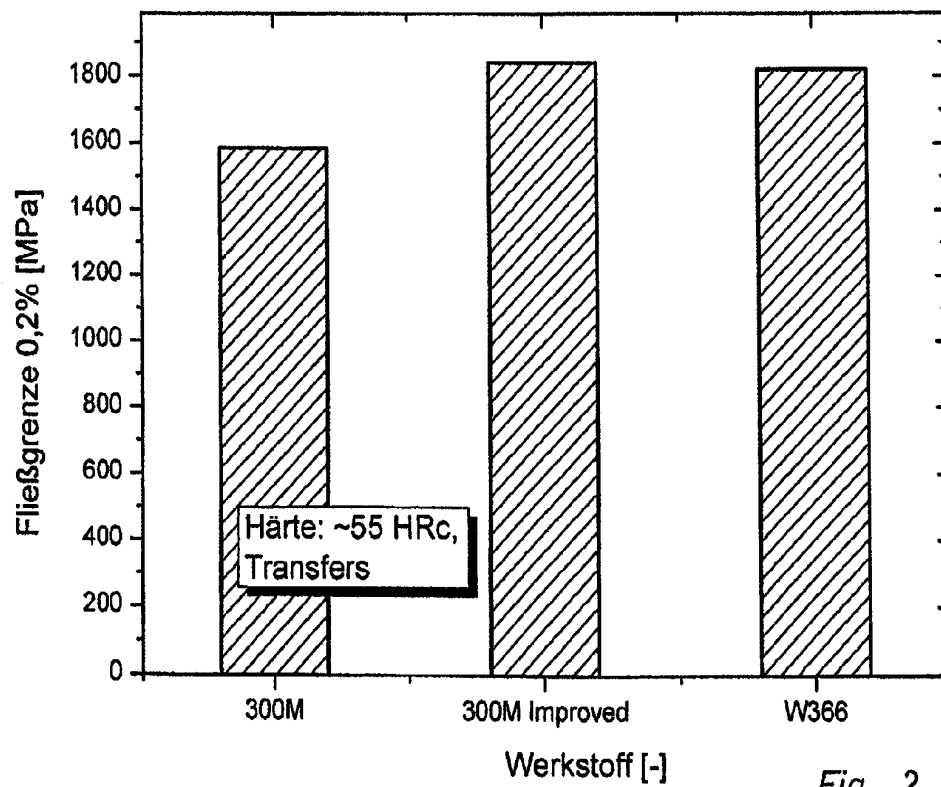


Fig. 2

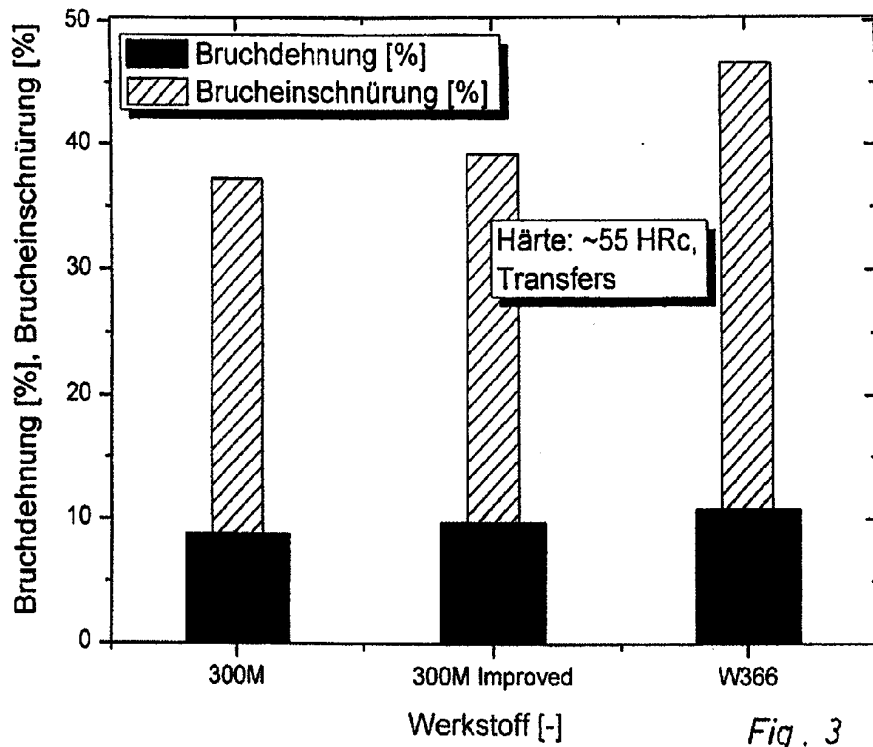


Fig. 3

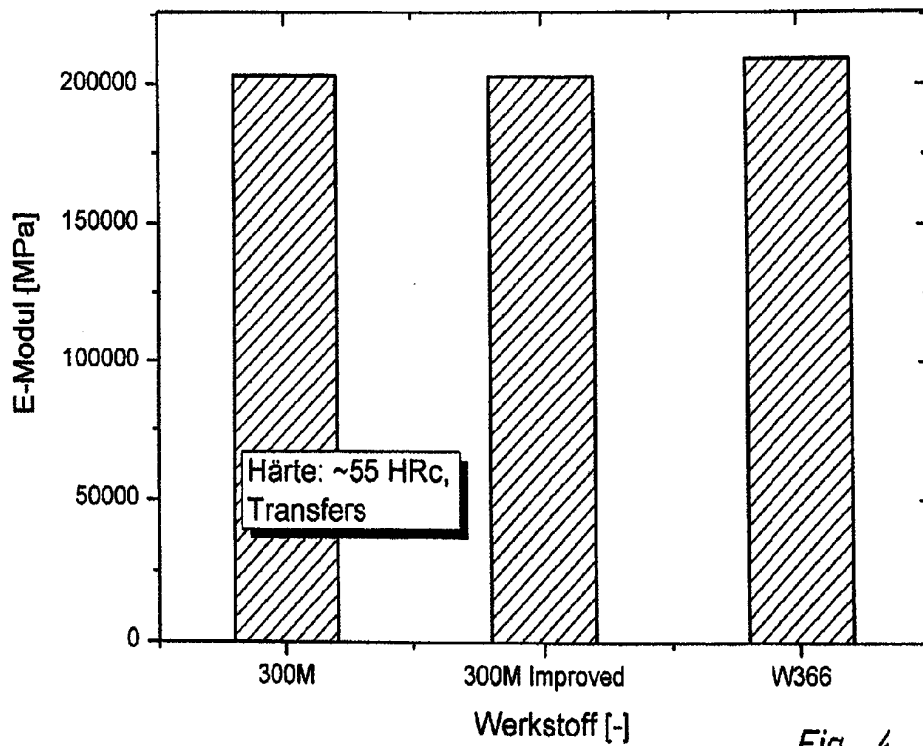


Fig. 4

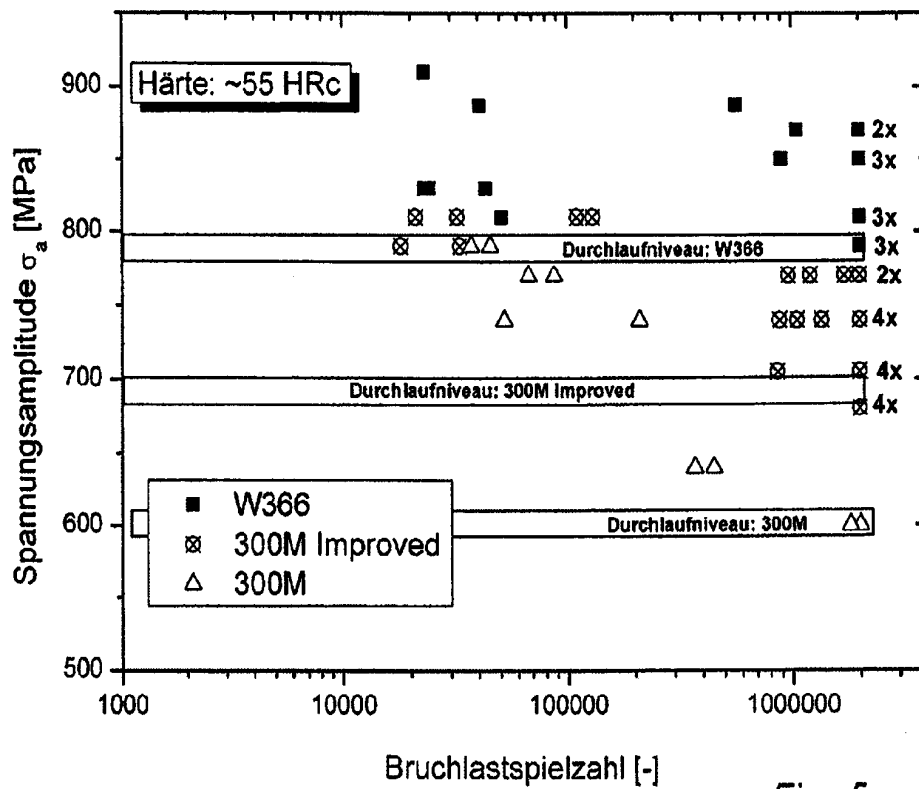


Fig. 5

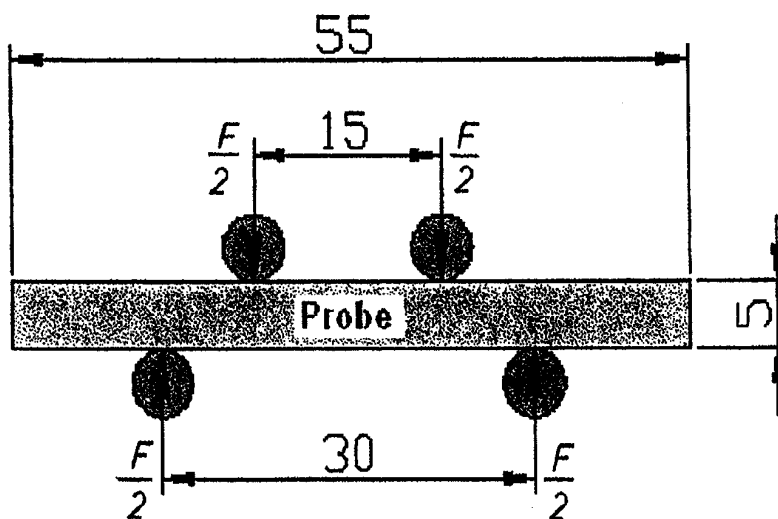


Fig. 6