



(10) **DE 10 2013 107 347 A1** 2015.01.15

(12) **Offenlegungsschrift**

(21) Aktenzeichen: **10 2013 107 347.6**

(22) Anmeldetag: **11.07.2013**

(43) Offenlegungstag: **15.01.2015**

(51) Int Cl.: **F16B 2/06 (2006.01)**

(71) Anmelder:
**AHC-Oberflächentechnik GmbH, 50171 Kerpen,
DE; Hugo Benzing GmbH & Co. KG, 70825
Korntal-Münchingen, DE**

(74) Vertreter:
Moser & Götze Patentanwälte, 45127 Essen, DE

(72) Erfinder:
**Sauer, Hartmut, Dr., 85656 Buch, DE; Benzing,
Christian, Dipl.-Kfm., 70192 Stuttgart, DE**

(56) Ermittelte Stand der Technik:

DE	000002364275	A1
DE	31 49 596	A1
DE	32 37 096	A1
DE	10 2009 023 402	A1
DE	94 02 867	U1
CH	192 197	A
US	3 692 341	A

US	3 828 515	A
US	4 154 276	A
US	4 525 098	A
EP	0 961 038	A1
EP	1 564 418	A1
EP	1 564 481	A1
WO	2004/ 091 906	A2
WO	2004/ 092 256	A1
WO	2004/ 092 436	A2
WO	2004/ 092 444	A2
WO	2004/ 092 445	A1
JP	H06- 147 206	A

**LEIDICH, Erhard [u.a.]: Reibungserhöhende
Oberflächenschichten für Torsionsbelastungen.
In: Antriebstechnik, Bd. 40, 2001, H. 10, S. 53-57. -
ISSN 0722-8546**

**Peeken, H. ; LUKSCHANDEL, J. ; PAULICK,
G.: Oberflächenschichten für kraftschlüssige
Momentübertragung. In: Antriebstechnik, Bd. 20,
1981, H. 1-2, S. 38-43. - ISSN 0722-8546**

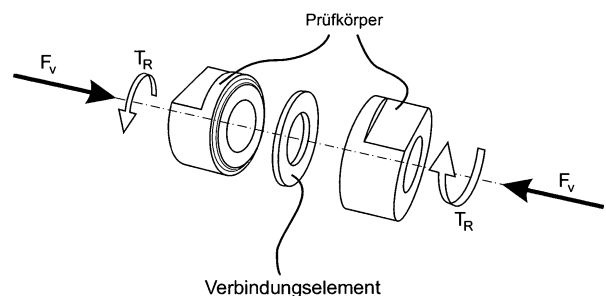
Prüfungsantrag gemäß § 44 PatG ist gestellt.

Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen

(54) Bezeichnung: **Konstruktionselement**

(57) Zusammenfassung: Konstruktionselement zur reibungserhöhenden spielfreien reversiblen Verbindung von zu fügenden Werkstücken, bestehend aus einem Substrat, das an seiner Oberfläche Hartstoffpartikel definierter Größe aufweist, wobei die Hartstoffpartikel mittels einer metallischen Bindephase aus einer chemisch abgeschiedenen Nickel/Phosphorlegierung auf dem Substrat fixiert sind, und wobei das Substrat eine Eigenfestigkeit aufweist, die geringer ist, als die der zu fügenden Werkstücke aufweist sowie dessen Verwendung.

Prinzip der Lastenteilung beim Torsionsversuch



Beschreibung

[0001] Die vorliegende Erfindung betrifft ein Konstruktionselement zur reibungserhöhenden spielfreien reversiblen Verbindung von zu fügenden Werkstücken sowie dessen Verwendung.

[0002] Die heutigen Anforderungen auf dem Gebiet des Maschinenbaus führen dazu, dass die Konstruktionselemente aus Gründen der Wirtschaftlichkeit und Weiterentwicklung immer höhere Kräfte auf möglichst kleinem Bauraum übertragen müssen.

[0003] Vor diesem Hintergrund gibt es ein ständiges Bestreben in Forschung und Industrie, die Grenzen der Übertragungsfähigkeit von kraftschlüssigen Verbindungen zwischen den Fügepartnern, bestimmt durch die Gültigkeit des Coulombschen Reibungsgesetzes, durch den Einsatz reibungserhöhender Beschichtungen in neue Größenordnungen zu verschieben.

[0004] Die ersten Überlegungen im Hinblick auf reibungserhöhende Beschichtungen gehen zurück auf die Frühzeiten des Maschinenbaus. So wurde schon 1860 empfohlen, Sand in den Fügespalt von Schrumpfverbindungen zu streuen, um den Sitz von Zahnrädern und Wellen zu verbessern.

[0005] Dieses Verfahren ist insbesondere angesichts der gesteigerten Anforderungen in Bezug auf Toleranzen und Reproduzierbarkeit von Serienbauteilen auf den heutigen Maschinenbau nicht mehr anwendbar.

[0006] Ein weiteres Prinzip zur Erhöhung der Übertragungsfähigkeit kraftschlüssiger Verbindungen geht davon aus, dass einer der beiden zu verbindenden Fügepartner zur Erhöhung der Haftreibung direkt mit einer reibungserhöhenden Schicht belegt wird.

[0007] So ist zum Beispiel aus der DE 23 64 275 bekannt, auf eine der zwei zusammenwirkenden Flächen eine Hartstoffkörper enthaltende Schicht durch Aufdampfen, Aufspritzen, Aufsintern oder Diffusion eines Fremdstoffs in die Bauteiloberfläche aufzubringen. In der Veröffentlichung „Oberflächenschichten für kraftschlüssige Momentübertragung“ von H. Peeken, J. Lukschandel et al. in Antriebstechnik (20), 1981, wird auf galvanotechnischem Wege durch gemeinsame Abscheidung feiner Hartstoffkörner mit einer metallischen Bindephase auf Nickel/Phosphor-Basis eine reibungserhöhende Beschichtung erzielt. Die Haftreibung einer Welle-Nabe-Schrumpfverbindung wird dadurch mehr als verdoppelt. Diese Schichten ermöglichen bei Umlaufbiegebelastung sogar noch bessere Haftbeiwerte als bei rein statischer Beanspruchung.

[0008] Diese Verfahren, nur eine der zu fügenden Fläche mit einer reibungserhöhenden Beschichtung zu versehen, haben den Nachteil, dass die reibungserhöhende Beschichtung aus Verfahrensgründen nicht auf beide Fügepartner aufgebracht werden kann.

[0009] Weitere Nachteile dieser Verfahren sind in deren technischer Machbarkeit zu sehen, denn große komplexe Baugruppen oder Teile, die an großen Elementen angeordnet sind, lassen sich nicht so selektiv veredeln, wie es aus fügetechnischer Sicht geboten ist.

[0010] Um dieses Problem zu umgehen, wurden die zu fügenden Werkstücke über ein im Fügespalt befindliches Konstruktionselement kraftschlüssig verbunden, das aus einem Trägermaterial und darauf mittels verschiedener Verfahren aufgetragenen Hartstoffpartikeln besteht.

[0011] So ist aus dem Patent CH-PS 192 197 bekannt, Papier oder Leinen als flexibles Trägermaterial für eine beidseitig aufgetragene, Hartstoffpartikel enthaltende Schicht zu verwenden.

[0012] Als Wirkmechanismus für die Erhöhung der Haftung wird ein mechanisches Übereinanderschieben keilförmiger Hartstoffpartikel durch Relativbewegung der zu verbindenden Bauteile beschrieben.

[0013] Auch die JP 6-147206 offenbart Papier oder Leinen als flexibles Trägermaterial für Hartstoffkörner.

[0014] Die in den Schriften genannten Konstruktionselemente sind nicht in der Lage, hohe Querkräfte zu übertragen. Sie sind damit für viele Anwendungen ungeeignet.

[0015] Ferner ist in der US-A-4 525 098, US-A-4 154 276, US-A-3 828 515 oder US-A-3 692 341 beschrieben, ein leicht verformbares Material geringer Eigenfestigkeit mit darauf aufgetragenen Hartstoffkörnern im Fügespalt kraftschlüssiger Verbindungen zu positionieren. Beim Fügen bzw. Verpressen der Bauteile dringen die

Hartstoffpartikel in beide Oberflächen ein und übertragen die auftretenden Querkräfte direkt, ohne dass der Trägerfilm an dieser Kraft-übertragung beteiligt ist.

[0016] Derartige Verbindungen haben zwar den Vorteil, fallweise wieder lösbar zu sein, jedoch bleiben die in die Fügeflächen eingedrungenen Partikel unkontrollierbar in einer der Oberflächen der Fügepartner stecken. Die reproduzierbare Wiederverwendung der einmal gelösten Verbindung ist dadurch nicht möglich.

[0017] Eine weitere Möglichkeit ist in der DE 31 49 596 A1 offenbart, bei der eine Verbindung mit Hilfe grober Hartstoffkörper hergestellt wird. Es ist die Verwendung einer elastischen Trägerfolie aus einem verformbaren Material beschrieben, die selbst nicht an der Kraftübertragung teilnimmt.

[0018] Nachteiligerweise ist diese Verbindung unlösbar und ermöglicht somit keine reversible Verbindung der zu fügenden Werkstücke.

[0019] Lösbare Verbindungen unter Verwendung von Hartstoffpartikeln zur Erhöhung von Kraftübertragungen bzw. zur Erhöhung des Reibwerts zwischen zwei Wellen unter Verwendung eines integralen Bauteils sind aus der DE 32 37 096 A1 vorbekannt. Dort werden zwei Wellen verbunden, zwischen denen eine Scheibe angeordnet ist, wobei die beiden Wellen durch den Druck einer Spannschraube drehfest mit einander verbunden sind. Die das integrale Konstruktionselement bildende Scheibe weist an Ihrer Substratoberfläche sogenannte Schmirgelschichten auf, die mittels einer Nickelschicht befestigt sind. Die in dieser Nickelschicht eingelagerten Hartstoffpartikel dringen durch den Druck der Schraube in die Oberflächen der Wellen ein und bilden somit eine drehfeste Verbindung zwischen diesen Teilen.

[0020] Das Prinzip der Erhöhung des Reibwerts über den sogenannten „Mikroformschluss“ ist ausführlich in der DE 94 02 867 U1 offenbart. Dort offenbart ist ein Halteelement für Werkzeuge, Werkstücke oder Maschinenelemente etc., mit dem auch bei geringen Anpresskräften ausserordentlich große Haltekräfte und -momente übertragen werden können und mit dem eine besonders steife, lösbare Verbindung zwischen Teilen in jeder beliebigen Lage der Teile zueinander erreicht wird.

[0021] Dazu weist die Andruckfläche einen Haftbelag aus Diamantkörnern auf, die aus einer Bindemetallschicht aus einer galvanisch aufgetragenen Nickelbeschichtung am Halteelement herausragen. Die Diamantkörner verformen beim Anpressen der Andruckfläche gegen die Gegenfläche diese nur im elastischen Bereich. Durch diese Mikroverformung in der Gegenfläche ist der Reibbeiwert zwischen dieser und der Andruckfläche ausserordentlich hoch, denn durch die in die Mikroverformungen hineinragenden Kornspitzen entsteht zwischen der Andruckfläche und der Gegenfläche eine Art formschlüssige Verbindung mit geometrisch unbestimmten Elementen.

[0022] In jüngster Zeit hat die Entwicklung in Richtung der maximalen Leistungsdichte von Maschinenbauteilen insbesondere in der Automobilindustrie dazu geführt, dass auch bei kritischen Teilen auf dem Gebiet der Motorenentwicklung, beispielsweise bei stark torsionsbelasteten Verbindungen zwischen Kurbelwelle und Schwingungsdämpfer samt Synchronisationsscheibe, die Leistungssteigerungen der Motoren von bis zu 30% nur mit solchen kraftschlüssigen Fügeverbindungen unter Verwendung von mit Hartstoffen beschichteten Konstruktionselemente erzielt werden konnten.

[0023] Ein für diesen Verwendungszweck speziell entwickeltes Konstruktionselement ist in der EP 0 961 038 B1 beschrieben. Es besteht aus einer federelastischen Folie aus metallischem Material, wobei die federelastische Folie an ihrer Oberfläche Hartstoffpartikel definierter Größe aufweist, die mittels einer Nickel/Phosphor-Schicht fixiert sind.

[0024] Die auf diesem Konstruktionselement aufgebrauchte, reibungserhöhende Diamantbeschichtung wird unter der Bezeichnung EKAGRIP® vertrieben.

[0025] Des Weiteren wird in der EP 0 961 038 B1 ein Formkörper beansprucht, umfassend 2 Werkstücke sowie das zuvor genannte Konstruktionselement, wobei die Eigenfestigkeit der federelastischen Folie mindestens so hoch ist wie die Eigenfestigkeit der zu fügenden Werkstücke; die Hartstoffpartikel aus einem Material mit einer Druck- und Scherfestigkeit bestehen, welche jene der zu fügenden Werkstücke übertrifft; und die Partikel in einer Bindephase mit einer Festigkeit eingebettet sind, die jener der zu fügenden Flächen der Werkstücke zumindest entspricht.

[0026] Die wesentlichen Nachteile der in der EP 0 961 038 B1 offenbarten Konstruktionselemente sind in dem Artikel „Reibungserhöhende Oberflächenschichten für Torsionsbelastungen“ von E. Leidich, J. Lukschandel et al., Antriebstechnik (40), 2001, S. 53–57, beschrieben. Dort ist u. a. ausgeführt, dass die mit EKAGRIP® beschichteten federelastischen Konstruktionselemente bei einer Flächenpressung mit 100 MPa während der Torsionsbelastung zum Bruch neigen.

[0027] Des Weiteren wird über Mikrorisse in der federelastischen Folie berichtet, die über das Eindringen der Diamantpartikel in die „vergleichsweise weiche“ federelastische Stahlfolie induziert werden. Auch hier besteht die Gefahr eines Bruches infolge fortwährender Torsionsschubspannungen.

[0028] Ein durch einen Mikroriss oder sogar Bruch eines solchen Konstruktionselements verursachtes Versagen würde unweigerlich einen kapitalen Motorschaden bewirken. Angesichts der sich immer verschärfenden Produkt- und Produzentenhaftung ist ein solches Risiko für die Automobilindustrie nicht tragbar.

[0029] Eine weitere Lösung beschreibt die EP 1 564 418 B1. Hier werden im Gegensatz zur EP 0 961 038 B1 nicht federelastische, sondern elastisch plastische Stahlfolien sowie keine arrondierten bzw. sphärischen Hartstoffpartikel (wie z. B. Diamantkörner) in der Bindemittelmatrix verwendet, um die Gefahr von Mikrorissen oder Brüchen zu minimieren.

[0030] Sowohl dem Erfindungsgedanken der EP 0 961 038 B1 als auch dem der EP 1 564 418 B1 liegt zugrunde, dass das Stahlsubstrat, auf dem die Hartstoffpartikel mittels einer chemischen Nickelschicht aufgebracht sind, über eine Eigenfestigkeit verfügen, die nicht unter der der zu fügenden Werkstücke liegt.

[0031] Dieses Merkmal soll bewirken, dass die Hartstoffpartikel sich bei großen Kraftübertragungen bzw. Anpressdrücken nicht in das Stahlsubstrat, sondern in das zu fügende Werkstück (Gegenkörper) eindrücken.

[0032] Auf diese Art und Weise soll ein Mikroverzahnungseffekt erzielt werden, der letztlich zu einer erhöhten Kraftübertragung führt – anschauliche Beispiele für diesen Mikroverzahnungseffekt sind in dem Artikel von Peeken, Lukschandel und Paulick, „Oberflächenschichten für kraftschlüssige Momentübertragung“, in „ant – Antriebstechnik, Januar/Februar 1981“ zu finden, beispielsweise auf den Bildern 1 und 10 bis 14. Das fehlende Eindringen der Hartstoffpartikel in das Stahlsubstrat wird als Hauptargument für eine Verringerung der Gefahr von Mikrorissen genannt.

[0033] Aufgabe der vorliegenden Erfindung ist die Bereitstellung eines Konstruktionselements, welches im Hinblick auf den geschilderten Stand der Technik eine vergleichsweise kraftschlüssige Verbindung torsionsschubbelasteter Bauteile ohne die Gefahr einer Bruchbildung unter den im Artikel von E. Leidich, J. Lukschandel et al. beschriebenen Testbedingungen ermöglicht, das aber des Weiteren hinsichtlich der Auswahl an Hartstoffpartikeln keine Einschränkungen erfordert. Die vorliegende Erfindung soll ein breiteres und individuell abgestimmteres Anwendungsspektrum für den jeweiligen Anwendungszweck ermöglichen.

[0034] Diese Aufgabe wird erfindungsgemäß gelöst durch ein Konstruktionselement der eingangs genannten Art, d. h. einem Konstruktionselement zur reibungserhöhenden spielfreien reversiblen Verbindung von zu fügenden Werkstücken, bestehend aus einem Substrat, das an seiner Oberfläche Hartstoffpartikel definierter Größe aufweist, wobei die Hartstoffpartikel mittels einer metallischen Bindephase aus einer chemisch abgetrennten Nickel/Phosphorlegierung auf dem Substrat fixiert sind, dadurch gekennzeichnet, dass das Substrat eine Eigenfestigkeit aufweist, die geringer ist, als die der zu fügenden Werkstücke aufweist.

[0035] Mit dieser Lösung ist es erstmals möglich, auch arrundierte bzw. sphärische Hartstoffpartikel (wie z. B. Diamantkörner) als Hartstoffe und „weiche“ Substrate zu verwenden, ohne dass bei entsprechenden Versuchen die Gefahr einer Bruchbildung beobachtet wurde.

[0036] Ein solches erfindungsgemäßes Konstruktionselement ermöglicht im Vergleich zur EP 1 564 418 ähnliche Reibwerterhöhungen. Auch unter einer Vorspannung von 100 MPa zeigte eine erfindungsgemäße 0,1 mm dicke Scheibe, die mit 10^7 Lastwechseln dynamisch vorbelastet wurde, unter den zuvor geschilderten Testbedingungen keinen Bruch.

[0037] Bei hochbelasteten Verbindungen im Maschinenbau handelt es sich bei den zu fügenden Werkstücken üblicherweise um solche mit einer Eigenfestigkeit von mehr als 500 N/mm², insbesondere von mehr als 700 N/mm². Beispiele für solche Werkstoffe sind Stähle verschiedener Legierungen und Oberflächenbehandlungen, je nach gewünschter Einsatzart.

[0038] Die erfindungsgemäß zu verwendenden Substrate haben dementsprechend eine geringere Eigenfestigkeit, besonders bevorzugt sind Substrate mit einer Eigenfestigkeit von weniger als 400 N/mm^2 , insbesondere von weniger als 200 N/mm^2 . In einer weiteren, ebenfalls bevorzugten Ausführungsform hat das Substrat eine Eigenfestigkeit von weniger als 80% der zu fügenden Werkstücke, um die Bruchbildung wirksam zu verringern.

[0039] Es ist überraschend und nicht vorhersehbar, dass das erfindungsgemäße Beschichtungselement überhaupt zu einer Erhöhung der Reibeigenschaft führt und ein Mikroverzahnungseffekt bei den zu fügenden Werkstücken selbst bei einem Substrat mit einer wesentlich geringeren Eigenfestigkeit zu beobachten ist. Denn sowohl die EP 0 961 038 B1 als auch die EP 1 564 418 B1 lehren, dass die Eigenfestigkeit des Substrats mindestens so hoch sein muss, wie die der zu fügenden Werkstücke um ein Eindringen der Hartstoffpartikel in das dort offenbarte Metallsubstrat zu verhindern.

[0040] Die genauen Hintergründe dieser entscheidenden Eigenschaft des erfindungsgemäßen Konstruktionselements sind noch nicht geklärt. Erste Untersuchungen zeigen aber, dass der Bindemittelphase aus der auf dem Substrat abgeschiedenen chemischen Nickelschicht eine entscheidende Bedeutung zukommt.

[0041] Bisher wurde eine chemisch abgeschiedene Nickelschicht aufgrund ihrer besonders konturenscharfen und -getreuen Abbildung in sehr engen Toleranzen und der Eigenschaften der resultierenden Matrix (höhere Härte, verbesserte Duktilität, sowie im Hinblick auf die hohen mechanischen Anforderungen im Bereich von Wellen/Naben-Verbindungen wesentlich günstigeres Elastizitätsmodul) ausgewählt.

[0042] Die Ergebnisse mit arrondierten Diamantkörnern zeigen, dass möglicherweise die scharfkantige Verzahnung der Hartstoffpartikel in den Gegenkörper (Mikroformschluss) mehr ein theoretisches Denkmodell ist. Möglicherweise genügt bereits ein vergleichsweises „sanftes Eindringen“ nicht scharfkantiger Hartstoffpartikel in die ebene Oberfläche des zuzufügenden Werkstücks, um eine wirksame und erhöhte Kraftübertragung im Sinne des Standes der Technik zu gewährleisten.

[0043] Die Verwendung von nicht scharfkantigen Hartstoffpartikeln hat einen besonderen Vorteil: Auch nach mehrmaligen Lösen und Wiederverbinden unter Verwendung des erfindungsgemäßen Konstruktionselements werden deutlich weniger Hartstoffpartikel aus der Bindemittelmatrix herausgerissen und bleiben in dem zu fügenden Werkstück stecken.

[0044] Gemäß einer besonders bevorzugten Ausführungsform ist das Substrat ein Metallsubstrat aus einem Leichtmetall oder dessen Legierungen, Aluminium, einer Aluminiumlegierung oder einer Edelstahllegierung.

[0045] Damit sind erstmals Materialien verwendbar, die neben den in dem Stand der Technik beschriebenen Stahlsubstraten weitere besondere Eigenschaften mitbringen. Leichtmetall- oder Aluminiumsubstrate haben einen erheblichen Vorteil in Bezug auf die langfristigen Korrosionseigenschaften. Substrate aus Edelstahl hingegen zeichnen sich durch ihre besonderen Zähigkeitseigenschaften aus.

[0046] Ganz besonders bevorzugt ist das Metallsubstrat aus einer kupferhaltigen Aluminiumlegierung ausgewählt, insbesondere aus den Legierungen AlSiCu 1,5 (7050) bzw. AlZnMgCu1,5 (7075) ENAW7075, AlZn4,5Mg1 (7020) 3.445 AW7020, AlCu4Mg1 (2024) ENAW2024 oder X5CrNiMo1808 (4301). Hier werden insbesondere Korrosionseigenschaften mit mechanischer Zähigkeit gepaart. Gemäß einer weiteren, ebenfalls bevorzugten Ausführungsform ist das Substrat ein Kunststoff, insbesondere eine polyestergebundene Duroplast, auf dem eine Metallschicht aufgebracht ist. Metallschichten auf ein Kunststoffsubstrat aufzubringen sind an sich bekannter Stand der Technik. Ganz besonders bevorzugt wird erfindungsgemäß ein Metallisierungsverfahren, bei dem die Kunststoffoberfläche gezielt aufgeraut und anschließend über verschiedene Schritte metallisiert wird. Dieses spezielle Verfahren ist unter dem Namen METACOAT^o der Fa. AHC Oberflächentechnik bekannt – in dieser Hinsicht wird Bezug genommen auf die Anmeldungen WO 2004/092436 A1, WO 2004/092256 A1, WO 2004/092445 A1, WO 2004/092444 A1 und WO 2004/091906 A1, deren Offenbarung hiermit in diese Anmeldung aufgenommen wird. Der wesentliche Vorteil bei Verwendung metallisierter Kunststoffsubstrate nach dem METACOAT^o-Verfahren ist, dass eine äußerst haffteste Metallschicht erreicht wird und dass die Schubspannung darstellbar ist.

[0047] Entsprechend einer weiteren, ebenfalls bevorzugten Ausführungsform ist das Substrat ein Metallsubstrat aus einer Messing- oder Bronze-Legierung. Das so erhältliche erfindungsgemäße Konstruktionselement wird überall dort verwendet, wo nicht-magnetische Eigenschaften eine besondere Bedeutung spielen.

[0048] Die Hartstoffpartikel sind aus ausgewählt aus der Gruppe aus Diamant, Siliciumcarbid oder Tetraborcarbid. Die geometrische Form ist nicht entscheidend. Es können sowohl scharfkantige als auch arrondierte Hartstoffpartikel erfindungsgemäß verwendet werden. Arrondierte Partikel sind dann zu bevorzugen, wenn die zu fügende Verbindung mehrmals gelöst werden soll. Bei nicht oder nur selten zu lösenden Verbindungen können auch scharfkantige Partikel verwendet werden, die – im Gegensatz zu arrondierten Partikeln – industriell gängiger verfügbar und günstiger sind.

[0049] Die Hartstoffpartikel haben bevorzugterweise einen Durchmesser von nicht mehr als 19 μm . Dieser Durchmesser ist eine Obergrenze für noch ausreichende Kraftübertragung und einem wirksamen Verhindern des Eindringens der Hartstoffpartikel in das Metallsubstrat im Sinne der Erfindung. Bevorzugt werden solche Hartstoffpartikel verwendet, deren mittlere Korngrößenverteilung zwischen 19 und 14 $\mu\text{m} \pm 1,5$ liegt. Als Messverfahren können Siebverfahren, Laserdiffraktometrie oder mikroskopische Auswertungen verwendet werden, um die Korngrößen zu bestimmen.

[0050] Das erfindungsgemäße Metallsubstrat hat in einer bevorzugten Ausführungsform eine Dicke von weniger als 0,5 mm, insbesondere von weniger als 0,2 mm. Hierdurch wird ein einfacher Austausch mit bekannten Konstruktionselementen des Standes der Technik ermöglicht, ohne dass konstruktive Änderungen an den zu fügenden Werkstücken vorgenommen werden müssen. Dies ist zum Beispiel beim Motorenbau und in der Automobilindustrie von erheblichem Vorteil, denn Änderungen um bereits 0,1 mm bedürfen meistens einer kompletten Überarbeitung des entsprechenden Bauteils.

[0051] Die Oberfläche des Metallsubstrats des erfindungsgemäßen Konstruktionselements ist vorzugsweise nicht mehr als 30%, und insbesondere nicht weniger als 3%, mit harten Partikeln belegt. Entsprechend einer besonders bevorzugten Ausführungsform der vorliegenden Erfindung liegt die Bedeckung des Metallsubstrats mit Hartstoffpartikel zwischen 5 und 15% der gesamten Oberfläche, die mit der reibungserhöhenden Matrix überzogen ist.

[0052] Es ist aber auch möglich, in die Bindephase und Hartstoffe aufweisende Matrix weitere Hartstoffe nach bewährten Verfahrensmustern des Standes der Technik einzubringen.

[0053] Diese Verfahrensvariante ist dann zu bevorzugen, wenn das erfindungsgemäße Konstruktionselement neben den zuvor geschilderten Eigenschaften noch weitere spezielle Eigenschaften aufweisen soll, insbesondere wenn die Oberflächenbeschaffenheit des Fügepartners dies erfordern würde.

[0054] Gemäß einer ganz besonders bevorzugten Ausführungsform der vorliegenden Erfindung weist das Konstruktionselement eine Napfform auf. Diese Ausführungsform hat den besonderen Vorteil, dass der Beschichtungsvorgang des Grundsubstrats mit der Dispersionsschicht aus Nickel und Hartstoffpartikeln nicht mit einer Einzelklemmung durchgeführt werden muss, sondern eine Beschichtung vieler Konstruktionselemente im Trommelverfahren möglich ist, ohne dass hier die ansonsten zu beobachtenden Defizite hinsichtlich der ausreichenden Beschichtungsqualität zu beobachten sind. Als Napfform werden hier und im folgenden alle Formen bezeichnet, die Bauteilflächen außerhalb der zwischen den Fügepartnern angeordneten beschichteten Flächen des erfindungsgemäßen Konstruktionselements aufweisen, insbesondere solche, die die Form eines „Bechers“ aufweisen, also der die Ränder mindestens eines der Fügepartien umschließt. Diese aus der Ebene der Fügefläche herausragenden Bauteilflächen können beispielsweise als Fahnen oder sonstige Ränder oder Begrenzungen bildende Ausgestaltungen sein. Solche Bauteilflächen sind an sich bekannt, wurden jedoch ausschließlich zur einfacheren reversiblen Fixierung auf dem zu fügenden Werkstück verwendet, nicht jedoch zur Verbesserung einer effektiveren Beschichtungsmethode ohne die ansonsten bekannten Beschichtungsdefizite in Kauf zu nehmen.

[0055] Die vorliegende Erfindung betrifft auch die Verwendung des zuvor beschriebenen Konstruktionselements zur reibungserhöhenden spelfreien reversiblen Verbindung von mindestens zwei zu fügenden Werkstücken, insbesondere für Lenkgestänge oder Wellen/Naben-Verbindungen, ganz besonders bevorzugt im Automobil- bzw. Motorenbau.

[0056] Es lassen sich bei den chemischen NiP-Verfahren sehr gute Haftfestigkeiten auf dem Untergrund erzielen, die größtenteils besser sind als bei galvanischen Verfahren.

[0057] Eine möglichst hohe Reibungserhöhung der zu fügenden Werkstücke ist dann gegeben, wenn die Zahl der Partikel pro Flächeneinheit der Kontaktflächen der zu fügenden Werkstücke so gewählt ist, dass die zum

Fügen der Werkstücke verfügbare Normalkraft ausreicht, um ein Eindringen der Partikel in die Gegenfläche zu gewährleisten, ohne dass ein „Versinken“ der Hartstoffpartikel in das Metallsubstrat zu beobachten ist.

[0058] So ist ein möglichst optimaler Kraftschluss dann gegeben, wenn eine möglichst große Anzahl der auf der Oberfläche der Scheibe befindlichen Partikel ganz oder vollständig in das Gegenstück eingedrungen sind und die metallische Bindephase vollflächig am Gegenpartner anliegt.

[0059] Zur Bestimmung der reibungserhöhenden Eigenschaften sowie der Bruchneigung der erfindungsgemäßen Konstruktionselemente wurden folgende Testuntersuchungen angewandt:

Dynamische Untersuchung

[0060] Das Hauptaugenmerk der Untersuchungen war auf die dynamischen Versuche gerichtet, wobei die zu untersuchenden Konstruktionselemente bei einer Flächenpressung von 100 MPa verwendet wurden. Es wurden drei unterschiedliche Belastungsvarianten ausgewählt:

- schwellende Torsion mit 10^7 Lastwechsel bei 80% des ermittelten Rutschmoments und danach Bestimmung des jeweiligen statischen Rutschmoments
- schwellende Torsion mit 10^7 Lastwechsel bei 80% des gemäß ermittelten Rutschmoments, Demontage der Verbindung, Wiedermontage der Verbindung, Belastung mit schwellender Torsion mit 10^7 Lastwechsel bei wiederum 80% des Rutschmoments und schließlich statisches Durchrutschen
- Bestimmung des dynamischen Rutschmoment durch stufenweise Last Steigerung

[0061] Jede Belastungsvariante wurde mit erfindungsgemäßen Konstruktionselementen und Konstruktionselementen gemäß der EP 1 564 418 B1 unter Einsatz der Werkstoffpaarungen 16MnCr5/16MnCr5 (jeweils einsatzgehärtet). Die Festigkeit der Oberfläche der einsatzgehärteten Prüfkörper (d. h. des Substrats der zu fügenden Werkstücke im Sinne der vorliegenden Erfindung) beträgt 840 N/mm^2 .

[0062] Das Prinzip der Untersuchungen, d. h. der Lasteinleitung beim Torsionsversuch, ist in Darstellung 1 dargestellt. Das zu untersuchende Konstruktionselement wird zwischen beide Prüfkörper eingelegt. Durch die Vorspannkraft F_V wird an der Scheibe die gewünschte Flächenpressung erzeugt. In das zu untersuchende Konstruktionselement wird nun ein Torsionsmoment T_R eingeleitet.

[0063] Wie sich schon aus dem Prinzip der Lasteinteilung ableiten lässt, sind die zwei wichtigsten Messgrößen die Vorspannkraft F_V und das Torsionsmoment T_R . Daneben ist auch die Aufzeichnung des Verdrehwinkels von Bedeutung, um den Augenblick des Durchrutschens genau erfassen zu können.

[0064] Zur Durchführung der Versuche wurde der Torsionsprüfstand mit einer kraft- und wegsteuerbaren Hydraulikanlage verwendet. Die lineare Bewegung des Hydraulikkolbens wird über einen Hebel in eine Drehbewegung der Welle umgesetzt. Damit keine Querkräfte in die untersuchte Verbindung eingeleitet werden, ist vor die Messwelle noch eine biegeeweiche Kupplung eingebaut worden. Die beiden zylindrischen Probekörper sind in der Torsionsmesswelle und in dem Aufnehmer eingespannt, wie schematisch in Darstellung 2 bzw. 3 gezeigt. Dazwischen wird das zu untersuchende Konstruktionselement eingelegt und die ganze Verbindung entsprechend der gewünschten Flächenpressung mit einer M14 Schraube axial vorgespannt. Die Kraftübertragung zwischen der Kupplung und der Meßwelle wird formschlüssig durch eine Passfederverbindung realisiert. Dasselbe Prinzip wird dann auch bei der Ableitung des Drehmoments ins Gestell genutzt.

[0065] Die Vorspannkraft F_V wird mittels einer 200 kN Kraftmessdose gemessen. Zur Ermittlung des Drehmomentes wurden auf die speziell gefertigte Messwelle Dehnungsmeßstreifen in den Hauptspannungsrichtungen unter dem Winkel von 45° geklebt. Wie aus Darstellung 3 ersichtlich wird die Verdrehung zwischen den Prüfkörpern der zu untersuchenden Verbindung über einen Hebel mittels eines induktiven Wegtasters ermittelt. Zur Signalverstärkung und Weiterverarbeitung dient ein Mehrkanal-Messverstärker sowie ein PC.

Versuchsdurchführung:

Dynamische Vorbelastung

[0066] Das Versuchsprogramm legt bei der dynamischen Vorbelastung eine schwellende Torsion mit 10^7 Lastwechsel bei 80% des statischen Rutschmoments fest. Als statischer Referenzwert (100%) wurde der Mittelwert aus den statischen Vorversuchen angenommen. Die gelieferten Prüfkörper werden vor dem Versuch aus dem Schutzpapier ausgepackt und die mit dem beschichteten Substrat sich berührenden Funktionsflächen mit Ent-

fetter gesäubert. Danach wird einer der Prüfkörper in die Messwelle und einer in den Aufnehmer eingelegt und mit einem Keil und einer M10-Schraube verspannt. Nun wird die Messwelle in den Prüfstand eingebaut. Auf die Vorspannschraube, die sich im Aufnehmer befindet, wird die Hülse mit geprüftem Element angezogen und die Verbindung zusammengesetzt. Die Vorspannkraft F_V wird mittels einer M14-Schraube erzeugt und an der Kraftmessdose gemessen. Die erwünschte Flächenpressung von 100 MPa entspricht einer Vorspannkraft von $F_V = 31,4 \text{ kN}$. Der Versuchsstand steht jetzt für die Belastung bereit. Mit der Steuerung der servohydraulischen Anlage wird die mit 35 Hz pulsierende Kolbenkraft so eingestellt, dass das erforderliche schwellende Torsionsmoment dem Sollwert entspricht. Die Messgrößen (Vorspannkraft F_V , Torsionsmoment T_R und Verdrehwinkel φ) werden während der dynamischen Vorbelastung alle 180 Sekunden aufgenommen und die Werte im Rechner gespeichert (periodische Messung). Nach 10^7 Lastwechsel schaltet die Hydraulikanlage automatisch aus und die dynamische Vorbelastung ist beendet.

Wiedermontage

[0067] Bei der Versuchsvariante mit Wiedermontage wird die Verbindung nach der dynamischen Vorbelastung demontiert. Die Vorspannschraube wird gelöst und das Prüfelement herausgenommen, wobei die Prüfkörper im Aufnehmer bzw. in der Messwelle verbleiben. Die Verbindung wird danach gleich wieder zusammengesetzt und vorgespannt. Im Weiteren erfolgt ein zweiter dynamischer Belastungszyklus, der mit dem ersten identisch ist (80% des statischen Rutschmomentes, 10^7 Lastwechsel).

Statisches Durchrutschen

[0068] Nachdem die Prüfkörper dynamisch vorbelastet wurden, folgt die Bestimmung des statischen Rutschmoments.

[0069] Die Verbindung bleibt nach der Vorbelastung zusammengebaut, nur die Messtechnik wird auf eine Dauermessung umgestellt. Alle Messgrößen werden in Echtzeit während des ganzen Versuches mit einer Abtastrate von 100 Hz aufgenommen.

[0070] Aus dem unbelasteten Zustand heraus wird die Kolbenkraft der Hydraulik kontinuierlich gesteigert. Beim Erreichen der Verdrehgrenze, die mit einem Verdrehwinkel von 4° bestimmt ist, schaltet die Hydraulik aus, die Verbindung wird entlastet und der Versuch ist beendet.

[0071] Aus den aufgenommenen Daten lässt sich beim Auswerten ein Torsionsmoment/Verdrehwinkel-Diagramm (Darstellung 4) erstellen, auf dem der Verlauf des ganzen Versuches gut beobachtbar ist. Der Augenblick des Durchrutschens ist durch das gekennzeichnete Maximum dabei deutlich zu erkennen.

[0072] Der Reibwert μ wird aus dem Durchrutschmoment und weiteren Größen wie folgt berechnet:

$$\mu = \frac{2 \cdot T_R}{D_m \cdot F_V}$$

mit

T_R = Durchrutschmoment

F_V = Vorspannkraft

D_m = mittlerer Durchmesser der ringförmigen Flächen

Dynamisches Durchrutschen

[0073] Bei den Versuchen mit dynamischem Durchrutschen erfolgt die Montage des Versuchsstandes so wie bereits auf Seite 12 beschrieben. Die Messinstrumente werden nun wieder auf eine periodische Messung eingestellt, wobei die Zeit zwischen zwei Messungen auf 5 Sekunden reduziert wurde. Dies ermöglicht eine gute Beobachtung des Versuches und führt nicht zu einer Speicherüberforderung. Der Versuch beginnt mit einer schwellenden Torsionsbelastung (35 Hz), die weit unter dem erwarteten Rutschmoment liegt. In kleinen Schritten wird das Mittelmoment T_{Rm} und die Momentenamplitude T_{Ra} gesteigert, so dass das Momentenmaximum T_{Ro} steigt und das Minimum T_{Ru} nah an Null bleibt, wie aus Darstellung 5 ersichtlich.

[0074] Zwischen den Lastschritten erfolgen etwa 500 bis 1.000 Lastwechsel. Der Versuch wird nach Überschreiten der Verdrehwinkelgrenze wieder automatisch abgebrochen und beendet. Aus den Messwerten las-

sen sich zwei Diagrammtypen erstellen, Darstellung 6. Im Torsionsmoment-Zeit-Diagramm ist vor allem die Laststeigerung dargestellt. In dem Moment-Verdrehwinkel-Diagramm ist dagegen das Durchrutschen sehr gut ablesbar.

Beispiele – Beschichtung:

[0075] Zur Herstellung der Verbindungselemente werden zunächst ringförmige Scheiben (aus 1.4122) in den Abmessungen d 30/15 aus einem unbeschichteten, entsprechend dicken Blech aus dem zu untersuchenden Material gestanzt.

[0076] Die zu härtenden Scheiben (aus 1.4122) werden in einem Härtungsprozeß bei einer Temperatur von 830°C, einer Haltezeit von 1 Minute/mm und einer Abschreckung in Öl gehärtet. Die Härte beträgt 64 HRC.

[0077] Anschließend wird die gehärtete Scheibe einer Wärmebehandlung bei einer Temperatur von 540°C und einer Haltezeit von 30 Minuten unterzogen und auf eine Zugfestigkeit von 970 N/mm² angelassen.

[0078] Die Verbindungselemente werden auf eine geeignete Halterungen gesteckt und entsprechend den im Handbuch „Die AHC-Oberfläche – Handbuch für Konstruktion und Fertigung“, 4. Auflage, Kerpen, der Fa. AHC beschriebenen Vorbehandlungsverfahren entfettet, gebeizt und aktiviert.

[0079] Dann werden die Scheiben mit Halterung in eine Mischung eines handelsüblichen chemisch Nickel-Elektrolyten, der unter der Bezeichnung DNC 520 von der Fa. AHC, Kerpen, erhältlich ist, mit 250 mg/l SiC (F600 von der Fa. SaintGobain) getaucht.

[0080] Der pH-Wert des Elektrolyten wird mit Ammoniakwasser 12,5% auf den Wert 4,5–5,0 eingestellt, die Temperatur des Elektrolyten beträgt 85–90°C.

[0081] Die Abscheidungsgeschwindigkeit beträgt 7–9 µm/Stunde, wobei das Gestell während des Beschichtungsvorganges in Bewegung gehalten wird.

[0082] Der Elektrolyt wird mit einer Pumpe umgewälzt und in Bewegung gehalten, so dass sich im Elektrolyten befindliche Hartstoffpartikel nicht auf dem Boden des Beschichtungsbehälters absetzen können. Die Tauchzeit beträgt 60 Minuten. Dann wird die Halterung mit den beschichteten Scheiben aus dem Elektrolyten genommen und in einem Ultraschallbad gereinigt, um lose anhaftende SiC-Partikel zu entfernen.

[0083] Die so hergestellten Scheiben werden mittels der zuvor beschriebenen dynamischen Untersuchung mit einer Vorspannung von 100 MPa und einer Vorbelastung von 10⁷ Lastwechseln untersucht

Vergleichsbeispiel (nichterfindungsgemäß):

[0084] Entsprechend der Versuchsreihe A wurde keine Scheibe zwischen die Prüfkörper gelegt.

[0085] Die Versuchsreihe B verwendet eine 0,2 mm dicke Scheibe aus dem gehärteten Werkstoff 1.4122 mit einer Festigkeit (Streckgrenze) von 1.000 N/mm² und einem E-Modul von 200.000 N/mm² (entsprechend der EP 1 564 418 B1).

[0086] Bei den durchgeführten Vergleichsversuchen trat keine Bruchbildung auf.

[0087] Die Ergebnisse sind in der Tabelle I als Versuchsreihen A bis B dargestellt.

Beispiele (erfindungsgemäß beschichtet):

[0088] Die erfindungsgemäße Versuchsreihe 1 verwendet eine 0,2 mm dicke Scheibe aus der Aluminiumlegierung EN AW 7075 mit einer Festigkeit (Streckgrenze) von 500 N/mm² und einem E-Modul von 70.000 N/mm² (entsprechend der EP 1 564 418 B1).

[0089] Die erfindungsgemäße Versuchsreihe 2 verwendet eine 0,2 mm dicke Scheibe aus der Bronzelegierung CuSn6 (2.1020) mit einer Festigkeit (Streckgrenze) von 700 N/mm² und einem E-Modul von 110.000 N/mm² (entsprechend der EP 1 564 418 B1).

[0090] Die Versuchsreihe 3 verwendet eine 0,3 mm dicke Scheibe aus dem nicht-gehärteten Werkstoff 1.4301 mit einer Festigkeit (Streckgrenze) von 700 N/mm² und einem E-Modul von 200.000 N/mm².

[0091] Bei den durchgeführten erfindungsgemäßen Versuchen trat keine Bruchbildung auf.

[0092] Die Ergebnisse sind in der Tabelle 1 als Versuchsreihen 1 und 2 dargestellt.

Bewertung:

[0093] Sämtliche Rutschkurven zeigen die gleiche Reibwertcharakteristik mit ausgeprägtem Übergang Haft-Gleiten bei ca. 0,3° Relativverschiebung.

[0094] Bei den Versuchen mit den Reibscheiben aus EN AW 7075 konnten die Reibwerte von gehärteten Scheiben aus 1.4122 gemäß der EP 1 564 418 B1 erreicht werden.

[0095] Bei den Versuchen mit den Reibscheiben aus CuSn6 konnten die Reibwerte von gehärteten Scheiben aus 1.4122 gemäß der EP 1 564 418 B1 verbessert werden.

[0096] Besonders bemerkenswert sind die Ergebnisse mit dem Edelstahl 1.4301 der die Werte des Standes der Technik bei weitem übertrifft.

[0097] Diese Ergebnisse sind überraschend und nicht vorhersehbar, da zu erwarten gewesen ist, dass sich die Hartstoffpartikel in das – bezogen auf die Festigkeit der zu fügenden Werkstücke von 840 N/mm² – weichere Substrat der erfindungsgemäßen Reibscheibe (d-h- Konstruktionselement mit einer Festigkeit von 500 bzw. 700 N/mm²) eindrücken und sich somit einer Reibwerterhöhung in Form von Mikroformschlüssen zwischen aus der Nickel-Schicht herausragenden Hartstoffteilchen und dem zu fügenden Werkstück entziehen.

[0098] Mit dem erfindungsgemäßen Konstruktionselement ist erstmals das Vorurteil entsprechend des Artikels „Reibungserhöhende Oberflächenschichten für Torsionsbelastungen“ von E. Leidich, J. Lukschandel et al., Antriebstechnik (40), 2001, S. 53–57, der EP 0 961 038 B1 und der EP 1 564 481 B1 widerlegt, dass das Substrat der Reibscheibe eine Festigkeit haben muss, die mindestens so hoch ist wie die der zu fügenden Werkstücke.

Tabelle I					
Versuchsreihe	Prüfkörper	Scheibe/Beschichtung	Versuch	$\mu_{0,1}$	$\mu_{\max}[\lt 0,8^\circ]$
A	16MnCr5E	---	1	0,247	0,257
			2	0,231	0,244
			Mittelwert	0,24	0,25
Versuchsreihe	Prüfkörper	Scheibe/Beschichtung	Versuch	$\mu_{0,1}$	$\mu_{\max}[\lt 0,8^\circ]$
B	16MnCr5E	7 μ m SiC9 auf 1.4122	1	0,437	0,496
			2	0,452	0,507
			3	0,395	0,462
			Mittelwert	0,43	0,49

Versuchsreihe	Prüfkörper	Scheibe/Beschichtung	Versuch	$\mu_{0,1}$	$\mu_{\max}[\lt 0,8^\circ]$
1	16MnCr5E	7 μ m SiC9 auf EN AW 7075	1	0,400	0,501
			2	0,428	0,479
			3	0,445	0,500
			Mittelwert	0,42	0,49
Versuchsreihe	Prüfkörper	Scheibe/Beschichtung	Versuch	$\mu_{0,1}$	$\mu_{\max}[\lt 0,8^\circ]$
2	16MnCr5E	7 μ m SiC9 auf CuSn6	1	0,441	0,503
			2	0,428	0,500
			3	0,452	0,519
			Mittelwert	0,44	0,51
Versuchsreihe	Prüfkörper	Scheibe/Beschichtung	Versuch	$\mu_{0,1}$	$\mu_{\max}[\lt 0,8^\circ]$
3	16MnCr5E	7 μ m SiC9 auf 1.4310 (0,3 mm)	1	0,459	0,509
			2	0,499	0,545
			3	0,485	0,531
			Mittelwert	0,48	0,53

ZITATE ENTHALTEN IN DER BESCHREIBUNG

Diese Liste der vom Anmelder aufgeführten Dokumente wurde automatisiert erzeugt und ist ausschließlich zur besseren Information des Lesers aufgenommen. Die Liste ist nicht Bestandteil der deutschen Patent- bzw. Gebrauchsmusteranmeldung. Das DPMA übernimmt keinerlei Haftung für etwaige Fehler oder Auslassungen.

Zitierte Patentliteratur

- DE 2364275 [0007]
- CH 192197 [0011]
- JP 6-147206 [0013]
- US 4525098 A [0015]
- US 4154276 A [0015]
- US 3828515 A [0015]
- US 3692341 A [0015]
- DE 3149596 A1 [0017]
- DE 3237096 A1 [0019]
- DE 9402867 U1 [0020]
- EP 0961038 B1 [0023, 0025, 0026, 0029, 0030, 0039, 0098]
- EP 1564418 B1 [0029, 0030, 0039, 0061, 0085, 0088, 0089, 0094, 0095]
- EP 1564418 [0036]
- WO 2004/092436 A1 [0046]
- WO 2004/092256 A1 [0046]
- WO 2004/092445 A1 [0046]
- WO 2004/092444 A1 [0046]
- WO 2004/091906 A1 [0046]
- EP 1564481 B1 [0098]

Zitierte Nicht-Patentliteratur

- „Oberflächenschichten für kraftschlüssige Momentübertragung“ von H. Peeken, J. Lukschandel et al. in Antriebstechnik (20), 1981 [0007]
- „Reibungserhöhende Oberflächenschichten für Torsionsbelastungen“ von E. Leidich, J. Lukschandel et al., Antriebstechnik (40), 2001, S. 53–57 [0026]
- Peeken, Lukschandel und Paulick, „Oberflächenschichten für kraftschlüssige Momentübertragung“, in „ant – Antriebstechnik, Januar/Februar 1981“ [0032]
- E. Leidich, J. Lukschandel et al. [0033]
- EN AW 7075 [0088]
- EN AW 7075 [0094]
- „Reibungserhöhende Oberflächenschichten für Torsionsbelastungen“ von E. Leidich, J. Lukschandel et al., Antriebstechnik (40), 2001, S. 53–57 [0098]

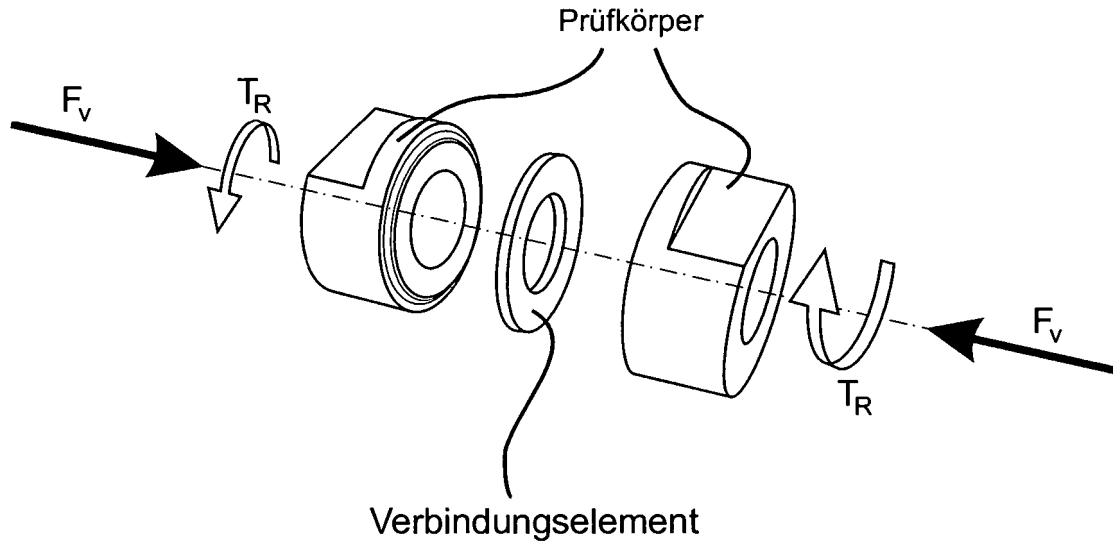
Patentansprüche

1. Konstruktionselement zur reibungserhöhenden spielfreien reversiblen Verbindung von zu fügenden Werkstücken, bestehend aus einem Substrat, das an seiner Oberfläche Hartstoffpartikel definierter Größe aufweist, wobei die Hartstoffpartikel mittels einer metallischen Bindephase aus einer chemisch abgeschiedenen Nickel/Phosphorlegierung auf dem Substrat fixiert sind, **dadurch gekennzeichnet**, dass das Substrat eine Eigenfestigkeit aufweist, die geringer ist, als die der zu fügenden Werkstücke.
2. Konstruktionselement nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet**, dass das Substrat ein Metallsubstrat aus einem Leichtmetall oder dessen Legierungen, Aluminium, einer Aluminiumlegierung oder einer Edelstahllegierung ist.
3. Konstruktionselement nach Anspruch 2, **dadurch gekennzeichnet**, dass das Metallsubstrat aus einer kupferhaltigen Aluminiumlegierung ist, insbesondere die Legierung AlSiCu 1,5 (7050) bzw AlZnMgCu1,5 (7075) ENAW7075, AlZn4,5Mg1 (7020) 3.445 AW7020, AlCu4Mg1 (2024) ENAW2024 oder X5CrNiMo1808 (4301) ist.
4. Konstruktionselement nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet**, dass das Substrat ein polyestergebundener Duroplast ist, auf dem eine Metallschicht aufgebracht ist.
5. Konstruktionselement nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet**, dass das Substrat ein Metallsubstrat aus einer Messing- oder Bronzelegierung ist.
6. Konstruktionselement nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Hartstoffpartikel ausgewählt sind aus der Gruppe Diamant, Siliciumcarbid oder Tetraborcarbid.
7. Konstruktionselement nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Hartstoffpartikel einen Durchmesser von nicht mehr als 19 µm haben.
8. Konstruktionselement nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass das Metallsubstrat eine Dicke von weniger als 0,5 mm, insbesondere von weniger als 0,2 mm, aufweist.
9. Konstruktionselement nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass nicht mehr als 30% und nicht weniger als 3% der Oberfläche des Metallsubstrats mit Hartstoffpartikeln belegt ist
10. Konstruktionselement nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Hartstoffpartikel 5 bis 15% des Metallsubstrats bedecken.
11. Konstruktionselement nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass das Konstruktionselement eine Napfform aufweist.
12. Verwendung eines Konstruktionselements nach einem der vorhergehenden Ansprüche zur reibungserhöhenden spielfreien reversiblen Verbindung von mindestens zwei zu fügenden Werkstücken.
13. Verwendung nach Anspruch 12 in einem Lenkgestänge, insbesondere im Automobilbau.
14. Verwendung nach Anspruch 12 in einer Wellen/Naben-Verbindung, insbesondere im Motorenbau.

Es folgen 4 Seiten Zeichnungen

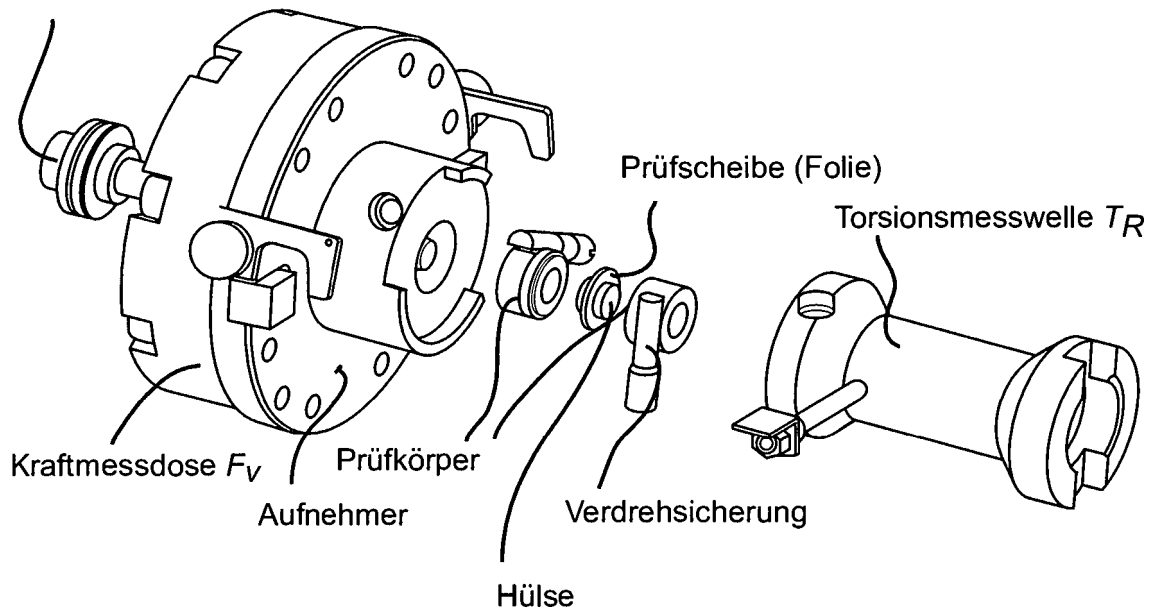
Anhängende Zeichnungen

Darstellung 1
Prinzip der Lastenteilung beim Torsionsversuch

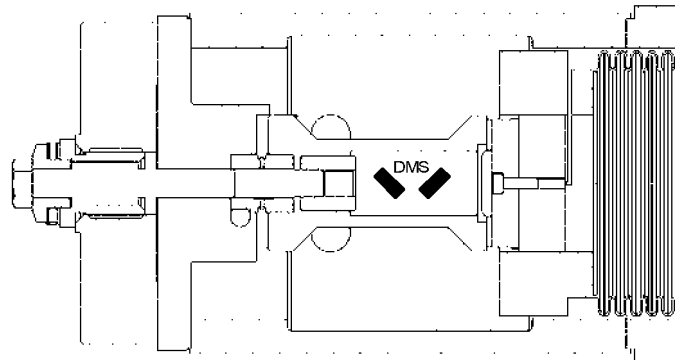


Darstellung 2
Ansicht der Vorspanneinrichtung (Explosionsdarstellung)

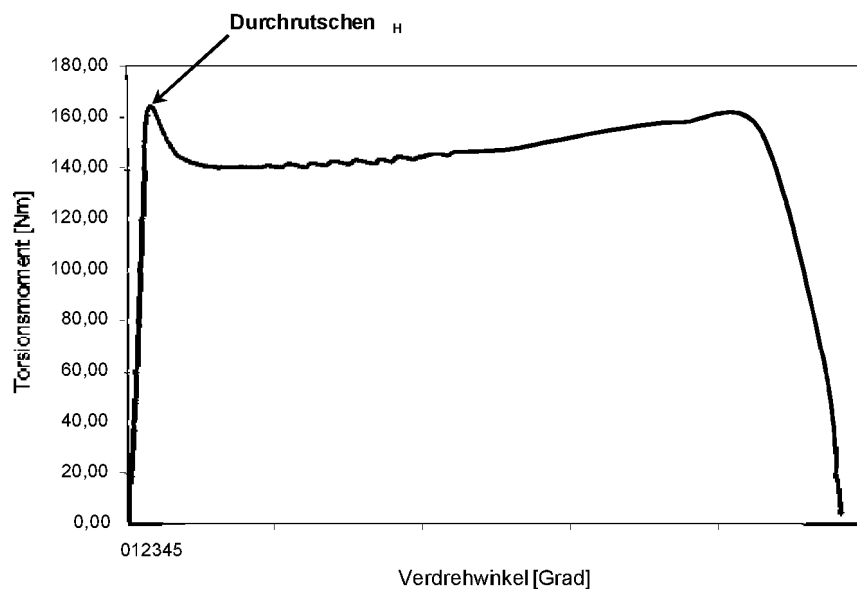
Vorspannschraube M14



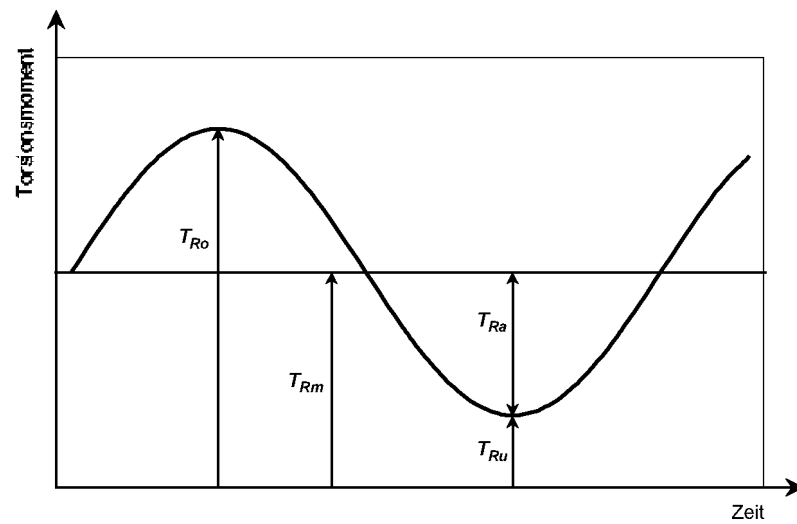
Darstellung 3
Längsschnitt der Vorspanneinrichtung



Darstellung 4 Torsionsmoment/Drehwinkel-
Diagramm



Darstellung 5
Schwellendes Torsionsmoment



Darstellung 6
Schwellendes Torsionsmoment

