



(12)

Patentschrift

(21) Deutsches Aktenzeichen: **11 2007 001 331.1**
(86) PCT-Aktenzeichen: **PCT/AU2007/000769**
(87) PCT-Veröffentlichungs-Nr.: **WO 2007/137367**
(86) PCT-Anmeldetag: **31.05.2007**
(87) PCT-Veröffentlichungstag: **06.12.2007**
(43) Veröffentlichungstag der PCT Anmeldung
in deutscher Übersetzung: **02.07.2009**
(45) Veröffentlichungstag
der Patenterteilung: **02.11.2023**

(51) Int Cl.: **B21J 15/00 (2006.01)**
B21J 15/02 (2006.01)
B21J 15/10 (2006.01)
B21D 39/03 (2006.01)
B23K 26/00 (2014.01)

Innerhalb von neun Monaten nach Veröffentlichung der Patenterteilung kann nach § 59 Patentgesetz gegen das Patent Einspruch erhoben werden. Der Einspruch ist schriftlich zu erklären und zu begründen. Innerhalb der Einspruchsfrist ist eine Einspruchsgebühr in Höhe von 200 Euro zu entrichten (§ 6 Patentkostengesetz in Verbindung mit der Anlage zu § 2 Abs. 1 Patentkostengesetz).

(30) Unionspriorität:

2006902942 31.05.2006 AU

(73) Patentinhaber:

Atlas Copco IAS UK Ltd., Deeside, Flintshire, GB

(74) Vertreter:

Prock, Thomas, Dr., EC4A 1BW London, GB

(72) Erfinder:

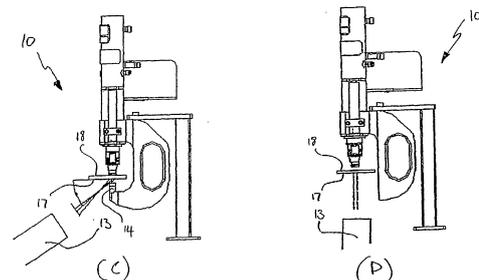
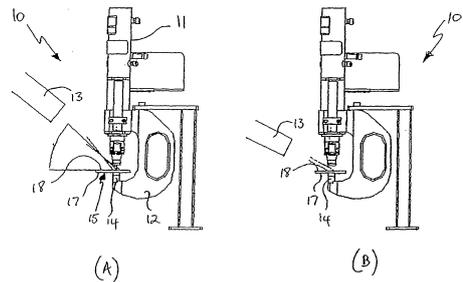
Durandet, Yvonne Claire, Balwyn North, Victoria, AU; Song, Wei Qian, Camberwell, Victoria, AU; Dempster, Brian, Glen Iris, Victoria, AU; Brandt, Milan, Templestowe, Victoria, AU; Blacket, Stuart, Closeburn, Queensland, AU

(56) Ermittelter Stand der Technik:
siehe Folgeseiten

(54) Bezeichnung: **Verfahren und Vorrichtung zum Verbinden**

(57) Hauptanspruch: Verfahren zum Verbinden von Elementen (15), wobei das Verfahren folgende Schritte umfasst:

Positionieren der Elemente (15) relativ zu einander;
Verbessern der Formbarkeit mindestens eines Abschnitts mindestens eines der Elemente (15) unter Verwendung eines Lasers (13); und
Verbinden der Elemente (15) unter Verwendung eines mechanischen Befestigungsverfahrens, wobei das mechanische Befestigungsverfahren die Verwendung eines selbstdurchstoßenden Niets umfasst, wobei die Elemente (15) aus unähnlichen Materialien sind,
dadurch gekennzeichnet, dass der Laser (13) von einer Vorrichtung zur Erzeugung eines Laserstrahls erzeugt wird, und dass die Laserstrahlerzeugungseinrichtung (13) in einem Abstand von den zu verbindenden Elementen (15) angeordnet ist.



(56) Ermittelter Stand der Technik:

DE	196 30 488	A1
DE	198 00 035	A1
DE	10 2004 062 896	A1
DE	200 13 526	U1
US	6 742 235	B2
US	2003 / 0 167 621	A1
US	5 752 305	A
EP	0 744 232	B1
JP	S62- 179 882	A
KR	10 2005 0 080 118	A

Beschreibung

Gebiet der Erfindung

[0001] Die vorliegende Erfindung betrifft ein Verfahren zum Zusammenfügen oder Verbinden von Elementen, insbesondere Metallelementen. Die vorliegende Erfindung betrifft auch eine Vorrichtung zum Zusammenfügen oder Verbinden von Elementen.

Hintergrund der Erfindung

[0002] Das Bilden von Verbindungen zwischen Metallplatten, die sowohl fest als auch ausreichend ästhetisch ansprechend sind, ist für viele Industrien, insbesondere die Automobilindustrie, ein permanentes Problem. Ein Bereich des Verbindens, in dem erhebliche Probleme verbleiben, ist das Herstellen einer Verbindung zwischen Platten aus zwei verschiedenen Metallen.

[0003] Ein Verfahren, das beim Verbinden von Metallplatten mit hohem Produktionsvolumen weit verbreitet ist, ist Punktschweißen oder Stumpfschweißen, was die Verwendung eines Lasers beinhalten kann. Laserschweißen ist für das Verbinden von Platten unterschiedlicher Stärken besonders geeignet und führt zu akkuraten und schmalen Verbindungen, die bei hoher Geschwindigkeit gefertigt werden. Beim Laserschweißen existiert jedoch eine Zahl von Problemen. Ein solches Problem ist, dass, wenn ein solches Verfahren verwendet wird, um Magnesium mit Aluminiumlegierungen zu verbinden (wie bei jedem Verfahren, das zumindest etwas Schmelzen beinhaltet), das Laserschweißen zur Bildung von harten und spröden intermetallischen Phasen um die Schweißstelle herum führt. Darüber hinaus sind solche Verfahren aufgrund der eingeschlossenen Gase in solchen Gussstücken für Magnesiumlegierungen, die durch einen Hochdruck-Spritzgussprozess geformt werden, nicht besonders geeignet.

[0004] Das Problem ist nicht für Magnesium beim Verwenden von Laserschweißen spezifisch. Im Fall von Stahl zum Beispiel beeinträchtigt die Bildung von harten Phasen wie z. B. Martensit um die lasergeschweißte Verbindung die Formbarkeit des rostfreien oder nicht-rostfreien Stahls. Im Fall von Verbindungen zwischen Aluminium-/Stahlelementen wachsen intermetallische Fe-Al-Phasen und bilden an der Grenzfläche eine Schicht. Um Fe-Al-Verbindungen von akzeptablen mechanischen Eigenschaften herzustellen, muss die Stärke dieser Intermetallschicht geringer als 10 µm sein und erfordert daher geeignete Temperatur-Zeit-Zyklen.

[0005] Beim Laserschweißen wird mindestens eine der Komponenten geschmolzen. Laserschweißen von Aluminium an Stahl ist wie ein Lötverfahren, wobei nur der Beisatz mit dem niedrigeren Schmelzpunkt einen Schmelzvorgang durchmacht. Andererseits führt ein Laserschweißen von Magnesium und Aluminium zum Schmelzen beider Metalle, so dass die Diffusion von chemischen Elementen ineinander nicht verhindert werden kann. Dies führt zur Bildung von Intermetallphasen wie z. B. $\beta\text{-M}_{917}(\text{Al}, \text{Zn})_{12}$, was minimiert werden muss, um eine zufrieden stellende Verbindung zu bilden.

[0006] Ein alternatives Verfahren zum Bilden einer Verbindung ist Reibrührschweißen (friction stir welding, FSW), das toleranter gegenüber unähnlichen Metallen ist, die verbunden werden, und gegenüber Hochdruck-Spritzgussstücken (die eingeschlossene Gase aufweisen), weil es ein Festphasenverbindungsverfahren ist, wodurch zwei Materialien unter der Einwirkung einer Sonde plastifiziert werden. Daher werden die Metalle beim Reibrührschweißen nicht geschmolzen. Beim Reibrührschweißen existiert jedoch eine Zahl von Problemen, einschließlich der niedrigen Geschwindigkeit des Verfahrens, der begrenzten Teilgeometrie, auf die das Verfahren angewendet werden kann, und der hohen Kräftefordernis, die eine große Menge Energie und besondere Werkzeuge für Reibung und Einspannen erfordern kann. Darüber hinaus existieren Hinweise darauf, dass beim Verwenden von Reibrührschweißen zum Verbinden von Magnesium mit Aluminium Al_3Mg_2 - und $\text{Al}_{12}\text{Mg}_{17}$ -Phasen um die Schweißstelle herum gebildet werden, die unter Belastung reißen können.

[0007] Als Alternative zu den obigen Verfahren können Kaltverbindungstechniken eingesetzt werden, um unähnliche Metalle ohne die Bildung von unerwünschten metallurgischen Verbindungen zu verbinden und die Probleme bezüglich eingeschlossener Gase in Hochdruck-Spritzgussstücken zu vermeiden. Ein solches Verfahren ist die Verbolzung, die eine Zahl eigener Probleme aufweist, einschließlich des zusätzlichen Gewichts, des Erfordernisses nach präziser Ausrichtung, des Reibverschleißes und der Abnutzung zwischen dem Bolzen und dem Metallteil (insbesondere, wenn das Metall Magnesium oder eine Magnesiumlegierung ist) und erhöhter Materialkosten durch das Bereitstellen der Bolzen.

[0008] Eine alternative Kaltverbindungsmethode ist die des selbstdurchstoßenden Vernietens (self-piercing riveting, SPR), die besonders zum Verbinden unähnlicher Metalle geeignet ist, die einigermäßen formbar sind. Ein Vorteil des selbstdurchstoßenden Vernietens ist, dass galvanische Korrosion minimiert werden kann. Wenn jedoch zum Beispiel Aluminium- und Magnesiumlegierungen unter Verwendung eines SPR-Verfahrens verbunden werden, entsteht ein bedeutendes Problem, wenn sich das Magnesium an der Unter (Form-)seite der Verbindung befindet, wo die hohen Zugbelastungen, die das Magnesium verformen, dazu neigen, zu bewirken, dass das Magnesium wegen seiner schlechten Formbarkeit bei Raumtemperatur reißt.

[0009] Es wurden Versuche unternommen, um dieses Problem durch Vorwärmen des Magnesiums zu überwinden. Ein Beispiel hiervon ist in DE 196 30 488 A1 beschrieben, in der Induktionserwärmung verwendet wird, um das Magnesium beim Formen der SPR-Verbindung vorzuwärmen. Bei diesem Prozess existiert jedoch ein Zahl von Problemen, einschließlich hoher Energieanforderungen, langer Zykluszeiten und Schwierigkeiten, die den Fertigungsmittel, die voluminös und schwierig unterzubringen sind, innewohnen. Diese Probleme verringern die wirtschaftliche Durchführbarkeit des Verfahrens. DE 10 2004 062 896 A1 betrifft Vorrichtungen und Verfahren zum formschlüssigen Verbinden von Werkstücken. Die Verfahren werden auch als „Clinchen“ bezeichnet. Gemäß der gestellten Aufgabe soll durch bereichsweise Umformung eine formschlüssige Verbindung bei Werkstücken, die aus einem größeren Werkstoffspektrum ausgebildet sind, beispielsweise auch bei Werkstoffen mit geringer Duktilität, und die auch eine erhöhte Werkstückdicke aufweisen können, hergestellt werden können. Bei der Erfindung werden mindestens zwei Werkzeuge eingesetzt, die eine Druckkraft auf die zu verbindenden Werkstücke ausüben. Durch mindestens eine Durchbrechung in einem Werkzeug kann elektromagnetische Strahlung für eine thermische Aktivierung oder Erwärmung erreicht werden. Die elektromagnetische Strahlung kann so punktuell auf einen Fügebereich gerichtet werden. In US 2003 / 0 167 621 A1 werden ein Verfahren und eine Vorrichtung zum Vernieten von Metallelementen und insbesondere von Metallblechen offenbart. Die Vorrichtung umfasst eine Nietanordnung zum Eintreiben von Nieten in gestapelte Metallbleche und eine Matrizenanordnung zum Unterstützen beim Tragen der Bleche während des Eintreibens der Nieten und zum Unterstützen beim Befestigen der Nieten an den Blechen. Die Nietanordnung, die Gesenkanordnung oder beide in Kombination liefern Energie an mindestens einen Abschnitt der Metallbleche vor dem Nieten. Die Energie erhöht wiederum die Temperatur des Abschnitts der Bleche, so dass die Nieten wirksamer in die Bleche getrieben werden können und so, dass die Bleche mit größerer Leichtigkeit und Konsistenz aneinander befestigt werden. Eine Verbindungsvorrichtung und ein Verbindungsverfahren gemäß von Metallplatten gemäß KR 10 2005 0 080 118 A vereinfachen einen Verbindungsprozess und verbessern die Verbindungsfestigkeit von Metallplatten. Eine Verbindungsvorrichtung von Metallplatten kann eine obere Form mit einem ersten Führungsweg, der vertikal in ihrem Inneren ausgebildet ist; eine mittlere Form mit einem zweiten Führungsweg, der vertikal in ihrem Inneren ausgebildet ist, wobei die mittlere Form unter der oberen Form angeordnet ist; eine untere Form mit einem Metallentfernungsweg, der vertikal in ihrem Inneren ausgebildet ist, wobei die untere Form unter der mittleren Form angeordnet ist; eine Heizeinheit zum Heizen der Metallplatten und eines Metallbands; einen Stempel zum Ausüben einer Verbindungslast auf die Metallplatten; eine Klemmeinheit, die eine Klemmlast zum Festklemmen der Metallplatten auf die obere Form ausübt; und eine Verbindungseinheit, die die Verbindungslast auf den Stempel zum Verbinden der Metallplatten ausübt, umfassen. Ein Verfahren zum Herstellen einer Metallverpackung gemäß EP 0 744 232 B1 umfasst das Bereitstellen eines Metallblechs, das Teilen des Blechs, um Trenn- und Faltnlinien zum Bilden eines Verpackungszuschnitts zu definieren, das Erwärmen des Zuschnitts im Bereich der Faltnlinien, um das Metall zum Falten zu erweichen, das Abtrennen des Zuschnitts davon des Bogens, Falten des Zuschnitts entlang der Faltnlinien und Verbinden vorbestimmter Abschnitte, um eine Verpackung zu bilden. Die Erfindung bezieht sich auch auf ein Metallgehäuse, das durch das Verfahren der Erfindung gebildet wird. In DE 198 00 035 A1 wird ein Bauteil (2) mit einer Magnesiumoberfläche mit einem Bauteil (1) mit einer Kunststoffoberfläche durch einen Fügeprozess und/oder einen Verklebungsprozess gefügt. Unabhängige Ansprüche sind auch für das Folgende umfasst: (i) ein Verfahren zum Vorbehandeln des Fügebereichs einer oder mehrerer Komponenten vor dem vorstehenden Fügeprozess; und (ii) eine durch den vorstehenden Fügeprozess hergestellte Fügebaugruppe. Bevorzugte Merkmale: Das Fügeverfahren umfasst Vernieten; Vernieten, insbesondere mit einem verzinkten Stahl Niet oder einem halbhohl- und/oder kunststoffbeschichteten Aluminiumniet; oder Verschrauben, insbesondere mit einer selbstschneidenden Schraube. Ein Dichtungsmittel kann zwischen der Magnesiumoberfläche und der Nierte oder Schraube verwendet werden, um Korrosion zu verhindern, und ein Haftmittel (4) kann um die Nierte oder den Schraubenperforationspunkt herum vorgesehen sein. Die Komponenten werden durch Oberflächenaktivierung und/oder Reinigung unter Verwendung eines organischen Lösungsmittels (insbesondere Aceton oder MEK), eines alkalischen Reinigers und/oder einer Detergens/Tensid-Lösung vorbehandelt. Das Bauteil (2) mit einer Magnesiumoberfläche kann (a) bei 150-200 Grad C vorwärmebehandelt, (b) durch Bürsten (insbesondere mit Fasern, auf die harzgebundenes Al₂O₃ aufgebracht ist), Läppen, Schleifen, Polieren oder Korundstrahlen mechanisch gereinigt, (c) mit einem Haftvermittler versehen sein, der ein Phosphonsäurederivat sein kann

und/oder der durch Anodisieren in einer Lösung aus 8-Hydroxychinolin, einem 8-Hydroxychinolinderivat, das einen Abstandshalter zum Polymerklebstoff enthält, Natronlauge, Phosphorsäure und/oder Schwefelsäure gebildet wird, und/oder (d) einer Fluorzirconat- und/oder Chromatierungsvorbehandlung unterzogen werden. Um das Vorwärmen des zu erwärmenden Körpers mit guter Effizienz durch eine einfache Vorrichtung durchzuführen, indem die zu erwärmende Fläche durch den Nebenstrahl des Strahls, der durch einen Strahlteiler geteilt ist, vorgewärmt wird und indem sie mit dem Hauptstrahl erwärmt wird, indem der vorgewärmte Flächenteil, der zu erwärmen ist, zu dem Hauptstrahl-Vorsprungsteil bewegt wird, wird gemäß JP S62- 179 882 A ca. 90% der Laserleistung des Laserstrahls 2, der von einem Laseroszillator 1 emittiert wird, auf die Außenumfangsfläche 12 des Körpers 11 projiziert, um als ein Hauptstrahl 7 erwärmt zu werden, indem er durch einen Strahlteiler 4 reflektiert wird, und der Nebenstrahl 9, der durch den Strahlteiler 4 geführt wird, wird auf die Außenumfangsfläche 12 des Körpers 11 projiziert, um mit seiner Totalreflexion durch einen Biegespiegel 5 erwärmt zu werden. Das Vorwärmen der Außenumfangsfläche 12 wird durch den Strahlfleck 13 des Nebenstrahls 9 durch Drehen des zu erwärmenden Körpers 11 von der Vorwärmseite zur Erwärmungsseite in der Pfeilmarkierungsrichtung Y begonnen, und die Projektion des Hauptstrahls 7 wird von der Zeit an begonnen, wenn dieser vorgewärmte Teil an der Position des Strahlflecks 10 angekommen ist, um das Hauptheizen des Vorwärmteils durchzuführen. DE 200 13 526 U1 offenbart eine Vorrichtung zum Verbinden von Blechen durch Stanznieten oder Durchsetzfügen mit einer Matrize (10; 20), wobei die Matrize (10; 20) zumindest teilweise mit einer Kohlenstoffschicht, vorzugsweise mit einer „diamond-like Carbon“- (DLC)-Beschichtung oder einer durch Plasmabeschichtung oder Sputtern aufgetragenen Kohlenstoffschicht beschichtet ist.

Zusammenfassung der Erfindung

[0010] Gemäß einem ersten Aspekt der vorliegenden Erfindung ist ein Verfahren zum Verbinden von Elementen vorgesehen, wobei das Verfahren folgende Schritte umfasst: Positionieren der Elemente relativ zu einander;

Verbessern der Formbarkeit mindestens eines Abschnitts mindestens eines der Elemente unter Verwendung eines Lasers; und

Verbinden der Elemente unter Verwendung eines mechanischen Befestigungsverfahrens, wobei das mechanische Befestigungsverfahren die Verwendung eines selbstdurchstoßenden Niets umfasst, und wobei die Elemente aus unähnlichen Materialien sind, dadurch gekennzeichnet, dass der Laser von einer Vorrichtung zur Erzeugung eines Laserstrahls erzeugt wird, und dass die Laserstrahlerzeugungseinrichtung in einem Abstand von den zu verbindenden Elementen angeordnet ist.

[0011] Es versteht sich, dass das Verbessern der Formbarkeit mindestens eines Abschnitts mindestens eines der Elemente das Verbessern einer beliebigen oder mehreren der physikalischen Eigenschaften des Abschnitts beinhalten kann, wie z. B. Duktilität, Bearbeitbarkeit, Plastizität, Fließ(Aushärt-)verhalten, Fließfläche oder Anisotropie.

[0012] In einer Ausführungsform wird das mechanische Befestigungsverfahren in der Nähe des Abschnitts mindestens eines der Elemente ausgeführt, vorzugsweise an dem Abschnitt mindestens eines der Elemente.

[0013] Das mechanische Befestigungsverfahren kann jegliches geeignete Verfahren sein.

[0014] In einer Ausführungsform umfasst das mechanische Befestigungsverfahren die Verwendung eines mechanischen Befestigungsmittels.

[0015] Alternative nicht erfindungsgemäße mechanische Befestigungsverfahren sind falzartige Verfahren und Druckverbindungsverfahren.

[0016] Die Elemente sind nicht auf bestimmte Gegenstände beschränkt, sondern können jegliche Gegenstände sein, die ein Verbinden erfordern. Obwohl die Elemente in besonderen Anwendungen Materialplatten sein können, können einige oder alle Elemente keine Materialplatten sein, sondern können zum Beispiel Zapfen, Rahmen, Stangen oder andere Formstücke sein.

[0017] In einer Ausführungsform erzeugt der Laser einen Laserstrahl, der auf den Abschnitt auftrifft.

[0018] Der Laserstrahl kann auf jeder der beiden Seiten des mindestens einen Elements auftreffen, vorzugsweise auf der Seite gegenüber der Seite, auf der ein mechanisches Werkzeug auf die Elemente einwirkt, um das mechanische Befestigungsverfahren auszuführen, d. h. auf der Formseite.

- [0019]** Der Laserstrahl verbessert allgemeine die Formbarkeit des Abschnitts durch Erwärmen des Abschnitts.
- [0020]** Der Schritt des Verbesserns der Formbarkeit des Abschnitts kann vor dem Schritt des Positionieren der Elemente relativ zu einander stattfinden.
- [0021]** Das Verfahren kann das Verbessern der Formbarkeit von Abschnitten einiger oder aller Elemente unter Verwendung des Lasers umfassen.
- [0022]** In einer weiteren Ausführungsform wird die Formbarkeit nur eines Abschnitts eines der Elemente verbessert.
- [0023]** In einer Ausführungsform ist, wenn die Formbarkeit eines Abschnitts nur eines der Elemente in der Formbarkeit verbessert werden soll, das in der Formbarkeit verbesserte Element dann das, das aus einem Material besteht, das bei Raumtemperatur am wenigsten formbar ist oder das Element, das während des Schritts des Zusammenfügens unter Verwendung des mechanischen Befestigungsverfahrens der größeren Belastung ausgesetzt ist.
- [0024]** Der Laser kann ein gepulster oder unterbrochener Laser von geeigneter Dauer, Energie und Frequenz sein.
- [0025]** In einer weiteren Ausführungsform ist der Laser ein Dauerstrich-Laser, der einen konstanten Strahl erzeugt. Der Dauerstrich-Laser kann durch jegliche geeignete mechanische, elektrische oder andere Vorrichtung in einen gepulsten oder unterbrochenen Laser konvertiert werden.
- [0026]** In einer Ausführungsform können die Größe, Form und Energieverteilung des unter Verwendung des Lasers in seiner Formbarkeit verbesserten Abschnitts variiert und daher optimiert werden, indem eine oder mehrere Größen aus Laserleistung, Laserpunktgröße, Laserpulslänge oder Frequenz variiert werden.
- [0027]** In einer Ausführungsform kann die Form des Laserstrahls eine Scheiben- oder eine Ring(Kranz-)form sein. Die Form des Laserstrahls kann auch verwendet werden, um die Temperaturverteilung an der Oberfläche des Abschnitts oder den Temperaturgradienten in dem Abschnitt zu modifizieren, so dass höhere Temperaturen erhalten werden können, wenn höhere mechanische Belastungen aufgebracht werden sollen.
- [0028]** Typischerweise erhöht ein stärkerer Laser die Temperatur des Elements/der Elemente stärker in einer kürzeren Zeitperiode.
- [0029]** In einer Ausführungsform beträgt die Laserausgangsleistung zwischen 100 Watt bis 5000 Watt, vorzugsweise 100 bis 2500 Watt, insbesondere zum Verbessern der Formbarkeit eines Magnesiumelements. Diese Laserausgangsleistung ist besonders für Elemente mit einer Gesamtstärke von weniger als 15 mm, vorzugsweiliger weniger als 10 mm, vorzugsweise weniger als 7 mm, noch bevorzugter weniger als 6,6 mm, geeignet.
- [0030]** Die erforderliche Laserausgangsleistung oder die Zeit, die benötigt wird, um die Formbarkeit der Elemente geeignet zu verbessern, kann höher sein, unter Anderem wegen der Zahl der zusammengefügt Elemente, der Gesamtstärke der Elemente, der Legierung, der Größe der Elemente und des Abstands des Abschnitts vom Rand des Elements. Die erforderliche Laserausgangsleistung hängt auch von der Zahl der Abschnitte ab, die durch den Laser gleichzeitig in ihrer Formbarkeit verbessert werden. Die oben genannten Leistungsanforderungen können allgemein als Leistungsanforderung pro verbessertem Abschnitt betrachtet werden (d. h. für einen einzelnen Abschnitt).
- [0031]** In einer Ausführungsform beträgt die Zeit, die benötigt wird, um die Formbarkeit des Elements in geeigneter Weise zu verbessern, weniger als 3,5 Sekunden. Dies kann als „Laserhaltezeit“ bezeichnet werden.
- [0032]** In einer Ausführungsform beträgt die Zeit, die benötigt wird, um die Formbarkeit der Elemente geeignet zu verbessern und sie unter Verwendung des mechanisches Befestigungsverfahrens zu verbinden, weniger als 10 Sekunden, vorzugsweise weniger als 5 Sekunden. Diese Zeit kann als „Gesamtzykluszeit“ bezeichnet werden. Es wird drauf hingewiesen, dass diese Zeit nicht die Zeit umfasst, die benötigt wird, um die Elemente relativ zueinander zu positionieren.

[0033] Die Formbarkeit des Elements kann auf geeignete Weise verbessert werden, indem die Temperatur des Abschnitts auf bis zu 80% des Schmelzpunkts (Solidus) des Elements erhöht wird. Diese Temperatur kann für eine Magnesiumlegierung, abhängig von der Legierungsart und der Wärmebehandlung sowie von der Elementtemperatur gegenüber dem Grad und der Verteilung und der Verformungsgeschwindigkeit, die erforderlich sind, 100-350°C betragen.

[0034] In einer Ausführungsform umfasst das Verfahren weiterhin den Schritt des Reflektierens des Laserstrahls auf mindestens eines der Elemente unter Verwendung einer optischen Laservorrichtung.

[0035] In einer Ausführungsform umfasst die optische Laservorrichtung optische Köpfe und/oder Spiegel.

[0036] In einer Ausführungsform können die Größe, Form und Temperaturverteilung des in seiner Formbarkeit verbesserten Abschnitts unter Verwendung des Lasers variiert und daher optimiert werden, indem die Komponenten der optischen Laservorrichtung variiert werden.

[0037] Typischerweise erhöht ein stärker fokussierter Laserstrahl, der auf einem kleineren Abschnitt mindestens eines der Elemente auftrifft, die Temperatur des Element/der Elemente über eine kürzere Zeitdauer stärker.

[0038] Der Laser kann ein Diodenlaser, ein Nd:YAG-Laser oder ein CO₂-Laser oder jeglicher andere geeignete Laser sein.

[0039] In einer Ausführungsform umfasst das Verfahren auch den Schritt des Vorbereiten der Oberfläche des Abschnitts des Elements/der Elemente, um die Absorption der Laserenergie zu verbessern.

[0040] In einer Ausführungsform umfasst der Schritt des Vorbereitens der Oberfläche das Reinigen der Oberfläche zum Beispiel durch Sandstrahlen oder durch Beizen, Spülen und Trocknen.

[0041] In einer weiteren Ausführungsform umfasst der Schritt des Vorbereitens der Oberfläche das Aufräuen der Oberfläche zum Beispiel durch Glasperlenstrahlen.

[0042] In einer weiteren Ausführungsform umfasst der Schritt des Vorbereitens der Oberfläche das aufbringen eines lichtabsorbierenden Überzugs auf die Oberfläche.

[0043] Der absorbierende Überzug kann ein Überzug aus Graphit, pyrogenem Kohlenstoff (Black Carbon), Aero 504 (Japan Acheson Corporation) oder einem anderen geeigneten Absorbens sein.

[0044] In einer Ausführungsform kann der absorbierende Überzug ein Überzug sein, der auch als korrosionsverhindernder Überzug dient. Ein Beispiel eines solchen Überzugs ist e-Coating.

[0045] In einer Ausführungsform umfasst das Verfahren auch den Schritt des Aufbringen eines adhäsiven Materials zwischen mindestens zwei der zu verbindenden Elemente vor dem Schritt des Verbesserns der Formbarkeit.

[0046] In dieser Ausführungsform wird das adhäsive Material nach dem Verbessern der Formbarkeit des Abschnitts mindestens eines der Elemente unter Verwendung des Lasers erwärmt, was das adhäsive Material härtet und/oder abbindet.

[0047] In einer Ausführungsform sorgt das adhäsive Material für eine zusätzliche Bindung für die Verbindung zwischen den Elementen.

[0048] In einer Ausführungsform umfasst das mechanische Befestigungsverfahren die Verwendung eines mechanischen Befestigungswerkzeug, um auf die Elemente einzuwirken.

[0049] In einer Ausführungsform wirkt das mechanische Befestigungswerkzeug auf die Elemente ein, indem es auf ein mechanisches Befestigungsmittel einwirkt.

[0050] In einer Ausführungsform fügt das mechanische Befestigungsmittel die Elemente in und/oder durch den Abschnitt mindestens eines der Elemente zusammen.

- [0051] In einer Ausführungsform verformt das mechanische Befestigungsmittel die Elemente.
- [0052] In einer Ausführungsform ist das mechanische Befestigungsmittel ein selbstdurchstoßender Niet. Der selbstdurchstoßende Niet kann ein massiver oder halbhohler Niet sein.
- [0053] Alternative nicht erfindungsgemäße mechanische Befestigungsmittel sind zum Beispiel ein Bolzen, eine Mutter, eine Schraube oder ein Zapfen.
- [0054] In einer Ausführungsform ist der Schritt des Zusammenfügens der Elemente ein selbstdurchbohrender Vernietungsprozess, in dem ein mechanisches Befestigungswerkzeug in Form einer Nietpistole auf die selbstdurchbohrende Niete einwirkt, um die Niete in und/oder durch die Elemente zu treiben. In dieser Ausführungsform kann das mechanische Werkzeug auch eine Form umfassen.
- [0055] In einer weiteren Ausführungsform ist das mechanische Befestigungsmittel ein Kunststoffniet.
- [0056] In einer weiteren Ausführungsform umfasst das mechanische Befestigungsverfahren das Verformen eines Teils der Elemente unter Verwendung eines mechanischen Werkzeugs.
- [0057] In dieser Ausführungsform formt das Verformen des Teils der Elemente mit dem mechanischen Werkzeug das Teil der Elemente in ein mechanisches Befestigungsmittel.
- [0058] Das mechanische Befestigungsmittel in dieser Ausführungsform ist eine ineinandergreifende Verformung der Elemente.
- [0059] Das mechanische Werkzeug in dieser Ausführungsform umfasst eine Stanze. Das mechanische Werkzeug kann auch eine Form umfassen.
- [0060] In dieser Ausführungsform kann der Schritt des Verbindens ein umklammerungsartiger Vorgang sein, in dem das mechanische Werkzeug die Form einer Stanze und Form hat, und wobei der Schritt des Verbindens das Formen eines Teils der Elemente in die Form umfasst, um das mechanische Befestigungsmittel zu formen, das die Elemente zusammenfügt.
- [0061] In einer weiteren Ausführungsform ist das mechanische Befestigungsverfahren ein Druckverbindungsverfahren, wie z. B. Formloses Umklammern oder formloses Nietumklammern.
- [0062] Das Verfahren kann weiterhin den Schritt des Erwärms des mechanischen Befestigungsmittels vor dem Schritt des Verbindens der Elemente umfassen.
- [0063] In einer Ausführungsform wird das mechanische Befestigungsmittel unter Verwendung des Lasers erwärmt.
- [0064] Der Laserstrahl kann koaxial mit dem mechanischen Befestigungsmittel angeordnet sein, um das mechanische Befestigungsmittel vorzuwärmen.
- [0065] Der Laser arbeitet vor dem Schritt des Verbindens der Elemente und kann auch während des Schritts des Verbindens der Elemente arbeiten.
- [0066] In einer weiteren Ausführungsform ist der Laserstrahl nicht axial mit dem mechanischen Befestigungsmittel angeordnet.
- [0067] Das Verfahren kann weiterhin den Schritt des Erwärms des mechanischen Befestigungswerkzeugs vor dem Schritt des Verbindens der Elemente umfassen.
- [0068] In einer Ausführungsform wird das mechanische Befestigungswerkzeug unter Verwendung des Lasers erwärmt.
- [0069] Der Laserstrahl kann koaxial mit dem mechanischen Befestigungswerkzeug angeordnet sein, um das mechanische Befestigungswerkzeug vorzuwärmen.

- [0070]** In einer weiteren Ausführungsform ist der Laserstrahl nicht axial mit dem mechanischen Befestigungswerkzeug angeordnet.
- [0071]** In einer Ausführungsform umfasst das Verfahren auch den Schritt des Erwärms der Form des mechanischen Werkzeugs.
- [0072]** In einer Ausführungsform umfasst der Schritt des Positionierens der Elemente relativ zueinander das Anordnen der Elemente aufeinander.
- [0073]** In einer Ausführungsform umfasst das Verfahren weiterhin den Schritt des Klemmens der Elemente in ihrer Position relativ zueinander.
- [0074]** In einer Ausführungsform umfasst der Schritt des Klemmens das Aufbringen einer wesentlichen Druckkraft auf die Elemente.
- [0075]** In einer Ausführungsform findet der Schritt des Klemmens vor dem Schritt des Verbindens der Elemente unter Verwendung eines mechanischen Befestigungsverfahrens statt.
- [0076]** In einer Ausführungsform findet der Schritt des Klemmens gleichzeitig mit dem Schritt des Verbindens der Elemente unter Verwendung eines mechanischen Befestigungsverfahrens statt.
- [0077]** In einer Ausführungsform findet der Schritt des Klemmens nach dem Schritt des Verbindens der Elemente unter Verwendung eines mechanischen Befestigungsverfahrens statt.
- [0078]** In einer Ausführungsform findet der Schritt des Klemmens in einer beliebigen Kombination aus vor, gleichzeitig mit oder nach dem Schritt des Verbindens der Elemente unter Verwendung des mechanischen Befestigungsverfahrens statt.
- [0079]** In einer Ausführungsform umfasst das Verfahren weiterhin das Wiederholen des Schritts des Verbindens der Elemente an einer Mehrzahl diskreter Stellen entlang einer Verbindungslinie.
- [0080]** In einer Ausführungsform umfasst das Verfahren weiterhin das Wiederholen des Schritts des Verbesserns der Formbarkeit einer Mehrzahl diskreter Abschnitte mindestens eines der Elemente.
- [0081]** In einer Ausführungsform definiert die Mehrzahl diskreter Abschnitte die Mehrzahl diskreter Stellen entlang der Verbindungslinie, an der die Elemente verbunden sind.
- [0082]** In einer weiteren Ausführungsform umfasst das Verfahren das Verbessern der Formbarkeit eines breiten Bereichs mindestens eines der Elemente unter Verwendung des Lasers/der Laser, wobei der breite Bereich mehr als eine diskrete Stelle umfasst, an der die Elemente verbunden werden.
- [0083]** In einer Ausführungsform wird ein einzelner Laser verwendet, um die Formbarkeit der Mehrzahl Abschnitte zu verbessern.
- [0084]** In einer Ausführungsform umfasst das Verfahren weiterhin das gleichzeitige Verbessern der Formbarkeit einiger oder aller der Mehrzahl Abschnitte.
- [0085]** In einer Ausführungsform umfasst das Verfahren weiterhin das Teilen eines einzelnen Laserstrahls, um die Formbarkeit einer Mehrzahl Abschnitte von mindestens einem der Elemente zu verbessern. In dieser Ausführungsform kann der Laser eine höhere Ausgangsleistung als 5000 Watt benötigen, abhängig von der Zahl der Teilungen des Strahls.
- [0086]** Daher ist der Laserausgangsleistung in einer Ausführungsform 100-5000 W pro geteiltem Laserstrahl, vorzugsweise 100-2500 W pro geteiltem Laserstrahl.
- [0087]** In einer weiteren Ausführungsform wird eine Anzahl Laser verwendet, um die Formbarkeit einiger oder aller Abschnitte gleichzeitig zu verbessern.
- [0088]** In einer weiteren Ausführungsform umfasst das Verfahren weiterhin die Verwendung eines einzelnen Lasers, um die Formbarkeit der Mehrzahl Abschnitte nacheinander zu verbessern.

[0089] Gemäß einem zweiten Aspekt der vorliegenden Erfindung ist eine Vorrichtung zum Zusammenfügen von Elementen vorgesehen, wobei die Vorrichtung eine Laserstrahlerzeugungseinrichtung zum Bereitstellen eines Laserstrahls, der auf mindestens einen Abschnitt mindestens eines der Elemente auftrifft, und ein mechanisches Werkzeug, ausgebildet und eingerichtet, um auf einen selbstdurchstoßenden Niet einzuwirken, umfasst, um die Elemente zu verbinden, wobei die Elemente aus unähnlichen Materialien sind, dadurch gekennzeichnet, dass die Laserstrahlerzeugungseinrichtung in einem Abstand von den zu verbindenden Elementen angeordnet ist.

[0090] In einer Ausführungsform ist die Lasererzeugungseinrichtung eine Diode, eine Nd:YAG-Lasererzeugungseinrichtung oder eine LC2-Lasererzeugungseinrichtung oder eine andere geeignete Lasererzeugungseinrichtung.

[0091] In einer Ausführungsform umfasst das mechanische Befestigungswerkzeug eine Nietpistole zum Einwirken auf ein mechanisches Befestigungsmittel.

[0092] Das mechanische Werkzeug kann auch eine Form umfassen.

[0093] Die Nietpistole und die Form können jegliche geeignete Nietpistole und Form sein, wie z. B. die in US 5,752,305 A und US 6,742,235 B2 offenbarten, die hierin durch Bezugnahme umfasst sind.

[0094] In einer weiteren Ausführungsform umfasst das mechanische Werkzeug eine Stanze zum Formen eines Abschnitts des Elements in eine ineinander greifende Verformung der Elemente.

[0095] In dieser Ausführungsform kann das mechanische Werkzeug auch eine Form umfassen.

[0096] In einer Ausführungsform umfasst die Form eine Einkerbung, die im Querschnitt flach ist.

[0097] In einer weiteren Ausführungsform umfasst die Form eine Einkerbung, die so geformt ist, dass sie das Fließen der Elemente, die verbunden werden, weg von der Mitte der Form fördert.

[0098] In einer Ausführungsform ist die Form von halb-toroidaler Form.

[0099] In einer Ausführungsform umfasst die Form eine Einkerbung, die im Querschnitt kegelförmig ist.

[0100] In einer Ausführungsform umfasst die kegelförmige Form einen erhabenen mittleren Abschnitt der Einkerbung. Der erhabene mittlere Abschnitt kann gekrümmt oder geradrandig sein (d. h. dreieckig).

[0101] In einer weiteren Ausführungsform ist die Form eine flache Platte, d. h. ohne Einkerbung.

[0102] In einer Ausführungsform weist die Form einen nicht-haftenden Überzug auf.

[0103] In einer weiteren Ausführungsform weist die Form einen wärmebeständigen Überzug auf.

[0104] In einer Ausführungsform weist die Form einen oxidationsbeständigen Überzug auf.

[0105] In einer Ausführungsform umfasst die Vorrichtung auch ein Klemmwerkzeug zum Klemmen der Elemente in ihrer Position relativ zueinander.

Kurzbeschreibung der Zeichnungen

[0106] Bevorzugte Ausführungsformen der vorliegenden Erfindung werden nun nur beispielhaft mit Bezug auf die begleitenden Zeichnungen beschrieben, in denen:

Fig. 1A, Fig. 1B, Fig. 1C und Fig. 1D Seitenansichten von alternativen Anordnungen einer Vorrichtung zum Verbinden von Elementen gemäß der vorliegenden Erfindung zeigen, vor allem für Testzwecke;

Fig. 2A bis Fig. 2D die Effekte des Änderns der Laserleistung eines Laserstrahls, der auf ein Element auftrifft, auf die Temperatur eines 3 mm starken Element einer hochdruckspritzgegossenen AM50-Legierung mit der Zeit zeigen, wobei **Fig. 2A und B** den Fall darstellen, dass der Laserstrahl auf die Nietseite des Element gelenkt wird, und **Fig. 2C und Fig. 2D** den Fall darstellen, dass der Laserstrahl auf die Formseite des Elements gelenkt wird;

Fig. 2E ein Vergleich der Temperatur der Elementoberfläche mit der Zeit für eine konstante Eingangsleistung gegenüber einer zeitabhängigen Eingangsleistung ist;

Fig. 3A ein Graph ist, der die Temperatur von Elementen verschiedener Stärken während des Verbindens mit anderen Elementen unter Verwendung eines Verfahrens gemäß Ausführungsformen der vorliegenden Erfindung ist, wobei die inneren und äußeren Erscheinungen der Verbindungen in **Fig. 3B** bis **Fig. 3E** gezeigt sind;

Fig. 4 eine schematische Ansicht des Formquerschnitts einer Vorrichtung zum Zusammenfügen von Elementen gemäß Ausführungsformen der vorliegenden Erfindung ist;

Fig. 5A ein Graph von maximaler Oberflächentemperatur sowie Klemm- und Nieteinstellrücken während eines Verfahrens zum Verbinden gemäß Ausführungsformen der vorliegenden Erfindung ist;

Fig. 5B und **Fig. 5C** Graphen der Laserleistung auf ein Element gegen die Gesamtelementstärke bzw. der Lasererwärmzeit gegen die Gesamtelementstärke sind, die Datenpunkte für bruchfreie Verbindungen zeigen, die in Beispiel 2 gebildet werden;

Fig. 6 ein Graph der Gesamtzeit, die benötigt wird, um Elemente zu verbinden (ausschließlich des Positionierens der Elemente relativ zueinander) gegen die Gesamtelementstärke ist;

Fig. 7 die Effekte der Temperatur eines 3 mm starken Element einer hochdruckspritzgegossenen AM50-Legierung während des Verbindens mit einem weiteren gleichen Element unter Verwendung eines Verfahrens gemäß Ausführungsformen der vorliegenden Erfindung zeigen, wobei die Effekte der Temperatur auf die äußere Erscheinung der Verbindungen in **Fig. 7A** gezeigt sind und **Fig. 7B** ein Graph der maximalen Belastung von zusammengefügt Elementen für verschiedene maximale Oberflächentemperaturen ist;

Fig. 8A bis **Fig. D** Graphen sind, die sich auf Beispiel 3 beziehen, in denen die Effekte des Änderns der Form und des Niets studiert wurden;

Fig. 9 eine Reihe von Vergleichsbildern von zusammengefügt Elemente mit und ohne Verwendung eines Lasers zum Verbessern der Formbarkeit eines Abschnitt mindestens eines der Elemente ist; und

Fig. 10A bis **Fig. C** Graphen der maximalen Belastung verschiedener unter Verwendung des Verbindungsverfahrens gemäß Ausführungsformen der vorliegenden Erfindung zusammengefügt Elemente sind, wobei **Fig. 10A**, **Fig. 10B** und **Fig. 10C** sich auf Gesamtelementstärken von 3,5-4 mm, 5-5,5 mm bzw. 6-6,6 mm beziehen.

Ausführliche Beschreibung der bevorzugten Ausführungsformen

[0107] Gemäß der bevorzugten Ausführungsformen der vorliegenden Erfindung ist ein Verfahren zum Verbinden von zwei oder mehr Elementen miteinander vorgesehen. In dem Verfahren sind die Elemente relativ zueinander angeordnet, wobei sich üblicherweise Teile der Elemente überlappen. Zumindest ein Abschnitt von zumindest einem der Elemente wird durch Verwendung des Lasers in der Formbarkeit verbessert. Der Laser verbessert merklich die Formbarkeit des Abschnitts von zumindest einem der Elemente, indem der Abschnitt, ohne dass die Elemente physisch berührt werden, erwärmt wird, und er kann daher in einer Entfernung von den Elementen beabstandet werden, um diese Erwärmung zu bewirken. Neben anderen Vorteilen verstärkt dies die Gerätezugänglichkeit der Elemente.

[0108] Die Elemente können dann miteinander verbunden werden, was in einer Ausführungsform der vorliegenden Erfindung unter Verwendung eines mechanischen Befestigungsverfahrens erfolgt. Dies kann wiederholt entlang einer Verbindungslinie zwischen den Elementen an separaten Positionen entlang der Verbindungslinie erfolgen. Der Laser kann vorzugsweise verwendet werden, um die Formbarkeit einer Mehrzahl von Abschnitten von zumindest einem der Elemente an separaten Positionen entlang der Verbindungslinie zu verstärken. Der Laserstrahl kann geteilt werden, um gleichzeitig die Formbarkeit mehrerer dieser Abschnitte zu verstärken, oder eine Anzahl Laser kann verwendet werden, um die Formbarkeit der mehreren Abschnitte gleichzeitig zu verstärken, oder die Mehrzahl der Abschnitt kann einzeln durch einen einzelnen Laserstrahl verstärkt werden.

[0109] In einer weiteren Ausführungsform wird ein breiter Bereich von zumindest einem der Elemente unter Verwendung des Lasers in der Formbarkeit verstärkt, wobei der breite Bereich mehr als eine separate Position, an der das mechanische Befestigungsverfahren die Elemente miteinander verbindet, umfasst.

[0110] Das Verfahren gemäß der bevorzugten Ausführungsformen der vorliegenden Erfindung ist insbesondere dafür geeignet, Elemente miteinander zu verbinden, die aus einem Material bestehen, das bei Raumtemperatur spröde oder schwierig zu pressen, zu formen oder zu verbinden ist. Insbesondere ist dieses Verfahren auf Metall einschließlich Magnesium und Magnesiumlegierungen wie auch auf hochfeste Aluminiumlegierungen, Titan und Titanlegierungen, Stahl und andere Metalle und ihre Legierungen anwendbar. Das Verfahren ist auch insbesondere geeignet, um Elemente aus unähnlichen Materialien miteinander zu verbinden, weil das Verfahren das Weichmachen und nicht das Schmelzen der Elemente umfasst. Aus dem gleichen Grund ist das Verfahren gemäß den bevorzugten Ausführungsformen der vorliegenden Erfindung auch besonders geeignet, um Elemente miteinander zu verbinden, von denen zumindest eines ein Hochdruck-Spritzguss-Metall ist. Diese Metalle können vor dem Verbinden unter Verwendung des Verfahrens heiß oder kalt gewalzt, extrudiert, halb-fertig oder fertig (z. B. beschichtet) sein.

[0111] Die Elemente sind nicht auf irgendwelche bestimmten Gegenstände beschränkt, sondern können beliebige Gegenstände sein, die die ein Verbinden erfordern. Obwohl die Element in besondere Anwendungen Materialplatten sein können, können einige oder alle Elemente nicht Materialplatten sein, sondern können zum Beispiel Zapfen, Rahmen, Stangen oder andere Formstücke sein.

[0112] Das mechanische Befestigungsverfahren wird in der Nähe des Abschnitts von zumindest einem der Elemente ausgeführt, vorzugsweise an dem Abschnitt von zumindest einem der Elemente. Erfindungsgemäß umfasst das mechanische Befestigungsverfahren die Verwendung eines selbstdurchstoßenden Niets.

[0113] Der Laserstrahl kann auf jeder der beiden Seiten des mindestens einen Elements auftreffen, um die Formbarkeit des Abschnitts eines der Elemente zu verstärken, wie in **Fig. 1A** und **Fig. 1B** (Nietseite) gegenüber **Fig. 1C** und **Fig. 1D** (Formseite) gezeigt ist. Das Verbessern der Formbarkeit des Abschnitts kann vor dem Schritt des Positionierens der Elemente relativ zu einander stattfinden oder nicht. Abschnitte von einigen oder allen Elementen kann durch den Laserstrahl verbessert werden, oder nur ein Abschnitt von einem der Elemente kann verbessert werden. Wenn nur ein Abschnitt nur eines der Elemente in der Formbarkeit verbessert werden soll, ist das in der Formbarkeit verbesserte Element dann vorzugsweise das, das aus einem Material besteht, das bei Raumtemperatur am wenigsten formbar ist, oder das Element, das während des Schritts des Zusammenfügens unter Verwendung des mechanischen Befestigungsverfahrens der größeren Belastung ausgesetzt ist.

[0114] Der Laser kann ein gepulster oder unterbrochener Laser von geeigneter Dauer, Energie und Frequenz sein, oder er kann ein Dauerstrich-Laser sein, der einen konstanten Strahl erzeugt. Der Dauerstrich-Laser kann durch jegliche geeignete mechanische, elektrische oder andere Vorrichtung in einen gepulsten oder unterbrochenen Laser konvertiert werden. Die Größe, Form und Energieverteilung des unter Verwendung des Lasers in seiner Formbarkeit verbesserten Abschnitts können auch variiert und daher optimiert werden, indem eine oder mehrere Größen aus Laserleistung, Laserpunktgröße, Laserpulslänge oder Frequenz variiert werden.

[0115] Die Größe, Form und Temperaturverteilung des durch den Laserstrahl in der Formbarkeit verbesserten Abschnitts können ebenfalls durch Variieren der Komponenten einer Laser-optischen Vorrichtung verändert und so optimiert werden, indem die Komponenten einer Laser-optischen Vorrichtung, die den Laserstrahl auf zumindest eines der Elemente reflektiert, variiert werden. Die Laser-optische Vorrichtung kann verschiedene optische Köpfe (wie eine axiconische Fokussierungslinse) und/oder Spiegel umfassen.

[0116] Die Form des Abschnitts des zumindest einen Elements, das in der Formbarkeit verbessert wird, und auch des Laserstrahls kann eine Scheiben- oder eine Ring(Kranz)form sein. Die Form des Laserstrahls kann auch verwendet werden, um die Temperaturverteilung an der Oberfläche des Abschnitts und/oder den Temperaturgradienten in dem Abschnitt zu modifizieren, so dass höhere Temperaturen erhalten werden können, wenn höhere mechanische Belastungen aufgebracht werden sollen.

[0117] Die Temperatur des zumindest einen Elements kann durch Ändern der Laserleistung auf das Element, der Größe des zu verbessernden Abschnitts (was als „Laserpunktgröße“ bezeichnet werden kann) und der Laserhaltezeit (d. h. der Zeit, die benötigt wird, um die Formbarkeit des Element in geeigneter Weise zu verbessern) variiert werden. Dies ist in **Fig. 2A-Fig. 2D** gezeigt, in denen die Temperatur einer 3 mm dicken Hochdruck-Spritzguss (high pressure die cast - HPDC) AM50 Magnesiumlegierung auf der Formseite unter Verwendung eines Wärmefühlers aus dünnem Draht, der auf die Oberfläche punktgeschweißt ist, gemessen wurde. Der Laser war ein 2.5 kW Nd:YAG-Laser.

[0118] Die Temperatur des Elements auf der Formseite ist kritischer, weil das Element auf der Formseite stärker deformiert wird.

[0119] In **Fig. 2A** und **Fig. 2B** fällt der Laserstrahl auf die Nietseite. Um auf der Formseite 250-300°C zu erreichen, sind eine größere Energiedichte und/oder längere Haltezeiten erforderlich. Die Energiedichte kann durch Erhöhung der Laserleistung und/oder Verringerung der Laserpunktgröße (d. h. der Größe des zu verbessernden Abschnitts) erhöht werden, aber das würde die Temperatur des Elements auf der vom Laser bestrahlten Seite erhöhen und zu einsetzendem Schmelzen führen.

[0120] In **Fig. 2C** und **Fig. 2D** trifft der Laserstrahl auf die Formseite, so dass die Energiedichte und/oder Halteseiten, die erforderlich sind, um 250-300°C geringer sind als in **Fig. 2A** und **Fig. 2B** und das Risiko von einsetzendem Schmelzen verringert ist.

[0121] Sowohl **Fig. 2B** als auch **Fig. 2D** zeigen die Heiz- und Kühltemperaturgeschichte eines Elements, wenn der Laserstrahl für eine voreingestellte Haltezeit an- und dann ausgeschaltet ist.

[0122] Es ist anzumerken, dass die tatsächliche Laserstrahlleistung auf der Oberfläche des Elements geringer sein wird als die Laserleistung, die aufgrund von Systemverlusten dazwischen abgegeben wird. Die Laserleistung, die erforderlich ist, und die Zeit, die verwendet wird, um die Formbarkeit der Elemente zu verbessern, können höher sein wegen, neben anderen Faktoren, der Anzahl von Elementen, die miteinander verbunden werden, der Gesamtstärke der Elemente, der Legierung, der Größe der Elemente und des Abstands des Abschnitts vom Rand des Elements. Es ist ferner anzumerken, dass der Laser auch eine Leistung von 5000 Watt oder mehr benötigen kann, abhängig von der Anzahl an Teilungen (sofern vorhanden) des Laserstrahls. Mit anderen Worten ist die Laserleistung auch von der Anzahl an Abschnitten, die zur gleichen Zeit in der Formbarkeit durch den Laser verbessert werden, abhängig. Die zuvor erwähnten Leistungserfordernisse können daher allgemein als das Leistungserfordernis pro Laserstrahlteilung oder pro Abschnitt, der verbessert wird, betrachtet werden. Unabhängig ist das Leistungserfordernis bedeutend geringer als die von SPR unter induktive Erwärmung.

[0123] Des weiteren ist es, wie in **Fig. 2B** und **Fig. 2D** gezeigt ist, möglich unter Verwendung des Verfahrens gemäß der bevorzugten Ausführungsformen der vorliegenden Erfindung, das zumindest eine Element innerhalb von 3,5 Sekunden auf 80% seines Schmelzpunktes (Solidus) zu erwärmen (wo dessen Formbarkeit wesentlich verbessert ist). Es ist anzumerken, dass diese Temperatur für Magnesiumlegierungen (wie sie in Bezug auf **Fig. 2B** und **Fig. 2D** verwendet werden) zwischen 100 bis 350°C liegen kann, abhängig von dem Legierungstyp und der Einheitlichkeit der Elementtemperatur gegenüber der Höhe und Verteilung der erforderlichen Formung. Höhere Temperaturen können einer höheren Belastung oder erhöhten Deformation Rechnung tragen, wenn z. B. längere oder härtere Niete verwendet werden, um dicke Verbindungen herzustellen, die mehr Nietverriegelung und höhere Stärke (s. **Fig. 11**) erfordern. Die Schritte des Verbesserns der Formbarkeit und der Verbindung der Elemente unter Verwendung des mechanischen Befestigungsverfahrens kann daher in weniger als 10 Sekunden erfolgen, vorzugsweise in weniger als 5 Sekunden, wie in **Fig. 3A** gezeigt. Dies bietet außerdem einen deutlichen Vorzug gegenüber SPR unter induktiver Erwärmung, wo Erwärmen und Verbinden viel länger brauchen. Des Weiteren resultiert das Verfahren nicht in einer Überhitzung oder in einem Schmelzen an den Ecken und Rändern des/der Elemente(s).

[0124] Die Heiztemperatur und die Zeit, die benötigt wird, um das Verbindungsverfahren durchzuführen, können optimiert werden, indem man die Oberflächentemperatur des/der Elemente(s), das/die erhitzt wird/werden, misst und die gemessene Temperatur dazu verwendet, die Laserleistung über die Zeit innerhalb einer voreingestellten Heizzeit zu steuern, während man jegliches Schmelzen des Elements vermeidet. **Fig. 2E** stellt eine beispielhafte zeitabhängige Leistungseingabe wie diese zur Verfügung, die ermöglicht, dass die gewünschte Temperatur, bei der die Formbarkeit des Elements in geeigneter Weise verbessert wird, so schnell wie möglich erreicht wird, um die Haltezeit bei dieser Temperatur auszudehnen und den Temperaturgradienten in dem Abschnitt zum Verbinden unter Verwendung des mechanischen Befestigungsmittels zu optimieren.

[0125] Wie zum Beispiel in **Fig. 1A** bis **Fig. 1D** gezeigt, kann der Laserstrahl in axialer Ausrichtung mit einem mechanischen Befestigungswerkzeug, das auf die mechanischen Befestigungen wirkt, auf die Elemente gerichtet werden, um die Elemente miteinander zu verbinden. In einer anderen Ausführungsform kann der Laserstrahl nicht axial in Bezug auf das mechanische Werkzeug angeordnet sein. Vorzugsweise ist der Laserstrahl koaxial mit dem mechanischen Werkzeug, so dass der Abschnitt sowohl gerade vor dem wie auch während des Verbinden(s) der Elemente miteinander erwärmt werden kann. Des weiteren ermöglicht

die koaxiale Anordnung des Laserstrahls mit dem mechanischen Befestigungswerkzeug (einschließlich der Heizung der Form) die zumindest teilweise Erwärmung des mechanischen Elements und des Werkzeuges vor der Verwendung, so dass Wärmeverluste von den Elementen an die mechanischen Befestigungen und das Werkzeug während des Verbindens minimiert werden.

[0126] Der Laser kann ein Diodenlaser, ein Nd:YAG-Laser oder ein CO₂-Laser oder ein beliebiger anderer geeigneter Laser sein.

[0127] Das Verfahren kann außerdem den Schritt des Vorbereiten der Oberfläche des Abschnitts des/der Elemente(s), auf das/die der Laserstrahl trifft, umfassen, um die Absorption der Laserenergie zu verstärken und somit die Heizrate zu erhöhen und/oder die Leistungserfordernisse durch Aufrauen (zum Beispiel durch Verwendung von Glasperlenstrahlen) oder durch Reinigen (zum Beispiel durch Sandstrahlen oder durch Beizen, Spülen und Trocknen) oder durch das Aufbringen einer lichtabsorbierenden Beschichtung zu verringern. Der absorbierende Überzug kann ein Überzug aus Graphit, pyrogenem Kohlenstoff (Black Carbon), Aero 504 (Japan Acheson Corporation) oder einem anderen geeigneten Absorbens sein. Der absorbierende Überzug wird durch Auftupfen oder Aufsprühen aufgebracht. Der lichtabsorbierende Überzug kann ein Überzug sein, der auch als Korrosionsschutzbeschichtung wie e-Coating fungiert.

[0128] Das Verfahren kann auch das Aufbringen eines adhäsiven Materials zwischen zumindest zwei der Elemente, die miteinander verbunden werden sollen, vor dem Erwärmen umfassen. Während des Erwärmens des Abschnitts des zumindest einen Elements unter Verwendung des Lasers wird das klebende Material ebenfalls erwärmt, was das klebende Material aushärtet oder erhärtet. Dies bewirkt eine zusätzliche Bindung für die Verbindung zwischen den Elementen.

[0129] Das Verfahren kann auch den Schritt des Zusammenklammern der Elemente in ihrer Position relativ zueinander unter Verwendung eines Klemmwerkzeuges umfassen. Der Schritt des Klemmens beinhaltet das Zurverfügungstellen einer wesentlichen Druckkraft auf die Elemente. Der Schritt des Klemmens kann entweder vor, während oder nach dem Schritt des Verbindens der Elemente unter Verwendung eines mechanischen Befestigungsverfahrens oder in einer beliebigen Kombination davon erfolgen. Klemmen der Elemente vor dem Schritt des Verbindens umfasst das Verwenden einer hydraulischen Klemme, um eine Druckkraft auf die Elemente aufzubauen. Zum Klemmen gleichzeitig mit dem Verbinden wird eine Federklemme verwendet, um die zusammendrückende Kraft aufzubauen, während der Schritt des Verbindens erfolgt. Klemmen der Elemente vor oder während dem/des Schritt(s) der Verbindung wirkt dem entgegen, dass sich die Elemente während des Schritts des Verbindens relativ zueinander bewegen. Klemmen des Elements nach dem Verbindungsschritt, wobei das mechanische Befestigungsverfahren das Verwenden eines mechanischen Befestigungsmittels umfasst, bewirkt, dass das Elementmaterial um das mechanische Befestigungsmittel gedrückt wird, was die Verbindung dadurch verbessert, dass deren Ermüdungsfestigkeit erhöht wird.

[0130] Der Schritt des Verbindens der Elemente miteinander unter Verwendung eines mechanischen Befestigungsverfahrens in einer bevorzugten Ausführungsform der vorliegenden Erfindung ist ein selbstdurchstoßendes Nietverfahren („self-piercing riveting“ - SPR), bei dem von dem mechanischen Befestigungswerkzeug in Form einer Nietpistole und der Form auf einen selbstdurchstoßenden Niet (der ein massiver oder ein halbhohler Niet sein kann) eingewirkt wird, um den Niet in und/oder durch den Abschnitt des Elements, das durch den Laser in der Formbarkeit verbessert wurde, getrieben wird, wodurch die Elemente verformt werden. Der Abschnitt, der verbessert wird, kann auf der Nietseite der Elemente sein, was die Seite ist, von der der Niet in die und/oder durch die Elemente getrieben wird, oder auf der Formseite der Elemente, was die der Nietseite gegenüberliegende Seite ist. Es ist anzumerken, dass die Kontaktzeit zwischen den Elementen und dem mechanischen Befestigungswerkzeug weniger als 1,5 Sekunden beträgt (s. **Fig. 3A**), und vorzugsweise weniger als 1,2 Sekunden. Es ist anzumerken, dass **Fig. 3A** das Verbinden von Elementen mit einer kombinierten Stärke von 4 bis 5,3 mm betrifft.

[0131] In einer weiteren Ausführungsform ist das mechanische Befestigungsmittel ein Plastikniet. Alternative nicht erfindungsgemäße mechanische Befestigungsmittel sind zum Beispiel ein Bolzen, eine Schraube, eine Mutter oder ein Zapfen

[0132] In einer weiteren Ausführungsform umfasst das mechanische Befestigungsverfahren das Deformieren des Teils des Elements unter Verwendung eines mechanischen Werkzeugs. Deformieren des Teils des Elements mit dem mechanischen Werkzeug formt den Teil des Elements in ein mechanisches Befestigungsmittel, typischerweise in Form einer ineinander greifenden Deformation der Elemente.

[0133] Das mechanische Befestigungsverfahren umfasst erfindungsgemäß die Verwendung eines selbst-durchstoßenden Niets.

[0134] Indem wieder auf die **Fig. 1A**, **Fig. 1B**, **Fig. 1C** und **Fig. 1D** Bezug genommen wird, sind alternative Anordnungen einer Vorrichtung 10 zum Verbinden von Elementen gemäß einer Ausführungsform der vorliegenden Erfindung, in erster Linie für Versuchszwecke, gezeigt. Die Vorrichtung 10 umfasst ein mechanisches Befestigungswerkzeug in Form einer Nietpistole 11 und Form 14, um auf ein mechanisches Befestigungsmittel in der Form eines selbstdurchstoßenden Niets (nicht gezeigt) zu wirken, um die Elemente miteinander zu verbinden. Die Nietpistole 11 ist auf einem C-Rahmen 12 angebracht. Die Vorrichtung 10 umfasst außerdem eine einen Laserstrahl erzeugenden Einrichtung 13, um Laserstrahlenergie bereitzustellen, die auf zumindest einen Abschnitt zumindest eines der Elemente einfällt. Wie in **Fig. 1A** bis **Fig. 1D** gezeigt, ist die Laserstrahlerzeugungseinrichtung 13 in einer Entfernung von den Elementen beabstandet. Daher ist die Laserstrahlerzeugungseinrichtung 13 in der Lage, die Formbarkeit des Abschnitts zu verbessern, ohne den Abschnitt physisch zu berühren, indem sie die Laserstrahlenergie, die auf den Abschnitt fällt, aus diesem Abstand entfernt von den Elementen zur Verfügung stellt.

[0135] Die Nietpistole 11 und die Laserstrahlerzeugungseinrichtung 13 sind in **Fig. 1A**, **Fig. 1B**, **Fig. 1C** und **Fig. 1D** in verschiedenen Anordnungen relativ zu einem Element 15 gezeigt. In **Fig. 1A** stellt die Laserstrahlerzeugungseinrichtung 13 einen konvergenten Laserstrahl zur Verfügung, der auf die Nietseite 18 des Elements 15 (was die Seite ist, von der die Niete in und/oder durch das Element 15 getrieben wird) einfällt, während der Laserstrahl in **Fig. 1B** parallel ist und auf die Nietseite 18 strahlt. In **Fig. 1C** stellt die Laserstrahlerzeugungseinrichtung 13 einen konvergenten Laserstrahl zur Verfügung, der auf die Formseite 17 des Elements 15 (was die Seite ist, von der die Niete in und/oder durch das Element 15 getrieben wird) einfällt, während der Laserstrahl in **Fig. 1B** parallel ist und auf die Formseite 17 strahlt.

[0136] Zusätzlich stellt in **Fig. 1D** die Laserstrahlerzeugungseinrichtung 13 einen Laserstrahl zur Verfügung, der coaxial mit der Nietpistole 11 und der Form 14 (in **Fig. 1D** nicht gezeigt) ist, wohingegen der Laserstrahl in den **Fig. 1A**, **Fig. 1B** und **Fig. 1C** nicht-axial in Bezug auf die Nietpistole 11 (und die Form 14) angeordnet ist. Wenn die Laserstrahlerzeugungseinrichtung 13 so angeordnet wäre, dass sie einen Laserstrahl zur Verfügung stellen würde, der coaxial mit der Nietpistole 11 wäre und auf die Nietseite 17 des Element einfallen würde, dann würde dies zumindest eine teilweise Erwärmung des Niets oder der Nietpistole 11 vor und/oder während der Verwendung ermöglichen, so dass Wärmeverluste von dem Element 15 an den Niet und die Nietpistole 11 während des Verbindens minimiert werden. Auf ähnliche Weise würde eine koaxiale Ausrichtung des Laserstrahls mit der Form 14 und einfallend auf die Formseite 18 zumindest eine teilweise Erwärmung der Form 14 vor und während der Verwendung ermöglichen, um Wärmeverluste zu minimieren.

[0137] Die Länge des Nietschaftes kann relativ zur kombinierten Stärke der Elemente, die miteinander verbunden werden, optimiert werden, um rissfreie Verbindungen maximaler Stärke herzustellen. Die Nietschaftlänge sollte größer sein als die kombinierte Stärke der Elemente, die miteinander verbunden werden, um dem Aufweiten des Nietschaftes während des Verbindens Rechnung zu tragen, während es dem Niet noch ermöglicht wird, alle Elemente ausreichend zu durchstoßen. Die Länge des Nietschaftes hängt außerdem von dem Durchmesser des Niets ab. Zum Beispiel ist für einen Niet mit einem 5 mm-Durchmesser eine optimale Schaftlänge eine solche, die 2 bis 4 mm größer ist als die kombinierte Dicke der Elemente, die miteinander verbunden werden.

[0138] Die Stärke der Verbindung kann durch die Verwendung eines härteren Niets verbessert werden. Dies liegt daran, dass jegliches Versagen der Verbindung wahrscheinlich in den Elementen, die miteinander verbunden werden, auftritt und nicht im Niet. Daher stärkt der Niet die verbundenen Elemente. **Fig. 8A** veranschaulicht die Verbesserung in der Stärke der Verbindung zwischen zwei 3 mm AM50-Elementen, wenn längere und härtere Niete verwendet werden.

[0139] Jedoch neigt der Nietschaft, wenn härtere Niete verwendet werden, weniger dazu, während des Verbindungsvorgangs aufzuweiten, was in einer unerwünschten Rissbildung in den verbundenen Elementen resultieren kann.

[0140] Um dieses Problem zu überwinden, kann die Form 14 eine andere Form als eine flache Platte oder eine flache Vertiefungsform aufweisen, was den Nietschaft und die Elemente, die verbunden werden darin unterstützen kann, sich während des Verbindens von der Mitte der Form zu entfernen, so dass sich der Nietschaft in angemessener Weise aufweitet und die Elemente, die verbunden werden, geringeren Hauptbelastungen unterliegen und es daher weniger wahrscheinlich ist, dass sie reißen (s. **Fig. 8B**). Eine besonders

geeignete Form für die Form ist eine „kegel“ förmige Form (in **Fig. 4** gezeigt), die einen erhöhten Mittelabschnitt aufweist. Der erhöhte Mittelabschnitt kann gekrümmte oder gerade Ränder aufweisen (d. h. dreieckig sein). Die genaue Form der Form (sowohl für flache wie auch für kegelförmige Formen) kann für verschiedene Bedingungen optimiert werden, indem der Formdurchmesser (D), die Tiefe (d), die Schräge (a), Kurvenradien (R1, R2, R3) oder Spitzenhöhe (t) angepasst werden, wie in **Fig. 4** gezeigt. Eine weitere Form, die in geeigneter Weise geformt ist, ist eine halbtoroid geformte Form. Die Bedingungen, für die die Form der Form optimiert werden kann, umfassen die Nietlänge, die Niethärte, die kombinierte Dicke der Elemente, die miteinander verbunden werden, das Material, aus dem die Elemente gebildet sind, und die für die Verbindung erforderliche Stärke. **Fig. 8A** zeigt für die längeren und härteren Niete auch die Verbesserung in der Verbindungsstärke, wenn die kegelförmige Form verwendet wird, gegenüber der Form mit flacher Ausnehmung.

[0141] Die Form 14 kann mit einem Überzug versehen sein, der nicht-haftend und/oder wärmebeständig und/oder oxidationsbeständig ist, um die Betriebszeit der Form 14 zu verlängern und die Reibung zwischen der Form 14 und dem untersten Element, das verbunden wird, zu steuern.

Beispiele

[0142] Um Ausführungsformen der Erfindung zu demonstrieren, wurden ein Anzahl verschiedener Elementenpaare unter verschiedenen Bedingungen unter Verwendung eines Lasers, um die Formbarkeit eines Abschnitts von zumindest einem der Elemente zu verbessern, und eines selbstdurchstoßenden Niets als mechanischem Verbindungsmittel miteinander verbunden.

[0143] Es wurden Beispiele gegeben, in denen ein 2,5 kW Nd:YAG-Laser in Verbindung mit einer Vorrichtung zum selbstdurchstoßenden Nieteten (SPR) verwendet wurde. Die SPR-Vorrichtung war ein hydraulischer 2-Stufen-Nietsetzer, umfassend einen doppelt wirkenden hydraulischen Zylinder und einen hydraulischen Vorklemmzylinder.

[0144] Zu Laborversuchszwecken fiel der Laserstrahl auf das Element auf der Formseite ein, wie schematisch in **Fig. 1C** gezeigt ist und wurde um ungefähr 45° geneigt. Die Strahlfokussierlinse wurde positioniert, um eine konstante Laserpunktgröße auf dem Element von $11 \pm 0,8$ mm zu liefern, was die inneren Durchmesser der für das SPR-Verbinden verwendeten Formen annäherte.

[0145] Konstante Energiezufuhrprofile, wie in **Fig. 2E** dargestellt, wurden dem Werkstück (Element) zugeführt. Der Level der Energiezufuhr oder die Laserenergie und die Laserhaltezeiten waren die Hauptprozessparameter.

[0146] Die Anwendung des Laserstrahls wurde durch einen mechanischen Prozess-Shutter bewirkt. Das Spannungssignal von dem Laserprozess-Shutter wurde aufgezeichnet. Die Klemm- und Nietsetzdrücke während des Verbindens wurden ebenfalls aufgezeichnet. Die Oberflächentemperatur der vom Laser bestrahlten Seite des Elements wurde unter Verwendung einer Infrarot(IR)-Wärmebildkamera überwacht.

[0147] Elemente verschiedener Stärken und Legierungen wurden miteinander verbunden. Die unten angegebenen Beispiele sind für Laser-unterstütztes SPR-Verbinden von Magnesium mit Magnesium (Mg/Mg) und Aluminium mit Magnesium (Al/Mg). Die Bezeichnungskonventionen nennt das Element auf der Nietseite mit dem Element auf der Formseite.

[0148] Verwendete Materialien umfassen: 2 bis 3 mm dicke Hochdruckspritzguss (HPDC) AM50 und AM60 Magnesiumlegierungen, 3,3 mm dicke Streifenformen AZ31-O Magnesiumlegierung, 2 mm dicke Al 5005-H34 Aluminiumlegierungsplatte und 1,5 oder 3 mm dicke extrudierte Platte einer A16060-T5 Aluminiumlegierung.

[0149] Hohle Stahlните mit Schäften von 5 mm Durchmesser und verschiedenen Schaftlängen und Härtegraden wurden verwendet. Es ist anzumerken, dass ein 8 L3-Niet ein solcher ist, der 8 mm lang ist und eine Härte aufweist, die als L3 bezeichnet wird. Niete der Härte L2, L3 und L4 wurden verwendet, wobei ein L3-Niet härter ist als ein L2-Niet, und ein L4-Niet härter ist als ein L3-Niet.

[0150] Eine Anzahl verschieden geformter Formen wurde beim Testen verwendet mit entweder einem „Kegel“ form-Profil, wie schematisch in **Fig. 4** gezeigt, oder einem „flachen“ Formprofil.

Beispiel 1

[0151] Um rissfreie Verbindungen herzustellen, wurden die Laserenergie und Haltezeit variiert, um das Magnesiumlegierungselement auf der Formseite auf eine Temperatur vorzuheizen, die seine Formbarkeit in geeigneter Weise verbessert. Die Laserenergie-Abgaben wurden auf dieser Weise experimentell für voreingestellte Heizzeiten von bis zum 3,6 s und für verschiedene Kombinationen von Elementen, wie in **Fig. 3A** gezeigt, bestimmt. Die externe und interne Erscheinung der entsprechenden Verbindung ist in **Fig. 3B** bis **Fig. 3E** gezeigt.

Beispiel 2

[0152] **Fig. 5A** zeigt einen typischen Laseraufwärm- und SPR-Zyklus, um zwei dicke Elemente miteinander zu verbinden. Die Temperaturkurve zeigt eine Temperaturabnahme, nachdem der Shutter geschlossen wird; der folgende Peak in der Temperatur beruht darauf, dass das SPR-Werkzeug in das Messfeld des Blicks der Infrarot-Kamera gelangt. Die IR-Temperaturdaten nach dem Start des SPR sind daher nicht bezeichnend für die Elementtemperatur während des Verbindens, sondern liefern Informationen über die verschiedenen Stufen des SPR-Verfahrens, die mit den Druckdaten für das Klemmen und Nietsetzen konsistent sind.

[0153] Die Gesamtdauer der Klemm- und Nietsetzstufen der SPR-Verfahrens wurde daher zu einem Mittel von $1,47 \pm 0,03$ s in verschiedenen Versuchen von Laser unterstütztem SPR bestimmt und wurde in einem folgenden Versuch auf $1,29 \pm 0,07$ s reduziert, indem die Zeitverzögerung zwischen dem Beginn des Klemmens und dem Beginn des Nietsetzens verringert wurde. Dies wurde durch Wechseln eines Einstellparameters der PLC-Steuerung der SPR-Vorrichtung erreicht. Eigentlich resultierte dies dann, dass die Kontaktzeit zwischen den Elementen und den mechanischen SPR-Werkzeugen verringert wurde, wodurch Wärmeverluste verringert wurden.

[0154] Wärmeverluste beruhen auch darauf, dass Wärme von dem Laser bestrahlten Abschnitt weg und in die restlichen Elemente diffundiert. Die Laserleistung und die Haltezeiten, die verwendet werden, um die Wärmeverluste zu kompensieren und rissfreie Verbindungen herzustellen, sind in **Fig. 5B** bzw. **Fig. 5C** gezeigt. Als Ergebnis wurde die Oberflächentemperatur des von dem Laser erwärmten Elements auf bis zu 80% des Schmelzpunktes des Elements erhöht, was ein Schmelzen verhinderte und Wärmeverluste durch Kontakt mit den SPR-Werkzeugen während des Klemmens kompensierte, so dass die Elementtemperatur während des Nietsetzens innerhalb eines Temperaturbereiches abfiel, indem seine Formbarkeit auf geeignete Weise verbessert wurde. Dies ist in Tabelle 1 zusammengefasst. Die Gesamtzeit, die benötigt wurde, um das Verbindungsverfahren (ausgenommen das Positionieren der Elemente relativ zueinander) zu durchzuführen, wurde auf weniger als 5 s (für folgende Versuche) bestimmt, wie in **Fig. 6** gezeigt ist.

Elemente	Form	Niet	Nr. des Teststücks	Testgeschw. (mm/min)	Vorlinge-stelle La-serenergie (mJ)	Element (V)	Vorlingest. (s)	Zykluszeit (s)	Max Temp Anstieg	% Tm	Max Belastung (N)	Versatz bei max Belastung (mm)	Belastung bei Bruch (N)	Versatz bei Bruch (mm)
3mm+ 3mm AM50	BD2	8mm L3	6	100	1846±	1553	3.09	4.39	333	60%	6011	5.2	5109	6.0
					SD	40	0.20	0.20	103	18%	247	0.6	292	0.5
3mm+ 3mm AM50	BD2	8mm L3	2	0.6	1846	1560	3.01	4.31	313	56%	6400	5.1	4674	6.0
					SD	0	0.00	0.00	3	0%	48	0.2	422	0.1
3mm Al606 OT5 + 3mm AM50	BD2	8mm L3	3	0.6	2080	1758	3.51	4.78	372	67%	7035	5.9	5692	6.3
					SD	0	0.00	0.00	46	8%	118	0.1	177	0.3
3mm Al606 OT5 + 3mm AM50	BD2	8mm L3	2	100	2080	1758	3.51	4.79	424	76%	6983	5.6	6028	6.0
					SD	0	0.00	0.00	2	0%	550	0.2	172	0.1

Elemente	Form	Niet	Nr. des Teststücks	Testgeschw. (mm/min)	Voreingestellte La-serenergie (mJ)	Energie am Element (W)	Voreingest. Haltezeit (s)	Zykluszeit (s)	Max Temp Anstieg	% Tm	Max Belastung (N)	Versatz bei max Belastung (mm)	Belastung bei Bruch (N)	Versatz bei Bruch (mm)
3.3m m+3.3 mm AZ31	BD2	8mm L3	4	100	2080	1758	3.51	4.78	341	58%	6536	5.9	5317	6.6
					SD	0	0.00	0.00	8	1%	140	0.4	340	0.3
3.3m m+3.3 mm AZ31	BD2	8mm L4	5	100	2080	1758	3.51	4.78	388	64%	5799	5.5	4671	6.6
					SD	0	0.00	0.01	19	3%	144	0.2	424	0.3
3mm Al606 OT5 + 3.3m m AZ31	BD2	8mm L3	5	100	2203	1861	3.51	4.78	351	58%	7192	6.1	6390	6.9
					SD	46	0.00	0.00	12	2%	187	0.4	116	0.5
3mm Al606 OT5 + 3.3m m AZ31	BD2	8mm L4	5	100	2182	1844	3.51	4.78	444	73%	6532	5.1	5976	6.3
					SD	0	0.00	0.00	54	9%	286	0.5	302	0.8

Elemente	Form	Niet	Nr. des Teststücks	Testgeschw. (mm/min)		Vorlängest. La-sernergie	Element (W)	Vorlängest. (s)	Zykluszeit (s)	Max Temp Anstieg	% Tm	Max Belastung (N)	Versatz bei max Belastung (mm)	Belastung bei Bruch (N)	Versatz bei Bruch (mm)
2.5m m+2.5 mm AM60	BD4 Kegel form	φ 5 x 7mm L 2	5	100	Ø	1617	1366	3.01	4.30	349	64%	4573	3.7	4238	4.2
					SD	81	69	0.00	0.00	42	8%	263	0.3	261	0.3
3mm Al606 QT5 + 2.5m m AM60	BD4 Kegel form	φ 5 x 7mm L 2	3	100	Ø	1747	1476	3.01	4.29	327	60%	4747	3.4	4732	3.4
					SD	63	53	0.00	0.00	23	4%	294	0.2	290	0.2
3mm Al606 QT5 + 2.5m m AM60	BD2 Kegel form	φ 5 x 8mm L 3	3	100	Ø	1781	1505	3.51	4.78	392	72%	6118	4.6	5832	4.8
					SD	84	71	0.00	0.01	88	16%	225	0.3	159	0.4
2mm+ 2mm AM60	BD4 Kegel form	φ 5 x 6mm L 2	2 (klein)	100	Ø	1184	1000	2.76	4.05	332	61%	3665	6.1	2566	7.5
					SD	0	0	0.35	0.36	32	6%	48	1.1	126	0.7

Elemente	Form	Niet	Nr. des Teststücks	Testgeschw. (mm/min)	Vorlage-energie La-serenergie (mJ)	Energie am Element (W)	Vorringest. Haltezeit (s)	Zykluszeit (s)	Max Temp Anstieg	% T _m	Max Belastung (N)	Versatz bei max Belastung (mm)	Belastung bei Bruch (N)	Versatz bei Bruch (mm)
2mm+ 2mm AM60	BD5 flache Form	φ 5 x 6mm L 2	5 (klein)	100	1042	881	2.51	3.81	307	56%	3379	5.6	3006	6.6
					SD	67	0.00	0.01	36	7%	152	0.3	332	0.5
1.5m m Al606 OT5 + 2mm AM60	BD5 flache Form	φ 5 x 6mm L 2	6 (klein)	100	1054	891	2.72	4.02	331	61%	3126	5.5	2715	6.3
					SD	29	0.25	0.25	59	11%	204	0.7	181	1.0
3mm+ 3mm Al606 OT5	flache Form	φ 5 x 8mm L 4	3	100							7447	6.4	4698	8.2
					SD						355	0.6	193	0.8
3mm+ 3mm Al606 OT5	flache Form	φ 5 x 8mm L 4	2	0.6							7298	6.6	2919	10.0
					SD						317	0.5	127	0.4

[0155] Obige Tabelle 1 zeigt, dass die Oberflächentemperatur des von dem Laser erwärmten Elements bis auf 80% des Schmelzpunktes des Elements erwärmt wurde, was ein Schmelzen verhinderte und Wärmeverluste durch Kontakte mit den SPR-Werkzeugen während des Klemmens kompensierte, so dass die Elementtemperatur während des Nietsetzens innerhalb eines Temperaturbereiches fiel, in dem seine Formbarkeit in geeigneter Weise verbessert wurde. Der Temperaturbereich für SPR-Formen kann zwischen 100-350°C für

ein Mg-Element, abhängig von der Legierung, der Deformationsgeschwindigkeit (Belastungsrate), und Höhe und Verteilung der ausgeübten Belastung, liegen. Letzterer hängt von der verwendeten Form und dem verwendeten Niet wie auch von den Dicken der Elemente ab.

[0156] Fig. 7A zeigt die Temperaturen und das entsprechende Oberflächenaussehen von 3 mm + 3 mm HPDC AM50-Verbindungen, die mit 8 mm-L3-Nieten und einem BD2-Kegelformprofil \varnothing 11 mm \times 1,2 mm Tiefe hergestellt wurden. Bei unzureichender Erwärmung können Wärmeverluste an das SPR-Werkzeug signifikant werden, und ein Verbinden der Elemente tritt in einem Formtemperaturbereich auf, in dem die Duktilität ein Problem darstellt. Ein Reißen aufgrund geringer Duktilität kann überwunden werden, indem man die Elementtemperatur anhebt, wie von Proben # 11 und 12 in Fig. 7A gezeigt ist. Mit Überhitzen oder Anriss-schmelzen (z. B. durch zu hohe Leistung, zu lange Laserhaltezeit oder erhöhte Adsorption der Laserbestrahlung) tritt das Verbinden der Elemente in einem heißen Arbeitstemperaturbereich auf, in dem heiße Kürze ein Problem wird, wie durch Proben # 8 und 9 in Fig. 7 gezeigt ist, für die die Peak-Oberflächentemperatur außerhalb des Messbereiches der Infrarotkamera lag. In einem herkömmlichen isothermen heißen Arbeitsbereich überschreitet die Temperatur normalerweise 50 bis 60% des Legierungsschmelzpunktes normalerweise nicht.

[0157] Peak-Oberflächentemperaturen von bis zu 80% Solidus sind möglich (siehe Tabelle 1), weil die Zeit bei hoher Temperatur kurz ist und das Verbinden weniger als 1,3 s benötigt. Höhere Temperaturen können einer höheren Belastung oder einer erhöhten Deformation Rechnung tragen, wie zum Beispiel, wenn längere oder härtere Niete verwendet werden, um dicke Verbindung mit größerem Niet-Ineingreifen und höherer Stärke herzustellen, wie in Fig. 7B gezeigt ist, vorausgesetzt, es wird das richtige Formprofil verwendet, wie in Fig. 8A und Fig. 8B gezeigt ist. Somit können mit der geeigneten Wahl und Steuerung der Parameter des Laser unterstützten Verbindens reproduzierbare Temperaturhistorien erreicht werden, wie in Fig. 8C veranschaulicht ist, um gute Verbindungen mit angemessener Stärke zu ergeben (s. Fig. 10C, wobei sich die Stärke der Verbindungen auf Fig. 8C bezieht).

Beispiel 3

[0158] Eine Anzahl verschiedener Elementepaare wurde unter verschiedenen Bedingungen unter Verwendung und ohne Verwendung eines Lasers verbunden, um die Formbarkeit eines Abschnitts von zumindest einem der Elemente zu verbessern, um dessen Effekt zu beurteilen. Bilder, die die mit der und ohne die Verwendung eines Laser gebildeten Verbindungen vergleichen, sind in Fig. 9 gezeigt. Die Verbindungen wurden unter Verwendung von Nieten mit längeren und/oder härteren Schäften hergestellt als die in Fig. 3B bis Fig. 3E gezeigten von Beispiel 1. Es ist anzumerken, dass nicht nur ein Reißen des unteren Elements verhindert wird, wenn der Laser verwendet wird, um die Formbarkeit zu verbessern, sondern es besteht auch ein besserer Kontakt des Nietkopfes mit dem umgebenden Material, wenn der Laser verwendet wird.

[0159] In Fig. 10 sind einige statische Schertestdaten für Einzelpunktverbindungen verschiedener Kombinationen von Elementen, die mit verschiedenen Nieten und Formen hergestellt sind, angegeben. Fig. 10 zeigt, dass Laser unterstützte SPR-Verbindungen hergestellt werden können, um eine Vielzahl von Stärkeerfordernissen zu erfüllen.

[0160] In den folgenden Ansprüchen und in der vorhergehenden Beschreibung der Erfindung außer an Stellen, an denen der Kontext wegen expliziter Sprache oder notwendiger Implikation etwas Anderes verlangt, wird das Wort „umfassen“ oder Abwandlungen davon wie „umfasst“ oder „umfassend“ in einem einschließenden Sinn verwendet, d. h. um die Gegenwart der angegebenen Merkmale zu erläutern, aber nicht um die Anwesenheit oder den Zusatz weiterer Merkmale in verschiedenen Ausführungsformen der Erfindung auszuschließen.

[0161] Es ist deutlich zu verstehen, dass, obwohl in der Anmeldung auf Veröffentlichungen zum Stand der Technik Bezug genommen wird, diese Bezugnahme kein Anerkenntnis dessen darstellt, dass irgendeins dieser Dokumente Teil des allgemeinen Fachwissens in Australien oder irgendeinem sonstigen Land bildet.

Patentansprüche

1. Verfahren zum Verbinden von Elementen (15), wobei das Verfahren folgende Schritte umfasst: Positionieren der Elemente (15) relativ zu einander; Verbessern der Formbarkeit mindestens eines Abschnitts mindestens eines der Elemente (15) unter Verwendung eines Lasers (13); und

Verbinden der Elemente (15) unter Verwendung eines mechanischen Befestigungsverfahrens, wobei das mechanische Befestigungsverfahren die Verwendung eines selbstdurchstoßenden Niets umfasst, wobei die Elemente (15) aus unähnlichen Materialien sind,

dadurch gekennzeichnet, dass der Laser (13) von einer Vorrichtung zur Erzeugung eines Laserstrahls erzeugt wird, und dass die Laserstrahlerzeugungseinrichtung (13) in einem Abstand von den zu verbindenden Elementen (15) angeordnet ist.

2. Verfahren nach Anspruch 1, wobei das mechanische Befestigungsverfahren in der Nähe des Abschnitts mindestens eines der Elemente (15) ausgeführt wird.

3. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, wobei die Laserausgangsleistung zwischen 100 Watt und 5000 Watt liegt.

4. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, wobei die Laserausgangsleistung zwischen 100 Watt und 2500 Watt liegt.

5. Verfahren nach einem der vorstehenden Ansprüche, wobei die Zeit, die benötigt wird, um die Formbarkeit des Elements (15) geeignet zu verbessern, weniger als 3,5 Sekunden beträgt.

6. Verfahren nach einem der vorstehenden Ansprüche, wobei die Zeit, die benötigt wird, um die Formbarkeit des Elements (15) geeignet zu verbessern und die Elemente (15) unter Verwendung des mechanischen Befestigungsverfahrens zusammenzufügen, weniger als 3,5 Sekunden beträgt.

7. Verfahren nach einem der vorstehenden Ansprüche, wobei die Formbarkeit des Elements (15) geeignet verbessert wird, indem die Temperatur des Abschnitts auf bis zu 80% des Schmelzpunkts (Solidus) des Elements (15) erhöht wird.

8. Verfahren nach einem der vorstehenden Ansprüche, wobei das Verfahren auch den Schritt des Vorbereitens der Oberfläche des Abschnitts des Elements/der Elemente (15) umfasst, um die Absorption der Laserenergie zu verbessern.

9. Verfahren nach Anspruch 8, wobei der Schritt des Vorbereitens der Oberfläche das Aufräumen der Oberfläche umfasst.

10. Verfahren nach Anspruch 8 oder 9, wobei der Schritt des Vorbereitens der Oberfläche das Reinigen der Oberfläche umfasst.

11. Verfahren nach einem der Ansprüche 8 bis 10, wobei der Schritt des Vorbereitens der Oberfläche das Aufbringen eines lichtabsorbierenden Überzugs auf die Oberfläche umfasst.

12. Verfahren nach einem der vorstehenden Ansprüche, wobei das Verfahren vor dem Schritt des Verbesserns der Formbarkeit auch den Schritt des Aufbringens eines adhesiven Materials zwischen mindestens zwei der zu verbindenden Elemente (15) umfasst.

13. Verfahren nach einem der vorstehenden Ansprüche, wobei das Verfahren auch den Schritt des Klemmens der Elemente (15) in ihrer Position relativ zueinander umfasst.

14. Verfahren nach Anspruch 13, wobei der Schritt des Festklemmens vor dem Schritt des Verbindens der Elemente (15) unter Verwendung des mechanischen Werkzeugs (11, 14) stattfindet.

15. Verfahren nach Anspruch 13 oder 14, wobei der Schritt des Klemmens gleichzeitig mit dem Schritt des Verbindens der Elemente (15) unter Verwendung des mechanischen Werkzeugs (11, 14) stattfindet.

16. Verfahren nach einem der Ansprüche 13 bis 15, wobei der Schritt des Klemmens nach dem Schritt des Verbindens der Elemente (15) unter Verwendung des mechanischen Werkzeugs (10, 14) stattfindet.

17. Verfahren nach Anspruch 1, wobei der Schritt des Verbindens der Elemente (15) ein selbstdurchstoßender Nietprozess ist, in dem durch ein mechanisches Befestigungswerkzeug (11, 14) in Form einer Nietpistole (11) auf den selbstdurchstoßenden Niet eingewirkt wird, um den Niet in and/oder durch die Elemente (15) zu treiben.

18. Verfahren nach Anspruch 1, wobei das mechanische Werkzeug (11, 14) auch eine Form (14) umfasst.
19. Verfahren nach Anspruch 18, wobei das Verfahren den Schritt des Erwärmens der Form (14) unter Verwendung des Lasers (13) umfasst.
20. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 19, wobei das Verfahren weiterhin den Schritt des Erwärmens des mechanischen Befestigungsmittels vor dem Schritt des Verbindens der Elemente (15) umfasst.
21. Verfahren nach Anspruch 20, wobei das mechanische Befestigungsmittel unter Verwendung des Lasers (13) erwärmt wird.
22. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 16, wobei das mechanische Befestigungsverfahren das Verformen eines Abschnitts des Elements (15) unter Verwendung eines mechanischen Werkzeugs (11, 14) umfasst, um den Abschnitt des Elements (15) in ein mechanisches Befestigungsmittel zu verformen.
23. Verfahren nach einem der vorstehenden Ansprüche, wobei das Verfahren weiterhin das Wiederholen des Schritts des Verbindens der Elemente (15) an einer Mehrzahl diskreter Stellen entlang einer Verbindungslinie umfasst.
24. Verfahren nach Anspruch 23, wobei das Verfahren weiterhin das Wiederholen des Schritts des Verbesserns der Formbarkeit einer Mehrzahl diskreter Abschnitte mindestens eines der Elemente (15) umfasst.
25. Verfahren nach Anspruch 24, wobei das Verfahren weiterhin das gleichzeitige Verbessern der Formbarkeit einiger oder aller der Mehrzahl der Abschnitte umfasst.
26. Verfahren nach einem der vorstehenden Ansprüche, wobei das Verfahren weiterhin das Teilen eines einzelnen Laserstrahls umfasst, um die Formbarkeit einer Mehrzahl der Abschnitte mindestens eines der Elemente (15) zu verbessern.
27. Verfahren nach Anspruch 26, wobei die Laserausgangsleistung 100 - 5000 Watt pro Laserstrahlleistung beträgt.
28. Verfahren nach Anspruch 26, wobei die Laserausgangsleistung 100 - 2500 Watt pro Laserstrahlleistung beträgt.
29. Verfahren nach einem der vorstehenden Ansprüche, wobei der Laserstrahl auf der Seite (18) gegenüber der Seite (17) auftritt, auf der ein mechanisches Werkzeug (11, 14) auf die Elemente (15) einwirkt, um das mechanische Befestigungsverfahren durchzuführen.
30. Vorrichtung (10) zum Zusammenfügen von Elementen (15), wobei die Vorrichtung eine Laserstrahlerzeugungseinrichtung (13) zum Bereitstellen eines Laserstrahls, der auf mindestens einen Abschnitt mindestens eines der Elemente (15) auftritt, und ein mechanisches Werkzeug (11, 14), ausgebildet und eingerichtet, um auf einen selbstdurchstoßenden Niet einzuwirken, umfasst, um die Elemente (15) zu verbinden, wobei die Elemente (15) aus unähnlichen Materialien sind, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Laserstrahlerzeugungseinrichtung (13) in einem Abstand von den zu verbindenden Elementen (15) angeordnet ist.
31. Vorrichtung (10) nach Anspruch 30, wobei das mechanische Befestigungswerkzeug (11, 14) eine Nietpistole (11) zum Einwirken auf ein mechanisches Befestigungsmittel umfasst.
32. Vorrichtung (10) nach Anspruch 30, wobei das mechanische Werkzeug (11, 14) eine Stanze zum Verformen eines Abschnitts des Elements (15) in eine ineinandergreifende Verformung der Elemente (15) umfasst.
33. Vorrichtung (10) nach Anspruch 31 oder 32, wobei das mechanische Befestigungswerkzeug (11, 14) auch eine Form (14) umfasst.
34. Vorrichtung (10) nach Anspruch 33, wobei die Form (14) eine Einkerbung aufweist, die im Querschnitt flach ist.

35. Vorrichtung (10) nach Anspruch 33, wobei die Form (14) eine Einkerbung aufweist, die so geformt ist, dass sie das Fließen der Elemente (15), die verbunden werden, weg von der Mitte der Form (14) fördert.

36. Vorrichtung (10) nach Anspruch 33 oder 35, wobei die Form (14) eine Einkerbung aufweist, die im Querschnitt kegelförmig ist.

37. Vorrichtung (10) nach Anspruch 33, wobei die Form (14) eine flache Platte umfasst.

38. Vorrichtung (10) nach einem der Ansprüche 33 bis 37, wobei die Form (14) einen nicht-haftenden Überzug aufweist.

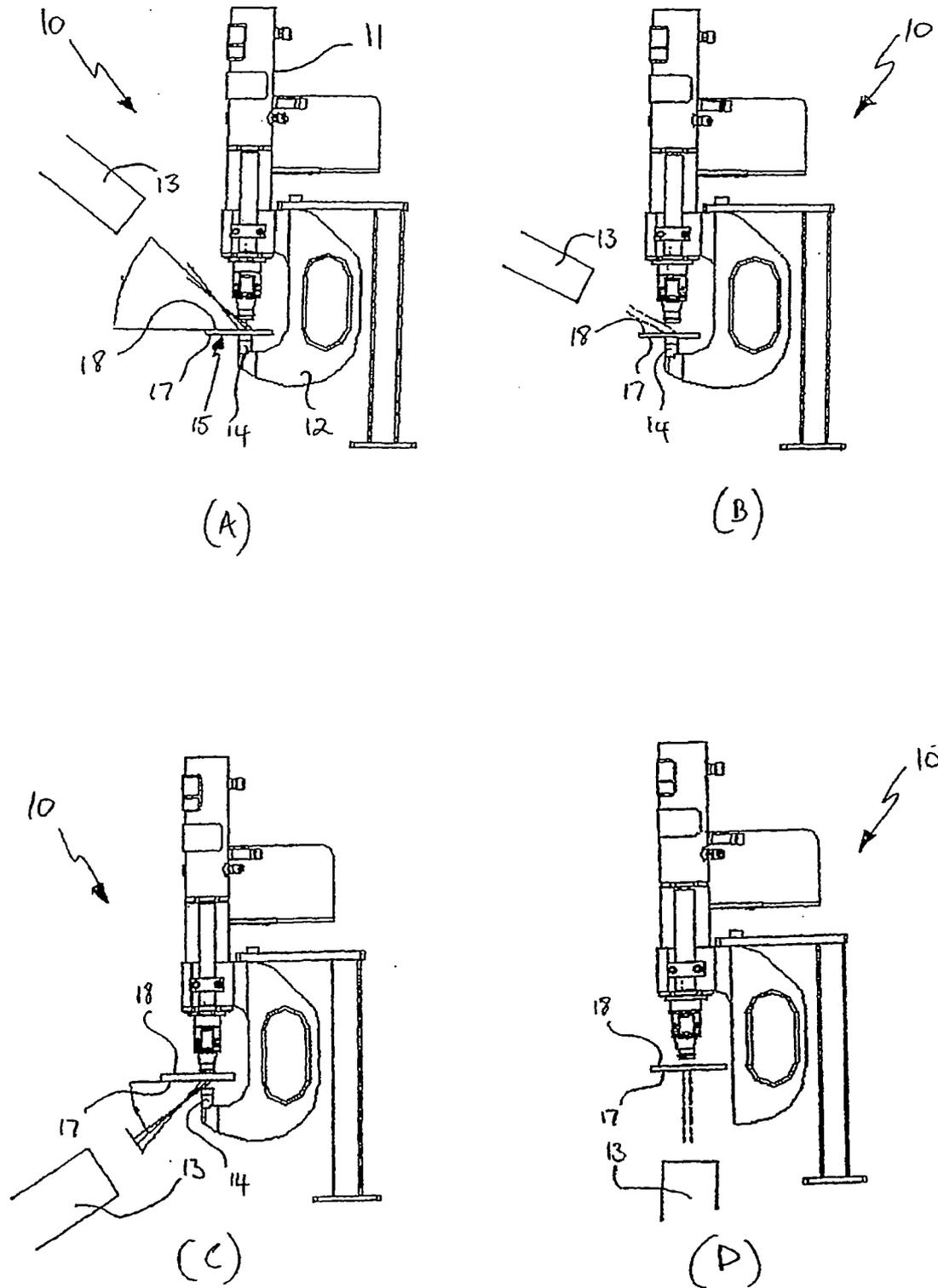
39. Vorrichtung (10) nach einem der Ansprüche 33 bis 38, wobei die Form (14) einen wärmebeständigen Überzug aufweist.

40. Vorrichtung (10) nach einem der Ansprüche 33 bis 39, wobei die Form (14) einen oxidationsbeständigen Überzug aufweist.

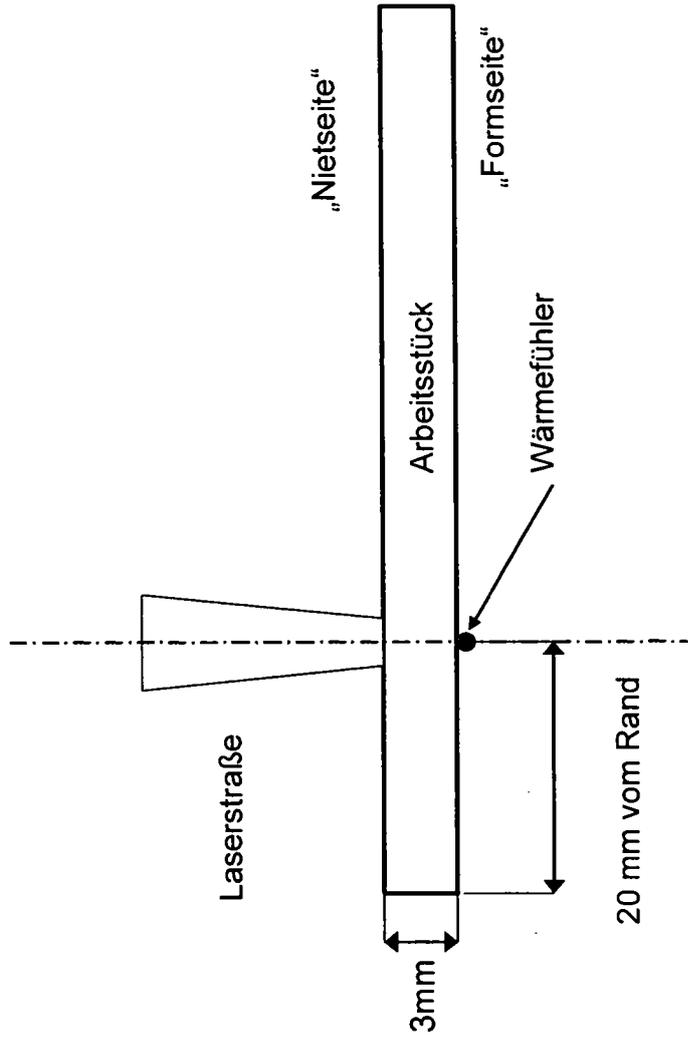
41. Vorrichtung (10) nach einem der Ansprüche 30 bis 40, wobei die Vorrichtung (10) auch ein Klemmwerkzeug zum Klemmen der Elemente (15) in ihrer Position relativ zueinander umfasst.

Es folgen 24 Seiten Zeichnungen

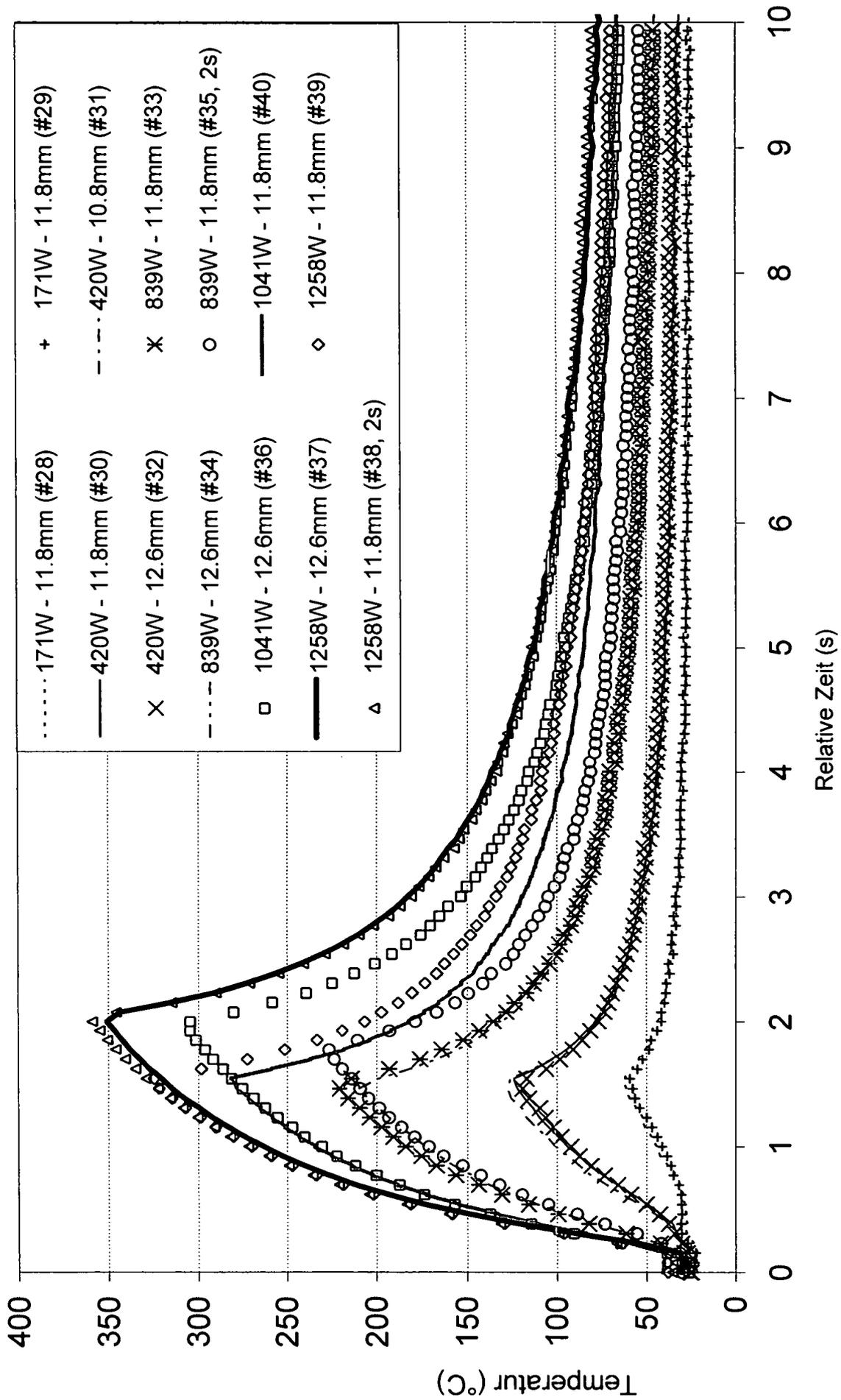
Anhängende Zeichnungen



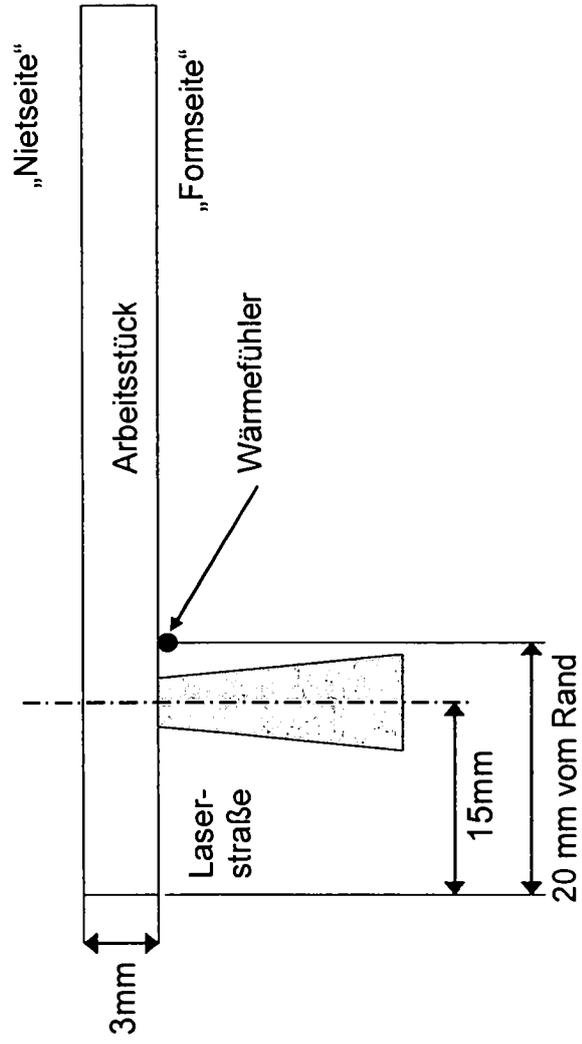
Figur 1



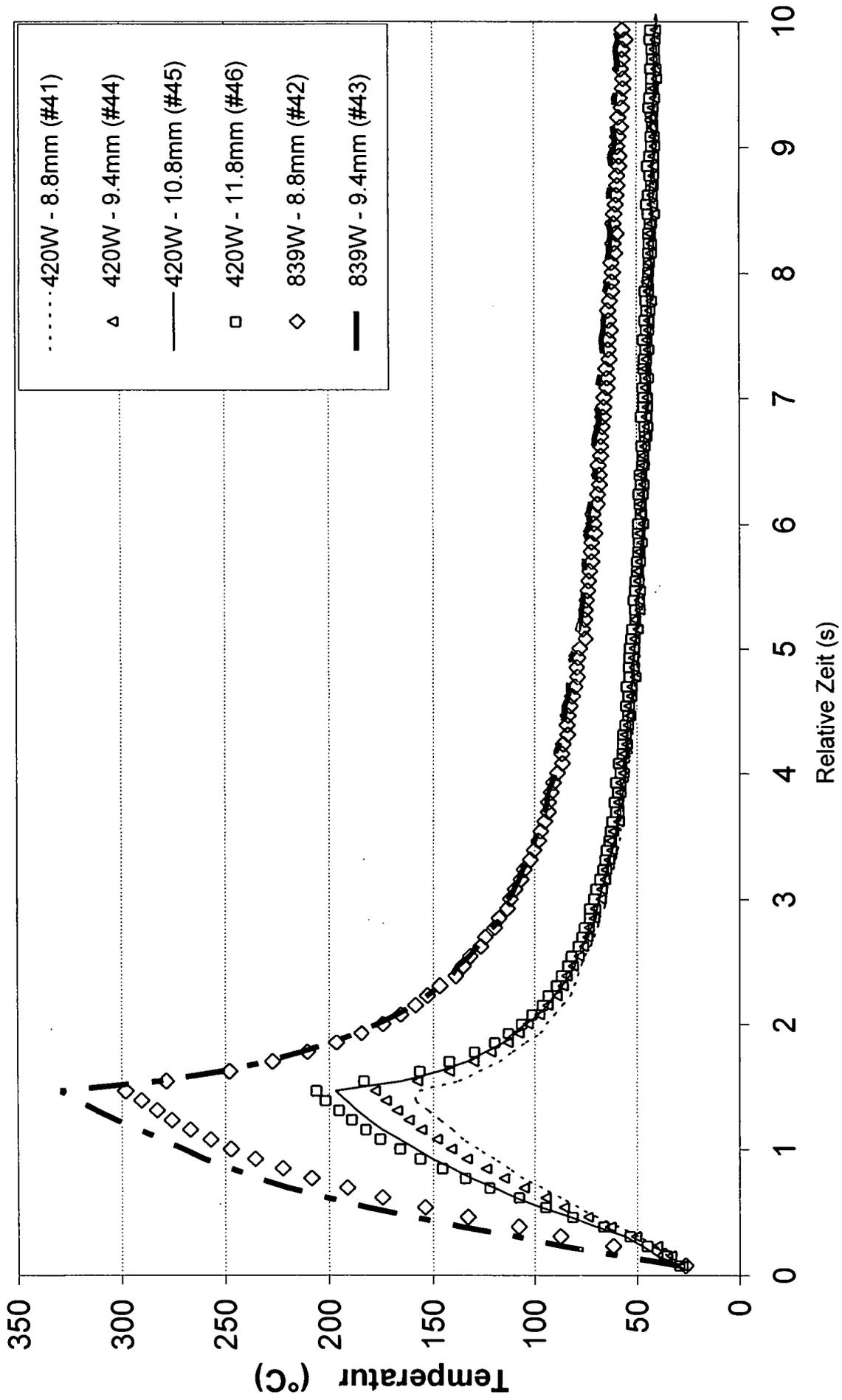
Figur 2A



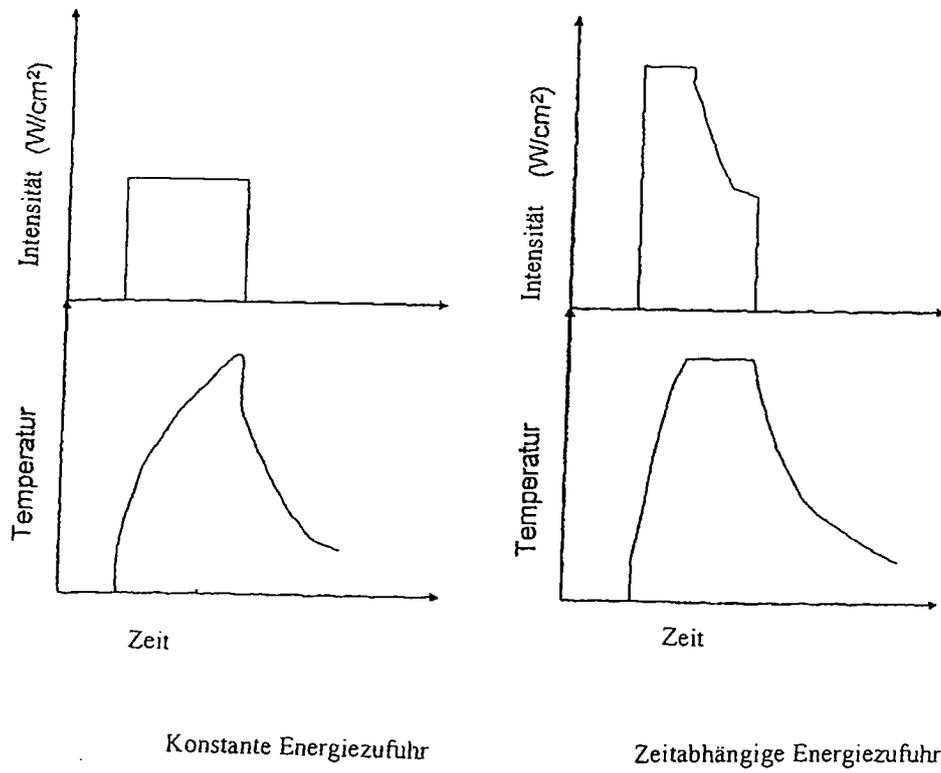
Figur 2B



Figur 2C



Figur 2D



Figur 2E

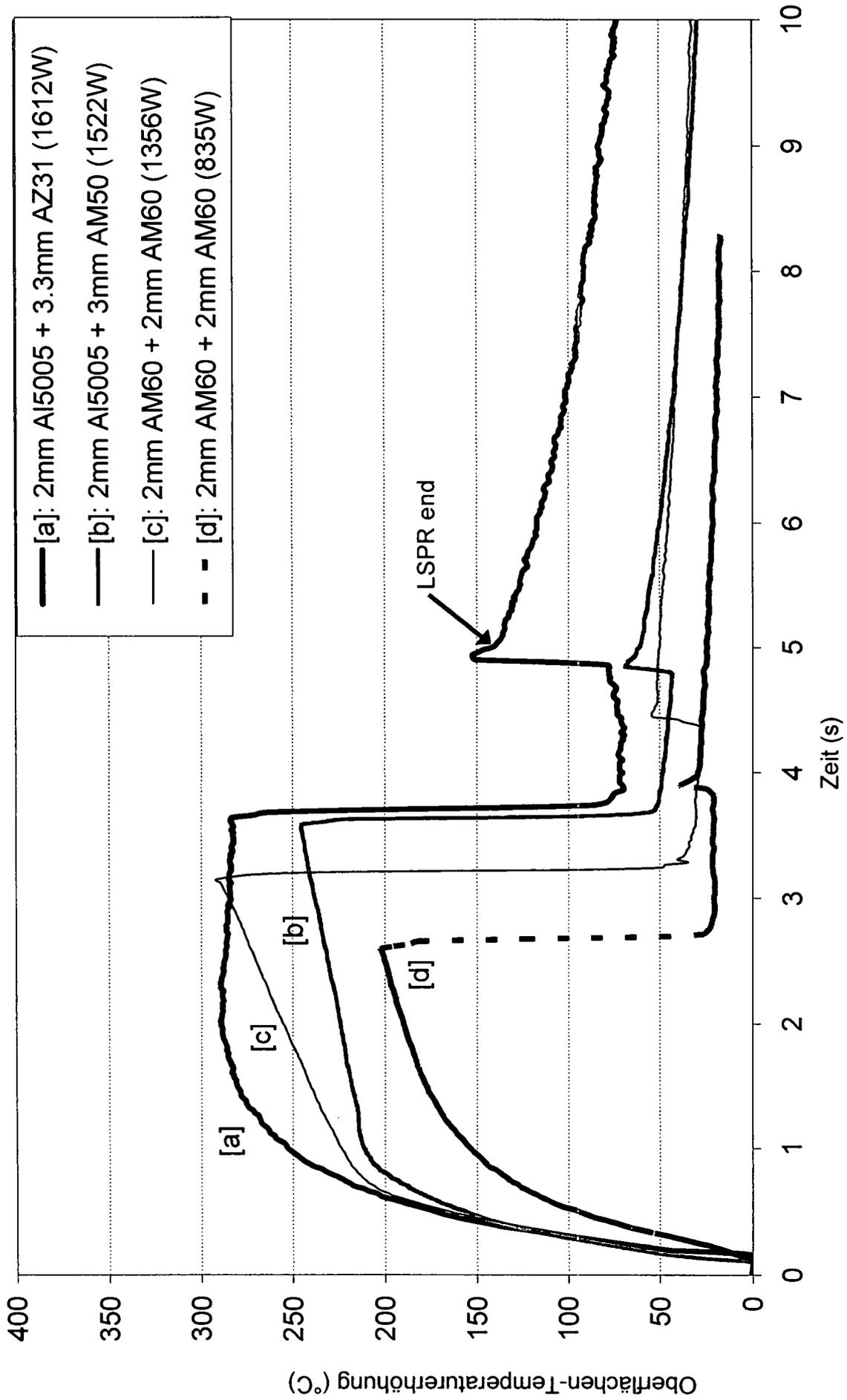


Fig. 3A

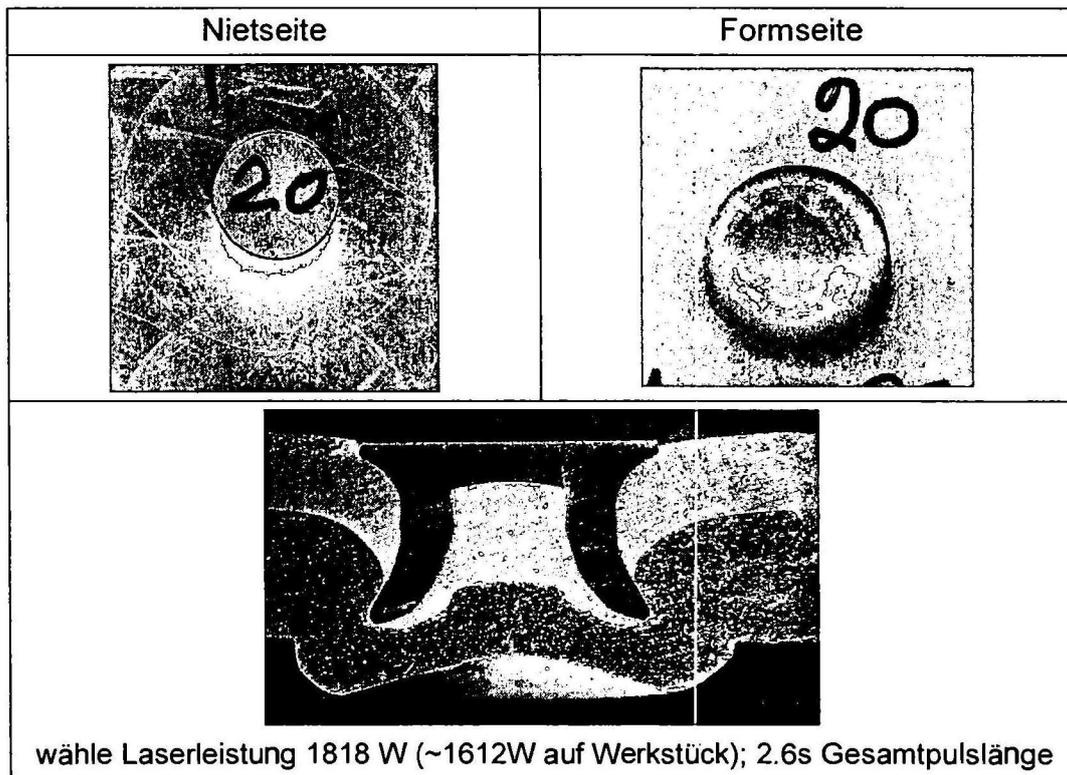


Fig. 3B: 2mm A1 5005H34 + 3.3mm Streifenform AZ31-O (wie erhalten).
 Verbindung hergestellt mit Verwendung eines Kegelformprofils \varnothing 11mm x
 1.8mm Tiefe und 6.5mm – L1 Niet mit A1 Beschichtung (LSPR4-20)

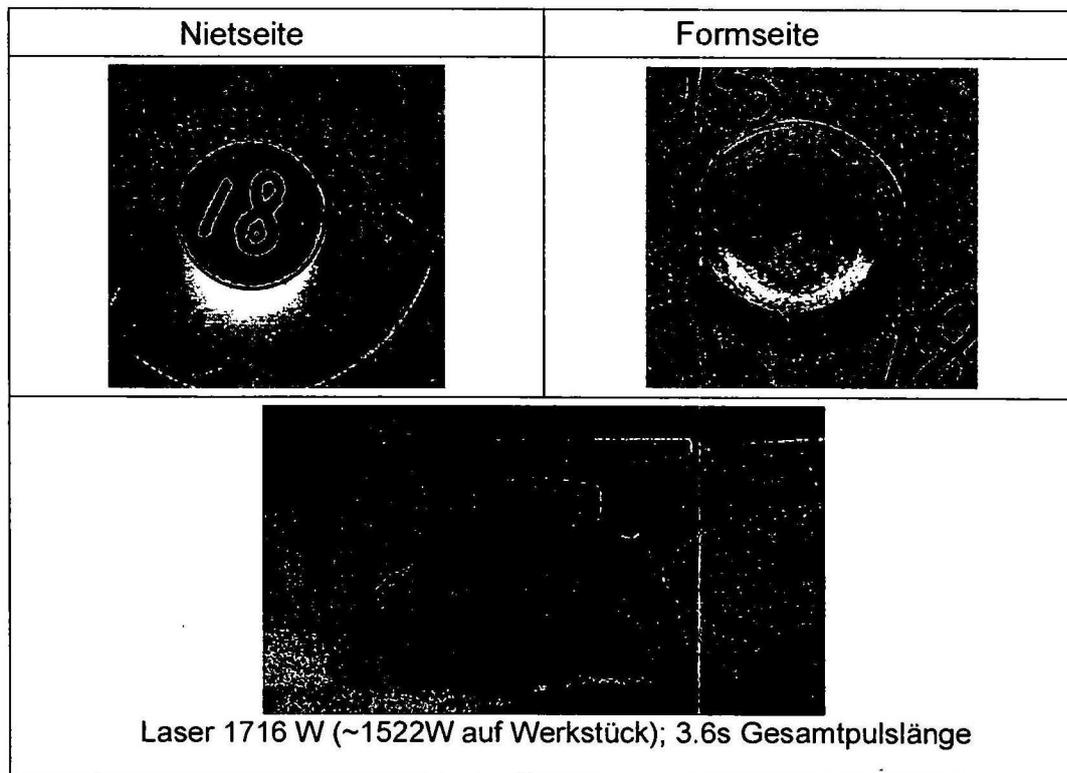


Fig. 3C: 2mm A1 5005H34 + 3mm HPDC AM50 (Granat-Sandstrahlen).
Verbindung hergestellt mit Verwendung eines Kegelformprofils \varnothing 11mm x 1.8mm
Tiefe und 6.5mm – L1 Niet mit A1 Beschichtung (LSPR4-18)

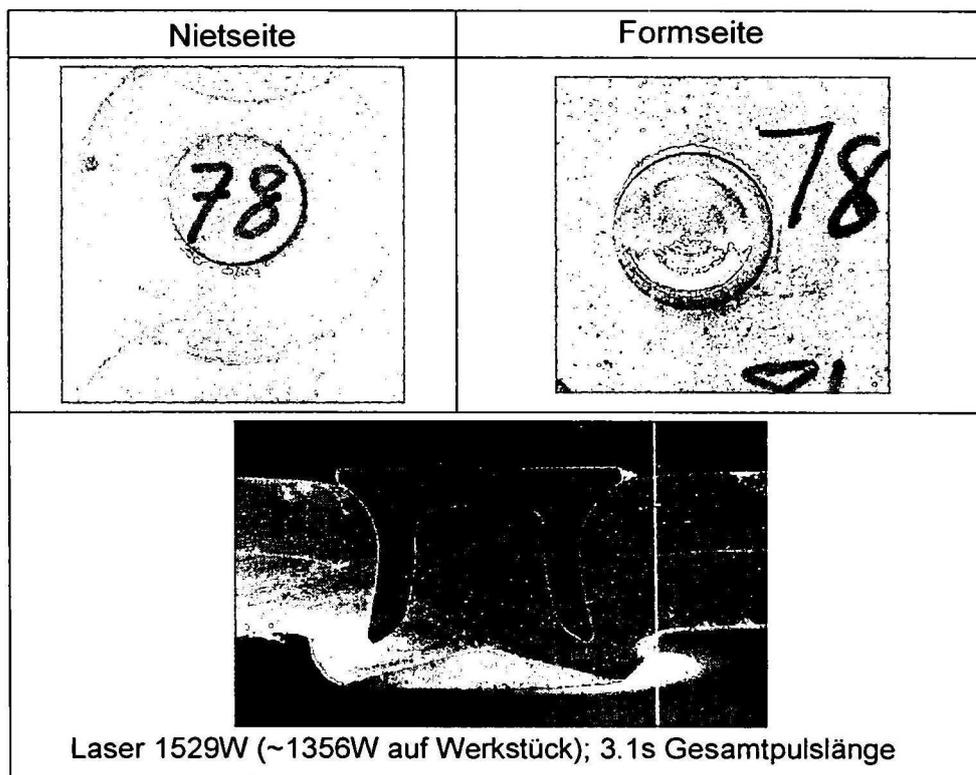


Fig. 3D: im Gusszustand 2mm HPDC AM60 + Granat-Sandstrahlen 2mm HPDC AM60. Verbindung hergestellt mit Verwendung eines Kegelformprofils \varnothing 9mm x 1.9mm Tiefe und 5mm – L2 Niet mit Zn/Sn Beschichtung (LSPR4-78)

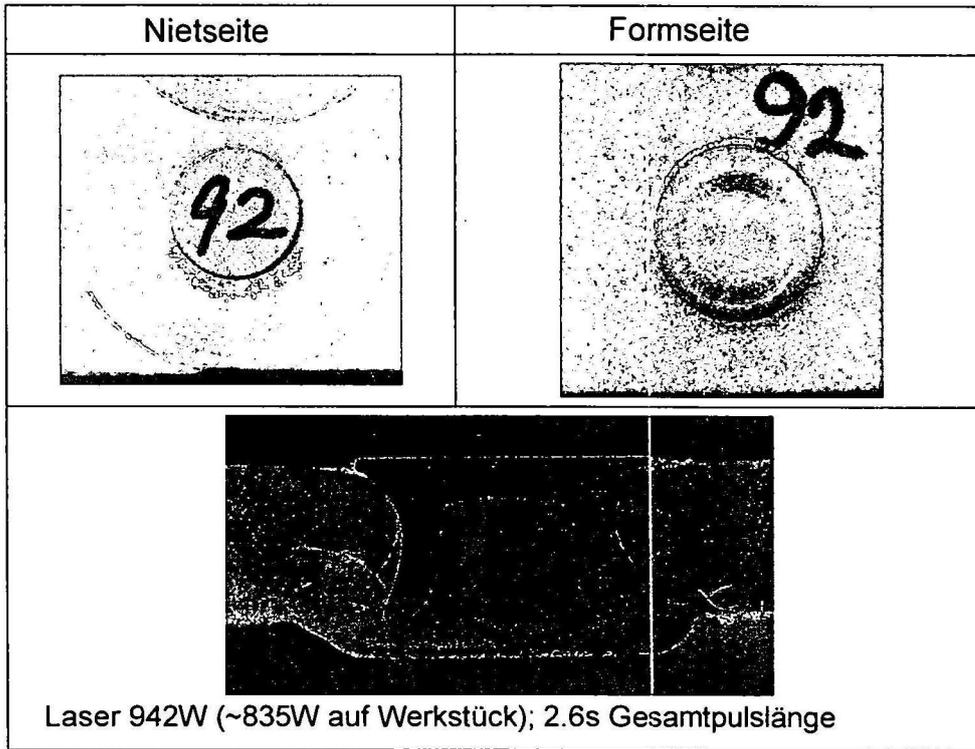
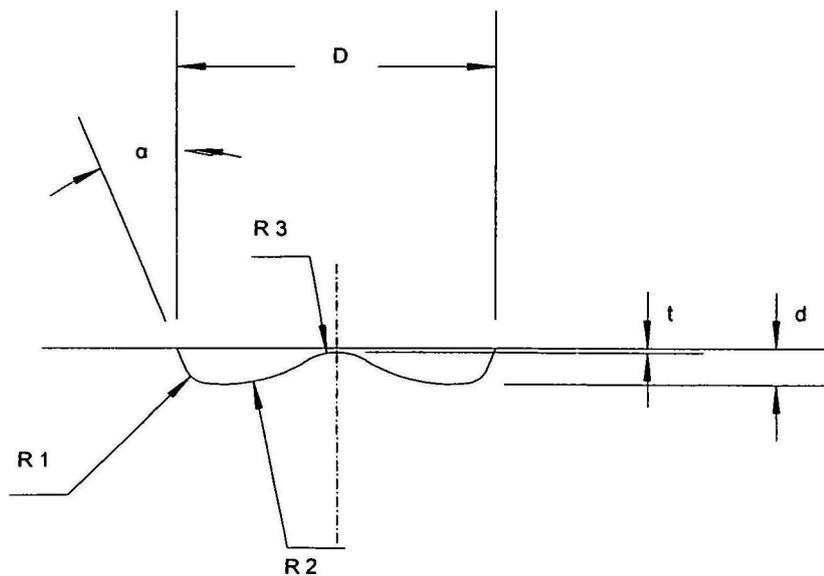


Fig. 3E: im Gusszustand 2mm HPDC AM60 + Granat-Sandstrahlen 2mm HPDC AM60. Verbindung hergestellt mit Verwendung eines flachen Formprofils \varnothing 10mm x 1mm Tiefe und 5mm – L2 Niet mit Zn/Sn Beschichtung (LSPR4-92)



Figur 4

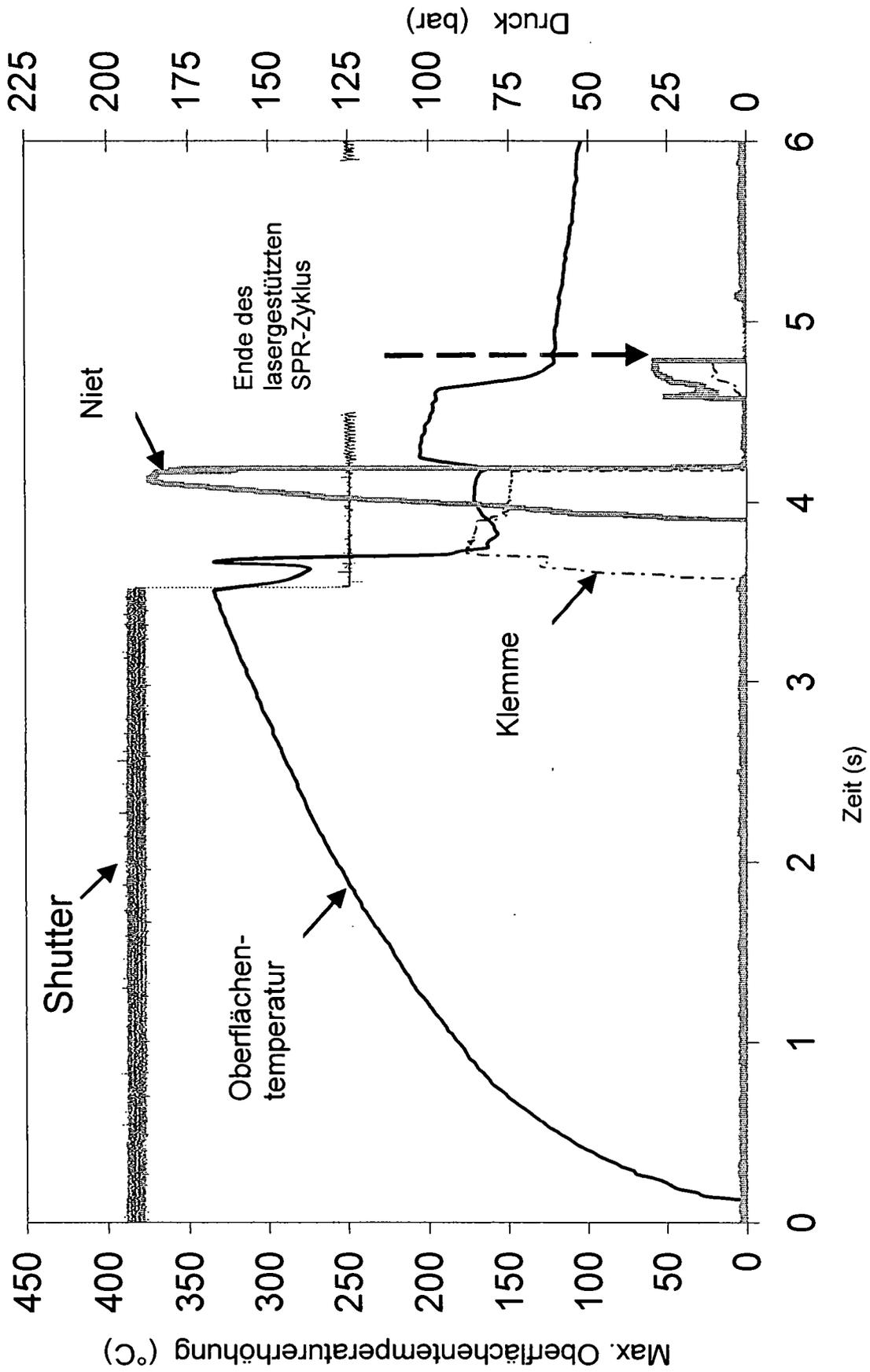


Fig. 5A: (Daten aus Lauf Nr. LSPR7-29. Verbindung von 3.3mm+3.3mm AZ31 mit 8mm – L3 Niet und Kegelformprofil BD2; 1758W Laserleistung auf Werkstück 3.51s voreingestellte Haltezeit)

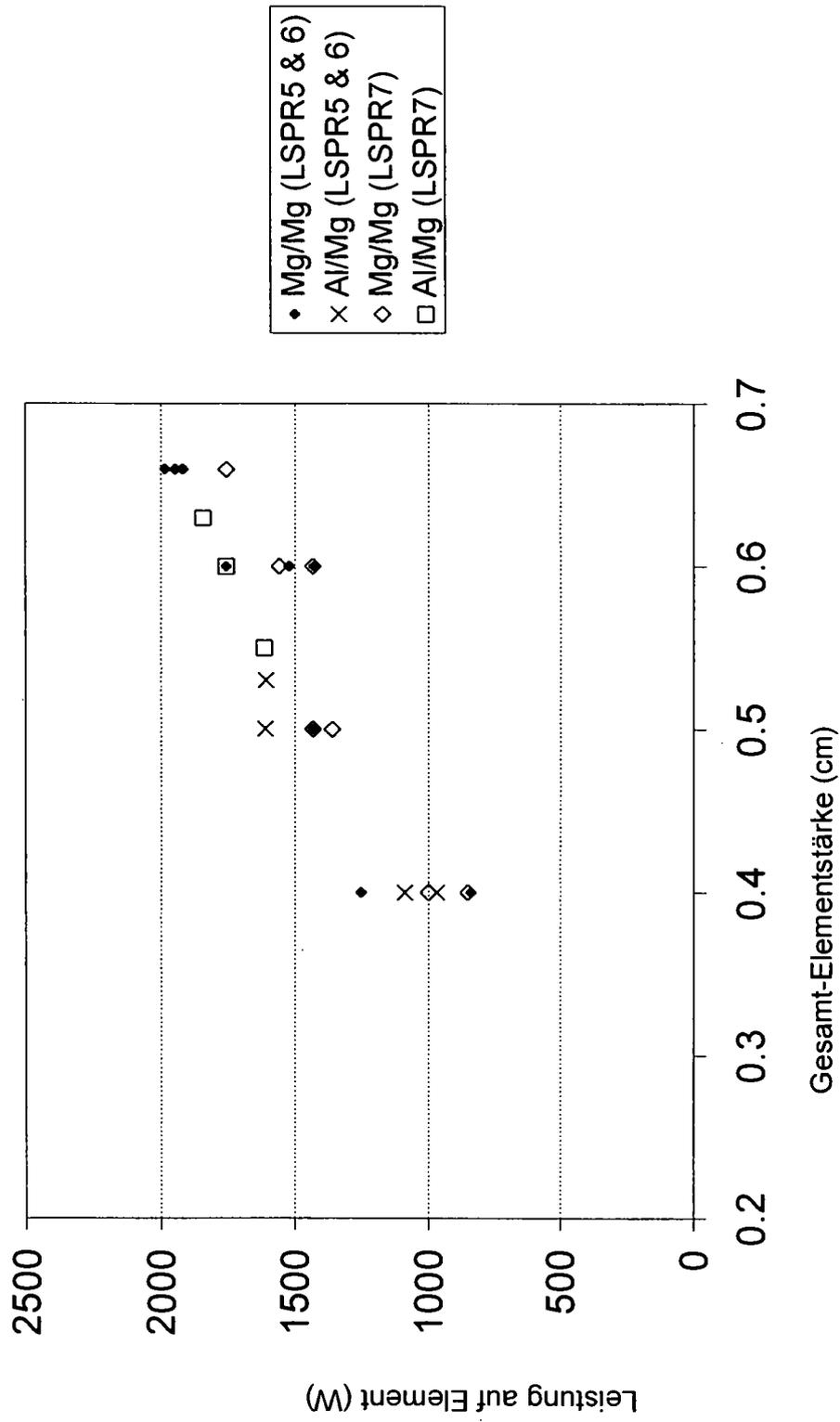


Fig. 5B: Leistung auf Werkstück als Funktion der Gesamt-Elementstärke

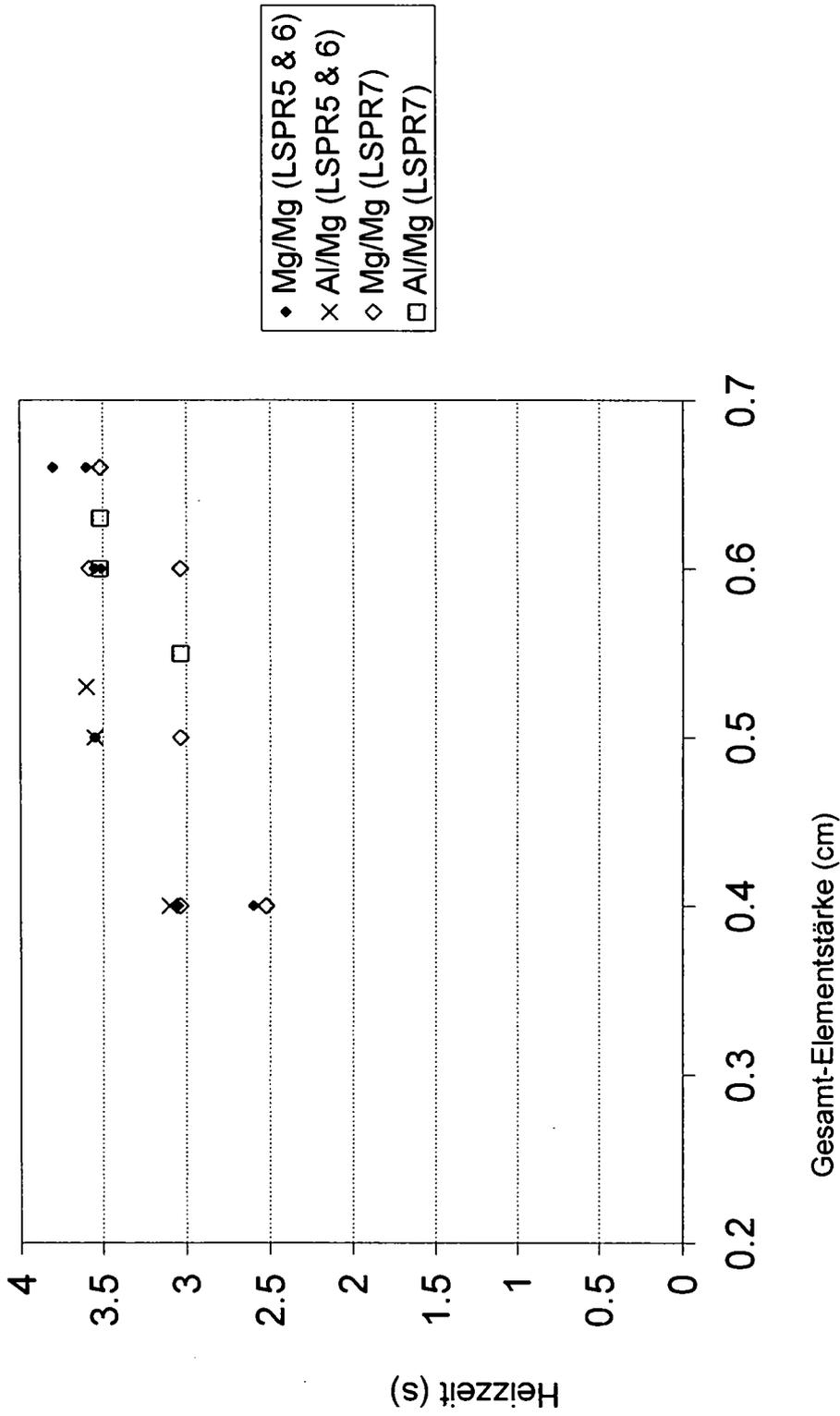


Fig. 5C: Voreingestellte Laser-Haltezeiten, die für die verschiedenen Kombinationen von Elementen verwendet werden

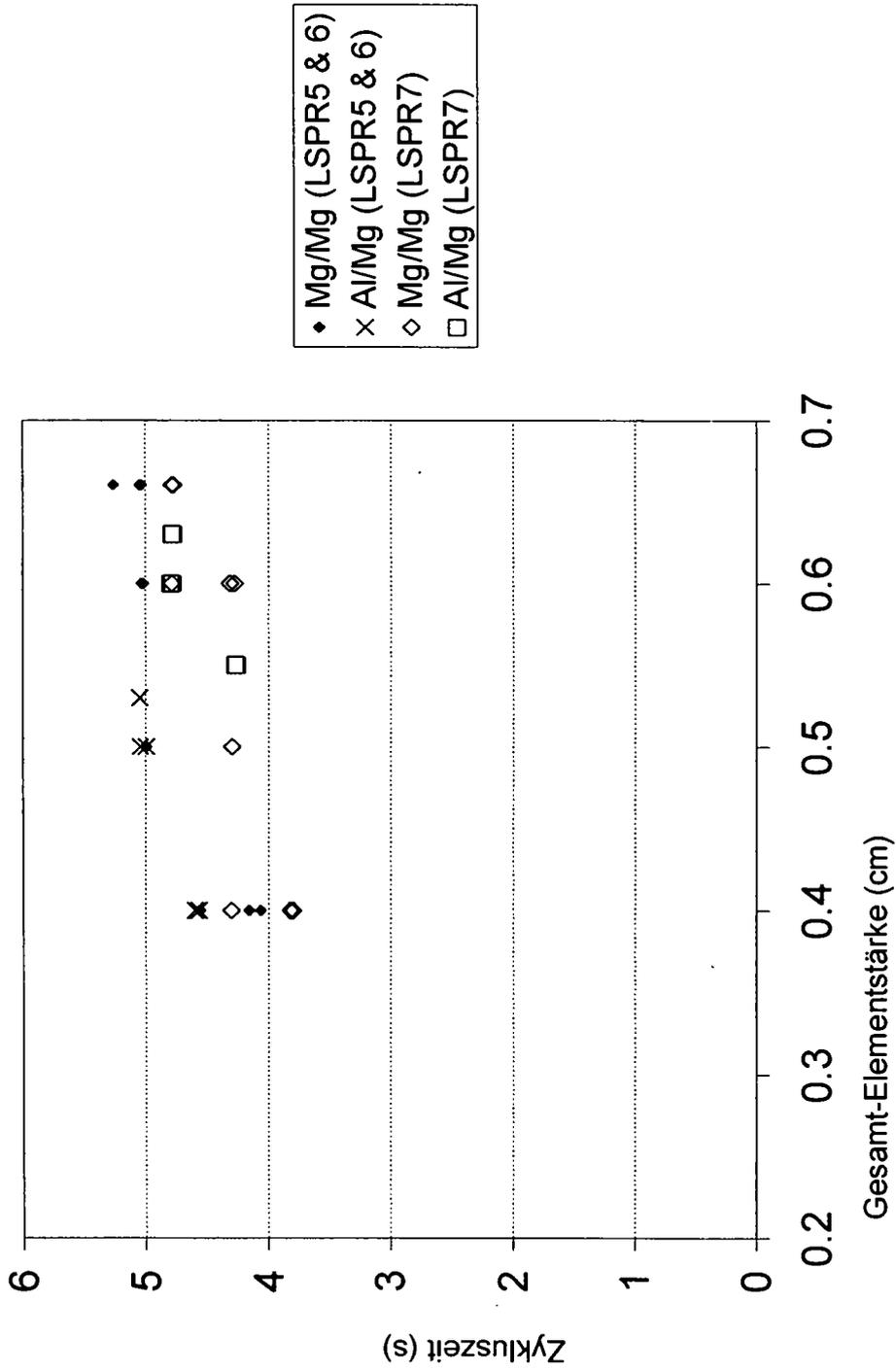


Fig. 6: Zykluszeiten, die erzielt werden, um die verschiedenen Kombinationen von Elementen zu erwärmen und zu verbinden

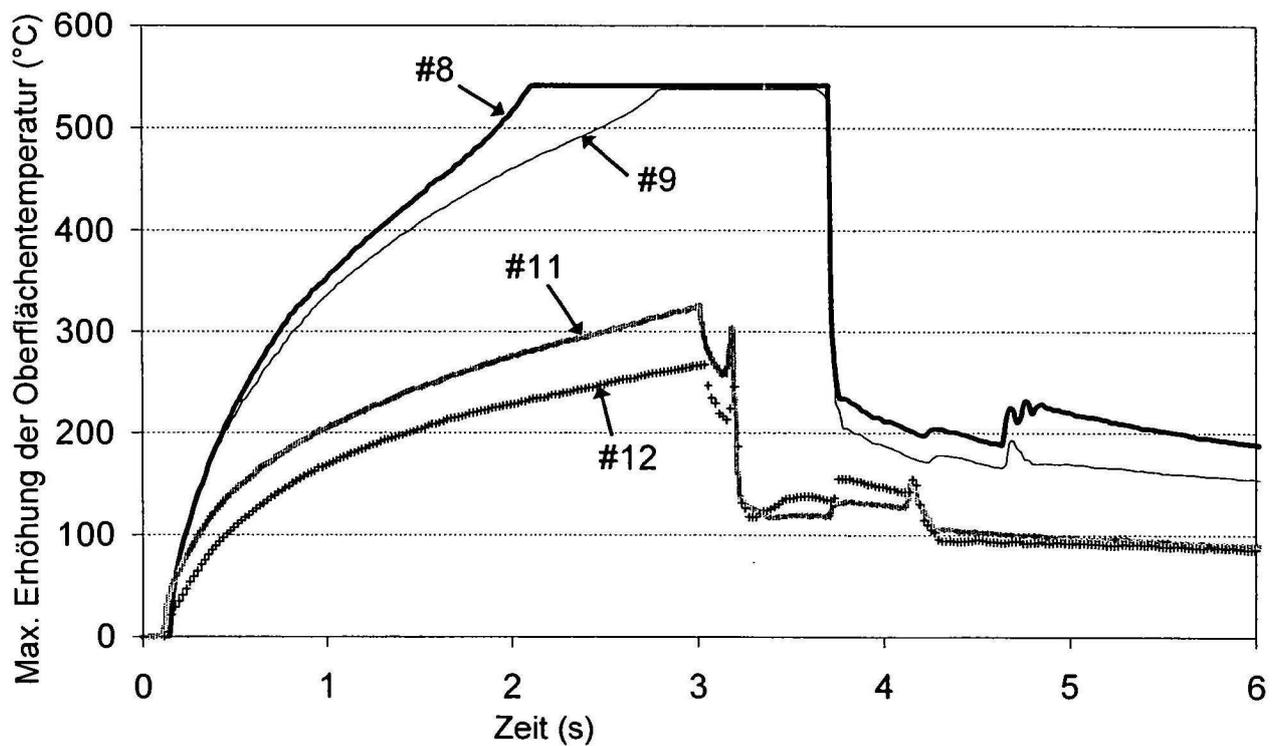


Fig. 7 : Temperatur und Formseitenoberflächen-Aussehen von verschiedenen 3mm+3mm HPDC AM50 Verbindungen, hergestellt mit 8mm-L3 Niet und BD2 Kegelformprofil \varnothing 11mm x 1.2mm Tiefe

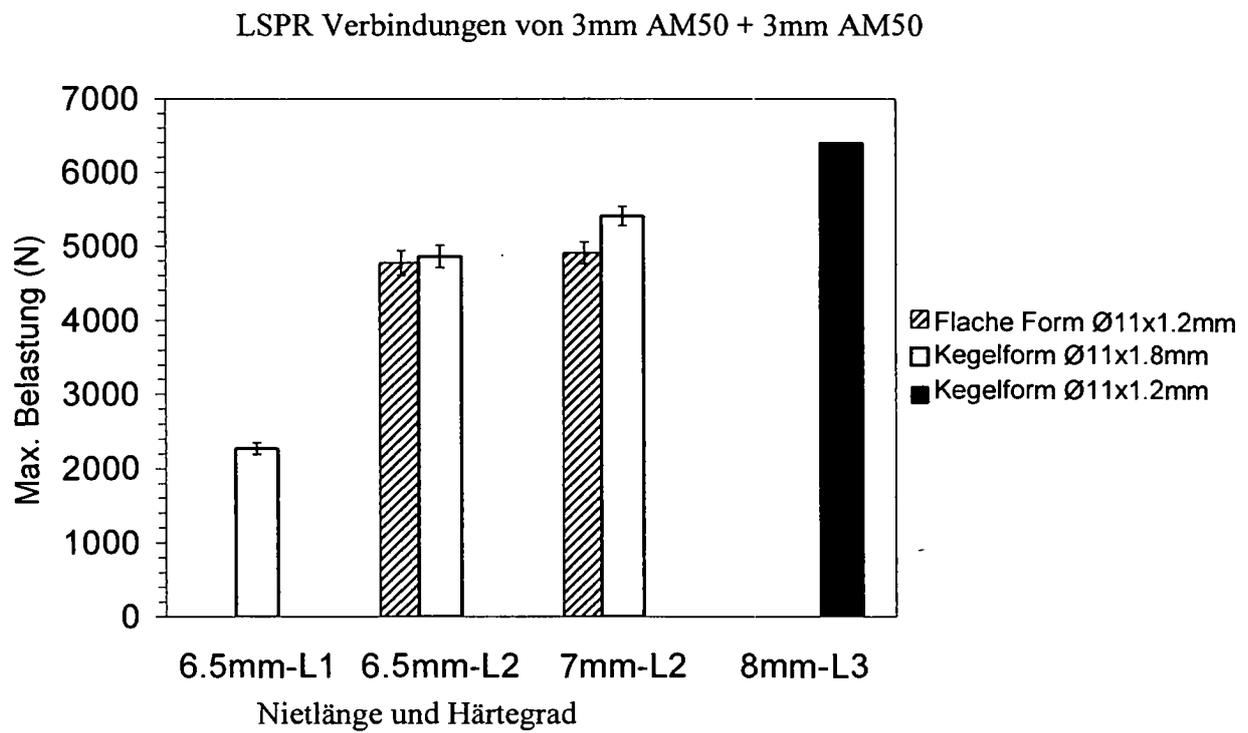


Fig. 8A: Wirkungen von Form und Niet auf Stärke von 3mm-3.3mm HPDC AM50 Verbindungen (Zugführung bei 0.6mm/min)

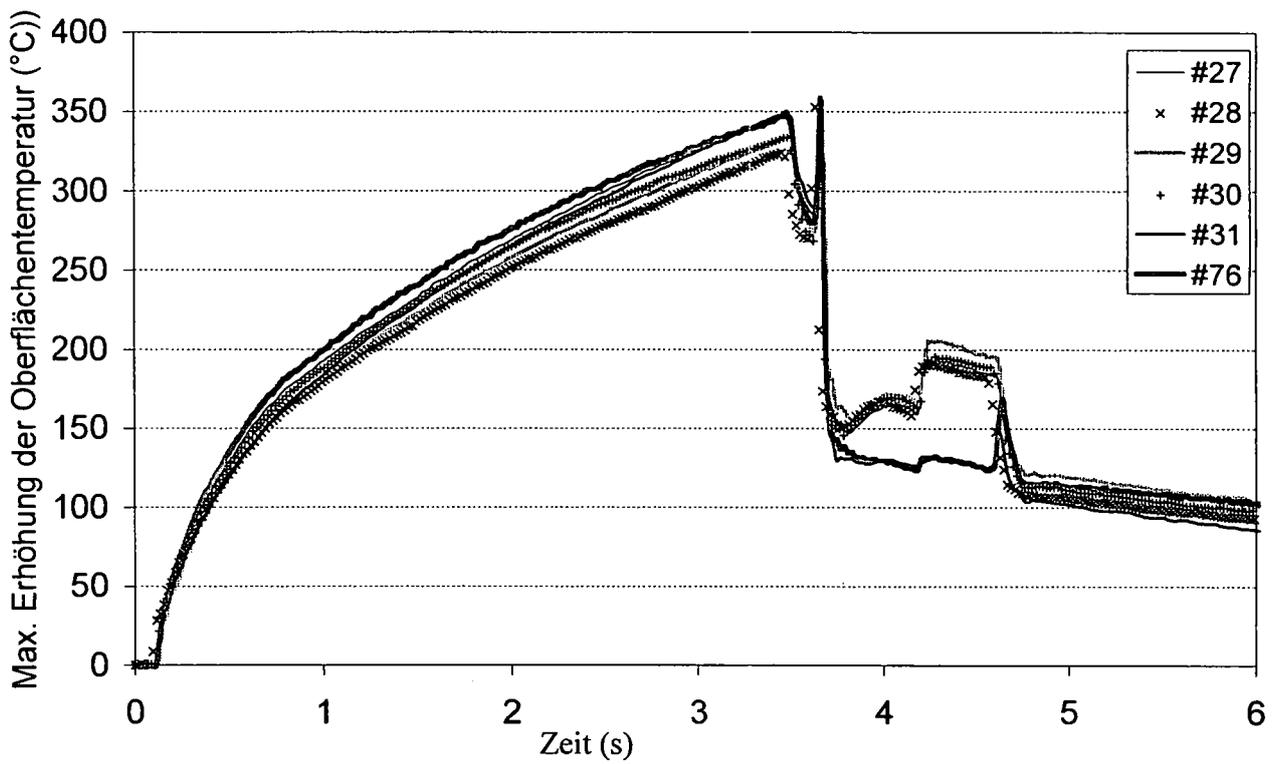


Fig. 8C: Temperatur von 3mm+3.3mm AZ31 Verbindungen hergestellt mit 8mm-L3 Niet und BD2 Kegelformprofil \varnothing 11mm x 1.2mm Tiefe.

Schertests von LSPR7 Verbindungen (100 mm/min)

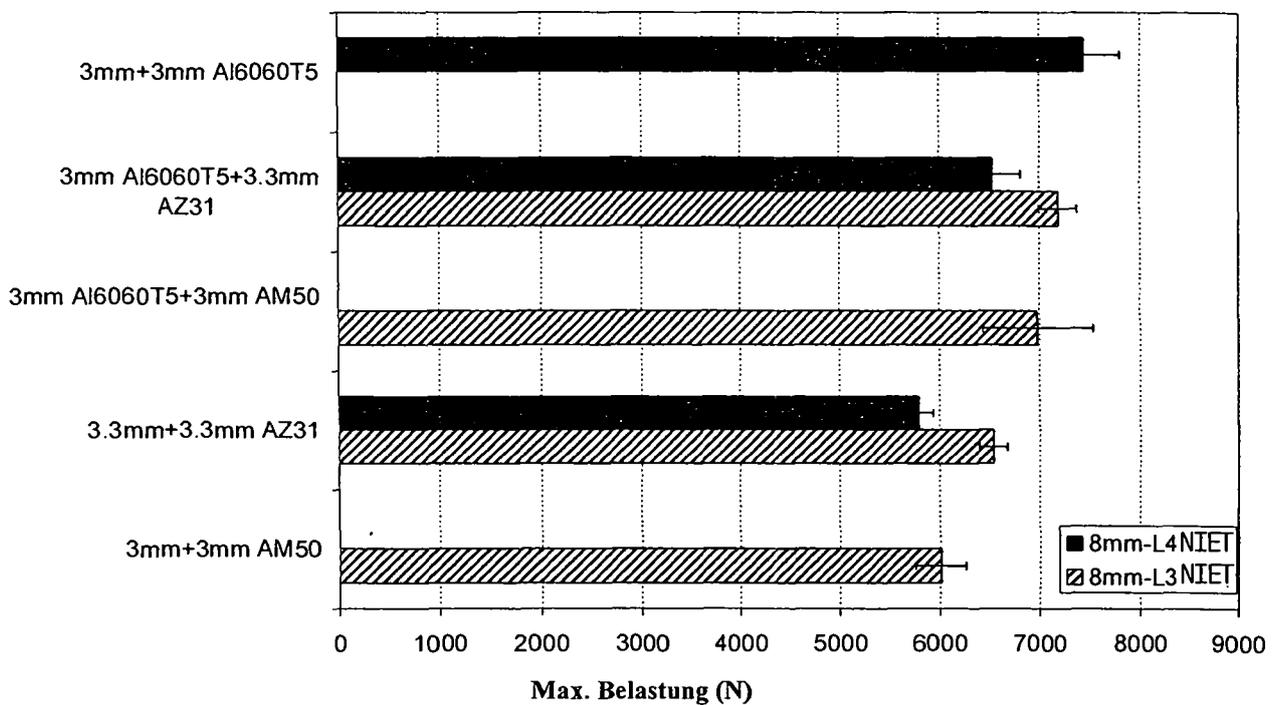
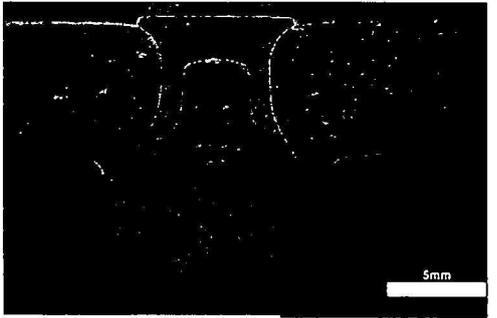
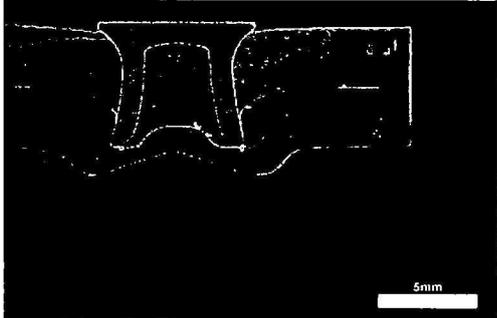
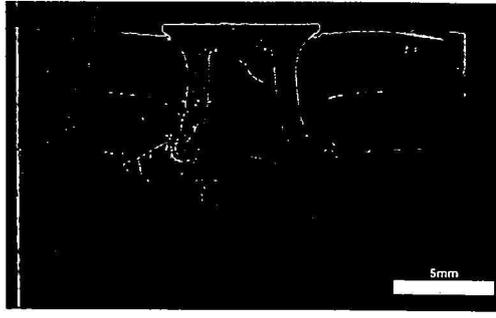
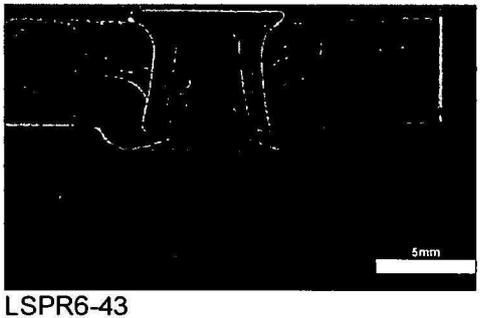
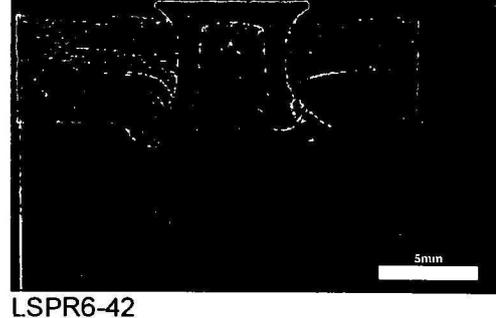
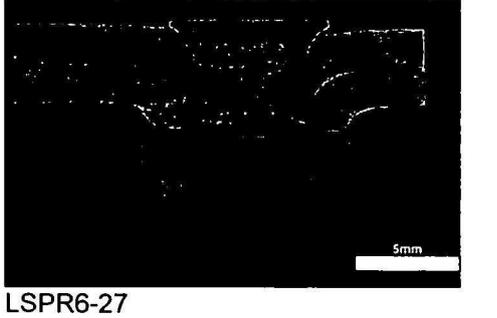


Fig. 8D: Vergleich der Stärke von dicken Mg/Mg und Hybrid Al/Mg Verbindungen (Zugprüfung bei 100mm/min). Es ist anzumerken, dass die Al/Al-Verbindungen ohne Laserunterstützung hergestellt werden

Gesamtelementstärke	mit Laser	ohne Laser
6.6mm (3.3mm + 3.3mm Streifenform AZ31 Kegelform BD2 Niet Ø5x8mm L3)	 LSPR6-44	 LSPR6-46
6mm (3mm+3mm AM50 Kegelform BD2 Niet Ø5 x 7mm L2)	 LSPR6-56	 LSPR6-54
5mm (2.5mm+2.5 mm AM60 Kegelform BD4 Niet Ø5 x 7mm L2)	 LSPR6-43	 LSPR6-42
4mm (2mm+2mm AM60 Kegelform BD4 Niet Ø5 x 6mm L2)	 LSPR6-27	 LSPR6-38

Figur 9

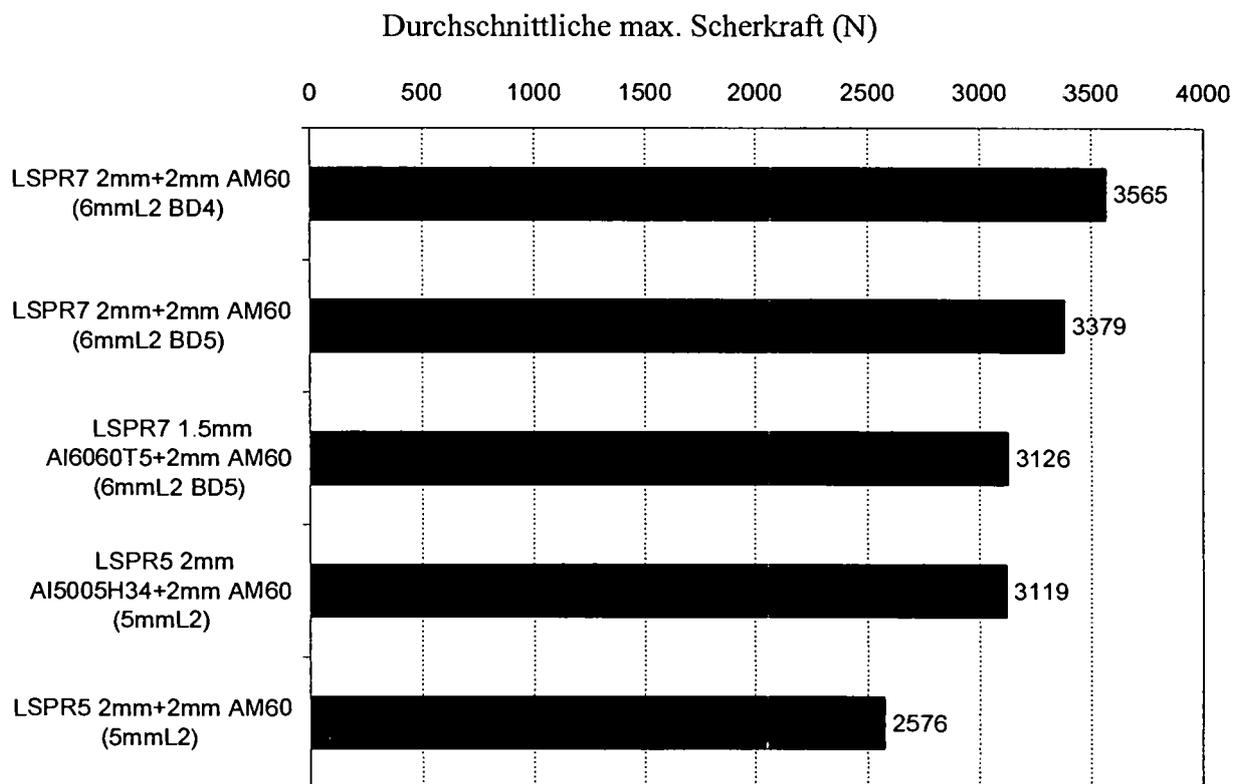


Fig. 10A: Mg/mg und Hybrid Al/Mg Verbindungen von 3.5 bis 4mm Gesamtstärke (kleine Teststücke)

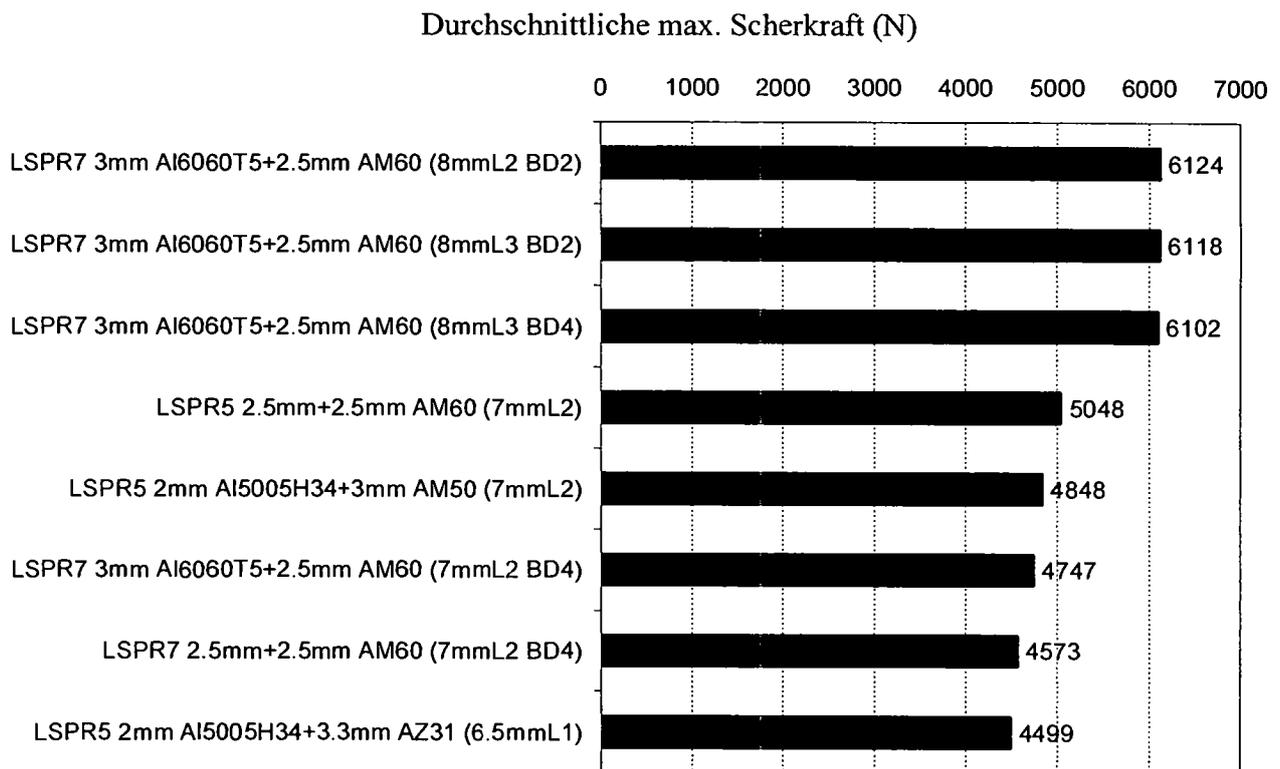


Fig. 10B: Mg/mg und Hybrid Al/Mg Verbindungen von 5 bis 5,5mm Gesamtstärke (große Teststücke)

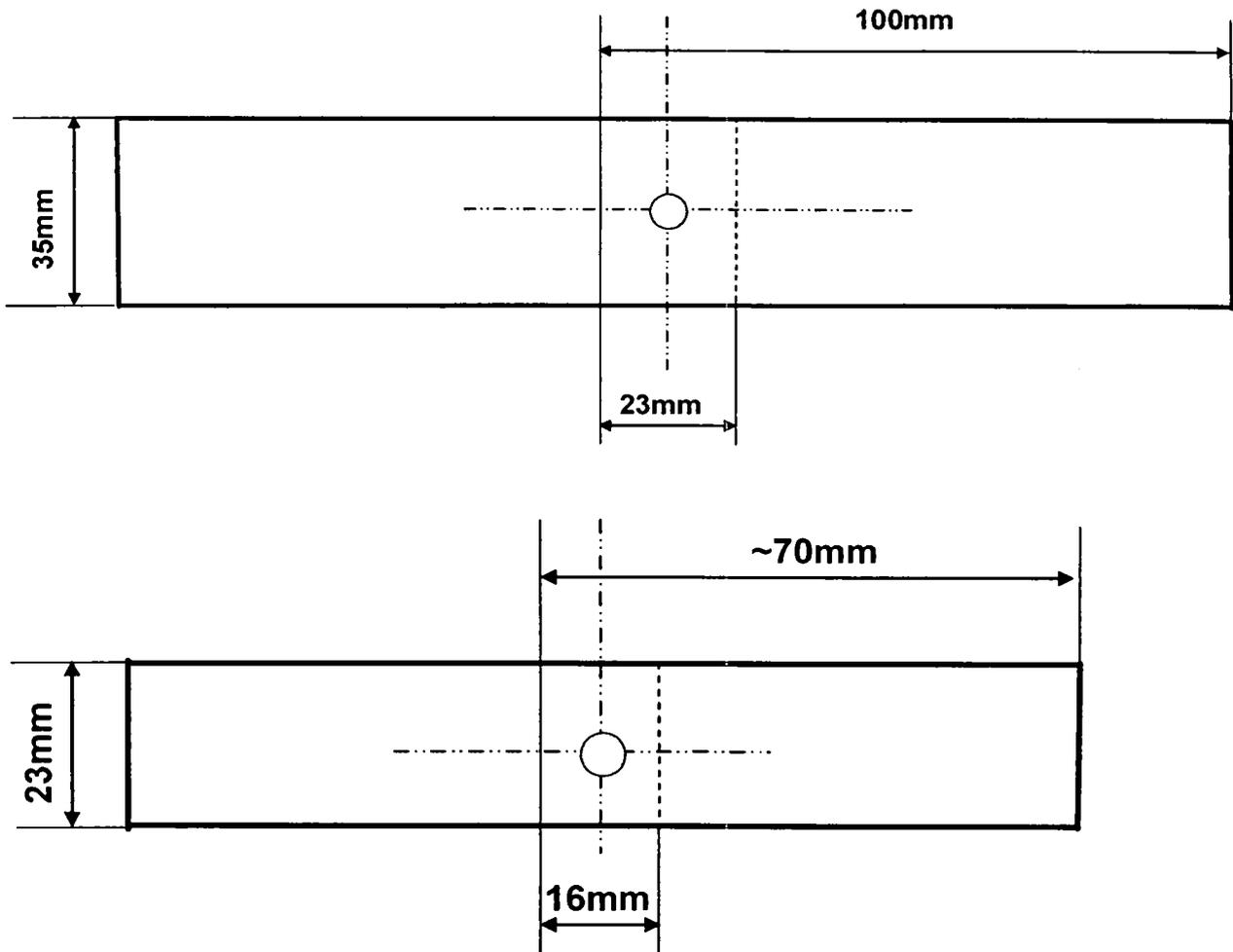


Fig. 10C : Größenordnungen von großen und kleinen Teststücken, die für statistische Scherteste verwendet werden