(19) Europäisches Patentamt
European Patent Office
Office européen des brevets

(11) **EP 2 448 690 B1**

(12) **EUROPÄISCHE PATENTSCHRIFT**

(45) Veröffentlichungstag und Bekanntmachung des Hinweises auf die Patenterteilung:
31.12.2014 Patentblatt 2015/01

(21) Anmeldenummer: **10744651.0**

(22) Anmeldetag: **28.06.2010**

(51) Int Cl.:
B21D 5/02 *(2006.01)* ***B21D 37/16*** *(2006.01)*

(86) Internationale Anmeldenummer:
PCT/AT2010/000236

(87) Internationale Veröffentlichungsnummer:
WO 2011/000012 (06.01.2011 Gazette 2011/01)

(54) VERFAHREN UND VORRICHTUNG ZUM LASERUNTERSTÜTZTEN BIEGEN VON WERKSTÜCKEN

DEVICE AND METHOD FOR THE LASER-SUPPORTED BENDING OF WORKPIECES

PROCÉDÉ ET DISPOSITIF DE PLIAGE DE PIÈCES ASSISTÉ PAR LASER

(84) Benannte Vertragsstaaten:
AL AT BE BG CH CY CZ DE DK EE ES FI FR GB GR HR HU IE IS IT LI LT LU LV MC MK MT NL NO PL PT RO SE SI SK SM TR

(30) Priorität: **29.06.2009 AT 10122009**

(43) Veröffentlichungstag der Anmeldung:
09.05.2012 Patentblatt 2012/19

(73) Patentinhaber: **Trumpf Maschinen Austria GmbH & CO. KG.**
4061 Pasching (AT)

(72) Erfinder:
- **BAMMER, Ferdinand**
  A-1170 Wien (AT)
- **SCHUÖCKER, Dieter**
  A-1130 Wien (AT)
- **SCHUMI, Thomas**
  A-1050 Wien (AT)
- **SPERRER, Gerhard**
  A-4554 Oberschlierbach (AT)

(74) Vertreter: **Burger, Hannes**
Anwälte Burger & Partner
Rechtsanwalt GmbH
Rosenauerweg 16
4580 Windischgarsten (AT)

(56) Entgegenhaltungen:
EP-B1- 0 993 345
AT-B- 411 023
DE-C1- 19 514 285
US-A- 5 359 872

Anmerkung: Innerhalb von neun Monaten nach Bekanntmachung des Hinweises auf die Erteilung des europäischen Patents im Europäischen Patentblatt kann jedermann nach Maßgabe der Ausführungsordnung beim Europäischen Patentamt gegen dieses Patent Einspruch einlegen. Der Einspruch gilt erst als eingelegt, wenn die Einspruchsgebühr entrichtet worden ist. (Art. 99(1) Europäisches Patentübereinkommen).

EP 2 448 690 B1

Beschreibung

[0001] Die Erfindung betrifft ein Verfahren gemäß dem Oberbegriff des Patentanspruchs 1 sowie ein Biegegesenk gemäß dem Oberbegriff des Patentanspruchs 6.

[0002] Das Biegen von Werkstücken mittels Biegepressen ist ein häufig und schon seit langem angewendetes zuverlässiges Verfahren zur Bearbeitung von Werkstücken durch Umformen. Der Anwendungsbereich von Biegeverfahren ist häufig durch die Materialeigenschaften, insbesondere durch mechanisch-technologische Eigenschaften begrenzt. So besteht bei spröden Materialien wie Magnesium, Titan, Federstählen, hochfesten Al-Legierungen, hochfesten Stählen oder sonstigen als spröde bekannten Materialien das Problem, dass bei einer Verformung durch Biegen diese Materialien keine ausreichende plastische Verformbarkeit aufweisen und deshalb während des Biegevorganges brechen oder entlang der Umformzone Risse oder andere unerwünschte Umformungen auftreten. Eine Kenngröße, die das diesbezügliche Verhalten von Materialien kennzeichnen kann, ist die so genannte Bruchdehnung, also der Wert der plastischen Verformung, die ein umzuformendes Werkstück bis zum Auftreten eines Bruchs maximal ertragen kann. Eine alternative Kenngröße für dieses Verhalten ist auch das so genannte Streckgrenzenverhältnis, das die in einem Werkstück erforderliche Spannung bei Beginn einer merkbaren plastischen Verformung ins Verhältnis zu der im Werkstück herrschenden Spannung bei Bruchbelastung setzt.

[0003] Um auch derartige Materialien mit niedriger Bruchdehnung oder hohem Streckgrenzenverhältnis für die Anwendung eines Umformverfahrens, insbesondere für Biegen zugänglich zu machen, werden bereits seit längerem mit Erfolg Verfahren angewendet, mit denen ein Werkstück in einen Zustand versetzt wird, in dem es günstigere mechanische Eigenschaften aufweist, und mittels eines Biegeverfahrens umgeformt werden kann. Eine bekannte Methode besteht darin, ein zu biegendes Werkstück zumindest im Bereich der Umformzone zu erwärmen, wodurch in diesem erwärmten Bereich die zur Einleitung von plastischer Verformung erforderliche Spannung gesenkt werden kann.

[0004] Als Beispiel für ein derartiges Verfahren offenbart EP 0 993 345 A1 ein Verfahren zum Biegen eines Werkstücks durch mechanische Krafteinwirkung unter selektiver Erwärmung des Werkstücks entlang einer Biegelinie durch Laserstrahlung, bei dem aus einem Laserstrahl oder mehreren Laserstrahlen ein längliches Strahlenfeld geformt wird und bei dem durch das Strahlenfeld an allen Punkten entlang der Biegelinie eine Erwärmungszone am Werkstück gebildet wird. Dabei umfasst die Vorrichtung zur Formung des linienförmigen Strahlenfeldes Zylinderlinsen und/oder Zylinderspiegel, mit denen ein Strahlenfeld durch eine Öffnung im Biegegesenk dem Werkzeug zugeführt wird. Im Ausführungsbeispiel gemäß Figur 4 der EP-A1 wird ein Laserstrahl durch eine strahlformende Optik, bestehend aus einem Prismenspiegel, zwei Zylinderlinsen und zwei zylindrischen Umlenkspiegeln in zwei Strahlenfelder zerlegt, die durch das Biegegesenk auf das Werkstück geleitet werden und jeweils eine linienförmigen Erwärmungszone erzeugen. Der auf diese Weise umgeformte Laserstrahl wird dabei durch eine schlitzartige Öffnung in der Unterseite des Gesenks dem Werkstück zugeführt.

[0005] Diese aus EP 0 993 345 A1 bekannte Lösung für die Führung der energiereichen Strahlung in einem Biegegesenk ist für die praktische Anwendung an gängigen Biegemaschinen nicht optimal geeignet, da das Biegegesenk durch die zweiteilige Ausführung eine begrenzte mechanische Stabilität aufweist und der das Biegegesenk aufnehmende Pressenbalken oder Pressentisch Ausnehmungen für die Strahlverteilanordnung aufweisen müsste.

[0006] Die Aufgabe der Erfindung besteht darin, ein gattungsgemäßes Biegeverfahren beziehungsweise ein dafür einsetzbares Biegegesenk bereitzustellen, das für die praktische Anwendung besser einsetzbar ist.

[0007] Die Aufgabe der Erfindung wird durch ein Verfahren gemäß Patentanspruch 1 sowie ein Biegegesenk mit den Merkmalen aus Patentanspruch 6 gelöst.

[0008] Dadurch, dass durch zumindest eine Strahleneintrittsöffnung zumindest ein konzentriertes energiereiches Strahlenbündel in den Werkzeuggrundkörpereingeleitet wird und dieses durch eine Strahlbeeinflussungsanordnung im Werkzeuggrundkörper zumindest teilweise umgelenkt, aufgeweitet und durch die Strahlenaustrittsöffnung auf das Werkstück geleitet wird, kann zum einen ein derartiges Biegegesenk auf jeder herkömmlichen Biegepresse oder Abkantpresse eingesetzt werden und zum anderen jede gängige Strahlungsquelle, die zur Erzeugung eines konzentrierten Strahlenbündels geeignet ist, als Strahlenquelle zur Anwendung des Verfahrens eingesetzt werden. Dies stellt einen großen wirtschaftlichen Vorteil dar, da in vielen Produktionsbetrieben sowohl eine herkömmliche Biegepresse als auch eine geeignete Strahlungsquelle, insbesondere ein Lasergerät vorhanden sind und deren Einsatzbereiche durch das erfindungsgemäße Verfahren erweitert werden. Dadurch ist lediglich durch die Anwendung des erfindungsgemäßen Verfahrens bzw. eines erfindungsgemäßen Biegegesenks einerseits eine Erweiterung der verfügbaren Fertigungsverfahren als auch eine verbesserte Auslastung der bestehenden maschinellen Infrastruktur möglich. Die Umlenkung, Aufweitung und Ausleitung der Strahlung während einer Erwärmungsphase erfolgt dabei insbesondere zeitlich und örtlich stationär ohne Anwendung von mechanisch bewegten, rotierenden oder schwingenden Spiegeln oder Blenden.

[0009] Die Außenabmessungen eines derartigen Biegegesenks können dabei insbesondere jenen von herkömmlichen Biegewerkzeugen entsprechen, wodurch in der Anwendung keine geometriebedingten Einschränkungen gegenüber herkömmlichen Biegewerkzeugen erforderlich sind.

[0010] Die Strahlbeeinflussungsanordnung umfasst Mittel, um konzentrierte Strahlen umlenken und/oder formen

und/oder aufteilen zu können, wodurch aus einem sich im wesentlichen in gerader Linie ausbreitenden gebündelten Strahl eine möglichst gleichmäßig in eine Ebene verteilte Strahlung insbesondere ein Strahlenfächer erzeugt wird. Der Werkzeuggrundkörper erlaubt dieselben Biegeverfahren wie ein herkömmliches Biegegesenk, das zum Freibiegen geeignet ist. Gleichzeitig bildet der Werkzeuggrundkörper eine Einhausung für die energiereiche Strahlung, wodurch auch Maßnahmen zum Arbeitnehmerschutz vereinfacht werden.

[0011] Eine Weiterbildung des Verfahrens besteht darin, dass das zumindest eine konzentrierte Strahlenbündel mittels der Strahlbeeinflussungsanordnung im Werkzeuggrundkörper in zumindest zwei konzentrierte Teilstrahlenbündel aufgeteilt wird, von denen zumindest ein Teilstrahlenbündel umgelenkt, aufgeweitet und durch die Strahlenaustrittsöffnung zum Werkstück geleitet wird. Somit steht ein Teilstrahlenbündel nach Aufweitung für die lokale Erwärmung des Werkstücks zur Verfügung und ein zweites Teilstrahlenbündel kann zu einem davon distanzierten Ort geführt werden, insbesondere zu einer anderen Erwärmungszone am Werkstück als zu der vom ersten Teilstrahlenbündel bestrahlten Werkstückzone.

[0012] Das Verfahren kann weiters dahingehend ergänzt werden, dass aus dem konzentrierten Strahlenbündel oder den konzentrierten Teilstrahlenbündeln mittels der Strahlbeeinflussungsanordnung zumindest ein konzentriertes Teilstrahlenbündel ausgekoppelt und durch eine Strahlweiterleitungsöffnung im Werkzeuggrundkörper zu einem benachbarten Biegegesenk weitergeleitet wird. Dadurch kann das Verfahren auch bei unmittelbar aneinander gereihten Biegegesenken mit lediglich einer Strahlungsquelle eingesetzt werden und ist die Anwendung nicht auf ein einzelnes Biegegesenk beschränkt, wodurch auch große Biegelängen dem erfindungsgemäßen Verfahren zugänglich werden. Im benachbarten Biegegesenk ist dazu ebenfalls eine Strahleintrittsöffnung mit daran anschließender Strahlbeeinflussungsanordnung vorgesehen, mit der das zumindest eine in den weiteren Werkzeuggrundkörper eingeleitete konzentrierte Strahlenbündel entlang der Biegeausnehmung auf das Werkstück geleitet werden können.

[0013] Das Verfahren kann weiters in der Form ausgeführt werden, dass bei zwei oder mehreren aneinander gereihten Biegegesenken in jedem Biegegesenk durch die Strahlbeeinflussungsanordnung ein bestimmter Anteil, vorzugsweise bei allen Biegegesenken der gleiche oder angepasst an das Werkstück ein einstellbar veränderlicher Anteil, der Strahlleistung der Strahlungsquelle zur jeweiligen Biegeausnehmung geleitet wird, wodurch entlang der Biegelinie eine zumindest annähernd gleichmäßige Leistungsdichte bewirkt wird oder die Leistungsdichte an den jeweils vorhandenen Leistungsbedarf anpassbar ist. Dadurch ist sichergestellt, dass jeder Teil der Umformzone des Werkstücks die erforderliche Erwärmung erfährt und das gewünschte Biegeergebnis über die gesamte Biegelänge in gleicher Qualität erreicht wird. Durch diese Ausführung wird zumindest ein eingeleitetes konzentriertes linienförmiges Strahlenbündel in zumindest zwei oder mehrere Strahlenfächer aufgeteilt, die bei gleichmäßiger Verteilung entlang der Umformzone für die gleichmäßige Erwärmung des Werkstücks in diesem Bereich sorgen.

[0014] Als Mittel zur Aufteilung des Strahls in mehrere Teilstrahlenbündel kommen beispielsweise Strahlteilerplatten, Kombinationen aus Halbwellenplatten gefolgt von einem Polarisationsfilter, Strahlteilerwürfel, Polarisationsstrahlteiler oder ähnliche strahlaufteilende optische Elemente in Frage. Die Aufspreizung oder Aufweitung der abgespaltenen Teilstrahlenbündel erfolgt beispielsweise durch Zylinderlinsen oder Konvexspiegel.

[0015] Eine vorteilhafte Ausführungsvariante des Verfahrens besteht darin, dass zumindest zwei konzentrierte energiereiche Strahlenbündel in den Werkzeuggrundkörper eingeleitet werden und von jedem Strahlenbündel mittels der Strahlbeeinflussungsanordnung ein Teilstrahlenbündel ausgekoppelt und zu einem benachbarten Biegegesenk weitergeleitet wird. Bei einer derartigen Biegegesenksanordnung gibt es somit zwei oder mehrere die Biegegesenke nacheinander durchlaufende Strahlenbündel, von denen in den einzelnen Biegegesenken jeweils ein Teil zum Werkstück umgelenkt wird und ein anderer Teil zum nächsten Biegegesenk weitergeleitet wird. Dieses Einleiten von zumindest zwei konzentrierten Strahlenbündeln in die Biegegesenkanordnung ermöglicht auch die Verwendung einer Strahlungsquelle, die eine unpolarisierte Strahlung aussendet, also beispielsweise den Einsatz eines Festkörperlasers, dessen Strahlung durch einen Polarisationsstrahlteiler bereits vor der Biegegesenkanordnung in zwei etwa gleich starke, jedoch unterschiedlich polarisierte konzentrierte Strahlenbündel aufgeteilt wird, aus denen jeweils innerhalb der Biegegesenkanordnung unter Verwendung weiterer Polarisationsstrahlteiler Teilstrahlenbündel definierter Strahlungsintensitäten ausgekoppelt und zum Werkstück umgelenkt werden können. Dadurch kann auch eine beliebige Anzahl von gleichartigen Biegegesenken nacheinander zu einer Biegegesenkanordnung aneinandergereiht werden, wobei die Gesamtlänge lediglich durch die Gesamtleistung der eingebrachten konzentrierten Strahlenbündel begrenzt ist, da die weitergeleiteten Teilstrahlenbündel in ihrem Verlauf durch die ausgekoppelten und zum Werkstück umgelenkten Anteile in ihrer Leistung schrittweise oder stufenweise abnehmen. Durch die Einleitung von zwei konzentrierten Strahlenbündeln in ein Biegegesenk können insbesondere zwei in Ausbreitungsrichtung der Strahlenbündel nacheinander versetzt angeordnete Auskoppelungen in Richtung des Werkstücks erfolgen, wodurch in der Erwärmungszone längliche Strahlenfächer nacheinander oder mit gegenseitiger Überlappung aneinandergereiht auf die Werkstückunterseite treffen.

[0016] Die im Biegegesenk eingebaute Strahlbeeinflussungsanordnung kann zwei oder mehrere in einem Strahlenweg nacheinander angeordnete Strahlteilerelemente mit abnehmenden Transmissionsgraden und zunehmenden Reflexionsgraden umfassen. So kann beispielsweise das erste Strahlteilerelement einen Transmissionsgrad von 50 % aufweisen und ein zweites Strahlteilerelement einen Transmissionsgrad von 0 % aufweisen, wodurch am ersten Strahlteiler-

element 50 % der Strahlleistung zum Werkstück gelenkt werden und am zweiten Strahlteilerelement ebenfalls 50 % zum Werkstück geleitet werden. Bei einer Anordnung mit drei Strahlteilerelementen besitzt das erste Strahlteilerelement einen Transmissionsgrad von 66 %, das zweite Strahlteilerelement einen Transmissionsgrad von 50 % und das dritte Strahlteilerelement von 0 %, wodurch an jedem Strahlteilerelement 33 % der ursprünglichen Strahlleistung zum Werkstück hin ausgekoppelt werden. Der letzte Strahlteiler einer derartigen Strahlbeeinflussungsanordnung ist demnach vorteilhaft als 100 % reflektierender Strahlteiler oder als Spiegel ausgebildet.

[0017] Zur Auskoppelung von konzentrierten Teilstrahlenbündeln aus dem eingeleiteten konzentrierten Strahlenbündel im Biegegesenk können vorteilhaft Polarisationsstrahlteilerelemente eingesetzt werden, die unter Benutzung von Polarisationsfilterelementen oder Halbwellenplatten gestatten, den Anteil an durchgelassenen Teilstrahlenbündeln und umgelenkten Teilstrahlenbündeln variabel wechselseitig zu beeinflussen.

[0018] Als weitere Mittel zur Teilstrahlauskopplung sind variabel beschichtete Strahlteilerplatten mit abnehmenden Transmissionsgraden oder sogenannte FTIR-Elemente möglich, die zwei durch ein Piezo-Stellelement aneinander gedrückte 45°-Prismen umfassen, die je nach der Größe eines verstellbaren Luftspalts zwischen den beiden Prismen unterschiedliche Transmissionsgrade aufweisen sodass die Transmission mit der Piezospannung reguliert werden kann die weiter unten noch erläutert sind.

[0019] Da sich ein lokal erwärmtes Werkstück aufgrund von Wärmeverzug leicht verformen kann, ist es von Vorteil, wenn das Werkstück während der Einwirkung der energiereichen Strahlung von einem mit dem Biegegesenk zusammenwirkenden Biegestempel geklemmt wird. Dadurch ist sichergestellt, dass das Werkstück während der Erwärmung mittels der energiereichen Strahlung in der vorgesehenen Position verbleibt und die Biegung exakt an der geplanten Biegelinie durchgeführt wird.

[0020] Für die Anwendung des Verfahrens kann vorteilhaft als Strahlungsquelle ein Festkörperlaser, beispielsweise ein Nd-YAG-Lasergerät oder ein Gaslaser, beispielsweise ein CO2- Lasergerät eingesetzt werden, die sich durch hohe Strahlleistungen auszeichnen und in vielen Produktionsbetrieben bereits vorhanden sind.

[0021] Um die örtliche Erwärmung des zu biegenden Werkstücks besser steuern zu können, ist es von Vorteil wenn die von der Strahlungsquelle abgegebene Leistung und/oder die Einwirkdauer der Strahlung an das Material und/oder die geometrischen Abmessungen des zu biegenden Werkstücks mittels einer Steuervorrichtung anpassbar sind. Die dazu verwendete Steuervorrichtung kann dabei durch die Steuervorrichtung der Biegepresse als auch durch die Steuervorrichtung der Strahlungsquelle oder ein eigene Steuervorrichtung realisiert sein.

[0022] Im Biegegesenk können zumindest zwei Strahlenwege voneinander beabstandet und zueinander parallel angeordnet sein, wobei die Strahlenwege jeweils durch eigene Kanäle oder Bohrungen im Werkzeuggrundkörper gebildet sein können oder auch in einem gemeinsamen Strahlenkanal oder einem entsprechenden Hohlraum im Inneren des Biegegesenks verlaufen. Dementsprechend können die mehreren Strahlenwege für mehrere Strahlenbündel an eine gemeinsame Strahleintrittsöffnung oder mehrere eigene Strahleintrittsöffnungen anschließen. Dadurch, dass die Strahlenwege voneinander beabstandet sind, können die einzelnen Strahlenbündel jeweils durch eigene in den jeweiligen Strahlenwegen angeordnete Strahlbeeinflussungsanordnungen, insbesondere Strahlteilerelemente und/oder Strahlumlenkelemente an verschiedenen Positionen zum Werkstück umgeleitet werden, wodurch eine gleichmäßige Verteilung der Strahlungsleistung entlang der Umformzone des Werkstücks erfolgen kann. Als Strahlumlenkelement kann dabei vorzugsweise ein Prisma, ein Spiegel oder ein Strahlteilerelement eingesetzt werden.

[0023] Die Strahlbeeinflussungsanordnung umfasst zur Strahlaufweitung vorzugsweise zumindest eine Zylinderlinse, die bewirkt, dass ein linienförmiger Strahl beziehungsweise ein linienartiges Strahlenbündel zu einem in einer Ebene, vorzugsweise in der Biegeebene, verlaufenden Strahlenfächer aufgeweitet wird, wodurch die Strahlleistung eines einzelnen konzentrierten Strahlenbündels oder Teilstrahlenbündels auf eine längliche Fläche am Werkstück verteilt wird. Die Zylinderlinse kann auch dazu verwendet werden, ein bereits aufgefächertes Strahlenbündel in derselben Strahlenebene noch weiter aufzufächern, wenn die Zylinderlinse eine zur Strahlenebene rechtwinklige Krümmungsachse aufweist und dadurch die Ebene des aufgeweiteten Strahlenfächers nicht verändert wird.

[0024] Die Strahlbeeinflussungsanordnung umfasst in einer weiteren vorteilhaften Ausführungsform zumindest ein Strahlteilerelement zur Erzeugung von zumindest zwei Teilstrahlenbündeln, wodurch ein Teil des konzentrierten eingeleiteten Strahlenbündels für die örtliche Erwärmung des Werkstücks verwendet werden kann und das zweite Teilstrahlenbündel wahlweise ebenfalls zur Erwärmung des Werkstücks im selben Biegegesenk oder zur Weiterleitung an ein nächstes Biegegesenk zur Verfügung steht.

[0025] Das Strahlteilerelement im Biegegesenk kann eine um die optische Hauptachse drehbare Halbwellenplatte mit motorischem Antrieb, z.B. in Form eines Schrittmotors, umfassen, mit der die Polarisationsebene eines konzentrierten, polarisierten Strahlenbündels gedreht werden kann und dadurch der Auskoppelungsgrad an einem nachfolgenden Polarisations-Strahlteilerelement variiert werden kann. Ein solches variables Strahlteilerelement für polarisierte Strahlenbündel umfasst demnach eine drehbare Halbwellenplatte und ein Polarisations-Strahlteilerelement.

[0026] Im Falle der Verwendung von auf Polarisation basierenden Strahlteilerelementen, insbesondere von polarisierenden Strahlteilerwürfeln, bietet sich zur Kontrolle der Polarisation alternativ zu einer mit einem Schrittmotor gedrehten Halbwellenplatte auch die Verwendung einer sogenannten Pockelszelle, eines photoelastischen Modulators oder eines

unter mechanischer Spannung stehenden optischen Elements an.

[0027] Eine Pockelszelle basiert auf einem elektro-optischen Effekt, wobei ein Medium, z.B. ein Kristall aus Lithium-Niobat, unter Einfluss eines variablen elektrischen Feldes seinen Brechungsindex ändert und damit auch auch eine variable Polarisationdrehung möglich ist. Zur Erzielung dieses Effekts sind zwar relativ hohe Spannungen erforderlich, diese sind allerdings technisch gut beherrschbar.

[0028] Ein photoelastischer Modulator basiert auf dem photoelastischen Effekt, der in der Spannungsoptik dazu verwendet wird, Spannungszustände in transparenten Gegenständen sichtbar zu machen. Durch mechanische Spannungen kann die Polarisationswirkung eines solchen Modulators verändert werden. Die mechanischen Spannungen können dabei dadurch erzeugt werden, dass das optisch wirksame Element selbst als Piezo-Aktor ausgebildet ist, der bei Anlegen entsprechender Spannung in sich selbst den photoelastischen Effekt bewirkt. Durch entsprechende Modulation dieser Spannung kann eine hochfrequente Polarisationsmodulation erzeugt werden und dadurch auch ein variabler Auskoppelungsgrad erzielt werden.

[0029] Alternativ kann auch ein isotropes transparentes optisches Element eingesetzt werden, welches durch Schrauben oder Piezo-Aktoren so unter mechanische Spannung versetzt wird, dass aufgrund des photoelastischen Effekts eine künstliche Doppelbrechung mit ähnlicher Wirkung wie bei einer Halbwellenplatte und entsprechender Aufteilung eines polarisierten Strahlenbündels bewirkt wird.

[0030] Alle elektrisch steuerbaren Varianten (FTIR mit Piezo-Aktor, Schrittmotor für Halbwellenplatte, Pockelszelle, Photoelast. Modulator, Isotrop. Material unter mech. Spannung durch Piezo-Aktor) eignen sich auch gut für eine automatisierte Steuerung mittels einer Rückkopplungsschaltung, welche die Intensität des ausgekoppelten Teilstrahlenbündels misst und aus diesem Signal ein Steuersignal für das steuerbare Strahlteilerelement bzw. die vorgeschaltete polarisationssteuernde Einheit generiert, um automatisiert eine gleichmäßige Leistungsverteilung auf alle Teilstrahlenbündel zu erreichen.

[0031] Als Referenzsignal für jede Rückkopplungsschaltung kann eventuell die Leistungsmessung des letzten Teilstrahlenbündels, welches von einem vollständig reflektierenden Strahlteilerelement oder Spiegel umgelenkt wird, dienen, so dass alle Rückkopplungsschaltungen versuchen, für ihren Teilstrahl dieselbe Leistung wie im letzten Teilstrahlenbündel zu erzielen. Dies setzt natürlich eine sinnvolle Wahl der Regelparameter bzw. Verstärkungen voraus, um ein chaotisches Oszillieren dieser Steuerung zu vermeiden.

[0032] Strahlteilerelemente, die auch für unpolarisierte Strahlenbündel geeignet sind, können beispielsweise unter Verwendung eines FTIR-Elements (Frustrated Total Internal Reflection) mit Piezo-Aktor zur Spaltbreiteneinstellung gebildet werden.

[0033] Eine weitere Möglichkeit besteht darin als Strahlteilerelement eine sogenannte Powell-Linse einzusetzen, mit der ebenfalls aus einem konzentrierten Strahlenbündel ein Teilstrahlenbündel ausgekoppelt werden kann. Eine Powell-Linse weist in einer Koordinatenrichtung ein asphärisches Profil auf und ist in der dazu orthogonalen Koordinate eben, so dass aus einem Strahlenbündel ein nahezu homogenisiertes linienförmiges Strahlenfeld geformt wird und als Strahlenfächer genutzt werden kann

[0034] Durch diese optischen Elemente kann der Anteil an durchgelassener Strahlung und umgelenkter ausgekoppelter Strahlung variabel verändert werden, wodurch die Aufteilung der Strahlungsleistung an das Werkstück oder die in einer Biegegesenkanordnung verwendete Kombination an Biegegesenken angepasst werden kann. Durch ein derartiges Strahlteilerelement können die Intensitäten der erzeugten Teilstrahlenbündel wechselseitig beeinflusst werden.

[0035] Durch ein Strahlteilerelement, das in Strahlausbreitungsrichtung betrachtet eine Halbwellenplatte und ein nachfolgendes Polarisationsteilerelement umfasst, kann eine vorteilhafte Anordnung von Strahlteilerstufen folgendermaßen gebildet werden: ein eingehendes konzentriertes Strahlenbündel wird mit einem Depolarisator in einen möglichst unpolarisierten Zustand gebracht und anschließend mit einem ersten Polarisationsfilter, gegebenenfalls bereits außerhalb des Biegegesenks, in zwei gleich starke linear polarisierte Teilstrahlen aufgeteilt. Durch die Halbwellenplatte kann die Polarisationsebene der Teilstrahlen gedreht werden und zusammen mit dem nachfolgenden Polarisationsteilerelement, das linear polarisierte Strahlen in einer definierten Polarisationsebene ungehindert passieren lässt und senkrecht dazu polarisierte Strahlen reflektiert, kann durch Drehen der Halbwellenplatte die Polarisationsebene des Teilstrahlenbündels verstellt werden, wodurch sich auch der Anteil der vom Polarisationsteilerelement reflektierten bzw. durchgelassenen Strahlleistung aktiv beeinflussen lässt. So kann durch entsprechende Einstellung der Strahlteilerelemente die jeweils ausgekoppelte Strahlintensität an die Anzahl der erforderlichen Auskoppelungen angepasst werden.

[0036] Die Biegeausnehmung ist bei einem erfindungsgemäßen Biegegesenk durch eine längliche Nut, insbesondere eine V- Nut gebildet, wodurch dieses für das universell einsetzbare Freibiegen verwendet werden kann. Der Strahlenweg der konzentrierten und nicht umgelenkten Strahlenbündel oder Teilstrahlenbündel verläuft dabei im Inneren des Werkzeuggrundkörpers etwa parallel zur Nut. Durch diese Orientierung des Strahlenweges im Werkzeuggrundkörper können derartige Biegegesenke auf einfache Weise aneinandergereiht zu einer Biegegesenkanordnung zusammengestellt werden, die an die Abmessungen von Werkstücken angepasst ist.

[0037] Die Strahlbeeinflussungsanordnung des Biegegesenks kann weiters zumindest eine Kollimationslinse im Strahlengang zumindest eines Strahlenbündels oder der Teilstrahlenbündel umfassen, wodurch die in einem Strahlengang

zwangsläufig auftretende Strahlaufweitung ausgeglichen werden kann. Das Strahlenbündel breitet sich dadurch auch über längere Strecken konzentriert und mit hoher Energiedichte weiter aus.

[0038] Die im Strahlengang des Strahlenbündels oder eines Teilstrahlenbündels angeordnete Strahlbeeinflussungsanordnung umfasst zur Strahlformung vorzugsweise jeweils eine Halbwellenplatte zumindest eine Zylinderlinse sowie ein Prisma, wobei die Halbwellenplatte zur Drehung der Polarisationsebene eines ausgekoppelten oder umgelenkten Strahlenbündels bzw. Teilstrahlenbündels dient, die Zylinderlinse zur Strahlauffächerung dient und das Prisma zur Umlenkung und/oder Aufteilung des Strahlenfächers verwendet wird. Die aufgefächerten Teilstrahlen werden durch Prismen im Wesentlichen innerhalb einer gemeinsamen Ausbreitungsebene, vorzugsweise in der Biegeebene zur Biegelinie beziehungsweise der Umformzone am Werkstück gelenkt. Durch diese Kombination von optischen Elementen kann die vorteilhafte Umformung eines konzentrierten Strahlenbündels zu zumindest einem zur Erwärmung einer linienförmigen Umformzone geeigneten Strahlenfächer und eine allenfalls erforderliche Umlenkung des Strahlenfächers mit einfachen Mitteln realisiert werden.

[0039] Der Strahlendurchtritt an einem Prisma erfolgt dabei zumindest annähernd am Brewster-Winkel, bei dem nur ein geringer Reflexionsverlust auftritt.

[0040] Die Strahlbeeinflussungsanordnung kann auch derart aufgebaut sein, dass sie ein Strahlteilerelement, welches das konzentrierte Strahlenbündel in zwei oder mehrere Teilstrahlenbündel aufteilt, und ein zwischen Strahlteilerelement und Strahlaustrittsöffnung angeordnetes Strahlformungselement umfasst, welches zumindest ein vom Strahlteilerelement abgestrahltes Teilstrahlenbündel in den Bereich der Umformzone des Werkstücks verteilt. Als Strahlformungselemente können dabei Linsen, Spiegel, Prismen in allen geeigneten Ausführungsformen verwendet werden.

[0041] Um die Bildung einer aus mehreren Biegegesenken zusammengesetzten Biegegesenkanordnung zu erleichtern, ist es von Vorteil, wenn im Werkzeuggrundkörper der Strahlenweg von der Strahleintrittsöffnung zur Strahlbeeinflussungsanordnung und anschließend von dieser zu einer Strahlweiterleitungsöffnung führt, die mit einer Strahleintrittsöffnung eines benachbarten Biegegesenks durch Übereinstimmung der zusammenwirkenden Abmessungen und Positionen koppelbar sind. Dazu sind Strahleintrittsöffnung und Strahlweiterleitungsöffnung eines derartigen Biegegesenks vorzugsweise entlang einer geraden Linie angeordnet und die Strahlbeeinflussungsanordnung befindet sich auf der Verbindungslinie dazwischen.

[0042] Eine vorteilhafte bauliche Ausführung des Biegegesenks wird erzielt, wenn der Werkzeuggrundkörper zumindest zwei flächige, zueinander parallele und voneinander beabstandete Werkzeugabschnitte umfasst, zwischen denen die Strahlbeeinflussungsanordnung positioniert ist. Die Strahlbeeinflussungsanordnung ist dadurch im Inneren des Werkzeuggrundkörpers weitgehend eingeschlossen und die Strahlen verlaufen in durch den Werkzeuggrundkörper definierten bzw. begrenzten Strahlenwegen, wodurch ein einen Benutzer möglicherweise gefährdender unkontrollierter Strahlenaustritt weitgehend vermieden ist. Der Werkzeuggrundkörper besitzt durch die flächigen Werkzeugabschnitte einen etwa U-förmigen Querschnitt, wobei die Strahlbeeinflussungseinrichtung im Inneren des U angeordnet ist und das zu biegende Werkstück auf den Schenkeln des U aufliegt.

[0043] Die mechanische Festigkeit des erfindungsgemäßen Biegegesenks kann wesentlich erhöht werden, wenn zwischen der Strahlbeeinflussungsanordnung und der Strahlenaustrittsöffnung zumindest ein Abstandhalterelement und zumindest ein den Werkzeuggrundkörper gegen das Abstandhalterelement spannendes Spannelement angeordnet ist. Einer Aufweitung des Biegegesenks durch den Biegestempel und das Werkstück beim Biegevorgang kann dadurch entgegengewirkt werden, und zwar umso besser, je näher das Abstandhalterelement beziehungsweise die Abstandhalterelemente an der Strahlenaustrittsöffnung bzw. der Biegeausnehmung positioniert sind. Weiters bewirken diese Abstandhalterelemente im Fall einer Störung eine zusätzliche Sicherheit vor einem Eindringen des Biegestempels in das Innere des Biegegesenks, wodurch dieses und insbesondere die Strahlbeeinflussungsanordnung zerstört werden könnte.

[0044] Um ein erfindungsgemäßes Biegegesenk an möglichst vielen Biegepressen bzw. Abkantpressen einsetzen zu können, ist es von Vorteil, wenn der Werkzeuggrundkörper an seinem der Biegeausnehmung abgewendeten Endabschnitt ein in einer Standardwerkzeugaufnahme einer Abkantpresse aufnehmbares Anschlussprofil aufweist. Dieses Anschlussprofil kann dabei zusätzliche Nuten aufweisen, die mit gegebenenfalls in der Werkzeugaufnahme vorhandenen Einrastelementen zusammenwirken können.

[0045] Da bei der Erwärmung eines Werkstücks immer ein Wärmeabfluss in nicht der Strahlung ausgesetzte Bereiche mit niedrigerer Temperatur und in Folge in das Biegegesenk stattfindet, ist es vorteilhaft, wenn die Anlagefläche des Biegegesenks durch ein Material mit niedriger Wärmeleitzahl gebildet ist. Für diesen Zweck kann die Anlagefläche beispielsweise durch streifenförmige PEEK-Kunststoffelemente gebildet sein, die an der Oberseite des Werkzeuggrundkörpers angebracht sind. Die nach Beginn der Umformung wirksamen mit dem Werkstück zusammenwirkenden Anlagepunkte können aus Gründen der Stabilität am Werkzeuggrundkörper selbst positioniert sein.

[0046] Um den Wärmefluss in das Biegegesenk weiter zu reduzieren, kann zusätzlich oder alternativ der Werkzeuggrundkörper zumindest abschnittsweise aus Metall mit niedriger Wärmeleitzahl bestehen. Da weiters eine durch die Temperaturerhöhung des Biegegesenks austretende Wärmeausdehnung des Werkzeuggrundkörpers möglichst klein bleiben sollte, ist es weiters vorteilhaft möglich, diesen aus einem Metall mit niedrigem Wärmeausdehnungskoeffizienten

herzustellen.

[0047] Da nicht jedes Werkstück die gesamte Biegeausnehmung abdeckt, da etwa die Biegelänge kürzer ist als die Länge des Biegegesenks, und ein Austritt von energiereicher Strahlung neben dem Werkstück aus Gründen der Arbeitssicherheit möglichst unterbunden werden sollte, ist bei einer vorteilhaften Ausführungsform des Biegegesenks zwischen Strahlenaustrittsöffnung und Anlagefläche zumindest einen verstellbares Abschirmelement zur Abdeckung nicht von Werkstücken abgedeckter Teilabschnitte der Biegeausnehmung vorgesehen. Dieses Abschirmelement kann als Schieber ausgebildet sein, der entlang der Biegeausnehmung verstellbar ist, und dadurch je nach Biegelänge des Werkstücks ein von diesem nicht abgedeckter Teil der Biegeausnehmung von dem Abschirmelement bedeckt wird.

[0048] Ein erfindungsgemäßes Biegegesenk kann auch derart ausgeführt sein, dass der Werkzeuggrundkörper einen die Anlagefläche und die Biegeausnehmung bildenden Gesenkadapter umfasst, der an dem die Strahlbeeinflussungsanordnungen enthaltenden restlichen Teil des Werkzeuggrundkörpers auswechselbar angeordnet ist. Dadurch kann der Werkzeuggrundkörper durch Austausch des Gesenkadapters an unterschiedliche Biegeaufgaben angepasst werden, insbesondere kann die Gesenkweite abgeändert werden, wodurch sich das Einsatzspektrum eines derartigen Biegegesenks wesentlich erhöht. Weiters kann ein derartiges, aufgrund der eingebauten Strahlbeeinflussungsanordnungen relativ teures Biegegesenk häufiger und dadurch wirtschaftlicher eingesetzt werden.

[0049] Eine baulich vorteilhafte Längsabmessung eines erfindungsgemäßen Biegegesenk beträgt vorzugsweise 100 mm, wodurch im Inneren des Werkzeuggrundkörpers ausreichender Platz zum Einbau gängiger und leicht erhältlicher optischer Bauelemente gegeben ist und für diese Dimensionen Halbwellenplatten, Strahlteilerprismen, Polarisationsstrahlteiler, Kollimationslinsen, Zylinderlinsen usw. günstig erhältlich sind. Eine Biegegesenklänge von 100 mm erlaubt bei einer Gesamthöhe des Biegegesenks von beispielsweise 120 mm die Einleitung von zwei konzentrierten Strahlenbündeln, aus denen räumlich hintereinander versetzt jeweils ein Teilstrahlenbündel ausgekoppelt werden kann.

[0050] Um auch Werkstücke, deren Biegelänge die Länge eines Biegegesenks überschreitet, umformen zu können, können mehrere erfindungsgemäße Biegegesenke zu einer Biegegesenkanordnung unmittelbar aneinandergrenzend verbunden werden, wobei insbesondere Ausführungsformen der Biegegesenke mit Auskoppelung und Weiterleitung von Teilstrahlenbündeln dazu geeignet sind, da in diesem Fall lediglich eine Strahlenquelle erforderlich ist.

[0051] Bei einer derartigen Biegegesenkanordnung können benachbarte Biegegesenke mittels eines Spannelements mit ihren Stirnflächen axial gegeneinander verspannt sein, wodurch die Stabilität einer derartigen Biegegesenkanordnung erhöht wird und weiters ein Strahlenaustritt im Bereich der Stirnflächen reduziert wird.

[0052] Ein erfindungsgemäßes Biegegesenk oder eine erfindungsgemäße Biegegesenkanordnung aus mehreren Biegegesenken umfasst vorzugsweise eine Schnittstelle zur mechanischen Verbindung und optischen Koppelung mit einer Strahlungsquelle, um ein von dieser abgestrahltes konzentriertes Strahlenbündel durch die Strahleneintrittsöffnung in das Biegegesenk einleiten zu können.

[0053] Das erfindungsgemäße Verfahren beziehungsweise ein erfindungsgemäßes Biegegesenk kann vorteilhaft zum Biegen von Werkstücken aus einem Material ausgewählt aus einer Gruppe umfassend Magnesium, Titan, Wolfram, Aluminium, Eisen, Legierungen aus diesen Metallen, Federstahl, Glas, Kunststoff verwendet werden.

[0054] Zum besseren Verständnis der Erfindung wird diese anhand der nachfolgenden Figuren näher erläutert.

[0055] Es zeigen jeweils in stark schematisch vereinfachter Darstellung:

Fig. 1 einen Querschnitt durch eine Biegewerkzeuganordnung zur Umformung eines Werkstücks mittels des erfindungsgemäßen Verfahrens umfassend ein Biegegesenk und einen Biegestempel;

Fig. 2 einen Schnitt durch ein Biegegesenk entlang Linie II-II in Fig. 1 mit schematisch dargestellter Führung und Verteilung von energiereicher Strahlung innerhalb des Biegegesenks;

Fig. 3 einen Schnitt durch eine weitere Ausführungsform eines Biegegesenks mit Einleitung eines konzentrierten Strahlenbündels und zwei Strahlbeeinflussungsanordnungen;

Fig. 4 einen Schnitt durch eine weitere Ausführungsform eines Biegegesenks mit Einleitung von zwei konzentrierten Strahlenbündeln und zwei Strahlbeeinflussungsanordnungen;

Fig. 5 einen Schnitt durch eine Biegegesenkanordnung umfassend zumindest zwei Biegegesenke gemäß Ausführungsform in Fig. 2 mit zusätzlichen Mitteln zur Strahlweiterleitung und einer Abschirmvorrichtung am Biegegesenk;

Fig. 6 einen Schnitt durch eine Biegegesenkanordnung umfassend zumindest zwei Biegegesenke gemäß Ausführungsform in Fig. 4 mit zusätzlichen Mitteln zur Strahlweiterleitung;

Fig. 7 einen Schnitt durch eine weitere Ausführungsform eines Biegegesenks mit Führung und Verteilung von ener-

giereicher Strahlung durch zwei Strahlbeeinflussungsanordnungen innerhalb des Biegegesenks;

Fig. 8 eine mögliche Ausführungsform eines in einem Biegegesenk eingesetzten Strahlteilers.

[0056] Einführend sei festgehalten, dass in den unterschiedlich beschriebenen Ausführungsformen gleiche Teile mit gleichen Bezugszeichen bzw. gleichen Bauteilbezeichnungen versehen werden, wobei die in der gesamten Beschreibung enthaltenen Offenbarungen sinngemäß auf gleiche Teile mit gleichen Bezugszeichen bzw. gleichen Bauteilbezeichnungen übertragen werden können. Auch sind die in der Beschreibung gewählten Lageangaben, wie z.B. oben, unten, seitlich usw. auf die unmittelbar beschriebene sowie dargestellte Figur bezogen und sind bei einer Lageänderung sinngemäß auf die neue Lage zu übertragen. Weiters können auch Einzelmerkmale oder Merkmalskombinationen aus den gezeigten und beschriebenen unterschiedlichen Ausführungsbeispielen für sich eigenständige, erfinderische oder erfindungsgemäße Lösungen darstellen.

[0057] Sämtliche Angaben zu Wertebereichen in gegenständlicher Beschreibung sind so zu verstehen, dass diese beliebige und alle Teilbereiche daraus mit umfassen, z.B. ist die Angabe 1 bis 10 so zu verstehen, dass sämtliche Teilbereiche, ausgehend von der unteren Grenze 1 und der oberen Grenze 10 mitumfasst sind, d.h. sämtliche Teilbereiche beginnen mit einer unteren Grenze von 1 oder größer und enden bei einer oberen Grenze von 10 oder weniger, z.B. 1 bis 1,7, oder 3,2 bis 8,1 oder 5,5 bis 10.

[0058] In den Fig. 1 und 2 ist eine Biegewerkzeuganordnung 1 dargestellt, die zum Biegen eines Werkstücks 2 unter Anwendung des erfindungsgemäßen Verfahrens geeignet ist. Die Biegewerkzeuganordnung 1 umfasst ein Biegegesenk 3, das an einem ausschnittsweise angedeuteten, feststehenden ersten Pressenbalken 4 oder Pressentisch einer Biegepresse oder einer Abkantpresse angeordnet ist und einen nur ausschnittsweise angedeuteten Biegestempel 5, der an einem nicht dargestellten verstellbaren zweiten Pressenbalken angeordnet ist und zusammen mit diesem zur Durchführung einer Biegeumformung in Verstellrichtung 6 verstellbar gelagert ist. Das Biegegesenk 3 umfasst einen Werkzeuggrundkörper 7, der von seinen äußeren Abmessungen im Wesentlichen einem herkömmlichen Biegegesenk entspricht. So weist das Biegegesenk 3 vorzugsweise ein Anschlussprofil 8 auf, das zur Aufnahme in einer Standardwerkzeugaufnahme 9 eines Pressenbalkens 4 geeignet ist.

[0059] Zum Biegen eines Werkstücks 2 wird dieses auf eine Anlagefläche 10 des Biegegesenks 3 angelegt und mittels des Biegestempels 5 in eine Biegeausnehmung 11 innerhalb der Anlagefläche 10 gedrückt, wodurch das Werkstück 2 bei Auftreten von Spannungen, die eine Streckgrenze oder eine Proportionalitätsgrenze des Werkstückmaterials überschreiten, eine bleibende Verformung erfährt. Im dargestellten Ausführungsbeispiel ist die Biegeausnehmung 11 als V-Nut 12 ausgebildet und das Biegegesenk 3 demnach durch ein V-Gesenk 13 gebildet. Der Biegestempel 5 besitzt einen keilförmigen Querschnitt dessen Keilwinkel etwa dem Winkel der V-Nut 12 entspricht. Die Biegeausnehmung 11 oder allgemein der Werkzeuggrundkörper 7 kann jedoch auch jede andere Querschnittsform aufweisen, mit dem beim Biegevorgang ein unterstützendes Anliegen des zu biegenden Werkstücks 2 am Biegegesenk 3 entlang von zwei Linien ermöglicht, zwischen denen der Biegestempel 5 einwirkt. Insbesondere kann die Biegeausnehmung 11 auch einen etwa rechteckigen Querschnitt aufweisen. Das mit einer derartigen Biegewerkzeuganordnung 1 durchführbare Biegeverfahren wird auch als Abkanten bezeichnet, und kann als Freibiegen oder als Prägebiegen ausgeführt werden.

[0060] In der weiteren Beschreibung wird die in Fig.1 vertikale Symmetrieebene des Biegestempels 5 bzw. der Biegeausnehmung 11 als Biegeebene 14 und deren Schnittpunkt mit der Anlagefläche 10 als Biegelinie 15 bezeichnet, wobei die Biegeebene 14 in den Ausführungsbeispielen gleichzeitig mit einer Strahlenebene zusammenfällt, innerhalb der die energiereiche Strahlung großteils verläuft. Die Biegelinie 15 verläuft somit in der Mitte einer Umformzone 16, in der während des Biegevorganges die plastische Verformung des Werkstücks 2 erfolgt.

[0061] Gattungsgemäß wird beim erfindungsgemäßen Verfahren vor oder während der Umformung durch eine Strahlaustrittsöffnung 17 eine durch strichlierte Linien angedeutete energiereiche Strahlung 18 auf die Umformzone 16 an der Unterseite 19 des auf der Anlagefläche 10 des Werkstücks 2 geleitet, wodurch dieses lokal stark erwärmt wird und dadurch die mechanisch technologischen Eigenschaften so verändert werden, dass die Biegeumformung mit der erforderlichen Qualität des fertigen Werkstücks 2 erfolgen kann. Das erfindungsgemäße Verfahren wird vorzugsweise bei spröden Werkstoffen angewendet, bei denen durch Erwärmung des Materials eine Absenkung der Streckgrenze beziehungsweise einer Proportionalitätsgrenze, z.B. der 0,2% Dehngrenze, erreicht werden kann und das Werkstück 2 dadurch die zur plastischen Verformung nunmehr in geringerer Höhe erforderlichen Spannungen ertragen kann, ohne die Festigkeitsgrenzen zu überschreiten.

[0062] In der weiteren Beschreibung der Ausführungsbeispiele ist die energiereiche Strahlung 18 vorzugsweise durch Laserstrahlung gebildet, es ist jedoch auch möglich, dass alternativ oder zusätzlich eine andere sich nach den Gesetzen der Optik ausbreitende hochenergetische Strahlungsart zur Erwärmung des Werkstücks 2 verwendet wird.

[0063] Die auf das Werkstück 2 auftreffende energiereiche Strahlung 18 wird dabei von einer außerhalb des Biegegesenks 3 angeordneten oder vom Biegegesenk 3 distanziert angeordneten Strahlungsquelle 20 erzeugt und in Form zumindest eines konzentrierten Strahlenbündels 21 durch eine Strahleneintrittsöffnung 22 im Werkzeuggrundkörper 7 in das Innere des Biegegesenks 3 eingeleitet.

[0064] Der Durchmesser eines derartigen Strahlenbündels 21 beträgt im Normalfall wenige Millimeter, für das erfindungsgemäße Verfahren ist von einem Durchmesser des konzentrierten Strahlenbündels 21 von unter 20 mm auszugehen.

[0065] Das Strahlenbündel 21 verläuft im Inneren des Biegegesenks 3 entlang eines Strahlenweges 23, der beispielsweise durch einen den Werkzeuggrundkörper 7 durchsetzenden Strahlenkanal 24 gebildet ist. Im Verlauf des Strahlenweges 23 trifft das Strahlenbündel 21 auf eine Strahlbeeinflussungsanordnung 25 innerhalb des Werkzeuggrundkörpers 7, von der das Strahlenbündel 21 umgelenkt, aufgeweitet und durch die Strahlenaustrittsöffnung 17 auf die Umformzone 16 des Werkstücks 2 geleitet wird. Im Ausführungsbeispiel gemäß Fig. 2 wird das ursprünglich horizontal verlaufende Strahlenbündel 21 von der Strahlbeeinflussungsanordnung 25 etwa vertikal nach oben umgelenkt und zu einem Strahlenfächer 26 aufgeweitet, der durch die Strahlenaustrittsöffnung 17 in die Biegeausnehmung 11 austritt und an der Unterseite 19 auf die Umformzone 16 des Werkstücks 2 trifft. Das konzentrierte Strahlenbündel 21 wird somit durch die Strahlbeeinflussungsanordnung 25 in einen Strahlenfächer 26 umgewandelt, der eine linienartige Erwärmungszone am Werkstück 2 bewirkt. Die Strahlbeeinflussungsanordnung 25 umfasst dazu wie in Fig. 2 schematisch angedeutet ein Strahlumlenkelement 27 und ein Strahlformungselement 28. Im einfachsten Fall kann die Strahlbeeinflussungsanordnung 25 auch durch ein einziges optisches Element gebildet sein, das gleichzeitig als Strahlumlenkelement 27 und als Strahlformungselement 28 wirken kann. Als derartiges optisches Element könnte beispielsweise ein konvexer Spiegel eingesetzt werden, der im Inneren des Werkzeuggrundkörpers 7 angeordnet ist und das konzentrierte Strahlenbündel 21 in Richtung des Werkstücks 2 umlenkt und gleichzeitig zu einem Strahlenfächer 26 aufweitet. Um eine hohe Gleichmäßigkeit der Strahlungsverteilung zu erreichen und diese auch zur besseren Anpassung an das Werkstück leichter beeinflussen zu können ist es jedoch von Vorteil, wenn die Funktionen Strahlumlenkung und Strahlformung von jeweils einem eigenen optischen Element ausgeführt werden. Das Strahlumlenkelement 27 kann beispielsweise durch einen Planspiegel, ein Prisma oder eine sonstige reflektierende -Fläche mit entsprechender Ausrichtung gebildet sein, während das Strahlformungselement 28 durch eine Linse, einen Konvexspiegel oder Konkavspiegel gebildet sein kann, wobei zur Auffächerung in einen ebenen Strahlenfächer 26 zylindrische optische Elemente eingesetzt werden, die eine Krümmung nur in einer Richtung aufweisen und rechtwinkelig zu dieser Richtung keine oder nur verhältnismäßig geringe Krümmung aufweisen.

[0066] Fig. 1 zeigt weiters, dass der Werkzeuggrundkörper 7 zwei zueinander parallele und voneinander beabstandete Werkzeugabschnitte 29 und 30 umfasst, zwischen denen die Strahlbeeinflussungsanordnung 25 angeordnet ist und diese dadurch sowohl vor mechanischen Beschädigungen geschützt ist und eine Einhausung für die eingeleitete energiereiche Strahlung 18 gebildet ist, die im Wesentlichen nur durch die Strahlenaustrittsöffnung 17 austreten kann. Da die beiden Werkzeugabschnitte 29 und 30 bei einem Biegevorgang durch die Horizontalkomponente der vom Biegegesenk 3 auf das Werkstück 2 übertragenen Biegekraft stark nach außen belastet werden, ist zur Erhöhung der mechanischen Stabilität des Biegegesenks 3 vorgesehen, das die beiden Werkzeugabschnitte 29 und 30 mittels eines Spannelements 31 zusammengespannt werden, wobei der Abstand zwischen den beiden Werkzeugabschnitten 29 und 30 mittels eines Abstandhalters 32 bestimmt ist. Um die auf die Werkzeugabschnitte 29 und 30 einwirkende Biegemomente zu minimieren, ist das Spannelement 31 zwischen der Strahlbeeinflussungsanordnung 25 und der Strahlaustrittsöffnung 17 positioniert, insbesondere möglichst nahe an der Biegeausnehmung 11.

[0067] Figur 2 zeigt die Anordnung von zwei Spannelementen 31, etwa in Form von Schrauben beliebiger Art, am Biegegesenk 3, die die zwei Werkzeugabschnitte 29 und 30 in entsprechenden Durchgangslöchern durchragen und mit Schraubenmuttern die zwei Werkzeugabschnitte 29 und 30 gegen die zwischen diesen angeordneten Abstandhalter 32 spannt. Selbstverständlich können die Werkzeugabschnitte 29 und 30 mittels alternativen, gleichwirkenden Schraubenverbindungen fixiert werden, etwa mit Innengewinden in einem der Werkzeugabschnitte. Die Spannelemente 31 sind dabei vorzugsweise außerhalb des Strahlenfächers 26 positioniert, wodurch möglichst wenig Strahlung auf die Spannelemente 31 beziehungsweise Abstandhalter 32 trifft.

[0068] In Fig. 3 ist eine weitere und gegebenenfalls für sich eigenständige Ausführungsform des Biegegesenks 3 gezeigt, wobei wiederum für gleiche Teile gleiche Bezugszeichen beziehungsweise Bauteilbezeichnungen wie in den vorangegangenen Fig. 1 und 2 verwendet werden. Um unnötige Wiederholungen zu vermeiden, wird auf die detaillierte Beschreibung in den Fig. 1 und 2 hingewiesen bzw. Bezug genommen. Das in Fig. 3 dargestellte Biegegesenk 3 unterscheidet sich von dem anhand von Fig. 2 beschriebenen Biegegesenk 3 dadurch, dass es im Werkzeuggrundkörper 7 zwei in Ausbreitungsrichtung des Strahlenbündels 21 gesehen hintereinander angeordnete Strahlbeeinflussungsanordnungen 25a und 25b enthält. Das durch die Strahleintrittsöffnung 22 eingeleitete konzentrierte Strahlenbündel 21 wird von der ersten Strahlbeeinflussungsanordnung 25a in zwei Teilstrahlenbündel 33a und 33b aufgeteilt, von denen das erste Teilstrahlenbündel 33a von der Strahlbeeinflussungsanordnung 25a umgelenkt, in einen ersten Strahlenfächer 26a umgeformt und zum Werkstück 2 geleitet wird, und das zweite Teilstrahlenbündel 33b von der Strahlbeeinflussungsanordnung 25a in Verlängerung des ursprünglichen Strahlenbündels 21 zur zweiten Strahlbeeinflussungsanordnung 25b weitergeleitet wird, von dieser umgelenkt, in einen zweiten Strahlenfächer 26b umgeformt und zum Werkstück 2 geleitet wird. Die erste Strahlbeeinflussungsanordnung 25a umfasst dazu ein Strahlteilerelement 34, das in diesem Ausführungsbeispiel gleichzeitig das Strahlumlenkelement 27 bildet. Dabei kann das Strahlteilerelement 34 auch eine

stufenweise oder variabel verstellbare Aufteilung des Strahlenbündels 21 in Teilstrahlenbündel 33a und 33b unterschiedlicher Strahlleistung bewirken, wodurch die Strahlführung und Verteilung innerhalb des Biegegesenks 3 für unterschiedliche Anwendungsfälle anpassbar ist.

[0069] Das Strahlteilerelement 34 ist durch ein optisches Bauteil gebildet und teilt das eingeleitete Strahlenbündel 21 in das zweite Teilstrahlenbündel 33b, das ohne Richtungsänderung weitergeleitet wird und in das erste Strahlenbündel 33a, das um 90° umgelenkt weitergeleitet wird.

[0070] Das Strahlteilerelement 34 umfasst beispielsweise eine Strahlteilerplatte, einen Polarisationsfilter, einen Strahlteilerwürfel, einen polarisierenden Strahlteilerwürfel, einen FTIR-Strahlteiler, eine Pockelszelle, einen photo-elastischen Modulator, eine Powell-Linse oder optische Elemente mit Ausnutzung von polarisationsoptischen, photoelastischen oder elektro-optischen Effekten. Der Effekt der Strahlaufteilung kann dabei durch optisch aktive Materiallien, wie etwa bei Polarisationsfiltern oder durch Strahlteilerschichten, wie etwa bei einem Strahlteilerwürfel bewirkt werden, mit denen eine Intensitätsaufteilung des eintreffenden Strahlenbündels erzielt wird. Derartige Intensitätsstrahlteiler können Lichtstrahlen mit einer Wellenlänge oder aber auch polychromatische Lichtstrahlen in einen transmittierten und einen reflektierten Anteil trennen, wobei verschiedene Teilungsverhältnisse möglich sind. Strahlteilerschichten können durch metallische Schichten oder dielektrische Mehrfachschichten gebildet sein, wobei dielektrische Mehrfachschichten unter Anwendung von Polarisationseffekten für das erfindungsgemäße Verfahren gut geeignet sind.

[0071] Für das Verfahren einsetzbare Strahlteilerplatten bestehen aus einer planparallelen Platte aus Glas, Quarz oder einem einachsigen Kristall mit einer dielektrischen oder metallischen Beschichtung. Durch die Dicke der Strahlteilerplatten erfährt der transmittierte Strahl einen geringfügigen Strahlversatz.

[0072] Strahlteilerwürfel werden aus zwei an ihren Hypotenusen verkitteten 90°-Prismen gefertigt, wobei die strahlteilende Beschichtung an einer Hypotenuse angebracht ist und ein transmittierter Strahl keinen Versatz erfährt.

[0073] FTIR-Strahlteilerelemente arbeiten nach dem Prinzip der "Frustrated Total Internal Reflection" unter Ausnutzung von Reflexions- und Absorbtionseffekten an Strahlteilerwürfeln mit einem Luftspalt zwischen zwei 90°-Prismen, wobei diese Form eines Strahlteilers gut geeignet ist, durch Verstellung des Luftspalts eine regelbare Strahlaufteilung zu bewirken, etwa mittels Piezo-Aktoren, die die Prismen des Strahlteilers relativ zueinander verstellen können und dadurch den Luftspalt verändern oder durch direkte Ausbildung der Prismen aus optisch transparentem piezoelektischem Material z.B. $LiNbO_3$, das durch Anlegen einer Spannung in seiner Dimension beeinflusst werden kann.

[0074] Die von den beiden Strahlbeeinflussungsanordnungen 25a und 25b aus dem Strahlenbündel 21 geformten Strahlenfächer 26a und 26b werden dabei so an die Unterseite des Werkstücks 2 geleitet, dass sie sich überlappen und die beiden Strahlenintensitäten sich an der bestrahlten Biegelinie 15 summieren. Da die Strahlungsintensität eines Strahlenfeldes häufig eine glockenkurvenformige Verteilung besitzt, kann durch Überlagerung von Randzonen benachbarter Strahlenfächer 26a und 26b eine gleichmäßigere Verteilung der Strahlung entlang der Biegelinie 15 erzielt werden. Wie bereits beschrieben, umfasst die erste Strahlbeeinflussungsanordnung 25a ein Strahlteilerelement 34, ein Strahlumlenkelement 27, wobei diese beiden durch ein einziges optisches Element gebildet sein können, sowie ein Strahlformungselement 28. Die zweite Strahlbeeinflussungsanordnung 25b benötigt im dargestellten Ausführungsbeispiel kein Strahlteilerelement 34, da das ausgekoppelte zweite Teilstrahlenbündel 33b zur Gänze zum Werkstück 2 umgeleitet wird. Es ist jedoch auch möglich, dass auch die zweite Strahlbeeinflussungsanordnung 25b ein Strahlteilerelement 34 umfasst, wenn dieses so einstellbar ist, dass das zweite Strahlenbündel 33b vollständig und ohne Auskoppelung eines weiteren Teilstrahlenbündels umgelenkt und umgeformt wird. Die zweite Strahlbeeinflussungsanordnung 25b kann in diesem Fall identisch wie die erste Strahlbeeinflussungsanordnung 25a ausgeführt sein, bei der das Strahlteilerelement 34 so eingestellt ist, dass die Leistung auf die beiden Teilstrahlenbündel 33a und 33b im Verhältnis 50 %: 50 % aufgeteilt wird. Sollten in einem Biegegesenk 3 mehr als zwei Biegegesenk Anordnungen 25a und 25b vorgesehen sein, sind die Strahlteilerelemente 34a, 34b, 34c, ... so einzustellen, dass die Strahlleistung des Strahlenbündels 21 im gewünschten Verhältnis aufgeteilt auf mehrere Strahlenfächer 26a, 26b, ... zum Werkstück 2 gelenkt wird. Eine gleichmäßige Leistungsverteilung zwischen allen in Richtung zum Werkstück 2 reflektierten Teilstrahlenbündeln 33 wird erzielt, wenn der reflektierte Strahlungsanteil an jedem Strahlteilerelement $1/n$ beträgt, wobei n die beim letzten Element (n=1) beginnende und bis zum ersten Element ansteigende Nummerierung der Strahlteilerelemente ist.

[0075] Fig. 4 zeigt eine weitere und gegebenenfalls für sich eigenständige Ausführungsform des Biegegesenks 3, wobei wiederum für gleiche Teile gleiche Bezugszeichen beziehungsweise Bauteilbezeichnungen wie in den vorangegangenen Fig. 1, 2 und 3 verwendet werden. Um unnötige Wiederholungen zu vermeiden, wird wieder auf die detaillierte Beschreibung in den Fig. 1-3 hingewiesen beziehungsweise Bezug genommen. Bei Biegegesenk in Fig. 4 werden zwei konzentrierte Strahlenbündel 21' und 21" in den Werkzeuggrundkörper 7 eingeleitet und werden die beiden Strahlenbündel 21' und 21" von einer Strahlbeeinflussungsanordnung 25' beziehungsweise 25" umgelenkt und zu einem Strahlenfächer 26' beziehungsweise 26" umgeformt, die zum Werkstück 2 geleitet werden. In Fig. 4 dargestellten Ausführungsbeispiel besitzt der Werkzeuggrundkörper 7 zwei Strahleintrittsöffnungen 22' und 22", an die Strahlenkanäle 24' und 24" anschließen, die zu den Strahlbeeinflussungsanordnungen 25' und 25" führen und Strahlenwege 23', 23" bilden. Es ist alternativ dazu jedoch auch möglich, zwei oder mehrere Strahlenbündel 21', 21", ... durch eine gemeinsame Strahleneintrittsöffnung 22 und einen gemeinsamen Strahlenkanal 24 zu führen. Die eingeleiteten Strahlenbündel 21',

21" werden im dargestellten Ausführungsbeispiel mittels einer außerhalb des Biegegesenks 3 angeordneten Strahlteileroptik 35 aus einem einzigen konzentrierten Strahlenbündel 21 erzeugt, es ist jedoch auch möglich jedes Strahlenbündel 21', 21", ... durch eine eigene Strahlenquelle 20', 20", ... zu erzeugen. Die Strahlbeeinflussungsanordnungen 25' und 25" umfassen dabei zumindest wieder jeweils ein Strahlumlenkelement 27' beziehungsweise 27" und ein Strahlformungselement 28' beziehungsweise 28". Die Strahlumlenkelemente 27', 27" können jedoch auch Strahlteilerelemente 34 umfassen, die so eingestellt sind, dass kein Teilstrahlenbündel ausgekoppelt wird und die Strahlenbündel 21' und 22" vollständig zum Werkstück 2 umgelenkt werden. Die Strahlteileroptik 35 kann dabei auf denselben optischen Bauelementen basieren, die zur Strahlaufteilung mit Strahlteileranordnungen 25 innerhalb des Biegegesenks 3 verwendet werden.

[0076] Fig. 4 zeigt weiters die Überlagerung der zwei Strahlenintensitäten 36' und 36" der beiden Strahlenfächer 26' und 26" im Bereich der Biegelinie 15, wobei erkennbar ist, dass durch geeignete Überlagerung von Strahlenfächern 26 eine für die Zwecke der örtlichen Erwärmung des Werkstücks 2 entlang der Biegelinie 15 ausreichend gleichmäßige resultierende Gesamtstrahlungsintensität erzielt wird.

[0077] In Fig. 5 ist eine Biegegesenkanordnung 37 dargestellt, die zum Biegen von Werkstücken 2 mit einer längeren Abmessung im Bereich der Biegelinie 15 geeignet ist, und die aus zumindest zwei aneinander gereihten erfindungsgemäßen Biegegesenken 3a und 3b zusammengesetzt ist. Bei dieser Biegegesenkanordnung 37 wird ein von einer nicht dargestellten Strahlungsquelle 20 ausgesendetes konzentriertes Strahlenbündel 21 durch eine Strahleintrittsöffnung 22 in das erste Biegegesenk 3a beziehungsweise dessen Werkzeuggrundkörper 7 eingeleitet, und in diesem mittels einer ersten Strahlbeeinflussungsanordnung 25a in ein erstes Teilstrahlenbündel 33a und ein zweites Teilstrahlenbündel 33b aufgeteilt. Das erste Teilstrahlenbündel 33a wird, wie bereits anhand von Fig. 3 und 4 beschrieben, umgelenkt, zu einem Strahlenfächer 26a umgeformt und zum Werkstück 2 geleitet, während das zweite Teilstrahlenbündel 33b durch eine Strahlweiterleitungsöffnung 38 den Werkzeuggrundkörper 7 des ersten Biegegesenks 3a verlässt und unmittelbar durch eine daran anschließende Strahleintrittsöffnung 22 des zweiten Biegegesenks 3b in dessen Werkzeuggrundkörper 7 eingeleitet wird und hier mittels einer zweiten Strahlbeeinflussungsanordnung 25b umgelenkt, zu einem Strahlenfächer 26b umgeformt und zum Werkstück 2 oberhalb der Biegeausnehmung 11 des zweiten Biegegesenks 3b geleitet wird. Wie in Fig. 5 durch strichlierte Linien angedeutet ist, kann die Biegegesenkanordnung 37 durch ein weiteres anschließendes drittes Biegegesenk 3c weiter verlängert sein, wobei in dieser Ausführungsform einer Biegegesenkanordnung 37 die zweite Strahlbeeinflussungsanordnung 25b ebenso wie die erste Strahlbeeinflussungsanordnung 25a ein Strahlteilerelement 34 umfasst, das jeweils ein Teilstrahlenbündel 33 c auskoppelt und zum Werkstück 2 leitet und ein Teilstrahlenbündel 33d durch die Strahlweiterleitungsöffnung 38 zum nächsten Biegegesenk 3c weiterleitet. Dabei ist die maximale Länge einer derartigen Biegegesenkanordnung 37 durch die Gesamtleistung des eingeleiteten Strahlenbündels 21 und die je Biegegesenk 3 zur ausreichenden Erwärmung des darüber liegenden Abschnittes des Werkstücks 2 erforderliche Teilstrahlenleistung begrenzt.

[0078] Die Strahlführung einer Biegegesenkanordnung 37 entspricht von ihrer Wirkung der Strahlführung in einem Biegegesenk 3 gemäß Fig. 3, wobei die Gesamtlänge der Biegelinie 15 durch Zusammenstellung von mehreren modulartigen Biegegesenken 3a, 3b, ... erzielt wird, während im Ausführungsbeispiel gemäß Fig. 3 die maximale Länge einer Biegelinie 15 durch die Gesamtlänge des Biegegesenks 3 begrenzt ist. Diese Ausführungsform eines erfindungsgemäßen Biegegesenks 3 zur Bildung einer Biegegesenkanordnung 37 besitzt dabei einen sich von der Strahleintrittsöffnung 22 zur Strahlbeeinflussungsanordnung 25 erstreckenden Strahlenweg 23 sowie einen sich von der Strahlbeeinflussungsanordnung 25 zu einer Strahlweiterleitungsöffnung 38 erstreckenden Strahlenweg 23, wobei sich Strahleintrittsöffnung 22 und Strahlweiterleitungsöffnung 38 auf gleicher Höhe befinden, und dadurch die Aneinanderreihung mehrerer derartiger Biegegesenke 3 einfach möglich ist.

[0079] Fig. 5 zeigt weiters eine Maßnahme zur Erhöhung der Arbeitssicherheit im Umfeld einer derartigen Biegegesenkanordnung 37, die auch bei Verwendung einzelner erfindungsgemäßer Biegegesenke 3 einsetzbar ist. Da die Biegelänge eines zu biegenden Werkstücks 2 in den meisten Fällen nicht mit der Gesamtlänge eines Biegegesenks 3 beziehungsweise einer Biegegesenkanordnung 37 übereinstimmt, würde in einem Teilabschnitt 39 der Biegeausnehmung 11, der nicht von Werkstück 2 abgedeckt wird energiereiche Strahlung austreten, die noch eine Strahlenintensität besitzt, bei der gesundheitliche Schäden einer Bedienperson im Umfeld der Biegewerkzeuganordnung 1 nicht ausgeschlossen werden können. Gemäß der dargestellten Ausführung einer Biegegesenkanordnung 37 beziehungsweise eines Biegegesenks 3 wird ein derartiger Teilabschnitt 39 mittels eines Abschirmelements 40 verdeckt, wodurch die energiereiche Strahlung am Austreten aus dem Biegegesenk 3 gehindert wird. Die durch die Strahlenaustrittsöffnung 17 in die Biegeausnehmung 11 austretende Strahlung wird in diesem Fall zumindest teilweise vom Abschirmelement 40 absorbiert oder zurück in das Innere des Biegegesenks 3 reflektiert. Die Unterseite des Abschirmelements 40 kann dabei zusätzlich eine zerstreuende Oberfläche besitzen, wodurch die reflektierte Strahlung an Intensität noch weiter abnimmt und über größere Flächen des Gesenksinneren verteilt wird.

[0080] Zur Anpassung an verschiedene Längen der Biegelinie 15 gemäß der jeweiligen Abmessung eines Werkstücks 2 kann das Abschirmelement 40 vorteilhafterweise mittels einer nicht dargestellten Verstellvorrichtung in Richtung des Pfeils 41 verstellbar sein. Ein derartiges Abschirmelement 40 könnte auch am in Fig. 5 rechten Ende einer Biegege-

senkanordnung 37 bzw. eines einzelnen Biegegesenks 3 vorgesehen sein, es ist jedoch baulich einfacher, wenn ein zu biegendes Werkstück 2 immer an einem Fixanschlag 42 positioniert wird und eine Annäherung eines Abschirmelement 40 dadurch nur von einer Seite her erforderlich ist.

[0081] Das Anliegen des Abschirmelements 40 am zu biegenden Werkstück 2 kann dadurch sichergestellt werden, dass es mit einer gewissen Mindestkraft an das Werkstück 2 angenähert wird, wobei zusätzlich auch eine mechanische oder optische Abfrage der Werkstückkontaktierung und damit der vollständigen Abschirmung des Teilabschnittes 39 sichergestellt werden kann. Dies kann beispielsweise dadurch erfolgen, dass das Abschirmelement 40 an seinem zum Werkstück 2 gerichteten Ende an seiner Oberseite eine Prüfmarkierung 43 aufweist, die von einer nicht dargestellten, oberhalb der Biegegesenkanordnung 37 montierten Kamera überwacht wird und bei einem Verschieben der Prüfmarkierung 43 am Abschirmelement 40 unter den Rand des Werkstücks 2 von oben durch die Kamera nicht mehr erfassbar ist, was bedeutet, dass das Abschirmelement 40 am Werkstück 2 anliegt. Der Endabschnitt mit der Prüfmarkierung 43 besitzt dabei eine Ausklinkung im Bereich der Biegelinie 15, damit diese auch am Rand des Werkstücks 2 von der energiereichen Strahlung bestrahlt werden kann. Weiters ist das Abschirmelement 40 bei dieser Ausführungsform in Richtung des Doppelpfeiles 44 beweglich gelagert, wodurch es zusammen mit dem Werkstück 2 bei Durchführung eines Biegevorganges in das Innere der Biegeausnehmung 11 eingedrückt werden kann. Das Abschirmelement 40 kann dazu etwa schwenkbar oder federnd gelagert sein und befindet sich ohne Einwirkung des Biegestempels 5 in angehobener Stellung. Eine Biegeausnehmung 11 mit rechteckigem lichtem Querschnitt erleichtert diese Beweglichkeit des Abschirmelements 40 in das Innere der Biegeausnehmung 11.

[0082] Fig. 6 zeigt eine Biegegesenkanordnung 37 zum Biegen eines Werkstücks 2 mit zwei aneinander gereihten Biegegesenken 3a und 3b, wobei diese Biegegesenke 3a und 3b einem Biegegesenk 3 gemäß Ausführungsform in Fig. 4 ähneln und jedoch zusätzliche Strahlenwege 23 enthalten, in denen mittels Strahlteilerelementen 34 ausgekoppelte Teilstrahlenbündel 33b', 33b", 33d' und 33d" zu Strahlweiterleitungsöffnungen 38 weitergeführt werden, und dadurch in ein angrenzendes nachfolgendes Biegegesenk 3 eingeleitet werden können. Die einzelnen Strahlbeeinflussungsanordnungen 25a', 25a", 25b', 25b" umfassen dabei jeweils ein Strahlteilerelement 34, das gleichzeitig auch das Strahlumlenkelement 27 bilden kann, sowie ein Strahlformungselement 28, mit dem ausgekoppelte Teilstrahlenbündel 33a', 33a", 33c' und 33c" in Form von Strahlenfächern 26a', 26a", 26c' und 26c" zu einem Werkstück 2 geleitet werden. Die Strahlbeeinflussungsanordnungen 25 können dabei baulich alle identisch sein, falls sie dazu geeignet sind, an ihrem Strahlteilerelement 34 den Anteil an durchgelassener Strahlleistung und umgelenkter ausgekoppelter Strahlleistung an die jeweilige Konfiguration anpassen zu können. Diese Anpassung kann manuell erfolgen, vorzugsweise wird sie aber anhand einer automatisierten Erfassung der Werkzeugkonfiguration und/oder der Werkstückparameter und/oder der gemessenen Teilstrahlenleistungen und vorzugsweise automatisch gesteuert oder geregelt über geeignete Stelleinrichtungen, beispielsweise Schrittmotoren oder Piezo-Aktoren an den Strahlteilerelementen 34 bewerkstelligt.

[0083] In Fig. 6 ist zusätzlich ein Spannelement 45 dargestellt, mit dem aneinander gereihte Biegegesenke 3a und 3b,... axial gegeneinander verspannt werden können. Zusätzlich kann die Biegegesenkanordnung 37 mit stirnseitigen Abschlusselementen 46 versehen sein, die einen Strahlenaustritt in Axialrichtung verhindern. Derartige Abschlusselemente 46 können ebenfalls mittels des Spannelements 45 axial gegen die beiden äußeren Biegegesenke 3 gespannt sein, wodurch eine als Einheit handhabbare Biegegesenkanordnung 37 gebildet ist.

[0084] Fig. 7 zeigt eine Ausführungsform einer Biegegesenkanordnung 37 umfassend zwei Biegegesenke 3a und 3b, die in Richtung der Biegelinie 15 nacheinander angeordnet sind und unmittelbar aneinandergrenzen. Bei dieser Biegegesenkanordnung 37 wird von einer nicht dargestellten Strahlungsquelle beispielsweise mittels Faseroptik ein konzentriertes Strahlenbündel 21 in den Bereich der Biegegesenkanordnung 37 geleitet, an der es mittels einer außen liegenden Strahlteileroptik 35 in Form eines Polarisationsstrahlteilerwürfels 47 mit anschließendem Umlenkspiegel 48 in zwei konzentrierte Strahlenbündel 21' und 21" aufgeteilt wird, die durch Strahleintrittsöffnungen 22' und 22" stirnseitig in das erste Biegegesenk 3a eingeleitet werden. Das ursprüngliche Strahlenbündel 21 wird vorzugsweise vor der Strahlteileroptik 35 mittels eines nicht dargestellten Depolarisators in möglichst unpolarisiertem Zustand gebracht, wodurch bei der Strahlaufteilung mittels des Polarisationsstrahlteilerwürfels 47 in ein vertikal linear polarisiertes Strahlenbündel 21' und ein horizontal linear polarisiertes Strahlenbündel 21" eine Aufteilung der Gesamtstrahlenleistung im Verhältnis 50:50 erfolgt, d.h. die beiden Strahlenbündel 21' und 21" sind zumindest annähernd gleich stark. Das erste Strahlenbündel 21' trifft im Verlauf seines Strahlenweges 23' auf eine erste Strahlbeeinflussungsanordnung 25a', mit der das Strahlenbündel 21' zuerst in zwei gleich starke Teilstrahlenbündel 33a' und 33b' aufgeteilt wird, das erste Teilstrahlenbündel 33a' umgelenkt und nach dem Strahlformungselement 28a' in Form von zwei in einer Ebene liegenden verkreuzten Strahlenfächern durch die Strahlenaustrittsöffnung 17 zum Werkstück 2 geleitet wird. Die Strahlbeeinflussungsanordnung 25a' umfasst dabei, wie bereits anhand von vorhergehenden Ausführungsbeispielen beschrieben, ein Strahlteilerelement 34a' und ein nachfolgendes Strahlformungselement 28a'. Das Strahlteilerelement 34a' umfasst dabei in Strahlausbreitungsrichtung gesehen eine Halbwellenplatte 49' und einen Polarisationsstrahlteilerwürfel, der in Folge vereinfacht als Polarisationsstrahlteiler 50' bezeichnet wird, da anstatt eines Polarisationsstrahlteilerwürfels auch ein winkelig im Strahlengang angeordneter plattenförmiger Polarisationsfilter verwendet werden kann. Da der Polarisationsstrahlteiler 50' eine Polarisationsrichtung ungehindert passieren lässt und die dazu rechtwinklige Polarisationsrich-

tung reflektiert, erfolgt in Abhängigkeit von der Polarisationsebene des auftretenden Strahlenbündels 21' eine Aufteilung der Strahlenintensität der resultierenden Teilstrahlenbündel 33a' und 33b'. Um eine Aufteilung im Verhältnis 50:50 am Polarisationsstrahlteiler 50' zu erzielen, wird die Polarisationsebene des am Polarisationsstrahlteiler 50' auftreffenden Strahlenbündels 21' mittels der Halbwellenplatte 49' auf einen Winkel von 45° eingestellt. Die zweimal erfolgende Halbierung der Strahlleistung an der externen Strahlteileroptik 35 und an der ersten Strahlbeeinflussungsanordnung 25a' bewirkt, dass von der Gesamtstrahlenleistung des Strahlenbündels 21 an der ersten Strahlbeeinflussungsanordnung 25a' ein Viertel der Leistung ausgekoppelt und zum Werkstück 2 geleitet wird. Durch Verdrehung der Halbwellenplatte 49' ist es für andere Konfigurationen der Biegegesenkanordnung 37 weiters möglich, am Polarisationsstrahlteiler 50' andere Auskoppelungsgrade einzustellen. Die Verdrehung der Halbwellenplatte kann insbesondere mittels eines Schrittmotors erfolgen, der mit der Steuerungsvorrichtung der Biegepresse verbunden ist und in Abhängigkeit der Biegelänge eines Werkstücks durch gesteuerte oder geregelte Verstellung der Halbwellenplatte an einer Strahlbeeinflussungsanordnung den jeweils erforderlichen Strahlleistungsanteil auskoppelt.

[0085] Das ausgekoppelte Teilstrahlenbündel 33a' wird nach Umlenkung am Polarisationsstrahlteiler 50' am Strahlformungselement 28a' durch zumindest eine zylindrische Zerstreuungslinse oder Zylinderlinse 51, hier von zwei aufeinander folgenden zylindrischen Plankonkavlinsen 52 und 53, innerhalb einer Strahlenebene aufgeweitet und durch ein Prisma 54 in zwei Teilstrahlenfächer 55L und 55R in derselben Strahlenebene aufgeteilt, die verkreuzt durch die Strahlenaustrittsöffnung 17 zum Werkstück 2 geleitet werden und sich dadurch zwei Bestrahlungszonen überlappen.

[0086] Das Strahlenbündel 21" wird mittels der zweiten Strahlbeeinflussungsanordnung 25 a" auf gleiche Weise wie das Strahlenbündel 21' aufgeteilt, umgelenkt und umgeformt.

[0087] Die beiden Strahlbeeinflussungsanordnungen 25a' und 25a" umfassen weiters jeweils zwischen dem Polarisationsstrahlteiler 50 und der Zylinderlinse 51 jeweils eine weitere Halbwellenplatte 56, mit der die Polarisationsebene der ausgekoppelten Teilstrahlenbündel 33a' und 33a" um 90° gedreht werden kann, damit der Durchtritt durch die Zylinderlinsen 51 und das nachfolgende Prisma 54 möglichst verlustarm erfolgen kann, die Absorption am Werkstück erhöht wird und dieselbe Polarisation (parallel zur Zeichenebene) vorliegt, wie bei den letzten beiden Teilstrahlen..

[0088] Die Stellung der schrägen Prismenseiten wird so gewählt, dass der zentrale optische Pfad mit der höchsten Intensität links und rechts an den äußeren Enden der beiden Teilstrahlenfächer 55L und 55R auftritt, wodurch auch an den Randbereichen der Teilstrahlenfächer ausreichend hohe Strahlungsintensitäten erreicht werden und sich im Mittelbereich direkt oberhalb des Prismas 54 die beiden Teilstrahlenfächer 55L und 55R mit ihren abgeschwächten Strahlungsintensitäten überlagern, wodurch eine möglichst gleichmäßige resultierende Strahlungsintensität zur gleichmäßigen lokalen Erwärmung des Werkstücks 2 erreicht wird.

[0089] In der beschriebenen Ausführungsform ist genau auf der Unterseite 19 des unverformten Werkstücks 2 eine annähernd gleichförmige Leistungsverteilung gegeben, während dies während der Umformung nicht mehr der Fall ist. Es ist unter Umständen von Vorteil, diese Position, an der die Verteilung der Strahlung 18 am gleichmäßigsten vorliegt, durch eine stärkere Neigung der Teilstrahlenfächer 26 zur Seite hin deutlich unterhalb der Anlagefläche 10 bzw. der Unterseite 19 des unverformten Werkstücks 2 zu legen und zwar dort, wo sich die Unterseite 19 des Werkstücks 2 gegen Ende der Biegeumformung befindet, da in dieser Phase durch den hohen Umformgrad die höchsten Spannungen auftreten und gerade dann ein gleichförmiger Leistungseintrag vorteilhaft ist, um Rissbildung oder Bruch am Werkstück 2 durch örtlich zu niedrige Temperaturen an der Umformzone 16 zu verhindern.

[0090] Es ist weiters verfahrenstechnisch unter Umständen von Vorteil, den Umformvorgang zuerst mit einer kleinen Kaltkantung zu beginnen, den Biegestempel 5 zu stoppen, um das Werkstück 2 zu fixieren und damit einer Verformung durch Wärmespannungen während der Erwärmung durch die Strahlung 18 vorzubeugen oder diese zu minimieren, danach mit der Erwärmung zu beginnen und dann nach einer definierten Zeit, die auch Null sein kann, oder ab Erreichen einer bestimmten Temperatur in der Umformzone 16 der Biegevorgang fortgesetzt wird, wobei auch die Erwärmung bis zum Abschluss oder bis knapp vor dem Abschluss der Kantung fortgesetzt wird. Ist die definierte Zeit Null, so ist die ganze Biegeumformung ein kontinuierlicher Prozess, während dem die Energiezufuhr durch Strahlung 18 stattfindet. Natürlich kann die Energiezufuhr dabei auch von Anfang an eingeschaltet sein. Die Steuerung der eingebrachten Wärmeenergie erfolgt dann vorteilhafterweise vor allem über die Geschwindigkeit des Umformvorgangs.

[0091] Der Strahldurchtritt der Strahlenfächer 26 durch die schrägen Flächen des Prismas 54 erfolgt dabei vorzugsweise nahe am so genannten Brewster-Winkel bei dem die in Einfallsebene polarisierten Strahlen nahezu verlustfrei ohne Reflexionen innerhalb des Prismas 54 aus diesem austreten. Die zuvor beschriebenen Halbwellenplatten 56 nach den Strahlteilerelementen 34 bewirken, dass die Polarisationsebenen der ausgekoppelten Teilstrahlenbündel 33a' und 33a" für die Erzielung dieses Effekts in die richtige Orientierung gedreht werden.

[0092] Durch die Lage der Strahlenfächer 26 innerhalb des Biegegesenks ist es weiters möglich, dass Werkzeugabschnitte 29 und 30 (siehe Fig. 1) mittels außerhalb der Strahlenfächer 26 jedoch oberhalb der Strahlbeeinflussungsanordnungen 25 angeordneter Spannelemente 31 gegeneinander, wie in Fig. 1 dargestellt, zusammengespannt werden, wodurch die mechanische Belastbarkeit eines derartigen Biegegesenks 3 wesentlich erhöht wird, bzw. diese überhaupt erst erreicht werden kann. Alternativ könnte man einen, insbesondere den vorderen Werkzeugabschnitt 29 auch einrastbar bzw. einsteckbar bezüglich des restlichen Werkzeuggrundkörpers 7 gestalten, sodass durch eine formschlüssige

(von oben) gesteckte Verbindung eine mechanische Belastbarkeit beim Biegevorgang auch ohne Schrauben gewährleistet ist. Dies hätte den großen Vorteil einer einfacheren und damit kürzeren Umrüstbarkeit auf andere Gesamtgesenklängen, falls dazu Eingriffe an den Strahlbeeinflussungsanordnungen 25 erforderlich sein sollten.

[0093] Bei einer erfindungsgemäßen Biegegesenkanordnung 37 können mehrere derartige Biegegesenke 3a mit Strahlteilerelementen 34 hintereinander angeordnet werden, wenn der Auskoppelungsgrad an den einzelnen Strahlteilerelementen 34 so eingestellt wird, dass die Gesamtstrahlleistung des eingeleiteten Strahlenbündels 21 auf alle ausgekoppelten und zum Werkstück 2 umgelenkten Teilstrahlenbündel 33 gleichmäßig aufgeteilt wird. Am jeweils letzten Biegegesenk 3 einer derartigen Biegegesenkanordnung 37 ist ein Biegegesenk 3b angeordnet, bei dem keine Weiterleitung eines oder mehrerer Teilstrahlenbündel 33 zu einem weiteren Biegegesenk 3 erforderlich ist und daher als Strahlumlenkelement 27 ein Strahlteilerelement 34, das 100 % der Strahlleistung zum Werkstück 2 umlenkt, oder ein reflektierender Spiegel 56 eingesetzt sein kann. Die Werkzeuggrundkörper 7 der beiden Biegegesenke 3a und 3b können identisch ausgeführt sein, falls durch entsprechende Ausnehmungen 57 die einzusetzenden optischen Bauelemente durch solche mit anderen Eigenschaften ausgetauscht oder wahlweise eingesetzt beziehungsweise weggelassen werden können. So ist im dargestellten Ausführungsbeispiel im rechten Biegegesenk 3b anstatt der Polarisationsstrahlteiler 50 jeweils ein Spiegel 56 eingesetzt und zwischen Spiegel 56 und Zylinderlinse 51 ist keine Halbwellenplatte 56 eingesetzt, wobei mit verhältnismäßig niedrigem Aufwand ein Biegegesenk 3b zu einem Biegegesenk 3a umgebaut werden kann. Ein Biegegesenk 3a, das für eine Strahlweiterleitung zu einem benachbarten Biegegesenk 3a oder 3b geeignet ist, kann somit als Zwischengesenk bezeichnet werden, während ein abschließendes Biegegesenk 3b als Endgesenk bezeichnet werden kann.

[0094] Da die mit den optischen Bauelementen erzielbaren Effekte vielfach von der Wellenlänge des verwendeten Lichts abhängig sind, sind die in einem erfindungsgemäßen Biegegesenk 3 beziehungsweise einer erfindungsgemäßen Biegegesenkanordnung 37 eingesetzten optischen Elemente vorteilhafterweise an die Lichtzusammensetzung der verwendeten Strahlungsquelle 20 angepasst. So besitzt beispielsweise eine Strahlungsquelle 20 in Form eines He-Ne-Lasers eine Wellenlänge von 633 nm, während ein Nd-YAG-Laser eine Wellenlänge von 1064 nm aufweist. Ein CO2-Laser, der ebenfalls als Energiequelle in Frage kommt, besitzt eine typische Wellenlänge von 10600 nm.

[0095] Fig. 8 zeigt eine weitere mögliche Ausführungsform eines Strahlteilerelements 34 mit variabler Leistungsverteilung zwischen reflektiertem ausgekoppeltem Teilstrahlenbündel 33a und weitergeleitetem Teilstrahlenbündel 33b, bei dem das Strahlenbündel 21 bzw. ein Teilstrahlenbündel 33 in einen FTIR-Strahlteiler 59 eingeleitet wird, dessen Auskoppelungsgrad mittels eines Piezo-Aktors 60 variabel verstellt werden kann, indem bei Anlegen von variabler Spannung an den Piezo-Aktor 60 durch dessen Längenveränderung ein den Auskoppelungsgrad bestimmender Luftspalt zwischen zwei den FTIR-Strahlteiler 59 aufbauenden Prismen verändert wird, wodurch dessen Auskoppelungsgrad in weitem Bereich, vorzugsweise zwischen 0 % und 100 %, variiert werden kann.

[0096] In Fig. 1 ist noch eine weitere vorteilhafte Ausführungsform eines erfindungsgemäßen Biegegesenks 3 angedeutet, bei dem der Werkzeuggrundkörper 7 einen die Anlagefläche 10 und die Biegeausnehmung 11 bildenden Gesenkadapter 61 umfasst, der an dem die Strahlenbeeinflussungsanordnung 25 enthaltenden restlichen Teil des Werkzeuggrundkörpers 7 auswechselbar angeordnet ist. Dadurch kann der Werkzeuggrundkörper 7 durch Austausch des Gesenkadapters 61 an unterschiedliche Biegeaufgaben angepasst werden, insbesondere kann die Gesenkweite abgeändert werden. Der Gesenkadapter 61 kann dabei zweiteilig ausgeführt sein, wobei sowohl vor als auch hinter der Biegeebene 14 ein entsprechender Adapterteil montiert wird, vorteilhaft ist jedoch eine Ausführung, bei der etwa die Abstandhalterelemente 32 Bestandteil des Gesenkadapters 61 sind und dieser dadurch als mechanisch stabile Einheit ausgeführt ist.

[0097] Die Ausführungsbeispiele zeigen mögliche Ausführungsvarianten des Verfahrens bzw. des Biegegesenks 3, wobei an dieser Stelle bemerkt sei, dass die Erfindung nicht auf die speziell dargestellten Ausführungsvarianten eingeschränkt ist.

[0098] Der Ordnung halber sei abschließend darauf hingewiesen, dass zum besseren Verständnis des Aufbaus des Biegegesenks 3 bzw. einer Biegegesenkanordnung 37 diese bzw. deren Bestandteile teilweise unmaßstäblich und/oder vergrößert und/oder verkleinert dargestellt wurden.

[0099] Die den eigenständigen erfinderischen Lösungen zugrunde liegende Aufgabe kann der Beschreibung entnommen werden.

Bezugszeichenaufstellung

1	B iegewerkzeuganordnung	41	Pfeil
2	Werkstück	42	Fixanschlag
3	Biegegesenk	43	Prüfmarkierung
4	Pressenbalken	44	Doppelpfeil
5	Biegestempel	45	Spannelement

(fortgesetzt)

6	Verstellrichtung	46	Abschlusselement
7	Werkzeuggrundkörper	47	Polarisationsstrahlteilerwürfel
8	Anschlussprofil	48	Umlenkspiegel
9	S tandardwerkzeugaufnahme	49	Halbwellenplatte
10	Anlagefläche	50	Polarisationsstrahlteiler
11	Biegeausnehmung	51	Zylinderlinse
12	V-Nut	52	Plankonkavlinse
13	V-Gesenk	53	Plankonkavlinse
14	Biegeebene	54	Prisma
15	Biegelinie	55	Teilstrahlenfächer
16	Umformzone	56	Halbwellenplatte
17	Strahlenauftrittsöffnung	57	Spiegel
18	Strahlung	58	Ausnehmung
19	Unterseite	59	FTIR-Strahlteiler
20	Strahlungsquelle	60	Piezo-Aktor
21	Strahlenbündel	61	Gesenkadapter
22	Strahleintrittsöffnung		
23	Strahlenweg		
24	Strahlenkanal		
25	Strahlbeeinflussungsanordnung		
26	Strahlenfächer		
27	Strahlumlenkelement		
28	Strahlformungselement		
29	Werkzeugabschnitt		
30	Werkzeugabschnitt		
31	Spannelement		
32	Abstandhalter		
33	Teilstrahlenbündel		
34	Strahlteilerelement		
35	Strahlteileroptik		
36	Strahlenintensität		
37	Biegegesenkanordnung		
38	Strahlweiterleitungsöffnung		
39	Teilabschnitt		
40	Abschirmelement		

Patentansprüche

1. Verfahren zur Führung und Verteilung von energiereicher Strahlung (18), insbesondere von Laserstrahlen, im Werkzeuggrundkörper (7) eines Biegegesenks (3), insbesondere eines V-Gesenks (13), mit einer Biegeausnehmung (1) im Werkzeuggrundkörper (7) und darin angeordneter Strahlenaustrittsöffnung (17) zum lokalen Erwärmen eines auf einer Anlagefläche (10) des Biegegesenks (3) anliegenden Werkstücks (2), durch Einleiten der energiereichen Strahlung (18) von einer außerhalb des Werkzeuggrundkörpers (7) angeordneten Strahlungsquelle (20) durch eine Strahleneintrittsöffnung (22) in den Werkzeuggrundkörper (7) und Ausleiten der energiereichen Strahlung (18) durch die Strahlenaustrittsöffnung (17) zur Biegeausnehmung (11) **dadurch gekennzeichnet, dass** durch zumindest eine

Strahleneintrittsöffnung (22) zumindest ein konzentriertes energiereiches Strahlenbündel (21) in den Werkzeuggrundkörper (7) eingeleitet wird und durch zumindest eine Strahlbeeinflussungsanordnung (25) im Werkzeuggrundkörper (7) das Strahlenbündel (21) zumindest teilweise umgelenkt, aufgeweitet und durch die Strahlenaustrittsöffnung (17) auf das Werkstück (2) geleitet wird.

2. Verfahren nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet, dass** das zumindest eine konzentrierte Strahlenbündel (21) mittels der Strahlbeeinflussungsanordnung (25) im Werkzeuggrundkörper (7) in zumindest zwei konzentrierte Teilstrahlenbündel (33a, 33b) aufgeteilt wird, von denen zumindest ein Teilstrahlenbündel (33a) aufgeweitet und durch die Strahlenaustrittsöffnung (17) zum Werkstück (2) geleitet wird.

3. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, **dadurch gekennzeichnet, dass** aus dem konzentrierten Strahlenbündel (21) oder den konzentrierten Teilstrahlenbündeln (33', 33") mittels der Strahlbeeinflussungsanordnung (25) zumindest ein konzentriertes Teilstrahlenbündel (33b) ausgekoppelt und durch eine Strahlweiterleitungsöffnung (38) im Werkzeuggrundkörper (7) zu einem benachbarten Biegegesenk (3b) weitergeleitet wird.

4. Verfahren nach Anspruch 3, **dadurch gekennzeichnet, dass** bei zwei oder mehreren aneinandergereihten Biegegesenken (3a, 3b) in jedem Biegegesenk (3a, 3b) durch eine Strahlbeeinflussungsanordnung (25) ein bestimmter Anteil, vorzugsweise bei allen Biegegesenken (3a, 3b) der gleiche oder ein einstellbar veränderlicher Anteil, der Strahlleistung der Strahlungsquelle (20) zur jeweiligen Biegeausnehmung (17) geleitet wird, wodurch entlang der Biegelinie (15) eine zumindest annähernd gleichmäßige Leistungsverteilung bewirkt wird.

5. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 3, **dadurch gekennzeichnet, dass** zumindest zwei konzentrierte energiereiche Strahlenbündel (21', 21") in den Werkzeuggrundkörper (7) eingeleitet werden und von jedem Strahlenbündel (21', 21") mittels der zumindest einen Strahlbeeinflussungsanordnung (25', 25") ein Teilstrahlenbündel (33b', 33b") ausgekoppelt und zu einem benachbarten Biegegesenk (3b) weitergeleitet wird.

6. Biegegesenk (3), insbesondere V-Gesenk (13), umfassend einen Werkzeuggrundkörper (7) mit einer Anlagefläche (10) zum Anlegen eines durch einen Biegestempel (5) zu biegenden Werkstücks (2), einer nutartigen Biegeausnehmung (11) in der Anlagefläche (10), insbesondere V-Nut (12), und zumindest einer sich entlang der Biegeausnehmung (11) erstreckenden Strahlenaustrittsöffnung (17) in der Biegeausnehmung (11) zur Ausleitung von energiereicher Strahlung (18), insbesondere Laserstrahlung, auf ein an der Anlagefläche (10) anliegendes Werkstück (2) zum Erwärmen der Umformzone des Werkstücks (2), **dadurch gekennzeichnet, dass** der Werkzeuggrundkörper (7) zumindest eine Strahleintrittsöffnung (22) mit daran anschließendem Strahlenweg (23) im Inneren des Biegegesenks (3) zum Einleiten zumindest eines von einer außerhalb des Werkzeuggrundkörpers (7) angeordneten Strahlungsquelle (20) erzeugten energiereichen konzentrierten Strahlenbündels (21) aufweist und im Werkzeuggrundkörper (7) zumindest eine Strahlbeeinflussungsanordnung (25) angeordnet ist, die zeitlich stationär zumindest einen Teil des Strahlenbündels (21) umlenkt, aufweitet und durch die Strahlenaustrittsöffnung (17) zur Umformzone des Werkstücks (2) leitet.

7. Biegegesenk (3) nach Anspruch 6, **dadurch gekennzeichnet, dass** im Werkzeuggrundkörper (7) zumindest zwei Strahlenwege (23', 23") für zwei Strahlenbündel (21', 21'') oder zwei Teilstrahlenbündel (33b', 33b") voneinander beabstandet und zueinander parallel angeordnet sind.

8. Biegegesenk (3) nach Anspruch 6 oder 7, **dadurch gekennzeichnet, dass** in jedem Strahlenweg (23', 23") zumindest eine Strahlbeeinflussungsanordnung (25', 25") angeordnet ist.

9. Biegegesenk (3) nach einem der Ansprüche 6 bis 8, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Strahlbeeinflussungsanordnung (25) ein Strahlumlenkelement (27) zum Ändern der Strahlrichtung umfasst.

10. Biegegesenk (3) nach Anspruch 9, **dadurch gekennzeichnet, dass** das Strahlumlenkelement (27) zumindest ein Prisma (53), einen Spiegel (57) oder ein Strahlteilerelement (34) umfasst.

11. Biegegesenk (3) nach einem der Ansprüche 6 bis 10, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Strahlbeeinflussungsanordnung (25) zumindest eine Zylinderlinse (51) zur Strahlaufweitung umfasst.

12. Biegegesenk (3) nach einem der Ansprüche 6 bis 11, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Strahlbeeinflussungsanordnung (25) zumindest ein Strahlteilerelement (34) zur Erzeugung von zumindest zwei Teilstrahlenbündeln (33a, 33b) umfasst.

13. Biegegesenk (3) nach Anspruch 12, **dadurch gekennzeichnet, dass** das Strahlteilerelement (34) eine drehbare Halbwellenplatte (49) oder ein FTIR-Element (59) mit Piezo-Aktor (60) zur Spaltbreiteneinstellung, einen photoelastischen Modulator, eine Pockelszelle, eine Powell-Linse umfasst, wodurch insbesondere die Intensitäten der erzeugten Teilstrahlenbündel (33a, 33b) durch das Strahlteilerelement (34) wechselseitig beeinflussbar sind.

14. Biegegesenk (3) nach einem der Ansprüche 6 bis 13, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Strahlbeeinflussungsanordnung (25) zumindest eine Kollimationslinse im Strahlengang zumindest eines Strahlenbündels (21) oder eines der einem Strahlenteilerelement (34) nachgeordneten Teilstrahlenbündel (33a, 33b) zum Ausgleich der Strahlaufweitung umfasst.

15. Biegegesenk (3) nach einem der Ansprüche 6bis 14, **dadurch gekennzeichnet, dass** im Strahlengang des Strahlenbündels (21) oder eines Teilstrahlenbündels (33b, 33d) eine Strahlbeeinflussungsanordnung (25) umfassend eine Halbwellenplatte (49) zur wahlweisen Verdrehung der Polarisationsebene, ein Polarisationsstrahlteiler (50) zur Auskoppelung eines Teilstrahlenbündels (33b, 33d), zumindest eine Zylinderlinse zur Strahlaufweitung, insbesondere eine Plankonkavlinse (51), sowie ein Prisma (53) zur Strahlenlenkung angeordnet ist.

16. Biegegesenk (3) nach einem der Ansprüche 6 bis 15, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Strahlbeeinflussungsanordnung (25) ein Strahlteilerelement (34), welche das konzentrierte Strahlenbündel (21) in zwei oder mehrere Teilstrahlenbündel (33a, 33b) aufteilt, und ein zwischen Strahlteilerelement (34) und Strahlaustrittsöffnung (17) angeordnetes Strahlformungselement (28) umfasst, welches zumindest ein Teilstrahlenbündel (33a) in den Bereich der Umformzone des Werkstücks (2) verteilt.

17. Biegegesenk (3) nach einem der Ansprüche 6 bis 16, **dadurch gekennzeichnet, dass** im Werkzeuggrundkörper (7) der Strahlenweg (23) von der Strahleintrittsöffnung (22) zur Strahlbeeinflussungsanordnung (25) und anschließend von dieser zu einer Strahlweiterleitungsöffnung (38) führt, die mit einer Strahleintrittsöffnung (22) eines benachbarten Biegegesenks (3b) koppelbar ist.

18. Biegegesenk (3) nach einem der Ansprüche 6 bis 17, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Anlagefläche (10) des Biegegesenks (3) durch ein Material mit niedriger Wärmeleitzahl, insbesondere durch PEEK-Kunststoff gebildet ist.

19. Verwendung des Verfahrens nach einem der Ansprüche 1 bis 5 oder des Biegegesenks (3) nach einem der Ansprüche 6 bis 18 zum Biegen eines Werkstücks (2) aus einem Material ausgewählt aus einer Gruppe umfassend Magnesium, Titan, Wolfram, Aluminium, Eisen, Legierungen mit diesen Metallen, Federstahl, Glas, Kunststoff.

Claims

1. Method for guiding and distributing high-energy radiation (18), in particular laser radiation, in the tool base body (7) of a bending die (3), in particular a V-shaped die (13), comprising a bending recess (11) in the tool base body (7) and a beam exit opening (17) arranged therein for locally heating a workpiece (2) bearing against a contact surface (10) of the bending die (3) by introducing the high-energy radiation (18) from a radiation source (20) arranged outside the tool base body (7) into the tool base body (7) through a beam entry opening (22) and discharging high-energy radiation (18) to the bending recess (11) through the radiation exit opening (17), **characterized in that** at least one concentrated high-energy radiation beam (21) is introduced into the tool base body (7) through at least one beam entry opening (22) and the radiation beam (21) is at least partially deflected, expanded and guided onto the workpiece (2) through the beam exit opening (17) by at least one beam affecting arrangement (25).

2. Method according to claim 1, **characterized in that** at least one concentrated radiation beam (21) is split into at least two concentrated radiation beam portions (33a, 33b) by means of the beam affecting arrangement (25) in the tool base body (7) and at least one of the radiation beam portions (33a, 33b) is expanded and guided onto the workpiece (2) through the beam exit opening (17).

3. Method according to claim 1 or 2, **characterized in that** by means of the beam affecting arrangement (25) at least one concentrated radiation beam portion (33b) can be decoupled from the concentrated radiation beam (21) or the concentrated radiation beam portions (33', 33") and transferred to an adjacent bending die (3b) through a beam transfer opening (38) in the tool base body (7).

4. Method according to claim 3, **characterized in that** in case of two or more bending dies (3a, 3b) stringed together,

in each bending die (3a, 3b) preferably at all bending dies (3a, 3b), the same or an adjustable proportion of the radiation power of the radiation source (20) is guided to the respective bending recess (11) by means of a beam affecting arrangement (25), with the result that an at least approximately even power distribution is caused.

5. Method according to one of the claims 1 to 3, **characterized in that** at least two concentrated high-energy radiation beams (21', 21") are introduced into the tool base body (7) and one radiation beam portion (33', 33") is decoupled from each radiation beam (21', 21") and transferred to an adjacent bending die (3b) by means of the at least beam affecting arrangement (25', 25").

6. Bending die (3), in particular V-shaped die (13), comprising a tool base body (7) with a contact surface (10) for contacting a workpiece (2) to be bent by a bending punch (5), a groove-like bending recess (11) in the contact surface (10), in particular a V-shaped groove (12), and at least one beam exit opening (17) in the bending recess (11) extending along the bending recess (11) for discharging high-energy radiation (18), in particular laser radiation, onto a workpiece (2) bearing against the contact surface (10) for heating the deformation zone (16) of the workpiece (2), **characterized in that** the tool base body (7) has at least one beam entry opening (22) with a subsequent beam path (23) in the interior of the bending die (3) for introducing at least one high-energy concentrated radiation beam (21) produced by a radiation source (20) arranged outside the tool base body (7) and in the tool base body (7) at least one beam affecting arrangement (25) is arranged that temporally and stationary deflects, expands and guides at least a portion of the radiation beam (21) through the radiation exit opening (17) to the deformation zone (16) of the workpiece (2).

7. Bending die (3) according to claim 6, **characterized in that** in the tool base body (7), at least two beam paths (23', 23") for two radiation beams (21', 21") or two radiation beam portions (33', 33") are arranged parallel to and spaced apart from one another.

8. Bending die (3) according to claim 6 or 7, **characterized in that** at least one beam affecting arrangement (25', 25") is arranged in each beam path (23', 23").

9. Bending die (3) according to one of the claims 6 to 8, **characterized in that** the beam affecting arrangement (25) comprises a beam deflector (27) for changing the direction of the beam.

10. Bending die (3) according to claim 9, **characterized in that** the beam deflector (27) comprises at least one prism (53), one mirror (57) or one beam splitter element (34).

11. Bending die (3) according to one of the claims 6 to 10, **characterized in that** the beam affecting arrangement (25) comprises at least one cylindrical lens (51) for expanding the beam.

12. Bending die (3) according to one of the claims 6 to 11, **characterized in that** the beam affecting arrangement (25) comprises at least one beam splitter element (34) for producing at least two radiation beam portions (33a, 33b).

13. Bending die (3) according to claim 12, **characterized in that** the beam splitter element (34) comprises a turnable half-wave plate (49) or a FTIR element (59) with piezo actuator (60) for adjusting the width of the gap, a photoelastic modulator, a Pockels cell, a Powell lens, with the result that in particular the intensities of the produced radiation beam portions (33a, 33b) can be mutually influenced by the beam splitter element (34).

14. Bending die (3) according to one of the claims 6 to 13, **characterized in that** the beam affecting arrangement (25) comprises at least one collimation lens in the beam path of at least one radiation beam (21) or one of the radiation beam portions (33a, 33b) subsequently arranged downstream of a beam splitter element (34) for compensating the beam widening.

15. Bending die (3) according to one of the claims 6 to 14, **characterized in that** in the beam path of the radiation beam (21) or of a radiation beam portion (33b, 33d), a beam affecting arrangement (25) is arranged, comprising a half-wave plate (49) for optional turning of the polarization plane, a polarization beam splitter (50) for decoupling a radiation beam portion (33b, 33d), at least one cylindrical lens for beam widening, in particular a plano-concave lens (51), as well as a prism (53) for beam controlling.

16. Bending die (3) according to one of the claims 6 to 15, **characterized in that** the beam affecting arrangement (25) comprises a beam splitter element (34) splitting concentrated radiation beams (21) into two or more radiation beam

portions (33a, 33b) and a beam forming element (28) which is arranged between beam splitter element (34) and beam exit opening (17) and which distributes at least one radiation beam portion (33a) into the region of the deformation zone of the workpiece (2).

17. Bending die (3) according to one of the claims 6 to 16, **characterized in that** in the tool base body (7), the beam path (23) leads from the beam entry opening (22) to the beam affecting arrangement (25) and then from the latter to a beam transfer opening (38), which can be coupled to a beam entry opening (22) of an adjacent bending die (3).

18. Bending die (3) according to one of the claims 6 to 17, **characterized in that** the contact surface (10) of the bending die (3) is formed from a material with low coefficient of thermal conductivity, in particular PEEK plastics.

19. Usage of the method according to one of the claims 1 to 5 or the bending die (3) according to one of the claims 6 to 18 for bending a workpiece (2) of a material selected from a group comprising magnesium, titanium, tungsten, aluminum, iron, alloys of said metals, spring steel, glass and plastics.

Revendications

1. Procédé de guidage et de distribution d'un rayonnement énergétique (18), plus particulièrement de rayons laser, dans le corps de base d'outil (7) d'une matrice de pliage (3), plus particulièrement d'une matrice en forme de V (13), avec un évidement de pliage (1) dans le corps de base d'outil (7) et une ouverture de sortie de rayons (17) réalisée à l'intérieur pour l'échauffement local d'une pièce (2) appuyée contre une surface d'appui (10) de la matrice de pliage (3) par l'entrée du rayonnement énergétique (18) à partir d'une source de rayonnement (20) disposée hors du corps de base d'outil (7), à travers une ouverture d'entrée de rayonnement (22), dans le corps de base d'outil (7) et la sortie du rayonnement énergétique (18) à travers l'ouverture de sortie de rayonnement (17) en direction de l'évidement de pliage (11), **caractérisé en ce que**, à travers au moins une ouverture d'entrée de rayonnement (22), au moins un faisceau énergétique concentré (21) est introduit dans le corps de base d'outil (7) et, à travers au moins un dispositif d'influence du rayonnement (25) dans le corps de base d'outil (7), le faisceau (21) est au moins partiellement dévié, élargi et guidé à travers l'ouverture de sortie du rayonnement (17) vers la pièce (2).

2. Procédé selon la revendication 1, **caractérisé en ce que** l'au moins un faisceau concentré (21) est réparti à l'aide du dispositif d'influence du rayonnement (25) dans le corps de base d'outil (7) en au moins deux faisceaux partiels concentrés (33a, 33b), dont au moins un faisceau partiel (33a) est élargi et est guidé à travers l'ouverture de sortie du rayonnement (17) vers la pièce (2).

3. Procédé selon la revendication 1 ou 2, **caractérisé en ce que**, à partir du faisceau concentré (21) ou des faisceaux partiels concentrés (33', 33"), à l'aide du dispositif d'influence du rayonnement (25), au moins un faisceau concentré (33b) est découplé et transmis à travers une ouverture de transmission de rayon (38) dans le corps de base d'outil (7) vers une matrice de pliage (3b) adjacente.

4. Procédé selon la revendication 3, **caractérisé en ce que**, dans le cas de deux matrices de pliage (3a, 3b) juxtaposées ou plus, dans chaque matrice de pliage (3a, 3b), grâce à un dispositif d'influence du rayonnement (25), une part déterminée, de préférence, dans toutes les matrices de pliage (3a, 3b), la même part ou une part variable réglable, de la puissance du rayonnement de la source de rayonnement (20) est guidée vers l'évidement de pliage (17) correspondant, une répartition de puissance au moins approximativement uniforme étant ainsi effectuée le long de la ligne de pliage (15).

5. Procédé selon l'une des revendications 1 à 3, **caractérisé en ce qu'**au moins deux faisceaux énergétiques concentrés (21', 21") sont introduits dans le corps de base d'outil (7) et un faisceau partiel (33b', 33b") est découplé de chaque faisceau (21', 21") à l'aide de l'au moins un dispositif d'influence du rayonnement (25', 25")et est transmis vers une matrice de pliage (3b) adjacente.

6. Matrice de pliage (3), plus particulièrement matrice en forme de V (13), comprenant un corps de base d'outil (7) avec une surface d'appui (10) pour l'appui d'une pièce (2) à plier par un poinçon de pliage (5), un évidement de pliage (11) en forme de rainure dans la surface d'appui (10), plus particulièrement une rainure en forme de V (12), et au moins une ouverture de sortie de rayonnement (17) dans l'évidement de pliage (11), s'étendant le long de l'évidement de pliage (11), pour la sortie d'un rayonnement énergétique (18), plus particulièrement un rayon laser, sur une pièce (2) s'appuyant contre la surface d'appui (10), pour l'échauffement de la zone de façonnage de la

pièce (2), **caractérisée en ce que** le corps de base d'outil (7) comprend au moins une ouverture d'entrée de rayonnement (22) avec un trajet de rayon (23) qui le prolonge à l'intérieur de la matrice de pliage (3) pour l'introduction d'au moins faisceau énergétique concentré (21) produit par une source de rayonnement (20) disposée hors du corps de base d'outil (7) et, dans le corps de base d'outil (7), au moins un dispositif d'influence de rayonnement (25) est disposé, qui dévie temporellement, de manière stationnaire, au moins une partie du faisceau (21), l'élargit et le guide à travers de sortie de rayonnement (17) vers la zone de façonnage de la pièce (2).

7. Matrice de pliage (3) selon la revendication 6, **caractérisée en ce que**, dans le corps de base d'outil (7), au moins deux trajets de rayons (23', 23") pour deux faisceaux (21', 21") ou deux faisceaux partiels (33b', 33b") sont disposés à une certaine distance les uns des autres et parallèles entre eux.

8. Matrice de pliage (3) selon la revendication 6 ou 7, **caractérisée en ce que**, dans chaque trajet de rayon (23', 23") se trouve au moins un dispositif d'influence de rayonnement (25', 25").

9. Matrice de pliage (3) selon l'une des revendications 6 à 8, **caractérisée en ce que** le dispositif d'influence de rayonnement (25) comprend un élément de déviation de rayon (27) pour la modification de la direction des rayons.

10. Matrice de pliage (3) selon la revendication 9, **caractérisée en ce que** l'élément de déviation de rayon (27) comprend au moins un prisme (53), un miroir (57) ou un élément diviseur de rayon (34).

11. Matrice de pliage (3) selon l'une des revendications 6 à 10, **caractérisée en ce que** le dispositif d'influence de rayonnement (25) comprend au moins une lentille cylindrique (51) pour l'élargissement du rayon.

12. Matrice de pliage (3) selon l'une des revendications 6 à 11, **caractérisée en ce que** le dispositif d'influence de rayonnement (25) comprend au moins un élément diviseur de rayon (34) pour la production d'au moins deux faisceaux partiels (33a, 33b).

13. Matrice de pliage (3) selon la revendication 12, **caractérisée en ce que** l'élément diviseur de rayon (34) comprend une plaque demi-onde rotative (49) ou un élément FTIR (59) avec un actionneur piézo-électrique (60) pour le réglage de la largeur de fente, un modulateur photo-élastique, une cellule de Pockels, une lentille de Powell, les intensités des faisceaux partiels (33a, 33b) produits pouvant ainsi plus particulièrement être contrôlées alternativement par l'élément diviseur de rayon (34).

14. Matrice de pliage (3) selon l'une des revendications 6 à 13, **caractérisée en ce que** le dispositif d'influence du rayonnement (25) comprend au moins une lentille de collimation dans le trajet d'au moins un faisceau (21) ou d'un faisceau partiel (33a, 33b) disposé en aval d'un élément diviseur de rayon (34), pour la compensation de l'élargissement du rayon.

15. Matrice de pliage (3) selon l'une des revendications 6 à 14, **caractérisée en ce que**, dans le trajet du faisceau (21) ou d'un faisceau partiel (33b, 33d), se trouve un dispositif d'influence du rayonnement (25) comprenant une plaque demi-onde (49) pour la torsion sélective du plan de polarisation, un diviseur de rayon à polarisation (50) pour le découplage d'un faisceau partiel (33b, 33d), au moins une lentille cylindrique étant prévue pour l'élargissement du rayonnement, plus particulièrement une lentille plan-concave (51), ainsi qu'un prisme (53) pour la déviation des rayons.

16. Matrice de pliage (3) selon l'une des revendications 6 à 15, **caractérisée en ce que** le dispositif d'influence du rayonnement (25) comprend un élément diviseur de rayon (34) qui divise le faisceau concentré (21) en deux faisceaux partiels (33a, 33b) ou plus, et un élément de formage de rayons (28) disposé entre l'élément diviseur de rayons (34) et une ouverture de sortie des rayons (17), qui répartit au moins un faisceau partiel (33a) au niveau de la zone de façonnage de la pièce (2).

17. Matrice de pliage (3) selon l'une des revendications 6 à 16, **caractérisée en ce que**, dans le corps de base d'outil (7), le trajet de rayon (23) conduit de l'ouverture d'entrée de rayons (22) vers le dispositif d'influence du rayonnement (25) puis de celui-ci vers une ouverture de transmission de rayons (38), qui peut être couplée avec une ouverture d'entrée de rayons (22) d'une matrice de pliage (3b) adjacente.

18. Matrice de pliage (3) selon l'une des revendications 6 à 17, **caractérisée en ce que** la surface d'appui (10) de la matrice de pliage (3) est constituée d'un matériau avec un faible coefficient de conduction thermique, plus particu-

lièrement d'une matière plastique PEEK.

19. Utilisation du procédé selon l'une des revendications 1 à 5 ou de la matrice de pliage (3) selon l'une des revendications 6 à 18 pour le pliage d'une pièce (2) constituée d'un matériau sélectionné dans un groupe comprenant le magnésium, le titane, le tungstène, l'aluminium, le fer, des alliages de ces métaux, un acier ressort, du verre, une matière plastique.

Fig.2

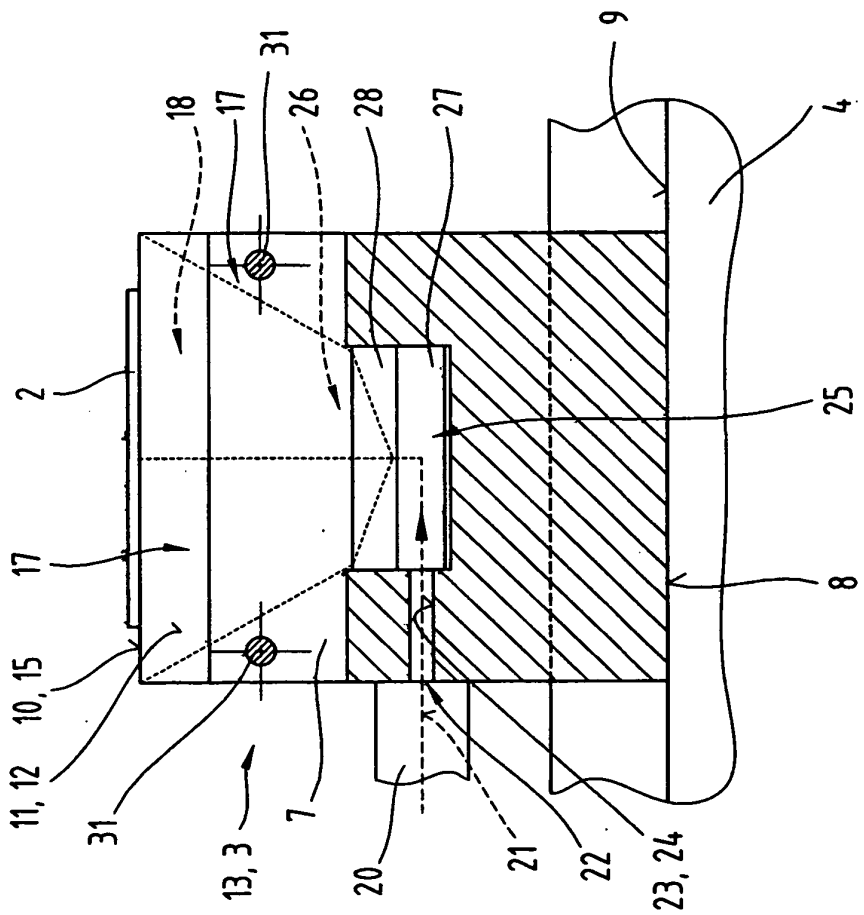

9
4
31
18
17
26
28
27
2
25
17
8
10, 15
11, 12
31
13, 3
7
20
21
22
23, 24

Fig.1

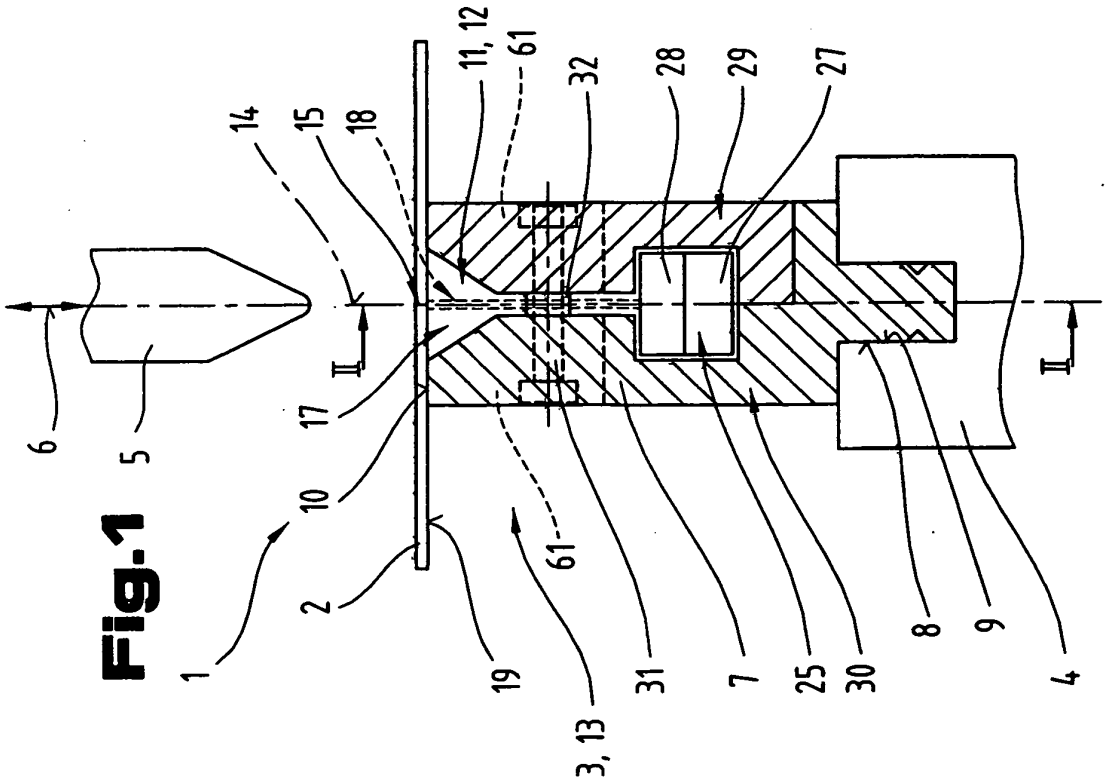

11, 12
61
32
28
29
27
14
15
18
II
II
6
5
17
10
2
1
19
61
3, 13
31
7
25
30
8
9
4

Fig.4

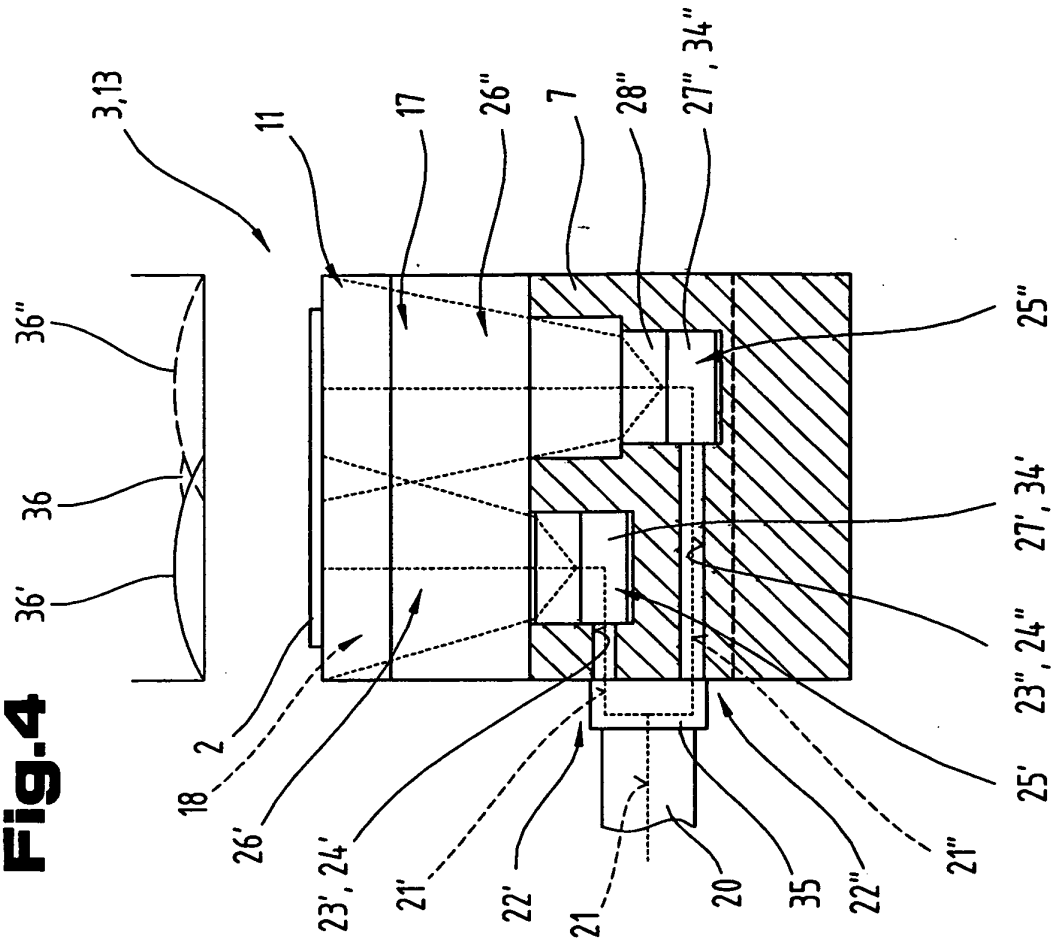

3,13
11
17
26"
7
28"
27", 34"
36"
36
36'
25"
27', 34'
23", 24"
25'
2
18
26'
23', 24'
21'
22'
21
20
35
22"
21"

Fig.3

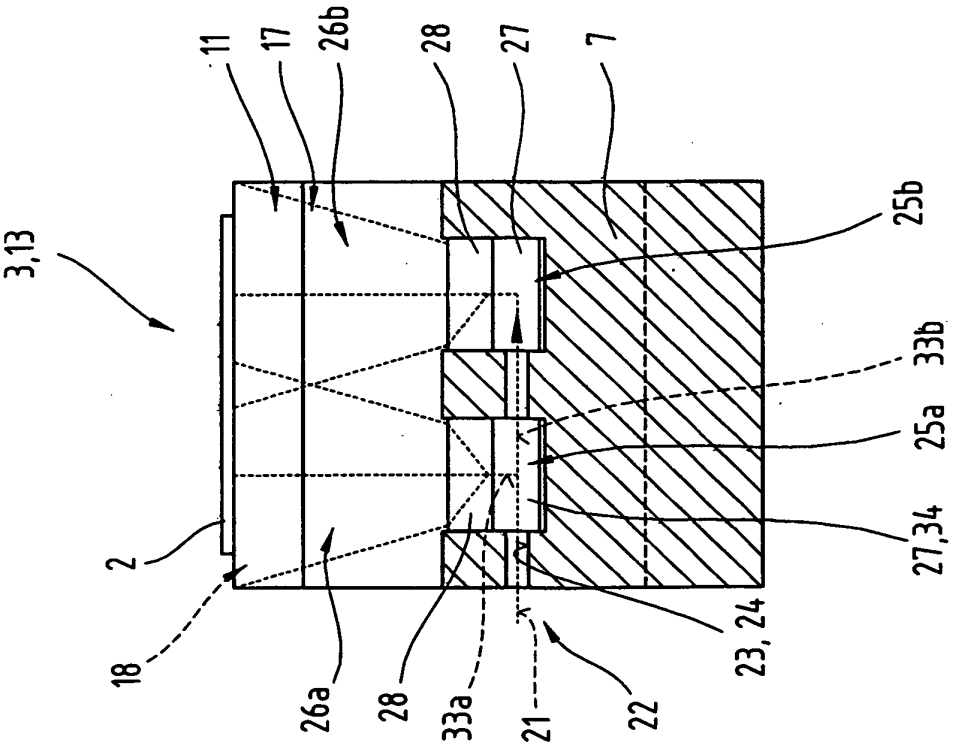

3,13
11
17
26b
28
27
7
25b
33b
25a
27,34
2
18
26a
28
33a
21
22
23, 24

Fig.5

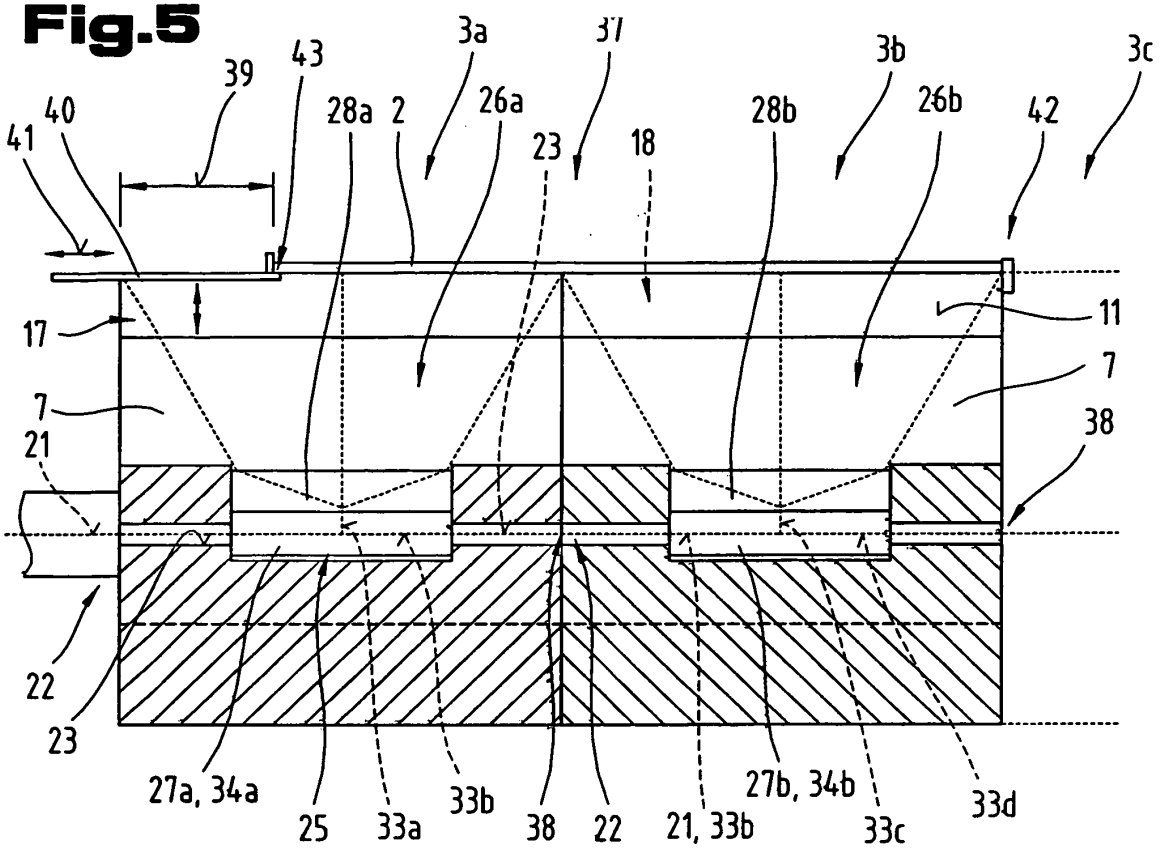

39
43
3a
37
3b
3c
41
40
28a
2
26a
23
18
28b
26b
42
17
11
7
7
38
21
22
23
27a, 34a
25
33a
33b
38
22
21, 33b
27b, 34b
33c
33d

Fig.6

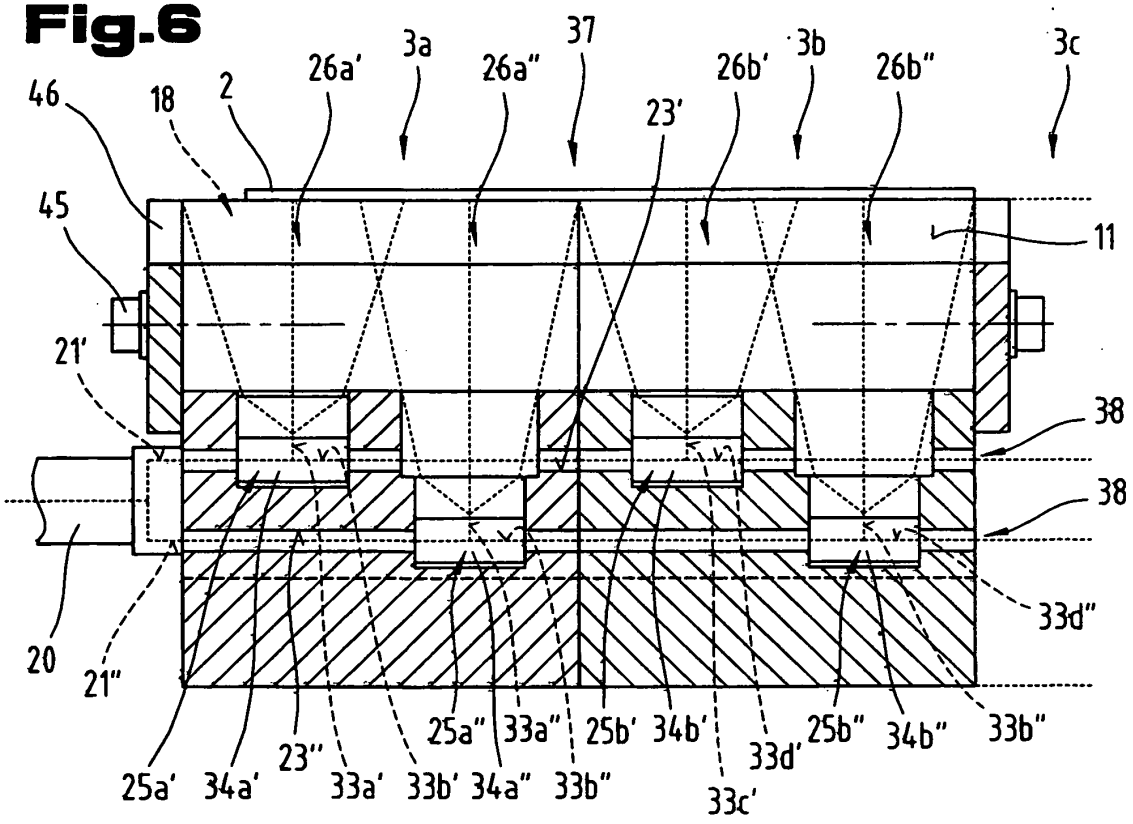

46
18
2
26a'
3a
26a"
37
23'
26b'
3b
26b"
3c
45
11
21'
38
38
20
21"
33d"
25a'
34a'
23"
33a'
33b'
34a"
33b"
25a"
33a"
25b'
34b'
33c'
33d'
25b"
34b"
33b"

Fig.7

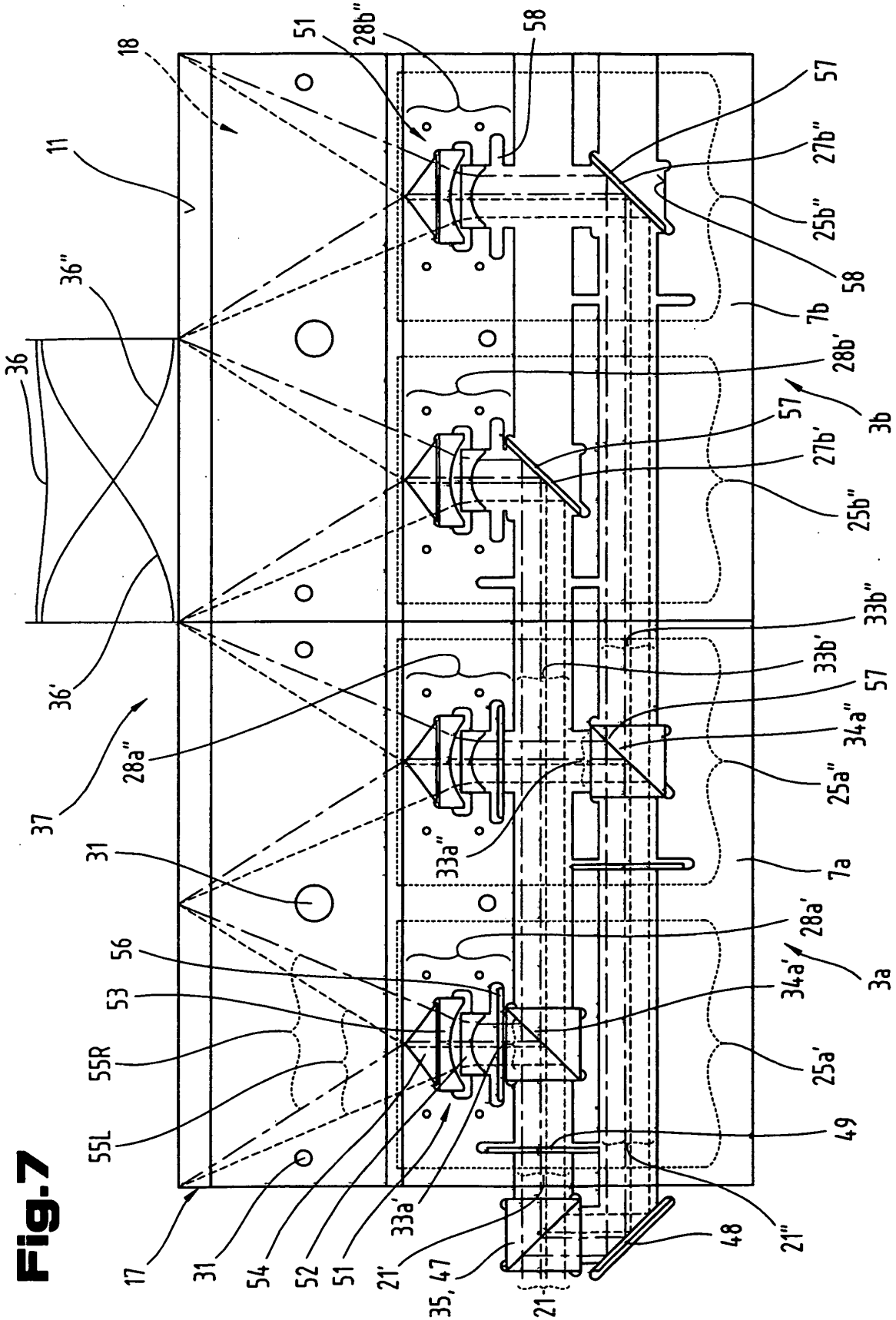
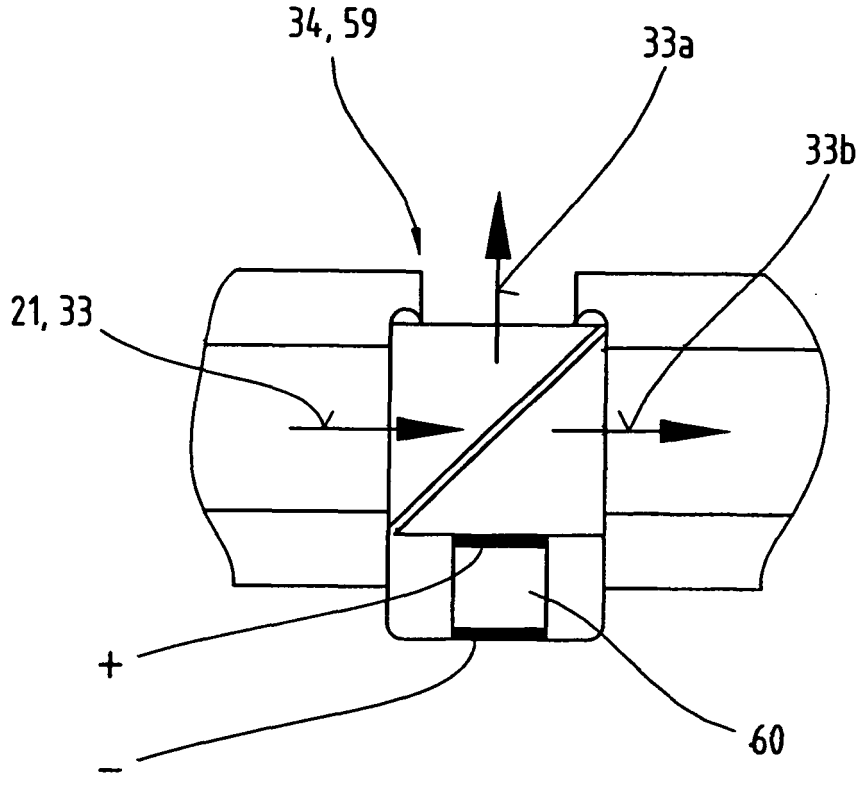

18
51
28b"
58
11
57
27b"
25b"
58
36"
7b
28b'
36
57
3b
27b'
25b"
33b"
33b'
36'
57
28a"
34a"
37
25a"
31
33a"
7a
28a'
56
34a'
3a
53
55R
25a'
55L
49
17
31
54
52
51
33a'
21'
35, 47
21
48
21"

Fig.8



IN DER BESCHREIBUNG AUFGEFÜHRTE DOKUMENTE

Diese Liste der vom Anmelder aufgeführten Dokumente wurde ausschließlich zur Information des Lesers aufgenommen und ist nicht Bestandteil des europäischen Patentdokumentes. Sie wurde mit größter Sorgfalt zusammengestellt; das EPA übernimmt jedoch keinerlei Haftung für etwaige Fehler oder Auslassungen.

In der Beschreibung aufgeführte Patentdokumente

- EP 0993345 A1 **[0004] [0005]**