

(12) NACH DEM VERTRAG ÜBER DIE INTERNATIONALE ZUSAMMENARBEIT AUF DEM GEBIET DES
PATENTWESENS (PCT) VERÖFFENTLICHTE INTERNATIONALE ANMELDUNG

(19) Weltorganisation für geistiges
Eigentum

Internationales Büro

(43) Internationales
Veröffentlichungsdatum
18. Juni 2015 (18.06.2015)



(10) Internationale Veröffentlichungsnummer
WO 2015/086243 A2

(51) Internationale Patentklassifikation:
B23K 20/12 (2006.01)

(21) Internationales Aktenzeichen: PCT/EP2014/074300

(22) Internationales Anmeldedatum:
12. November 2014 (12.11.2014)

(25) Einreichungssprache: Deutsch

(26) Veröffentlichungssprache: Deutsch

(30) Angaben zur Priorität:
102013225714.7
12. Dezember 2013 (12.12.2013) DE

(71) Anmelder: **ZF FRIEDRICHSHAFEN AG** [DE/DE];
Graf-von-Soden-Platz 1, 88046 Friedrichshafen (DE).

(72) Erfinder: **HUNOLD, Bernard**; Weidenring 6, 88046
Friedrichshafen (DE).

(81) Bestimmungsstaaten (soweit nicht anders angegeben, für
jede verfügbare nationale Schutzrechtsart): AE, AG, AL,
AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BN, BR, BW,
BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DK, DM,

DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT,
HN, HR, HU, ID, IL, IN, IR, IS, JP, KE, KG, KN, KP, KR,
KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LU, LY, MA, MD, ME, MG,
MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM,
PA, PE, PG, PH, PL, PT, QA, RO, RS, RU, RW, SA, SC,
SD, SE, SG, SK, SL, SM, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN,
TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, ZA, ZM, ZW.

(84) Bestimmungsstaaten (soweit nicht anders angegeben, für
jede verfügbare regionale Schutzrechtsart): ARIPO (BW,
GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SD, SL, ST,
SZ, TZ, UG, ZM, ZW), eurasisches (AM, AZ, BY, KG,
KZ, RU, TJ, TM), europäisches (AL, AT, BE, BG, CH,
CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE,
IS, IT, LT, LU, LV, MC, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO,
RS, SE, SI, SK, SM, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM,
GA, GN, GQ, GW, KM, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

Veröffentlicht:

— ohne internationalen Recherchenbericht und erneut zu
veröffentlichen nach Erhalt des Berichts (Regel 48 Absatz
2 Buchstabe g)

(54) Title: TRANSMISSION SHAFT AND METHOD AND DEVICE FOR THE PRODUCTION THEREOF

(54) Bezeichnung : GETRIEBEWELLE SOWIE VERFAHREN UND VORRICHTUNG ZU DEREN HERSTELLUNG

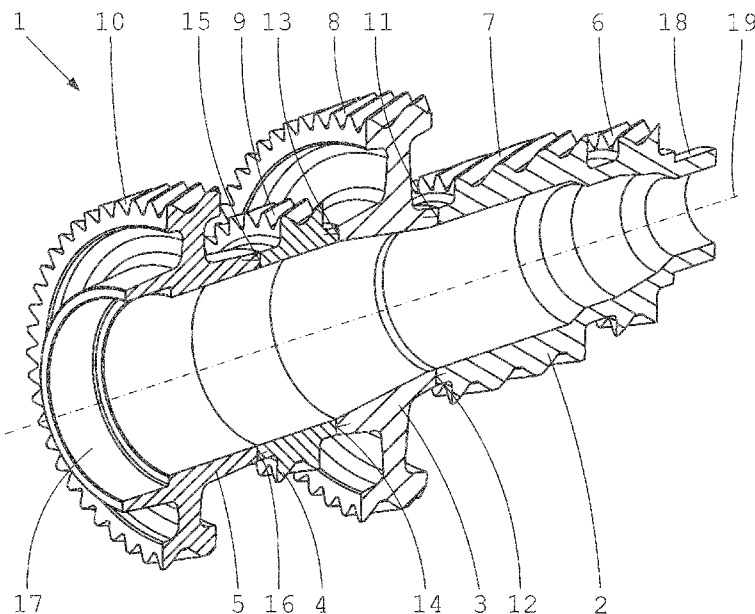


Fig.1

(57) Abstract: The invention relates to a transmission shaft (1) of a manual transmission having a countershaft design, which transmission shaft forms one of at least two largely identical countershafts and is constructed of a plurality of hollow shaft segments (2; 3; 4; 5) pressure-welded to each other in a butt-jointed manner, of which hollow shaft segments at least two hollow shaft segments (2; 3; 4; 5) are each provided with at least one set of helical teeth (6; 7; 8; 9; 10) of a fixed gear of a helical-gear stage. According to the invention, in order to achieve optimal teeth meshing of the sets of helical teeth (6; 7; 8; 9; 10) with the associated mating gears, the hollow shaft segments (3; 4; 5) having a set of helical teeth (8; 9; 10) are each connected to the adjacent hollow shaft segment (2; 3; 4) in such a way that said hollow shaft segments are rotated about the center axis (19) of said hollow shaft segments by a correction angle ($\Delta\alpha$) in proportion to a deviation (Δx) from the desired axial position of said hollow shaft segments, wherein the ratio between the correction angle ($\Delta\alpha$) and the axial deviation (Δx) corresponds to the pitch (s) of the set of helical teeth (8; 9;

10) ($\Delta\alpha/\Delta x = s$). Fig.

(57) Zusammenfassung:

[Fortsetzung auf der nächsten Seite]



Getriebewelle sowie Verfahren und Vorrichtung zu deren Herstellung Die Erfindung betrifft eine Getriebewelle (1) eines in Vorgelegebauweise ausgeführten Schaltgetriebes, die eine von mindestens zwei weitgehend identischen Vorgelegewellen bildet und aus mehreren stumpf miteinander pressverschweißten Hohlwellenabschnitten (2; 3; 4; 5) aufgebaut ist, von denen mindestens zwei Hohlwellenabschnitte (2; 3; 4; 5) jeweils mit mindestens einer Schrägverzahnung (6; 7; 8; 9; 10) eines Festrades einer Stirnradstufe versehen sind. Zur Erzielung eines optimalen Verzahnungseingriffs der Schrägverzahnungen (6; 7; 8; 9; 10) mit den zugeordneten Gegenzahnradern ist gemäß der Erfindung vorgesehen, dass die mit einer Schrägverzahnung (8; 9; 10) versehenen Hohlwellenabschnitte (3; 4; 5) jeweils proportional zu einer Abweichung (Δx) von ihrer axialen Sollposition um einen Korrekturwinkel ($\Delta \alpha$) um ihre Mittelachse (19) gedreht mit dem jeweils benachbarten Hohlwellenabschnitt (2; 3; 4) verbunden sind, wobei das Verhältnis zwischen dem Korrekturwinkel ($\Delta \alpha$) und der axialen Abweichung (Δx) der Steigung (s) der Schrägverzahnung (8; 9; 10) entspricht ($\Delta \alpha / \Delta x = s$).

Getriebewelle sowie Verfahren und Vorrichtung zu deren Herstellung

Die Erfindung betrifft eine Getriebewelle eines in Vorgelegebauweise ausgeführten Schaltgetriebes, die eine von mindestens zwei weitgehend identischen Vorgelegewellen bildet und aus mehreren stumpf miteinander pressverschweißten Hohlwellenabschnitten aufgebaut ist, von denen mindestens zwei Hohlwellenabschnitte jeweils mit mindestens einer Schrägverzahnung eines Festrades einer Stirnradstufe versehen sind. Die Erfindung betrifft außerdem ein Verfahren sowie eine Vorrichtung zur Herstellung einer derartigen Getriebewelle aus mehreren miteinander pressverschweißten Hohlwellenabschnitten.

Getriebewellen von in Vorgelegebauweise ausgeführten Schaltgetrieben, wie Eingangswellen, Vorgelegewellen, Hauptwellen oder Ausgangswellen, sind meistens als massive Vollwellen ausgebildet. Die auf diesen Getriebewellen angeordneten Festräder von Stirnradstufen, wie Eingangskonstanten, schaltbaren Übersetzungsstufen oder Ausgangskonstanten, sind häufig als separate Bauteile hergestellt, die an entsprechend ausgebildeten Lagersitzen auf die Getriebewelle aufgepresst und vorzugsweise zusätzlich formschlüssig, beispielsweise durch Verstiften, gegen ein axiales Bewegen gesichert sind. Es ist jedoch auch bekannt, dass die Verzahnungen von Festrädern durch geeignete Bearbeitungsverfahren, wie Walzen, Rollen oder Fräsen, in entsprechende Ringstege der Getriebewelle eingearbeitet sein können. In diesem Fall sind die Festräder einstückig mit der betreffenden Getriebewelle verbunden. Nachteilig an derartigen massiven Getriebewellen ist jedoch deren große Masse, durch welche das Gewicht des betreffenden Schaltgetriebes erhöht wird, sowie das damit verbundene hohe Massenträgheitsmoment, gegen dessen Widerstand die betreffende Getriebewelle, sofern es sich um eine Eingangswelle oder um eine Vorgelegewelle handelt, bei einer schaltungsbedingten Synchronisierung des Zielgangs verzögert oder beschleunigt werden muss. Weiterhin ist der höhere Materialeinsatz mit höheren Kosten verbunden.

Zur Vermeidung dieser Nachteile sind Getriebewellen vorgeschlagen worden, die ohne Festigkeitseinbußen als Hohlwellen ausgebildet sind. Hierbei handelt es sich um sogenannte gebaute Getriebewellen, die aus mehreren kraft-, form- und/oder stoffschlüssig miteinander verbundenen Hohlwellenabschnitten aufgebaut sind.

In der DE 10 2005 036 681 A1 ist eine entsprechende Getriebewelle beschrieben, die aus drei Hohlwellenabschnitten zusammengesetzt ist. Die bevorzugt durch Massivumformung hergestellten Hohlwellenabschnitte sind jeweils an stumpf aneinander stoßenden Ringflächen durch Laserschweißen oder durch Rotationsreibschweißen miteinander verbunden. Die axial äußeren Hohlwellenabschnitte sind an ihren freien Enden durch Rundhämmern verschlossen worden. Die auf der Getriebewelle angeordneten Festräder sind als separate Bauteile hergestellt und auf zugeordnete Lagersitze der betreffenden Hohlwellenabschnitte aufgepresst.

Aus der DE 10 2006 016 099 B4 sind ein Verfahren zur Herstellung einer Getriebehohlwelle und eine nach diesem Verfahren hergestellte Getriebehohlwelle bekannt. Die Getriebehohlwelle ist aus mehreren axial aufeinander folgenden Hohlwellenabschnitten aufgebaut, wobei mindestens zwei Hohlwellenabschnitte jeweils mit einer Verzahnung eines auf der Getriebehohlwelle angeordneten Festrades versehen sind. Die Hohlwellenabschnitte sind jeweils an zwei stumpf aneinander stoßenden Ringflächen durch Rotationsreibschweißen miteinander verbunden worden. Die Verzahnungen der betreffenden Hohlwellenabschnitte sind vor dem Zusammenfügen fertig bearbeitet worden. Bezüglich ihrer umfangsseitigen Sollwinkellage und ihres radialen und axialen Versatzes sollen die Hohlwellenabschnitte mit hoher Genauigkeit zusammengefügt werden. Wie dies konkret erreicht werden soll, ist der DE 10 2006 016 099 B4 jedoch nicht zu entnehmen.

In der DE 10 2008 064 267 A1 sind eine als Hohlwelle ausgebildete Getriebewelle, die ebenfalls aus mehreren Hohlwellenabschnitten zusammengesetzt ist, sowie ein Verfahren zu deren Herstellung beschrieben. Die Hohlwellenabschnitte weisen zu ihrer gegenseitigen Zentrierung an den einander zugewandten Enden jeweils koaxial ineinander greifende Steckkonturen mit mehreren stufenförmig abgesetzten,

kegelförmig geneigten Reibkontaktflächen zu ihrer Verbindung durch Rotationsreibschweißen auf. Zudem weisen die Hohlwellenabschnitte zu ihrer axialen Justierung am Rand der Steckkonturen jeweils ringförmige radiale Anschlagflächen auf. Durch die Formgebung der Steckkonturen können die Hohlwellenabschnitte zwar mit hoher radialer und axialer Genauigkeit miteinander verbunden werden. Zur Herstellung der Steckkonturen mit den Reib- und Anschlagflächen ist jedoch eine aufwändige mechanische Bearbeitung der Hohlwellenabschnitte erforderlich. Zudem setzt die Anordnung der Steckkonturen eine ungünstig große Wandstärke der Hohlwellenabschnitte voraus.

Besonders wenn ein in Vorgelegebauweise ausgeführtes Schaltgetriebe, wie es vorliegend vorgesehen ist, mindestens zwei weitgehend identische Vorgelegewellen aufweist, die jeweils aus mehreren miteinander pressverschweißten und teilweise mit mindestens einer Schrägverzahnung eines Festrades einer Stirnradstufe versehenen Hohlwellenabschnitten aufgebaut sind, besteht das Problem einer genauen Ausrichtung der umfangsseitigen Sollwinkellage der mit einer Schrägverzahnung versehenen Hohlwellenabschnitte. Zwei Vorgelegewellen in einem in Vorgelegebauweise ausgeführten Schaltgetriebe dienen der Verteilung eines zu übertragenden Drehmomentes auf zwei parallele Kraftübertragungszweige und dadurch zur Erzielung einer relativ kompakten und leichten Bauweise sowie eines hohen Übertragungswirkungsgrades des betreffenden Schaltgetriebes. Eine genaue Ausrichtung der umfangsseitigen Winkellage der Verzahnungen der Festräder ist für eine gleichmäßige Verteilung des zu übertragenden Drehmomentes erforderlich, da diese Verzahnungen jeweils paarweise mit einem einzigen Gegenzahnrad einer anderen Getriebewelle, wie zum Beispiel einem auf einer Eingangswelle drehfest angeordneten Festrade einer Eingangskonstante oder einem auf einer Zwischen- oder Ausgangswelle drehbar gelagerten Losrad einer schaltbaren Übersetzungsstufe, in Verzahnungseingriff sind.

Bei den bekannten Pressschweißverfahren, wie dem Rotationsreibschweißen und dem elektrischen Lichtbogenschweißen mit magnetisch bewegtem Lichtbogen, werden die miteinander zu verbindenden Hohlwellenabschnitte nach der Plastifizie-

rung der einander zugewandten Kontaktflächen mit hoher Anpresskraft axial zusammengefügt, was zwangsläufig mit einer gewissen Axialtoleranz verbunden ist. Durch das axiale Zusammenfügen der Hohlwellenabschnitte kann sich somit eine Abweichung der auf diesen angeordneten Verzahnungen von ihrer axialen Sollposition ergeben, die sich bei der üblichen Ausführung als Schrägverzahnungen wie eine Verdrehung der jeweiligen Festräder beziehungsweise Hohlwellenabschnitte auswirkt. Hierdurch ist dann kein optimaler Verzahnungseingriff mit dem zugeordneten Gegenzahnrad mehr gegeben.

Der Erfindung liegt daher die Aufgabe zugrunde, eine Getriebewelle der eingangs genannten Art vorzuschlagen, die aus mehreren stumpf miteinander pressverschweißten Hohlwellenabschnitten aufgebaut ist, und deren mit mindestens einer Schrägverzahnung eines Festrades einer Stirnradstufe versehenen Hohlwellenabschnitte im zusammengefügten Zustand bezüglich ihrer umfangsseitigen Sollwinkel-lage exakt ausgerichtet sind. Außerdem sollen ein Verfahren sowie eine Vorrichtung zur Herstellung einer derartigen Getriebewelle aus mehreren miteinander pressverschweißten Hohlwellenabschnitten beschrieben werden.

Die Erfindung betrifft daher zunächst eine Getriebewelle eines in Vorgelegebauweise ausgeführten Schaltgetriebes, die eine von mindestens zwei weitgehend identischen Vorgelegewellen bildet und aus mehreren stumpf miteinander pressverschweißten Hohlwellenabschnitten aufgebaut ist, von denen mindestens zwei Hohlwellenabschnitte jeweils mit mindestens einer Schrägverzahnung eines Festrades einer Stirnradstufe versehen sind. Zur Lösung der die Getriebewelle betreffenden Aufgabe ist außerdem vorgesehen, dass die mit einer Schrägverzahnung versehenen Hohlwellenabschnitte jeweils proportional zu einer Abweichung Δx von ihrer axialen Sollposition um einen Korrekturwinkel $\Delta\alpha$ um ihre Mittelachse gedreht mit dem jeweils benachbarten Hohlwellenabschnitt verbunden sind, wobei das Verhältnis zwischen dem Korrekturwinkel $\Delta\alpha$ und der axialen Abweichung Δx der Steigung s der Schrägverzahnung entspricht ($\Delta\alpha/\Delta x = s$).

Vorteilhafte Ausgestaltungen und Weiterbildungen einer solchen erfindungsgemäßen Getriebewelle sind in den zugeordneten Unteransprüchen 2 bis 7 angegeben.

Die Erfindung geht demnach aus von einer Getriebewelle eines in Vorgelegebauweise ausgeführten Schaltgetriebes, die eine von mindestens zwei weitgehend identischen Vorgelegewellen bildet und aus mehreren stumpf miteinander pressverschweißten Hohlwellenabschnitten aufgebaut ist. Mindestens zwei der Hohlwellenabschnitte sind jeweils mit mindestens einer Schrägverzahnung eines Festrades einer Stirnradstufe versehen.

Dadurch, dass die mit einer Schrägverzahnung versehenen Hohlwellenabschnitte jeweils entsprechend der Steigung s ihrer Schrägverzahnung proportional zu einer Abweichung Δx von ihrer axialen Sollposition um einen Korrekturwinkel $\Delta\alpha$ um ihre Mittelachse gedreht mit dem jeweils benachbarten Hohlwellenabschnitt verbunden sind, greifen die Verzahnungen der mindestens zwei Vorgelegewellen identisch in das jeweilige gemeinsame Gegenzahnrad ein. Bei dem Gegenzahnrad kann es sich zum Beispiel um das drehfest auf der Eingangswelle des Getriebes angeordnete Festrade einer Eingangskonstante, oder um das drehbar auf der Ausgangs- oder Hauptwelle des Getriebes gelagerte und über eine zugeordnete Gangkupplung mit dieser drehfest verbindbare Losrad einer schaltbaren Übersetzungsstufe handeln. Durch den optimalen Verzahnungseingriff der Verzahnungen der mindestens zwei Vorgelegewellen mit dem jeweiligen Gegenzahnrad erfolgt der Kraftfluss zu gleichen Teilen über die mindestens zwei jeweils eine der Vorgelegewellen umfassenden Kraftübertragungswege.

Die Hohlwellenabschnitte der Getriebewelle sind bevorzugt durch Rotationsreibschweißen miteinander verbunden. Bei diesem Pressschweißverfahren ist die Erhitzung des Materials auf einen engen Bereich nahe der einander zugewandten Kontaktflächen der Hohlwellenabschnitte beschränkt und über den Umfang identisch, also bezüglich der Mittelachse der Hohlwellenabschnitte rotationssymmetrisch. Ein

thermisch bedingter Verzug der Hohlwellenabschnitte und eine damit verbundene Durchbiegung der Getriebewelle sind daher weitgehend ausgeschlossen.

Aus denselben Gründen können die Hohlwellenabschnitte auch durch elektrisches Lichtbogenschweißen mit magnetisch bewegtem Lichtbogen miteinander verbunden sein.

Da die vorgenannten Pressschweißverfahren mit einer gewissen Axialtoleranz beim Zusammenfügen der Hohlwellenabschnitte ablaufen, sind die Schrägverzahnungen der Hohlwellenabschnitte gegenüber ihren Gegenzahnradern zum Ausgleich der Axialtoleranzen vorzugsweise mit einer axialen Überbreite ausgeführt. Dadurch ist sichergestellt, dass der Verzahnungseingriff zwischen den Verzahnungen der Hohlwellenabschnitte und der zugeordneten Gegenzahnradern unabhängig von den vorliegenden Axialtoleranzen immer über die volle Zahnbreite der Gegenzahnradern erfolgt.

Die Getriebewelle weist, wie an sich üblich, eine Lagerung mit einem Festlager und einem Loslager auf, wobei bevorzugt das Festlager an dem ersten Hohlwellenabschnitt angeordnet ist, an dem der zweite Hohlwellenabschnitt befestigt ist, und dass das Loslager an dem letzten Hohlwellenabschnitt angeordnet ist, der an dem vorletzten Hohlwellenabschnitt befestigt ist. Durch die Anordnung des Festlagers an dem ersten Hohlwellenabschnitt wird dieser in dem Getriebegehäuse des Schaltgetriebes in seiner axialen Sollposition fixiert. Fügebedingte Axialverschiebungen der übrigen Hohlwellenabschnitte werden dann durch das an dem letzten Hohlwellenabschnitt montierte Loslager ermöglicht und lagerungstechnisch ausgeglichen.

Zur Lagerung der Getriebewelle mit einem Festlager und einem Loslager kann jedoch auch vorgesehen sein, dass das Festlager an dem letzten Hohlwellenabschnitt angeordnet ist, der an dem vorletzten Hohlwellenabschnitt befestigt ist, und das Loslager an dem ersten Hohlwellenabschnitt angeordnet ist, an dem der zweite Hohlwellenabschnitt befestigt ist. Hierdurch wird der letzte Hohlwellenabschnitt über das Festlager in dem Getriebegehäuse des Schaltgetriebes in seiner axialen Sollpo-

sition festgelegt. Die übrigen Hohlwellenabschnitte sind dann durch die beim axialen Zusammenfügen erfolgten Korrektur der umfangsseitigen Drehwinkelpositionen entsprechend zurückgedreht, so dass auch bei dieser Anordnung des Festlagers und des Loslagers ein optimaler Verzahnungseingriff mit den Gegenzahnradern gegeben ist.

Bezüglich der Ausführung der genannten Lager ist bevorzugt vorgesehen, dass das Festlager als Rillenkugellager und das Loslager als Zylinderrollenlager ausgebildet sind.

Die das Verfahren zur Herstellung einer Getriebewelle betreffende Aufgabe ist in Verbindung mit den Merkmalen des Oberbegriffs von Anspruch 8 dadurch gelöst, dass die mit einer Schrägverzahnung versehenen Hohlwellenabschnitte nach der Plastifizierung des Materials an den einander zugewandten Kontaktflächen während des axialen Zusammenfügens mit dem benachbarten Hohlwellenabschnitt jeweils proportional zu einer Abweichung Δx von ihrer axialen Sollposition um einen Korrekturwinkel $\Delta\alpha$ um ihre Mittelachse gedreht werden, wobei das Verhältnis zwischen dem Korrekturwinkel $\Delta\alpha$ und der axialen Abweichung Δx der Steigung s der Schrägverzahnung entspricht ($\Delta\alpha/\Delta x = s$).

Vorteilhafte Ausgestaltungen und Weiterbildungen dieses Verfahrens sind Gegenstand der Ansprüche 9 bis 12.

Bei diesem Verfahren geht es demnach um die Herstellung einer Getriebewelle eines in Vorgelegebauweise ausgeführten Schaltgetriebes, die eine von mindestens zwei weitgehend identischen Vorgelegewellen bildet und aus mehreren stumpf miteinander pressverschweißten Hohlwellenabschnitten aufgebaut ist. Mindestens zwei der Hohlwellenabschnitte sind jeweils mit mindestens einer Schrägverzahnung eines Festrades einer Stirnradstufe versehen.

Um einen optimalen Verzahnungseingriff der Schrägverzahnungen der mindestens zwei Vorgelegewellen mit den zugeordneten Gegenzahnradern und damit eine Gleichverteilung des übertragenen Drehmomentes auf die jeweils eine Vorgelegewelle umfassenden beiden Kraftübertragungszweige zu erreichen, werden die mit einer Schrägverzahnung versehenen Hohlwellenabschnitte verfahrensgemäß nach der Plastifizierung des Materials an den einander zugewandten Kontaktflächen während des axialen Zusammenfügens mit dem benachbarten Hohlwellenabschnitt jeweils proportional zu einer Abweichung Δx von ihrer axialen Sollposition um einen Korrekturwinkel $\Delta\alpha$ um ihre Mittelachse gedreht. Dabei entspricht das Verhältnis zwischen dem Korrekturwinkel $\Delta\alpha$ und der axialen Abweichung Δx jeweils der Steigung s der Schrägverzahnung ($\Delta\alpha/\Delta x = s$), wodurch die Auswirkung fügebedingter Axialverschiebungen der Hohlwellenabschnitte auf den Verzahnungseingriff mit den Gegenzahnradern kompensiert wird.

Die Drehung der Hohlwellenabschnitte kann mittels eines Rotationsantriebs erfolgen, der mit einem den jeweiligen Hohlwellenabschnitt endseitig aufnehmenden Druckstempel in Antriebsverbindung steht. Es kann sich dabei um einen separaten Rotationsmotor handeln, der mechanisch unabhängig von dem axialen Vorschub beim Fügen der Hohlwellenabschnitte steuerbar ist. Es kann sich jedoch auch um einen durch eine maschineninterne Koppelgetriebestufe mit dem axialen Vorschub gekoppelten passiven Rotationsantrieb handeln. Derartige Koppelgetriebestufen, über die ein Drehantrieb mit einem axialen Vorschub gekoppelt ist, sind beispielsweise von Drehbänken bekannt.

Bevorzugt ist jedoch vorgesehen, dass die Drehung der Hohlwellenabschnitte mittels einer formschlüssigen Drehführung erfolgt, die zwischen einem zylindrischen Abschnitt des den jeweiligen Hohlwellenabschnitt endseitig aufnehmenden Druckstempels und einer gehäusefesten Bohrung angeordnet ist, und welche die Steigung s der Schrägverzahnung aufweist. Mit einer derartigen Drehführung des Druckstempels kann der apparative Aufwand für einen separaten Rotationsantrieb

des Druckstempels wie auch für eine maschineninterne Koppelgetriebestufe vermieden werden.

Die Hohlwellenabschnitte werden bevorzugt durch Rotationsreibschweißen miteinander verbunden, wobei die Plastifizierung der einander zugewandten Kontaktflächen jeweils durch ein Rotieren eines axial unverschiebbaren Hohlwellenabschnitts und durch ein gleichzeitiges axiales Anpressen des nichtrotierbaren Hohlwellenabschnitts gegen den rotierbaren Hohlwellenabschnitt mit moderater Anpresskraft über den Druckstempel erfolgt, und wobei das Zusammenfügen der Hohlwellenabschnitte nach der Plastifizierung der Kontaktflächen durch ein axiales Anpressen des nichtrotierbaren Hohlwellenabschnitts gegen den rotierbaren Hohlwellenabschnitt mit hoher Anpresskraft mittels des Druckstempels erfolgt.

Alternativ dazu können die Hohlwellenabschnitte auch durch elektrisches Lichtbogenschweißen mit magnetisch bewegtem Lichtbogen miteinander verbunden werden, wobei die Plastifizierung der einander zugewandten Kontaktflächen jeweils durch einen magnetisch gesteuert zwischen gehäusefesten Polen und dem Bereich der Kontaktflächen kreisförmig umlaufenden Lichtbogen erfolgt, und wobei das Zusammenfügen der Hohlwellenabschnitte nach der Plastifizierung der Kontaktflächen durch ein axiales Anpressen des einen Hohlwellenabschnitts gegen den anderen Hohlwellenabschnitt mit hoher Anpresskraft mittels des Druckstempels erfolgt.

Die die Vorrichtung zur Herstellung einer Getriebewelle betreffende Aufgabe ist in Verbindung mit den Merkmalen des Oberbegriffs des Anspruchs 13 dadurch gelöst, dass ein Druckstempel mit einer ersten Aufnahme für einen Hohlwellenabschnitt vorgesehen ist, der bedarfsweise proportional zu seinem axialen Vorschub um seine Mittelachse drehbar ist.

Vorteilhafte Ausgestaltungen und Weiterbildungen dieser Vorrichtung sind in den Unteransprüchen 14 bis 19 definiert.

Die genannte Vorrichtung dient zur Herstellung einer Getriebewelle eines in Vorgelegebauweise ausgeführten Schaltgetriebes, die eine von mindestens zwei weitgehend identischen Vorgelegewellen bildet und aus mehreren stumpf miteinander pressverschweißten Hohlwellenabschnitten aufgebaut ist. Mindestens zwei der Hohlwellenabschnitte sind jeweils mit mindestens einer Schrägverzahnung eines Festrades einer Stirnradstufe versehen. Um beim axialen Fügen eines mit mindestens einer Schrägverzahnung eines Festrades versehenen Hohlwellenabschnitts an einen benachbarten Hohlwellenabschnitt eine Drehung des Hohlwellenabschnitts entsprechend einem fügungsbedingt auftretenden axialen Versatz zu ermöglichen, ist die Vorrichtung mit einem Druckstempel mit einer ersten Aufnahme für den anzufügenden Hohlwellenabschnitt versehen, wobei der Druckstempel bedarfsweise proportional zu seinem axialen Vorschub um seine Mittelachse drehbar ist.

Der Druckstempel kann mittels eines steuerbaren, also ein- und ausschaltbaren sowie in seiner Drehgeschwindigkeit regelbaren Rotationsmotor aktiv drehbar sein. Dies erfordert jedoch einen separaten Rotationsmotor mit einer entsprechenden Steuerungseinrichtung.

Alternativ dazu kann der Druckstempel auch mittels einer ein- und ausrückbaren maschineninternen Koppelgetriebestufe, die eine der Steigung der Schrägverzahnung entsprechende Übersetzung aufweist, proportional zu dem axialen Vorschub passiv drehbar sein. Derartige Koppelgetriebestufen, mittels der ein Drehantrieb mit einem axialen Vorschub gekoppelt ist, sind zum Beispiel von Drehbänken bekannt.

Bevorzugt ist der Druckstempel jedoch mittels einer ein- und ausrückbaren formschlüssigen Drehführung passiv drehbar, die zwischen einem zylindrischen Abschnitt des Druckstempels und einer gehäusefesten Bohrung angeordnet ist, und welche die Steigung s der Schrägverzahnung aufweist. Eine derartige Drehführung des Druckstempels ist relativ einfach aufgebaut, kostengünstig herstellbar sowie gegenüber den vorgenannten Ausführungen mit einem besonders geringen apparativen und steuerungstechnischen Aufwand verbunden.

Die Drehführung ist beispielsweise aus mindestens einem an dem zylindrischen Abschnitt des Druckstempels angeordneten, radial hervorstehenden Führungssteg und aus mindestens einer in der gehäusefesten Bohrung angeordneten Führungsnut gebildet, wobei der Führungssteg und die Führungsnut jeweils die Steigung der Schrägverzahnung aufweisen, und der Führungssteg bei eingerückter Drehführung in die Führungsnut eingreift.

Die Vorrichtung gemäß der Erfindung kann zur Verbindung der Hohlwellenabschnitte mittels Rotationsreibschweißen ausgebildet sein und eine weitere drehbare Aufnahme für einen benachbarten Hohlwellenabschnitt aufweisen, die zur Plastifizierung der einander zugewandten Kontaktflächen der zwei benachbarten Hohlwellenabschnitte mit einem steuerbaren Rotationsantrieb und einer steuerbaren Bremse in Triebverbindung steht. Eine typische Vorrichtung zum Rotationsreibschweißen rohrförmiger Werkstücke ohne einen Rotationsantrieb des anzufügenden Werkstücks ist zum Beispiel aus der DE 195 23 240 C1 bekannt.

Alternativ dazu kann die Vorrichtung gemäß der Erfindung auch zur Verbindung der Hohlwellenabschnitte durch elektrisches Lichtbogenschweißen mit magnetisch gesteuertem Lichtbogen ausgebildet sein und eine weitere Aufnahme für einen benachbarten Hohlwellenabschnitt sowie eine ringförmige Pol- und Spulenordnung zur Plastifizierung der einander zugewandten Kontaktflächen der zwei benachbarten Hohlwellenabschnitte aufweisen. Eine typische Vorrichtung zum elektrischen Lichtbogenschweißen mit magnetisch gesteuertem Lichtbogen ohne einen Rotationsantrieb des anzufügenden Werkstücks ist beispielsweise in der DE 30 18 199 C2 beschrieben.

Zur weiteren Verdeutlichung der Erfindung ist der Beschreibung eine Zeichnung mit Ausführungsbeispielen beigelegt. In dieser zeigt

Fig. 1 eine Getriebewelle gemäß der Erfindung in einer perspektivischen Schnittansicht,

Fig. 2 die Getriebewelle gemäß Fig. 1 mit Lagern in einer perspektivischen Vollansicht,

Fig. 3 eine Vorrichtung zur Herstellung einer Getriebewelle gemäß den Figuren 1 und 2 in einer schematischen, perspektivischen Ansicht, und

Fig. 4 ein bekanntes Schaltgetriebe zur Nutzung der Getriebewelle gemäß Fig. 1 und Fig. 2 in einem Längsmittelschnitt.

Eine als Ausführungsbeispiel in Fig. 1 in Längsrichtung aufgeschnitten dargestellte Getriebewelle 1 bildet eine von mindestens zwei weitgehend identischen Vorgelegewellen eines in Vorgelegebauweise ausgeführten Schaltgetriebes. Die erfindungsgemäße Getriebewelle 1 ist als eine Hohlwelle ausgebildet und aus vier stumpf miteinander pressverschweißten Hohlwellenabschnitten 2, 3, 4, 5 aufgebaut. Diese vier Hohlwellenabschnitte 2, 3, 4, 5 sind jeweils einstückig mit mindestens einer Schrägverzahnung 6, 7, 8, 9, 10 versehen und weisen jeweils ringförmige, einander zugewandte Kontaktflächen 11, 12, 13, 14, 15, 16 auf. Die Schrägverzahnungen 6, 7, 8, 9, 10 weisen wie üblich eine zeichnerisch nicht weiter markierte identische Steigung s auf, wodurch sich die bei der Kraftübertragung auftretenden Axialkräfte innerhalb der Getriebewelle 1 aufheben und somit nicht über ein Lager aufgenommen werden müssen.

Eine auf dem ersten Hohlwellenabschnitt 2 angeordnete erste Schrägverzahnung 6 bildet das auf der Getriebewelle 1 angeordnete Festrads einer ersten Stirnradstufe des Schaltgetriebes. Eine auf dem ersten Hohlwellenabschnitt 2 angeordnete breitere zweite Schrägverzahnung 7 bildet das auf der Getriebewelle 1 angeordnete gemeinsame Festrads von zwei weiteren Stirnradstufen des Schaltgetriebes. Eine auf dem zweiten Hohlwellenabschnitt 3 angeordnete dritte Schrägverzahnung 8 bildet das auf der Getriebewelle 1 angeordnete Festrads einer vierten Stirnradstufe des Schaltgetriebes. Eine auf dem dritten Hohlwellenabschnitt 4 angeordnete vierte Schrägverzahnung 9 bildet das auf der Getriebewelle 1 angeordnete Festrads einer

fünften Stirnradstufe des Schaltgetriebes. Eine auf dem vierten Hohlwellenabschnitt 5 angeordnete vierte Schrägverzahnung 10 bildet das auf der Getriebewelle 1 angeordnete Festrad einer fünften Stirnradstufe des Schaltgetriebes.

Der zweite Hohlwellenabschnitt 3 ist nach der Plastifizierung des Materials an den einander zugewandten Kontaktflächen 11, 12 durch ein axiales Anpressen mit hoher Anpresskraft mit dem ersten Hohlwellenabschnitt 2 zusammengefügt worden. Während des axialen Zusammenfügens mit dem ersten Hohlwellenabschnitt 2 ist der zweite Hohlwellenabschnitt 3 proportional zu einer individuellen Abweichung Δx von seiner axialen Sollposition um einen Korrekturwinkel $\Delta\alpha$ um die Mittelachse 19 gedreht worden, wobei das Verhältnis zwischen dem Korrekturwinkel $\Delta\alpha$ und der axialen Abweichung Δx der Steigung s der Schrägverzahnung 8 entspricht ($\Delta\alpha/\Delta x = s$).

Der dritte Hohlwellenabschnitt 4 ist nach der Plastifizierung des Materials an den einander zugewandten Kontaktflächen 13, 14 durch ein axiales Anpressen mit hoher Anpresskraft mit dem zweiten Hohlwellenabschnitt 3 zusammengefügt worden. Während des axialen Zusammenfügens mit dem zweiten Hohlwellenabschnitt 3 ist der dritte Hohlwellenabschnitt 4 ebenfalls entsprechend der Steigung s der Schrägverzahnung 9 proportional zu einer Abweichung Δx von seiner axialen Sollposition um einen Korrekturwinkel $\Delta\alpha$ um die Mittelachse 19 gedreht worden.

Der vierte Hohlwellenabschnitt 5 ist nach der Plastifizierung des Materials an den einander zugewandten Kontaktflächen 15, 16 durch ein axiales Anpressen mit hoher Anpresskraft mit dem dritten Hohlwellenabschnitt 4 zusammengefügt worden. Während des axialen Zusammenfügens mit dem dritten Hohlwellenabschnitt 4 ist auch der vierte Hohlwellenabschnitt 5 entsprechend der Steigung s der Schrägverzahnung 10 proportional zu einer Abweichung Δx von seiner axialen Sollposition um einen Korrekturwinkel $\Delta\alpha$ um die Mittelachse 19 gedreht worden.

Durch die jeweilige Drehung der anzufügenden Hohlwellenabschnitte 3, 4, 5 während des axialen Fügevorgangs wird die jeweilige Abweichung Δx der Hohlwel-

lenabschnitte 3, 4, 5 von ihrer axialen Sollposition bezüglich der umfangsseitigen Winkellage der Schrägverzahnungen 8, 9, 10 kompensiert, so dass ein optimaler Verzahnungseingriff dieser Schrägverzahnungen 8, 9, 10 mit den zugeordneten Gegenzahnradern des Schaltgetriebes gegeben ist.

Die Getriebewelle 1 ist in an sich bekannter Weise über ein Festlager 20 und ein Loslager 22 drehbar in einem nicht dargestellten Getriebegehäuse gelagert. Wie aus den perspektivischen Ansichten von Fig. 1 und Fig. 2 hervorgeht, ist das als ein Rillenkugellager 21 ausgebildete Festlager 20 an einem innenliegenden Lagersitz 17 des vierten Hohlwellenabschnitts 5 angeordnet. Das als ein Zylinderrollenlager 23 ausgebildete Loslager 22 ist entsprechend am axial gegenüberliegenden Ende der Getriebewelle 1 an einem außenliegenden Lagersitz 18 des ersten Hohlwellenabschnitts 2 angeordnet. Da bei dieser Anordnung der Lager 20, 22 der vierte Hohlwellenabschnitt 5 und dessen Schrägverzahnung 10 axial lagerichtig in dem Getriebegehäuse montiert sind, wirkt sich die während des axialen Fügevorgangs der Hohlwellenabschnitte 3, 4, 5 vorgenommene Korrektur der umfangsseitigen Winkellage nun in einer entsprechenden Rückdrehung der Schrägverzahnungen 6, 7, 8, 9 der ersten drei Hohlwellenabschnitte 2, 3, 4 aus, wodurch ebenfalls ein optimaler Verzahnungseingriff dieser Schrägverzahnungen 6, 7, 8, 9 mit den zugeordneten Gegenzahnradern des Schaltgetriebes erzielt ist.

In Fig. 3 ist eine bevorzugte Ausführungsform einer Vorrichtung 24 zur Herstellung einer Getriebewelle gemäß Fig. 1 und Fig. 2 schematisch dargestellt. Die Vorrichtung 24 dient zur Verbindung der Hohlwellenabschnitte 2, 3, 4, 5 durch Rotationsreibschweißen.

Die Vorrichtung 24 weist eine erste Aufnahme 25 für einen Hohlwellenabschnitt 2, 3, 4 auf, die zur Plastifizierung der einander zugewandten Kontaktflächen 11, 12; 13, 14; 15, 16 der jeweils benachbarten Hohlwellenabschnitte 2, 3; 3, 4; 4, 5 mit einem steuerbaren Rotationsantrieb 26 und einer in Fig. 3 nicht dargestellten, steuerbaren Bremse in Antriebsverbindung steht. Die erste Aufnahme 25 ist vorliegend als ein Spannfutter ausgebildet. Die Vorrichtung 24 weist außerdem einen

Druckstempel 27 mit einer zweiten Aufnahme 28 für einen anzufügenden Hohlwellenabschnitt 3, 4, 5 auf, der bedarfsweise proportional zu seinem axialen Vorschub um seine Mittelachse drehbar ist. Mittels des Druckstempels 27 wird der anzufügende Hohlwellenabschnitt 3, 4, 5 zur Plastifizierung des Materials im Bereich der Kontaktflächen 11, 12; 13, 14; 15, 16 zunächst mit mäßiger Anpresskraft und nach der Plastifizierung mit hoher Anpresskraft gegen den benachbarten Hohlwellenabschnitt 2, 3, 4 gedrückt. Die zweite Aufnahme 28 ist vorliegend als eine gehäusefeste Radialführung ausgebildet.

Zur Drehung des Druckstempels 27 ist eine formschlüssige Drehführung 29 vorgesehen, die zwischen einem zylindrischen Abschnitt 30 des Druckstempels 27 und einer in Fig. 3 nicht dargestellten gehäusefesten Bohrung angeordnet ist, und welche die Steigung s der Schrägverzahnungen 6, 7, 8, 9, 10 aufweist. Die Drehführung 29 umfasst mehrere radial hervorstehende Führungsstege 31, die auf dem zylindrischen Abschnitt 30 des Druckstempels 27 angeordnet sind, und entsprechende Führungsnuten, die in der gehäusefesten Bohrung angeordnet sind und in welche die Führungsstege 31 eingreifen. Die Führungsstege 31 und die Führungsnuten weisen jeweils die Steigung s der Schrägverzahnungen 6, 7, 8, 9, 10 auf.

In der Abbildung der Fig. 3 ist der erste Hohlwellenabschnitt 2 in der Aufnahme 25 des Rotationsantriebs 26 befestigt. Der zweite Hohlwellenabschnitt 3 ist bereits an dem ersten Hohlwellenabschnitt 2 befestigt, wie auch der dritte Hohlwellenabschnitt 4 schon an dem zweiten Hohlwellenabschnitt 3 angefügt ist. Der vierte Hohlwellenabschnitt 5 ist in der Aufnahme 28 des Druckstempels 27 fixiert.

Nach dem axialen Zusammenfahren der zunächst noch nicht verbundenen Hohlwellenabschnitte 4, 5 wird der dritte Hohlwellenabschnitt 4 mittels des Rotationsantriebs 26 gedreht und der vierte Hohlwellenabschnitt 5 durch den Druckstempel 27 mit mäßiger Anpresskraft gegen den dritten Hohlwellenabschnitt 4 gedrückt. Nach der Plastifizierung des Materials im Bereich der einander zugewandten Kontaktflächen 15, 16 wird der dritte Hohlwellenabschnitt 4 abgebremst und bezüglich seiner umfangsseitigen Winkellage lagerichtig fixiert. Danach wird der vierte Hohlwellenab-

schnitt 5 durch den Druckstempel 27 mit hoher Anpresskraft gegen den dritten Hohlwellenabschnitt 4 gedrückt, wodurch diese beiden Hohlwellenabschnitte 4, 5 miteinander verbunden werden.

Eine während des axialen Fügevorgangs auftretende Abweichung des vierten Hohlwellenabschnitts 5 von seiner axialen Sollposition bewirkt aufgrund der Drehführung 29 eine proportionale Drehung des vierten Hohlwellenabschnitts 5 um die Mittelachse 19. Da das Verhältnis zwischen dem Korrekturwinkel $\Delta\alpha$ der Drehung und der Abweichung Δx von der axialen Sollposition des vierten Hohlwellenabschnitts 5 der Steigung s der Schrägverzahnung 10 entspricht ($\Delta\alpha/\Delta x = s$), ist der vierte Hohlwellenabschnitt 5 somit für einen optimalen Verzahnungseingriff der Schrägverzahnung 10 mit dem zugeordneten Gegenzahnrad bestens ausgerichtet. Dasselbe gilt natürlich auch für den zuvor an den ersten Hohlwellenabschnitt 2 angefügten zweiten Hohlwellenabschnitt 3 und für den zuvor an den zweiten Hohlwellenabschnitt 3 angefügten dritten Hohlwellenabschnitt 4.

Als Anwendungsbeispiel für die Getriebewelle 1 gemäß der Erfindung ist in Fig. 4 ein bekanntes, in Gruppenbauweise ausgeführtes Schaltgetriebe 32 der AS-Tronic Baureihe der Anmelderin in einem Längsmittelschnitt dargestellt. Das Schaltgetriebe 32 hat ein in Vorgelegebauweise ausgebildetes Hauptgetriebe 33 und eine diesem antriebstechnisch nachgeordnete sowie in Planetenbauweise ausgeführte Bereichsgruppe 34. Das Hauptgetriebe 33 weist zwei weitgehend identische Vorgelegewellen 35, 36 mit mehreren Schrägverzahnungen von Festrädern zugeordneter Stirnradstufen auf. Die beiden Vorgelegewellen 35, 36 dieses Schaltgetriebes 32 sind daher besonders geeignet, entsprechend der gemäß der erfindungsgemäßen Getriebewelle 1 aufgebaut und gemäß dem beschriebenen Verfahren hergestellt zu werden.

Bezugszeichen

- 1 Getriebewelle
- 2 Erster Hohlwellenabschnitt
- 3 Zweiter Hohlwellenabschnitt
- 4 Dritter Hohlwellenabschnitt
- 5 Vierter Hohlwellenabschnitt
- 6 Erste Schrägverzahnung
- 7 Zweite Schrägverzahnung
- 8 Dritte Schrägverzahnung
- 9 Vierte Schrägverzahnung
- 10 Fünfte Schrägverzahnung
- 11 Kontaktfläche von Hohlwellenabschnitt 2
- 12 Kontaktfläche von Hohlwellenabschnitt 3
- 13 Kontaktfläche von Hohlwellenabschnitt 3
- 14 Kontaktfläche von Hohlwellenabschnitt 4
- 15 Kontaktfläche von Hohlwellenabschnitt 4
- 16 Kontaktfläche von Hohlwellenabschnitt 5
- 17 Lagersitz
- 18 Lagersitz
- 19 Mittelachse
- 20 Festlager
- 21 Rillenkugellager
- 22 Loslager
- 23 Zylinderrollenlager
- 24 Vorrichtung
- 25 Erste Aufnahme für einen Hohlwellenabschnitt, Spannfutter
- 26 Rotationsantrieb
- 27 Druckstempel
- 28 Zweite Aufnahme für einen Hohlwellenabschnitt, Radialführung
- 29 Drehführung
- 30 Zylindrischer Abschnitt

31	Führungssteg
32	Schaltgetriebe
33	Hauptgetriebe
34	Bereichsgruppe
35	Erste Vorgelegewelle
36	Zweite Vorgelegewelle
s	Steigung von Schrägverzahnung
$\Delta\alpha$	Korrekturwinkel
Δx	Axiale Abweichung

Patentansprüche

1. Getriebewelle (1) eines in Vorgelegebauweise ausgeführten Schaltgetriebes, die eine von mindestens zwei weitgehend identischen Vorgelegewellen bildet und aus mehreren stumpf miteinander pressverschweißten Hohlwellenabschnitten (2; 3; 4; 5) aufgebaut ist, von denen mindestens zwei Hohlwellenabschnitte (2; 3; 4; 5) jeweils mit mindestens einer Schrägverzahnung (6, 7, 8, 9, 10) eines Festrades einer Stirnradstufe versehen sind, dadurch gekennzeichnet, dass die mit einer Schrägverzahnung (8; 9; 10) versehenen Hohlwellenabschnitte (3; 4; 5) jeweils proportional zu einer Abweichung (Δx) von ihrer axialen Sollposition um einen Korrekturwinkel ($\Delta\alpha$) um ihre Mittelachse (19) gedreht mit dem jeweils benachbarten Hohlwellenabschnitt (2; 3; 4) verbunden sind, wobei das Verhältnis zwischen dem Korrekturwinkel ($\Delta\alpha$) und der axialen Abweichung (Δx) der Steigung (s) der Schrägverzahnung (8; 9; 10) entspricht ($\Delta\alpha/\Delta x = s$).

2. Getriebewelle nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass die Hohlwellenabschnitte (2; 3; 4; 5) durch Rotationsreibschweißen miteinander verbunden sind.

3. Getriebewelle nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass die Hohlwellenabschnitte (2; 3; 4; 5) durch elektrisches Lichtbogenschweißen mit magnetisch bewegtem Lichtbogen miteinander verbunden sind.

4. Getriebewelle nach einem der Ansprüche 1 bis 3, dadurch gekennzeichnet, dass die Schrägverzahnungen (8; 9; 10) der Hohlwellenabschnitte (3; 4; 5) gegenüber ihren Gegenzahnradern zum Ausgleich von Axialtoleranzen mit einer axialen Überbreite ausgeführt sind.

5. Getriebewelle nach einem der Ansprüche 1 bis 4, gekennzeichnet durch eine Lagerung mit einem Festlager (20) und einem Loslager (22), wobei das Festlager (20) an dem ersten Hohlwellenabschnitt (2) angeordnet ist, an dem der zweite Hohl-

wellenabschnitt (3) befestigt ist, und das Loslager (22) an dem letzten Hohlwellenabschnitt (5) angeordnet ist, der an dem vorletzten Hohlwellenabschnitt (4) befestigt ist.

6. Getriebewelle nach einem der Ansprüche 1 bis 4, gekennzeichnet durch eine Lagerung mit einem Festlager (20) und einem Loslager (22), wobei das Festlager (20) an dem letzten Hohlwellenabschnitt (5) angeordnet ist, der an dem vorletzten Hohlwellenabschnitt (4) befestigt ist, und das Loslager (22) an dem ersten Hohlwellenabschnitt (2) angeordnet ist, an dem der zweite Hohlwellenabschnitt (3) befestigt ist.

7. Getriebewelle nach Anspruch 5 oder 6, dadurch gekennzeichnet, dass das Festlager (20) als Rillenkugellager (21) und das Loslager (22) als Zylinderrollenlager (23) ausgebildet sind.

8. Verfahren zur Herstellung einer Getriebewelle (1) eines in Vorgelegebauweise ausgeführten Schaltgetriebes, die eine von mindestens zwei weitgehend identischen Vorgelegewellen bildet und aus mehreren stumpf miteinander pressverschweißten Hohlwellenabschnitten (2; 3; 4; 5) aufgebaut ist, von denen mindestens zwei Hohlwellenabschnitte (2; 3; 4; 5) jeweils mit mindestens einer Schrägverzahnung (6, 7, 8, 9, 10) eines Festrades einer Stirnradstufe versehen sind, dadurch gekennzeichnet, dass die mit einer Schrägverzahnung (8; 9; 10) versehenen Hohlwellenabschnitte (3; 4; 5) nach der Plastifizierung des Materials an den einander zugewandten Kontaktflächen (11, 12; 13, 14; 15, 16) während des axialen Zusammenfügens mit dem benachbarten Hohlwellenabschnitt (2; 3; 4) jeweils proportional zu einer Abweichung (Δx) von ihrer axialen Sollposition um einen Korrekturwinkel ($\Delta\alpha$) um ihre Mittelachse (19) gedreht werden, wobei das Verhältnis zwischen dem Korrekturwinkel ($\Delta\alpha$) und der axialen Abweichung (Δx) der Steigung (s) der Schrägverzahnung (8; 9; 10) entspricht ($\Delta\alpha/\Delta x = s$).

9. Verfahren nach Anspruch 8, dadurch gekennzeichnet, dass die Drehung der Hohlwellenabschnitte (3; 4; 5) jeweils mittels eines Rotationsantriebs erfolgt, der

mit einem den jeweiligen Hohlwellenabschnitt (3; 4; 5) endseitig aufnehmenden Druckstempel (27) in Antriebsverbindung steht.

10. Verfahren nach Anspruch 8, dadurch gekennzeichnet, dass die Drehung der Hohlwellenabschnitte (3; 4; 5) jeweils mittels einer formschlüssigen Drehführung (29) erfolgt, die zwischen einem zylindrischen Abschnitt (30) des den jeweiligen Hohlwellenabschnitt (3; 4; 5) endseitig aufnehmenden Druckstempels (27) und einer gehäusefesten Bohrung angeordnet ist, und welche die Steigung (s) der Schrägverzahnung (8; 9; 10) aufweist.

11. Verfahren nach einem der Ansprüche 9 bis 10, dadurch gekennzeichnet, dass die Hohlwellenabschnitte (2; 3; 4; 5) durch Rotationsreibschweißen miteinander verbunden werden, wobei die Plastifizierung der einander zugewandten Kontaktflächen (11, 12; 13, 14; 15, 16) jeweils durch ein Rotieren eines axial unverschiebbaren Hohlwellenabschnitts (2; 3; 4) und durch ein gleichzeitiges axiales Anpressen des nichtrotierbaren Hohlwellenabschnitts (3; 4; 5) gegen den rotierbaren Hohlwellenabschnitt (2; 3; 4) mit moderater Anpresskraft über den Druckstempel (27) erfolgt, und wobei das Zusammenfügen der Hohlwellenabschnitte (2; 3; 4; 5) nach der Plastifizierung der Kontaktflächen (11, 12; 13, 14; 15, 16) durch ein axiales Anpressen des nichtrotierbaren Hohlwellenabschnitts (3; 4; 5) gegen den rotierbaren Hohlwellenabschnitt (2; 3; 4) mit hoher Anpresskraft mittels des Druckstempels (27) erfolgt.

12. Verfahren nach einem der Ansprüche 9 bis 10, dadurch gekennzeichnet, dass die Hohlwellenabschnitte (2; 3; 4; 5) durch elektrisches Lichtbogenschweißen mit magnetisch bewegtem Lichtbogen miteinander verbunden werden, wobei die Plastifizierung der einander zugewandten Kontaktflächen (11, 12; 13, 14; 15, 16) jeweils durch einen magnetisch gesteuert zwischen gehäusefesten Polen und dem Bereich der Kontaktflächen (11, 12; 13, 14; 15, 16) kreisförmig umlaufenden Lichtbogen erfolgt, und wobei das Zusammenfügen der Hohlwellenabschnitte (2, 3, 4, 5) nach der Plastifizierung der Kontaktflächen (11, 12; 13, 14; 15, 16) durch ein axiales Anpressen des einen Hohlwellenabschnitts (3; 4; 5) gegen den anderen Hohlwellenabschnitt (2; 3; 4) mit hoher Anpresskraft mittels des Druckstempels (27) erfolgt.

13. Vorrichtung zur Herstellung einer Getriebewelle eines in Vorgelegebauweise ausgeführten Schaltgetriebes, die eine von mindestens zwei weitgehend identischen Vorgelegewellen bildet und aus mehreren stumpf miteinander pressverschweißten Hohlwellenabschnitten (2; 3; 4; 5) aufgebaut ist, von denen mindestens zwei Hohlwellenabschnitte (2; 3; 4; 5) jeweils mit mindestens einer Schrägverzahnung (6, 7, 8, 9, 10) eines Festrades einer Stirnradstufe versehen sind, dadurch gekennzeichnet, dass ein Druckstempel (27) mit einer zweiten Aufnahme (28) für einen Hohlwellenabschnitt (3; 4; 5) vorgesehen ist, und dass der Druckstempel (27) bedarfsweise proportional zu seinem axialen Vorschub um seine Mittelachse (19) drehbar ist.

14. Vorrichtung nach Anspruch 13, dadurch gekennzeichnet, dass der Druckstempel (27) mittels eines steuerbaren Rotationsmotors aktiv drehbar ist.

15. Vorrichtung nach Anspruch 13, dadurch gekennzeichnet, dass der Druckstempel (27) mittels einer ein- und ausrückbaren maschineninternen Koppelgetriebe-stufe, die eine der Steigung (s) der Schrägverzahnung (8, 9, 10) entsprechende Übersetzung aufweist, proportional zu dem axialen Vorschub passiv drehbar ist.

16. Vorrichtung nach Anspruch 13, dadurch gekennzeichnet, dass der Druckstempel (27) mittels einer ein- und ausrückbaren formschlüssigen Drehführung (29) passiv drehbar ist, die zwischen einem zylindrischen Abschnitt (30) des Druckstempels (27) und einer gehäusefesten Bohrung angeordnet ist, und welche die Steigung (s) der Schrägverzahnung (8, 9, 10) aufweist.

17. Vorrichtung nach Anspruch 16, dadurch gekennzeichnet, dass die Drehführung (29) aus mindestens einem an dem zylindrischen Abschnitt (30) des Druckstempels (27) angeordneten, radial hervorstehenden Führungssteg (31) und aus mindestens einer in der gehäusefesten Bohrung angeordneten, radial hineinragenden Führungsnut gebildet ist, wobei der Führungssteg (31) und die Führungsnut

jeweils die Steigung (s) der Schrägverzahnung (8; 9; 10) aufweisen, und der Führungsteg (31) bei eingerückter Drehführung (29) in die Führungsnut eingreift.

18. Vorrichtung zum Rotationsreibschweißen nach einem der Ansprüche 13 bis 17, gekennzeichnet durch eine ersten drehbare Aufnahme (25) für einen benachbarten Hohlwellenabschnitt (2; 3; 4), die zur Plastifizierung der einander zugewandten Kontaktflächen (11, 12; 13, 14; 15, 16) der zwei benachbarten Hohlwellenabschnitte (2, 3; 3, 4; 4, 5) mit einem steuerbaren Rotationsantrieb (26) und einer steuerbaren Bremse in Triebverbindung steht.

19. Vorrichtung zum elektrischen Lichtbogenschweißen mit magnetisch gesteuertem Lichtbogen nach einem der Ansprüche 13 bis 17, gekennzeichnet durch eine zweite Aufnahme (25) für einen benachbarten Hohlwellenabschnitt (2; 3; 4) sowie eine ringförmige Pol- und Spulenordnung zur Plastifizierung der einander zugewandten Kontaktflächen (11, 12; 13, 14; 15, 16) der zwei benachbarten Hohlwellenabschnitte (2, 3; 3, 4; 4, 5).

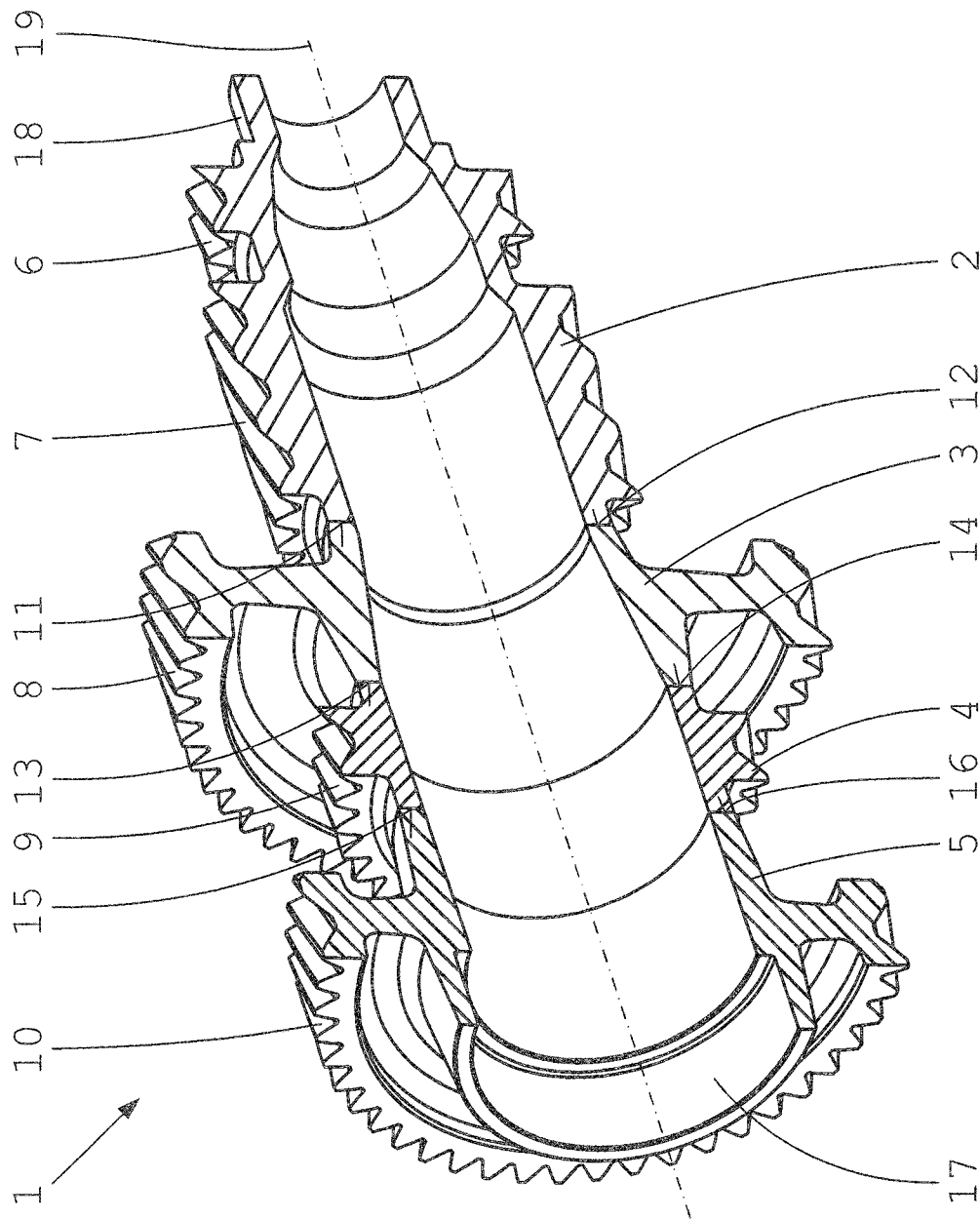


Fig.1

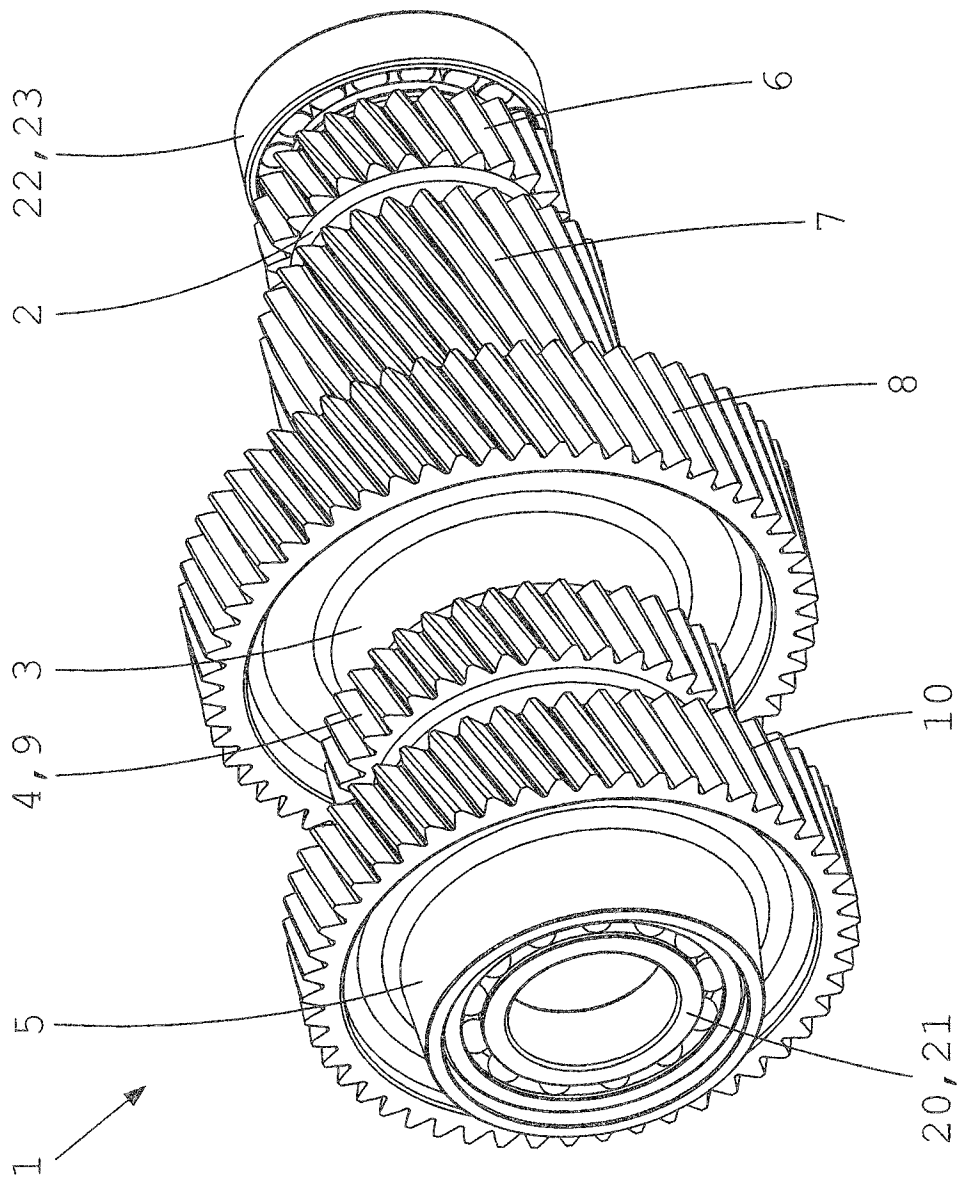


Fig.2

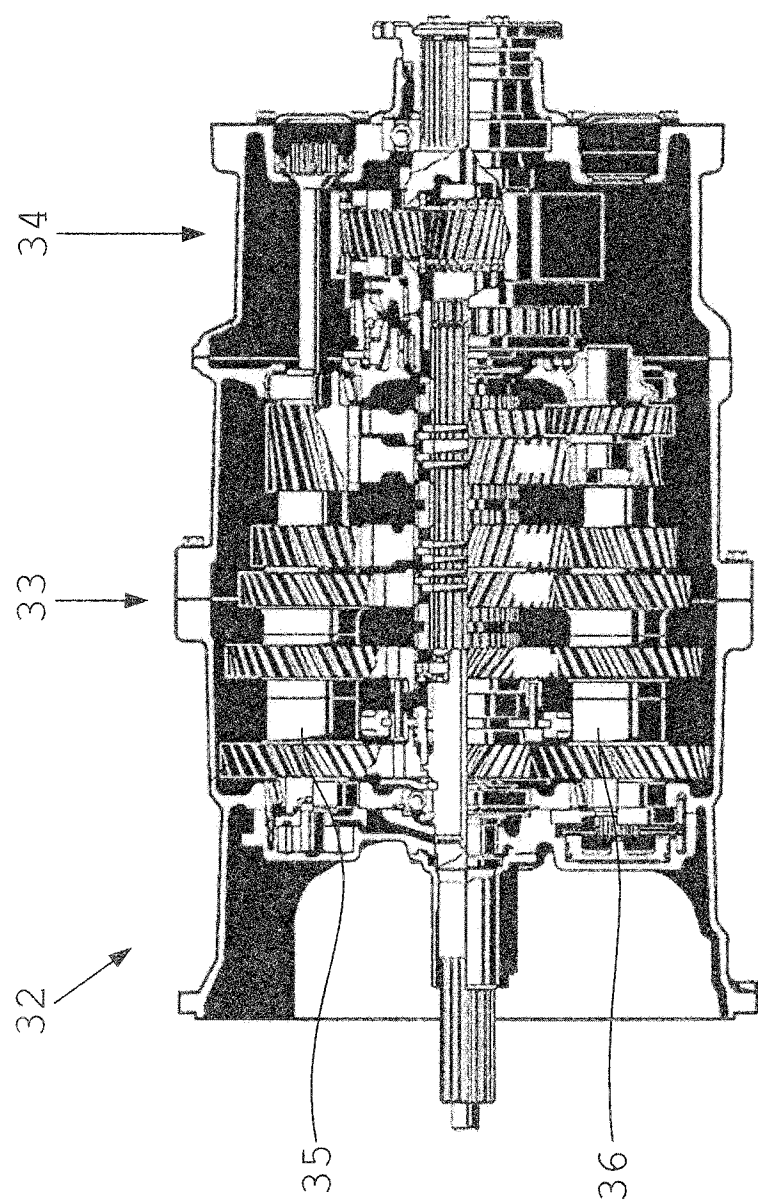


Fig.4