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

(11) **EP 2 134 483 B1**

(12) **EUROPÄISCHE PATENTSCHRIFT**

(45) Veröffentlichungstag und Bekanntmachung des Hinweises auf die Patenterteilung:
02.08.2017 Patentblatt 2017/31

(21) Anmeldenummer: **08714301.2**

(22) Anmeldetag: **25.03.2008**

(51) Int Cl.:
B21D 5/00 *(2006.01)* ***B21D 5/02*** *(2006.01)*

(86) Internationale Anmeldenummer:
PCT/AT2008/000104

(87) Internationale Veröffentlichungsnummer:
WO 2008/119090 (09.10.2008 Gazette 2008/41)

(54) **VERFAHREN ZUR FESTLEGUNG EINES EINSTELLPARAMETERWERTS EINER BIEGEPRESSE**

METHOD FOR ESTABLISHING A SETUP PARAMETER VALUE FOR A BENDING PRESS

PROCÉDÉ DE DÉTERMINATION D'UNE VALEUR PARAMÉTRIQUE DE RÉGLAGE D'UNE PRESSE À CINTRER

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

(30) Priorität: **30.03.2007 AT 4982007**

(43) Veröffentlichungstag der Anmeldung:
23.12.2009 Patentblatt 2009/52

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

(72) Erfinder:
- **HELLER, Burkhard**
  A-4060 Leonding (AT)
- **RUZOVIC, Martin**
  Bratislava 841 07 (SK)

(74) Vertreter: **Ofner, Clemens et al**
Anwälte Burger & Partner
Rechtsanwalt GmbH
Rosenauerweg 16
4580 Windischgarsten (AT)

(56) Entgegenhaltungen:
EP-A- 0 769 336
EP-A- 1 401 593
EP-A- 1 424 146
WO-A-99/14641
WO-A-2004/101193
DE-T2- 3 781 887

- **DR MARTIN RU 1/4 ZOVIC AND PROF DR JOSEF REISSNER ET AL: "Adaptive Korrektur beim Umformen" RESEARCH DISCLOSURE, MASON PUBLICATIONS, HAMPSHIRE, GB, Bd. 471, Nr. 2, 1. Juli 2003 (2003-07-01), XP007132959 ISSN: 0374-4353 in der Anmeldung erwähnt**

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 2 134 483 B1

Printed by Jouve, 75001 PARIS (FR)

Beschreibung

[0001] Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Festlegung eines Einstellparameterwerts einer Biegepresse gemäß dem Oberbegriff des Anspruches 1.

[0002] Ein grundlegendes Problem bei allen Umformverfahren ist die Rückfederung des Werkstückes am Ende des Umformvorganges durch den elastischen Anteil der Verformung eines elasto-plastischen Materials. Beim Freibiegen von Werkstücken, in den meisten Fällen Blechplatinen, auf Abkant-Biegepressen zwischen einem Stempel und einer Matrize mit einem V-Gesenk muss das Werkstück über den nach Entlastung zu erzielenden Soll-Biegewinkel hinaus verformt werden, da nach Wegfall der Umformkraft sich der Biegewinkel am Werkstück durch die Rückfederung gegenüber dem gepressten Zustand verändert.

[0003] Dem Vorteil dieses Biegeverfahrens, durch unterschiedliche Eintauchtiefen eines Biegestempels oder unterschiedliche Biegekräfte mit einem einzigen Werkzeugsatz unterschiedliche Biegewinkel erzielen zu können, steht der Nachteil gegenüber, dass die Winkelgenauigkeit von vielen verschiedenen Einflussfaktoren abhängig ist. Dies sind zum einen werkstückbedingte Einflüsse bzw. Kenngrößen, wie z.B. Blechdicke, Streck- bzw. Dehngrenze, Zugfestigkeit, Gleichmaßdehnung, Elastizitätsmodul, Verfestigungsexponent, Walzrichtung, usw., aber auch verfahrensbedingte bzw. maschinenbedingte Einflüsse, wie z.B. Matrizenweite, Einlaufradius, Stempelradius, Prägekraft, Maschinenverformungen, Umformgeschwindigkeit usw. Insbesondere die Werkstückeigenschaften unterliegen herstellungsbedingt relativ großen Schwankungen, die sich unmittelbar auf den erzielbaren Biegewinkel auswirken.

[0004] Eine zusätzliche Erschwernis beim Freibiegeverfahren besteht darin, dass eine zu starke Umformung, d.h. ein zu spitzer Biegewinkel unbedingt vermieden werden muss, da eine Korrektur durch Zurückbiegen im Allgemeinen nicht möglich ist. Bei der Einstellung des Biegewinkels nähert man sich in der Praxis meistens vorsichtig an den Sollbiegewinkel an, indem die Umformung vorerst in einem geringeren Ausmaß durchgeführt wird, d.h. durch ein weniger tiefes Eintauchen des Stempels in die Matrize oder niedrig gewählte Biegekraft ein eher stumpfer Biegewinkel eingestellt wird, nach dem Öffnen der Biegewerkzeuge der tatsächlich erreichte Biegewinkel gemessen wird und anschließend, falls erforderlich, ein Nachbiegevorgang mit tieferem Eintauchen des Stempels in die Matrize oder höherer Biegekraft durchgeführt wird. Die dabei nötige Nachjustierung der Maschineneinstellparameter beruht dabei in vielen Fällen auf Erfahrung der Bediener, die den Korrekturwert für die Einstellung des unteren Totpunkts der Stempelbewegung oder die aufzubringende Biegekraft aufgrund der gemessenen Abweichung vom Sollwinkel abschätzen und manuell einstellen, oder in der Maschinensteuerung programmierte Korrekturwerte für das Nachbiegen verwendet werden. Da aus dem ersten Biegevorgang bereits Informationen über das Umformverhalten des Werkstückes vorliegen, reicht in den meisten Fällen ein einmaliges Nachbiegen zur Erzielung des geforderten Biegewinkels aus.

[0005] Um Nachbiegevorgänge möglichst zu vermeiden, indem der geforderte Soll-Biegewinkel bereits beim ersten Biegevorgang erreicht wird, wird deshalb versucht, möglichst viele Informationen über die Werkstückeigenschaften bei der Festlegung des Einstellwertes der Biegemaschine einfließen zu lassen.

[0006] EP 1 401 593 B1 beschreibt ein Verfahren zur Regelung des Hubs einer Abkantpresse, bei dem die Dickendifferenz zwischen der realen Dicke eines Werkstücks und der Nenndicke eines Werkstücks berechnet wird, indem die reale Position der Bewegung des Stempels, in der es zu einer vorbestimmten Veränderung eines Parameters, z.B. des Drucks an den Presszylindern kommt, mit der theoretischen Position der genannten Bewegung verglichen wird, in der es zu dieser Veränderung des Parameters kommen sollte. Weiters werden dabei während des Biegevorgangs von einer elektronischen Steuervorrichtung die Messwerte der Bewegung des Stempels und des Parameters, z.B. des Drucks der Presszylinder, während der Phase der plastischen Verformung des gerade gebogenen Werkstücks verarbeitet. Diese Messdaten werden noch während des Biegevorganges mit den Daten eines Referenzbiegevorganges, bei dem der Soll-Biegewinkel erzielt wurde, verglichen und bei Abweichungen von der elektronischen Steuervorrichtung ein Korrekturwert für den unteren Totpunkt der Bewegung des Stempels berechnet. Durch die gleichzeitige Messung der Stempelbewegung sowie des mit der Biegekraft korrelierenden Drucks am Pressenzylinder und des daraus abgeleiteten Umformkraft-Umformweg-Verlaufes kann einerseits die Dicke des Werkstückes, als auch das elastische Verhalten (E-Modul) des Werkstücks ermittelt werden und die Einstellwerte der Presse gegebenenfalls korrigiert werden. Nachteilig bei diesem Verfahren ist, dass die Ermittlung des Umformkraft-Umformweg-Verlaufs, z.B. durch Schwingungen im Antriebssystem des Pressbalkens oder nicht vorhersehbare Slip-Stick-Effekte zwischen Presswerkzeug und Werkstück mit Unsicherheiten behaftet ist und zur Durchführung der erforderlichen Messungen eine Senkung der Pressbalkengeschwindigkeit erforderlich ist.

[0007] Aus der DE 37 81 887 T2 ist ein elektronisches Steuersystem für eine Abkantpresse bekannt, das ebenfalls die Position des Pressstempels misst sowie die auf das Werkstück wirkende Kraft abtastet, daraus Abweichungen gegenüber einem durch Messungen anhand von gebogenen Testwerkstücken gebildeten Modell erkennen kann und gegebenenfalls Korrekturwerte für die Stempelbewegung festlegt. Die Steuerung arbeitet dabei adaptiv, indem es an Testwerkstücken ermittelte Daten über Umformkraftverlauf, Werkstückdicke sowie bei bestimmten Einstellwerten erzielten Biegewinkel zueinander in Beziehung setzt und anschließend bei Produktionswerkstücken nach Ermittlung des Umformkraftver-

laufs und der Werkstückdicke den zur Erzielung eines bestimmten Sollbiegewinkels erforderlichen unteren Totpunkt der Stempelbewegung errechnet. Auch bei diesem Verfahren ist die Ermittlung des Umformkraft-Umformweg-Verlaufs aus den gleichen Gründen mit Unsicherheit behaftet, was wiederum zu Abweichungen des tatsächlichen Biegewinkels vom Sollwert führt.

[0008] Aus dem Bereich der Materialprüfung ist bekannt, mittels magnet-induktiven Wirbelstromprüfverfahren zerstörungsfrei Materialfehler aber auch mechanisch-technologische Materialkennwerte an leitfähigen, insbesondere metallischen Werkstücken zu prüfen. Der Bestimmung von Materialkennwerten liegen dabei experimentell ermittelte Korrelationen zwischen elektromagnetischen und mechanisch-technologischen Eigenschaften der Werkstücke zugrunde. Aus WO 2004/101193 ist eine Federwindemaschine bekannt, bei der eine Messgröße, die von einem vor dem Drahtumformer angeordneten Messsensor einer Messvorrichtung erfasst wird, die Drahtumformanlage beeinflussen kann, um die Geometrie produzierter Federn in einem vorgegebenen Sollbereich zu halten. In einer Ausführungsform umfasst die Messvorrichtung Mittel zum Erfassen von Messgrößen, die durch Induktions- oder Wirbelströme beeinflussbar sind.

[0009] In dem Research Disclosure "Adaptive Korrektur beim Umformen" (Database Number 471002) wird über ein Verfahren zur Anpassung der Parameter eines Umformprozesses an die aktuellen Eigenschaften des Ausgangsmaterials berichtet, bei dem mit Hilfe eines Wirbelstrom-/Induktionsmessverfahrens die Umformbarkeit bzw. das Umformverhalten des Ausgangsmaterials ermittelt wird. Dabei werden ebenfalls Korrelationen zwischen elektromagnetischen und mechanisch-technologischen Eigenschaften des Ausgangsmaterials benutzt. So wird beispielsweise mit einem Wirbelstrom-/Induktionsmessgerät das Ausgangsmaterial geprüft und der Messwert in ein Modell, das die Abhängigkeit zwischen den Mess- und Einstellwerten des Umformprozesses beschreibt, eingelesen. Das Modell liefert dann die für die aktuell ermittelte Umformbarkeit des Ausgangsmaterials passenden Einstellwerte, die an eine Maschinensteuerung weitergeleitet und an einer Umformmaschine automatisch eingestellt werden. Dieses Verfahren ist beispielsweise auch für das Biegen von Blech oder Blechstreifen einsetzbar.

[0010] Aufgabe der Erfindung ist es, ein Biegeverfahren bereitzustellen, das eine besonders hohe Biegewinkelgenauigkeit erzielen kann, indem Schwankungen in den Eigenschaften des Ausgangsmaterials festgestellt und beim Biegevorgang berücksichtigt werden und das gegebenenfalls auch auf bestehenden Anlagen mit nur geringen baulichen Maßnahmen nachträglich eingeführt werden kann.

[0011] Diese Aufgabe der Erfindung wird durch ein Verfahren mit den Maßnahmen des Anspruchs 1 gelöst. Der wesentliche Vorteil dabei ist, dass nach der, zur Ermittlung von Werkstückeigenschaften und darauf basierender Festlegung des Einstellparameterwerts durchgeführten Wirbelstrommessung am Werkstück die mittels des Modells des Biegevorgangs durchgeführte Abschätzung des Umformverhaltens des Werkstücks durch eine konkrete Messung des Ist-Werts der Zielgröße auf ihre Richtigkeit nachgeprüft wird. Die Aussagekraft bzw. die Gültigkeit des zur Festlegung des Einstellparameters verwendeten Modells kann dadurch überwacht werden und falls erforderlich verfeinert oder korrigiert werden. Dies ist insbesondere von Vorteil, wenn das Modell des Biegevorgangs noch in der Phase der Erstellung ist und die Anwendung ohne die Messung der Zielgröße in der Produktion noch zu unsichere Einstellparameterwerte für die Biegemaschine liefert.

[0012] Nach längerer Anwendung des erfindungsgemäßen Verfahrens besitzt das Modell eine hohe Prognosegenauigkeit und die damit festgelegten Einstellparameterwerte ergeben Ist-Werte der Zielgröße, die sehr nahe am Sollwert liegen. In diesem sozusagen ausgereiften Stadium des Modells kann die Anzahl der Messungen der Ist-Werte der Zielgröße reduziert werden und können insbesondere die Werkstücke allein aufgrund der mit dem Modell für das jeweilige Werkstück ermittelten Einstellparameterwerte mit hoher Genauigkeit gebogen werden. Bei dieser Festlegung des Einstellparameterwerts zur Erreichung des Sollwerts der Zielgröße z.B. des gewünschten Biegewinkels, ohne Messung des Ist-Werts erfolgt die endgültige Festlegung des Einstellparameterwerts bereits vor dem eigentlichen Biegevorgang, wodurch dieser mit der vollen Geschwindigkeit und ohne Unterbrechung durchgeführt werden kann. Die Erfindung nutzt die Erkenntnis, dass die über die Wirbelstrommessung zugänglichen elektromagnetischen Eigenschaften eines Werkstückes mit geometrischen und/oder mechanisch technologischen Werkstückeigenschaften, wie z.B. Blechdicke, Streck- bzw. Dehngrenze, Zugfestigkeit, Gleichmaßdehnung, Elastizitätsmodul, Verfestigungsexponent oder Walzrichtung des Werkstücks korrelieren und die elektromagnetischen Eigenschaften daher als Kenngröße des Werkstücks für eine Festlegung eines Einstellparameterwertes für einen Biegevorgang verwendet werden können. Aus einer Abweichung des Messergebnisses der Wirbelstrommessung von einem Nennwert kann auf eine entsprechende Abweichung einer mechanischen Kenngröße von einem Nennwert geschlossen werden und dadurch der Einstellparameterwert gegenüber einem Nenneinstellwert korrigiert werden.

[0013] Die Messung des Ist-Werts der Zielgröße, beispielsweise des Biegewinkels, wird nach einer Entlastung des Werkstücks vor dem vollständigen Abschluss des Biegevorgangs, also bei einer Zwischenentlastung durchgeführt werden Beispielsweise kann bei einem Sollwert des Biegewinkels von 90° der Biegevorgang bei einem Biegewinkel von etwa 100° (stumpfer Winkel) unterbrochen werden und nach der Rücknahme der vom Biegestempel auf das Werkstück ausgeübten Biegekraft, also im entlasteten Zustand, der Ist-Wert des bisher er-

zielten Biegewinkels gemessen und mit dem vor der Entlastung wirksamen Einstellparameterwert, z.B. der Eintauchtiefe des Biegestempels sowie dem Messwert der Wirbelstrommessung zu einer Wertegruppe verknüpft werden. Ergibt die Messung einen Biegewinkel von 102° statt der erwarteten 100° heißt das, dass die tatsächliche Umformbarkeit des Werkstücks kleiner ist als die für die Ermittlung des Einstellparameterwerts herangezogenen Kenngrößen erwarten ließen.

[0014] Als mögliche Einstellparameter für den Biegevorgang sind an dieser Stelle beispielsweise der Hub oder die Eintauchtiefe eines Biegestempels, der maximale Hydraulikdruck in den Pressenzylindern, eine maximale aufgebrachte Biegekraft, Umformkraft oder Presskraft und ein Durchbiegungsausgleichsparameter also ein Korrekturwert für die Bombierung des Unterwerkzeugs zum Ausgleich der Durchbiegung des Pressbalkens genannt, wobei das Verfahren nicht auf die Festlegung eines einzigen dieser Einstellparameter beschränkt ist, sondern auch gleichzeitig mehrere sowie auch andere Einstellparameterwerte festgelegt werden können.

[0015] Die Messung des Ist-Werts der Zielgröße kann mit einer automatischen Messeinrichtung an der Biegepresse durchgeführt werden, beispielsweise mit einer in den Biegestempel integrierten Winkelmesseinrichtung ähnlich einem Innenmesstaster. Der Zeitbedarf für die Durchführung der Messung kann dadurch möglichst gering gehalten werden, da das Werkstück zur Messung nicht aus der Biegepresse entnommen werden muss.

[0016] Die Information aus der Messung der Zielgröße kann nun dazu benutzt werden, den Einstellparameterwert neu festzulegen, z.B. in der Art, dass der Messwert der Steuervorrichtung zugeführt wird und der Biegevorgang mit korrigierten Einstellungen fortgesetzt wird, wobei die Abweichung des Werkstücks von der ursprünglich angenommenen, durch Nennwerte der Werkstückkenngrößen charakterisierten Nenn-Umformbarkeit berücksichtigt wird, um den Ist-Wert der Zielgröße sehr nahe an den Sollwert anzunähern. Es kann also basierend auf dem nach der Entlastung des Werkstücks gemessenen Ist-Wert der Zielgröße, der Wert des Einstellparameterwerts für die Fortsetzung des Biegevorgangs von der Steuervorrichtung neu festgelegt werden und dadurch eine Inline-Korrektur des Einstellparameterwerts erfolgen.

[0017] Ein Merkmal des Verfahrens besteht darin, dass basierend auf dem nach der Entlastung des Werkstücks gemessenen Ist-Wert der Zielgröße und dem eine Kenngröße des Werkstücks repräsentierenden Messwert der Wirbelstrommessung sowie dem unmittelbar vor der Entlastung wirkenden Einstellparameterwert das Modell des Biegevorgangs adaptiert wird. Die im Modell enthaltenen Zusammenhänge aus Wert des Einstellparameters, Kenngröße des Werkstücks aus der Wirbelstrommessung und jeweils dadurch bewirktem Wert der Zielgröße werden quasi um den am aktuellen Werkstück ermittelten Zusammenhang ergänzt, das Modell dadurch einem Lernvorgang unterzogen und somit mit jedem gefertigten Werkstück weiter verbessert und gewissermaßen trainiert.

[0018] Dazu ist es von Vorteil, wenn der am Werkstück gemessene Ist-Wert der Zielgröße, der Messwert der Wirbelstrommessung, gegebenenfalls weitere vorbekannte oder ermittelte Kenngröße des Werkstücks sowie der unmittelbar vor der Entlastung wirkende Einstellparameterwert in der Steuervorrichtung im Form eines Datensatzes gespeichert werden. Das Modell des Biegevorgangs ist aus den Informationen der einzelnen Datensätze zusammengesetzt und kann als Datenbank vorliegen, oder aber auch mittels analytischer Methoden in eine Berechnungsvorschrift, die den Zusammenhang zwischen Ergebnis der Wirbelstrommessung, Einstellparameterwert, gegebenenfalls weiteren bekannten Kenngrößen des Werkstücks und Wert der Zielgröße abbildet, übergeführt sein.

[0019] Das Modell des Biegevorgangs in der Steuervorrichtung kann durch eine mehrere Datensätzen umfassende Wertetabelle oder Datenbank gebildet sein und als Look-Up-Tabelle dienen, mittels derer der Einstellparameterwert im Wesentlichen durch Aufsuchen und Auswerten von Datensätzen, die ähnliche Werte wie beim aktuellen Werkstück aufweisen, festgelegt wird.

[0020] Die Wertetabelle kann neben oder anstatt von Datensätzen aus an konkreten Werkstücken verwendeten Einstellparameterwerten und gemessenen Zielgrößen-Werten auch Datensätze umfassen, die mit numerischen Verfahren, insbesondere Simulationsrechnung, Finite-Elemente-Methoden, Regressionsrechnung oder Interpolationsrechnung erstellt wurden. So kann das Modell mit wenigen gemessenen Werkstücken aufgebaut werden und der Aufwand zur Erstellung des Modells verringert werden.

[0021] Ein ähnliches, nicht erfindungsgemäßes und an dieser Stelle zum verbesserten Verständnis beschriebenes Verfahren besteht darin, dass aus dem Messwert der Wirbelstrommessung ein Schätzwert einer Kenngröße des Werkstücks abgeleitet wird und dieser Schätzwert von der Steuervorrichtung bei der Festlegung des Einstellparameterwerts benutzt wird. Es kann also das Ergebnis der Wirbelstrommessung auch zur indirekten Ermittlung weiterer Kenngrößen des Werkstücks herangezogen werden, die bei der Festlegung des Einstellparameterwerts benutzt werden. Beispielsweise kann das Ergebnis der Wirbelstrommessung zur Abschätzung einer mechanischen Kenngröße wie z.B. der Streck- oder Dehngrenze herangezogen werden, welche als Kenngröße des Werkstücks von der Steuervorrichtung zur Festlegung des Einstellparameterwerts verwendet wird, wie es von Steuervorrichtungen konventioneller Biegemaschinen mit Nennwerten - beispielsweise Lieferantenangaben - der Werkstückkenngrößen standardmäßig durchgeführt wird. Die Ermittlung dieses Schätzwerts beruht auf einem Modell der Werkstoffeigenschaften, das eine Korrelation zwischen dem Messergebnis der Wirbelstrommessung und mechanisch-technologischen

Kenngrößen des Werkstücks enthält, die z.B. aus Versuchsreihen der Materialprüfung stammen, bei denen die Ergebnisse der zerstörungsfreien Wirbelstrommessung mit Ergebnissen zerstörender Prüfungsverfahren von mechanischen Werkstoffeigenschaften in Zusammenhang gebracht werden. Das Modell kann dabei vorteilhaft als Berechnungsvorschrift oder Look-Up-Tabelle in einem Speicher der Steuervorrichtung enthalten sein und die Auswertung des Wirbelstrommesswerts als Schätzwert einer mechanischen Kenngröße ebenfalls von dieser ausgeführt werden.

[0022] Eine Weiterbildung des vorgenannten Verfahrens besteht darin, dass der Schätzwert mit einem Nennwert derselben Kenngröße des Werkstücks verknüpft wird, insbesondere daraus ein gewichteter Mittelwert gebildet wird, und als Kenngröße zur Festlegung des Einstellparameterwerts verwendet wird. Als Nennwert der Materialkenngröße seien an dieser Stelle beispielsweise die Dicke als geometrische Kenngröße des Werkstücks oder die Proportionalitätsgrenze Rp0,2 als mechanisch-technologische Kenngröße des Werkstücks genannt. Während sich geometrische Kenngrößen wie die Dicke noch mit überschaubarem Aufwand messtechnisch ermitteln lassen, ist die direkte Ermittlung von mechanisch-technologischen Werkstückkennwerten an einem konkreten Werkstück entweder gar nicht oder nur mit unverhältnismäßig hohem Aufwand möglich, weshalb als Werkstückkenngröße für die Festlegung eines Einstellparameterwerts für einen Biegevorgang zumeist die von einem Lieferanten bekannt gegebenen Nennwerte verwendet werden, wobei diese immer als mit Unsicherheit behaftete Kenngrößen zu betrachten sind, die konkreten Werte einzelner Werkstücke deshalb beträchtlich davon abweichen können. Durch die Kombination des aus dem Ergebnis der Wirbelstrommessung abgeleiteten Schätzwerts mit dem Nennwert der Kenngröße kann gewissermaßen die Information über das Werkstück aus zwei verschiedenen Quellen herangezogen werden und der tatsächliche Wert der Kenngröße zumindest statistisch betrachtet genauer angegeben werden.

[0023] Eine mittels einer Wirbelstrommessung ermittelte mechanische Kenngröße eines Werkstücks kann weiters als Kenngröße eines Werkstücks für die Steuerung einer beliebigen Biegepresse verwendet werden, darüber hinaus auch noch für nachfolgende Bearbeitungsschritte auf anderen Bearbeitungsmaschinen, bei denen diese Kenngröße maßgeblichen Einfluss besitzt, verwendet werden. Der Zusammenhang zwischen Ergebnissen von Wirbelstrommessungen und den mechanischen Kenngrößen kann z.B. auch durch Wirbelstrommessungen und daran anschließende zerstörende oder zerstörungsfreie Materialprüfung an Probewerkstücken ermittelt werden.

[0024] Durch die Bildung eines gewichteten Mittelwerts kann jeder der beiden mit gewisser Unsicherheit behafteten Werte - Schätzwert oder Nennwert der Kenngröße - mit einer, insbesondere zwischen 0 und 1 frei wählbaren Wertigkeit in die Berechnung eingehen, je nachdem, welchem Wert höhere Aussagekraft zugemessen wird. So kann beispielsweise bei Werkstücken mit bekanntermaßen geringen Materialschwankungen dem Nennwert mit 0,75 ein höheres Gewicht bei der Bildung des Mittelwerts gegeben werden, als dem aus der Wirbelstrommessung ermittelten Schätzwert mit 0,25.

[0025] Ein ähnliches, nicht erfindungsgemäßes und an dieser Stelle zum verbesserten Verständnis beschriebenes Verfahren besteht darin, dass während des Biegevorgangs ein Verlauf einer Biegekraft oder eines mit dieser in direktem Zusammenhang stehenden Biegekraftparameters, beispielsweise des im Pressbalkenantrieb wirkenden Hydraulikdrucks, erfasst und der Steuervorrichtung zugeführt wird, wobei die Biegekraft, der Biegekraftparameter oder ein aus dem Verlauf ermittelter Rechenwert einer mechanischen Kenngröße des Werkstücks, ausgewählt aus einer Gruppe umfassend Streckgrenze, Proportionalitätsgrenze, Bruchdehnung, Gleichmaßdehnung, Elastizitätsmodul als Kenngröße zur neuerlichen Festlegung des Einstellparameterwerts vor Beendigung des Biegevorganges verwendet wird. Durch diese Messung des Biegekraftverlaufs kann eine Information über die Umformbarkeit des Werkstücks abgeleitet und aufgrund der zusätzlich in die Neufestlegung des Einstellparameterwerts eingehenden Information über das Umformverhalten der Ist-Wert der Zielgröße besser an den Sollwert angenähert werden. Für die rechnerische Ermittlung der mechanisch-technologischen Kenngröße aus einem Umformkraftverlauf gibt es im Stand der Technik Lösungen, mit denen Abweichungen der Materialeigenschaften von angegebenen Nennwerten gut festgestellt werden können und deshalb für eine In-Line-Korrektur des Einstellparameterwerts herangezogen werden können.

[0026] Die jeweils gemessene Biegekraft kann beispielsweise direkt ohne Berechnung von mechanisch-technologischen Kenngrößen des Werkstücks dazu verwendet werden, einen oder mehrere basierend auf dem Messwert der Wirbelstrommessung festgelegte Einstellparameterwerte zu korrigieren, etwa bei der Festlegung eines Durchbiegungsparameterwerts der dazu benutzt wird, die Krümmung des Unterwerkzeugs bzw. des feststehenden Pressbalkens an die bei einer jeweils ausgeübten Biegekraft auftretende Durchbiegung des beweglichen Pressbalkens anzupassen. Die Verformung kann dabei angepasst werden, indem beim feststehenden Pressbalken aktiv seine Krümmung verändert wird, z. B. durch Verstellung von zusammenwirkenden Keilelementen in Aufbau des feststehenden Pressbalkens oder durch Veränderung der Biegesteifigkeit des feststehenden Pressbalkens, beispielsweise durch Schwächungsschlitze, deren wirksame Länge durch verstellbare Druckstücke veränderbar ist.

[0027] Der Umformweg, im Fall einer Abkant-Biegepresse der Weg des Biegestempels ab dem Kontaktieren des noch ungebogenen Werkstücks bzw. die Eintauchtiefe, wird vorzugsweise mittels Wegaufnehmern im Bereich der Verstelleinrichtung für den beweglichen Balken

abgenommen; die Umformkraft bzw. Biegekraft kann mittels Kraftmessdosen und Berücksichtigung des Eigengewichts von Pressbalken und Presswerkzeugen direkt gemessen, oder über einen im Verstellantrieb wirkenden Hydraulikdruck oder eine bei einem elektrischen Pressbalkenantrieb festgestellte Leistungsaufnahme indirekt ermittelt werden.

[0028] Eine weitere Variante dieses Verfahrens besteht darin, dass der aus dem Verlauf der Biegekraft ermittelte Rechenwert der mechanischen Kenngröße mit einem aus dem Messwert der Wirbelstrommessung abgeleiteten Schätzwert derselben mechanischen Kenngröße des Werkstücks verknüpft wird, insbesondere daraus ein gewichteter Mittelwert gebildet wird und als korrigierte Kenngröße zur neuerlichen Festlegung des Einstellparameterwerts vor Beendigung des Biegevorganges verwendet wird, um wieder eine Form von Inline-Korrektur durchzuführen, wodurch die Zielgröße besser an den Sollwert angenähert wird

[0029] Die Ermittlung des Schätzwerts beruht, wie bereits zuvor beschrieben, auf einem Modell der Werkstoffeigenschaften, das eine Korrelation zwischen dem Messergebnis der Wirbelstrommessung und mechanisch-technologischen Kenngrößen des Werkstücks enthält, die z.B. aus Versuchsreihen der Materialprüfung stammen. Ähnlich wie zuvor zur Ermittlung des Einstellparameterwerts der aus der Wirbelstrommessung abgeleitete Schätzwert der Werkstückkenngröße und ein Nennwert derselben Werkstückkenngröße verknüpft wurden, wird in dieser Verfahrensvariante der Rechenwert der Werkstückkenngröße mit dem Schätzwert der Werkstückkenngröße verknüpft, um den Einstellparameterwert festzulegen. Die Steuervorrichtung kann die Verknüpfung insbesondere durch einen gewichteten Mittelwert berechnen, wobei je nach Wahl der Gewichte die Aussagekraft der Wirbelstrommessung oder der Umformkraftmessung höher bewertet werden kann.

[0030] Insbesondere können die Gewichtungsfaktoren jeweils Werte zwischen Null und Eins annehmen, d.h. die Ermittlung des Einstellparameterwerts kann im Extremfall auch zur Gänze von einem der beiden Werte abhängen. Im Allgemeinen wird jedoch eine gleichwertige Gewichtung mit jeweils 0,5 bei der Bildung des gewichteten Mittelwerts vorteilhaft sein.

[0031] Weiters kann, wenn die Messung der Biegekraft genau und zuverlässig erfolgt, der aus dem Verlauf der Biegekraft ermittelte Rechenwert der mechanischen Kenngröße mit dem Messwert der Wirbelstrommessung verknüpft werden, und das Modell der Werkstückeigenschaften um dieses Wertepaar ergänzt und dadurch adaptiert werden, wodurch auch die Aussagekraft der auf der Wirbelstrommessung basierenden Schätzwerte der mechanischen Kenngröße verbessert wird. Diese Beeinflussung des Zusammenhangs kann für jeweils einen einzelnen Biegevorgang wirksam sein, es kann jedoch der Zusammenhang auch dauerhaft adaptiert werden und das Verfahren dadurch auch selbstlernend ausgeführt werden, wenn mit jedem gebogenen Werkstück das Ergebnis einer Wirbelstrommessung und der Einstellparameterwert mit dem tatsächlichen, gemessenen Wert der der Zielgröße verknüpft wird. Dies kann z.B. dadurch erfolgen, dass der an einem Werkstück tatsächlich erzielte Biegewinkel nach Abschluss des Biegvorganges gemessen und den Messergebnissen der Wirbelstrommessung bzw. den Einstellparameterwerten dieses Werkstückes hinzugefügt wird.

[0032] Zusätzlich kann das Modell des Umformvorgangs weiter verfeinert werden, wenn der aus dem Verlauf der Biegekraft ermittelte Schätzwert der mechanischen Kenngröße und der am selben Werkstück ermittelte Messwert der Wirbelstrommessung in der Steuervorrichtung im Form eines Datensatzes gespeichert wird, insbesondere einer, Datensätze von anderen Werkstücken enthaltenden, das Modell des Biegevorganges bildenden Wertetabelle oder Datenbank hinzugefügt wird. So kann mit jedem gebogenen und gleichzeitig gemessenen Werkstück das auf einer Korrelation zwischen Wirbelstrommessung und Werkstückeigenschaften basierende Biegemodell weiter verbessert werden.

[0033] Auf diese Weise kann die aus dem Umformkraftverlauf während des Biegevorgangs errechnete mechanische Kenngröße den zur Festlegung des Einstellparameterwerts benutzten Zusammenhang zwischen Ergebnis der Wirbelstrommessung und dem Wert der Zielgröße am Werkstücks - das Modell des Biegevorganges - beeinflussen bzw. adaptieren. Beispielsweise kann der an Probewerkstücken ermittelte Zusammenhang zwischen Ergebnissen der Wirbelstrommessung und mittels Methoden der Materialprüfung gemessenen Streckgrenzen bzw. Dehngrenzen durch Wertepaare aus Wirbelstrommessungen und aus Biegekraftverläufen während Biegevorgängen errechneten Streckgrenzen bzw. Dehngrenzen ergänzt werden. Durch diese zusätzlichen Wertepaare steigt statistisch die Aussagekraft des zuvor ermittelten Zusammenhangs und damit auch die Güte der Einstellparameterwerte.

[0034] Eine vorteilhafte Weiterbildung des erfindungsgemäßen Verfahrens besteht gemäß einem weiteren Anspruch darin, dass zumindest eine Kenngröße des Werkstücks ausgewählt aus einer Gruppe umfassend Werkstückdicke, Gewicht oder Werkstückfläche durch eine Messung vor oder während des Biegevorgangs ermittelt und der Steuervorrichtung zugeführt wird und bei der Festlegung des Einstellparameterwerts benutzt wird. Da beispielsweise die Dicke des Werkstücks ebenso wie mechanisch-technologischen Materialkennwerte direkten Einfluss auf die Zielgröße z.B. den Biegewinkel hat, ist es von Vorteil, Abweichungen von der Nenndicke vor oder während des Biegevorgangs zu erfassen und bei der Festlegung des Einstellparameterwerts zu berücksichtigen. Als Verfahren für die Dickenmessung können alle dem Fachmann bekannten Messmethoden unter Verwendung von berührenden oder berührungslosen Messverfahren, die unabhängig von der Biegepresse aber auch innerhalb der Biegepresse oder während des Biegevorganges ausführt werden können, angewendet

werden. Zur Minimierung des Messaufwandes kann dabei die Dickenmessung auf jene Abschnitte des Werkstücks beschränkt bleiben, die beim Biegevorgang mechanisch beansprucht werden. Abhängig von den Einstellmöglichkeiten der Biegepresse können pro Werkstück auch mehrere Dickenmessungen erfolgen, und wenn es die Biegepresse ermöglicht, über die Werkstückbreite mehrere, gegebenenfalls unterschiedliche Einstellparameterwerte festgelegt werden.

[0035] Eine zweckmäßige Durchführungsform des erfindungsgemäßen Verfahrens besteht nach einem anderen Anspruch darin, dass die Wirbelstrommessung weitgehend auf Zonen im Werkstück beschränkt wird, die beim Biegevorgang verformt werden. Dies kann durch Auswahl von Erregereinheiten und mehreren Sensoreinheiten bewerkstelligt werden, die eine hohe lokale Messpunktauflösung aufweisen, und die entlang einer Geraden angeordnet sind. Dadurch kann die Messung im Wesentlichen auf die Umformzone beschränkt werden und somit genauere Einstellparameterwerte bestimmt werden.

[0036] Besonders vorteilhaft ist, wenn die Wirbelstrommessung gemäß einem weiteren Anspruch mit zumindest zwei unterschiedlichen, insbesondere zumindest zehn unterschiedlichen Erregerfrequenzen des elektromagnetischen Wechselfelds durchgeführt wird. Da das vom Werkstück beeinflusste elektromagnetische Wechselfeld und damit auch die Rückwirkung auf die Sensoreinheit stark von der Erregerfrequenz des elektromagnetischen Wechselfelds abhängig ist und sich abhängig von den Gefügeeigenschaften und damit auch den mechanisch technologischen Eigenschaften des Werkstücks bei unterschiedlichen Erregerfrequenzen für jede Materialart eine typische elektromagnetische Rückwirkung auf die Sensoreinheit ergibt, lässt sich der Zusammenhang zwischen Ergebnissen der Wirbelstrommessung und mechanischen Kenngrößen des Werkstücks bei Anwendung von mehreren Erregerfrequenzen genauer ermitteln. Durch Anwendung von zumindest zehn, vorzugsweise zwanzig bis dreißig verschiedenen Erregerfrequenzen kann ein breites Frequenzspektrum abgedeckt werden und die Schätzwerte für die mechanische Kenngröße und somit auch die Genauigkeit des erzielten Biegewinkels verbessert werden. Darüber hinaus kann zur Wirbelstrommessung auch eine sehr hohe Anzahl von Erregerfrequenzen benutzt werden, beispielsweise auch indem die Erregerfrequenz kontinuierlich von einer Minimalfrequenz zu einer Maximalfrequenz verändert wird, also ein Frequenzbereich durchfahren wird, wobei sich ebenfalls für jede Materialausprägung ein typisches Messergebnis ergibt, das mit der interessierenden Kenngröße des Werkstücks in Zusammenhang gebracht werden kann. Die Wirbelstrommessung wird beispielsweise derart durchgeführt, dass die Sensoreinheit eine Sensorspule umfasst und bei der Wirbelstrommessung, die durch die Rückwirkung des Werkstücks verursachte Veränderung der Impedanz der Sensorspule ermittelt wird. Dazu wird der in der Sensorspule fließende Strom nach Amplitude und Phase gemessen, wobei aus der Veränderung dieser Werte durch die Annäherung des zu messenden Werkstücks an die Sensorspule, auf die elektromagnetischen Eigenschaften des Materials des Werkstückes rückgeschlossen werden kann. Da die elektromagnetische Rückwirkung des Werkstücks auch auf die Erregereinheit wirkt, ist es auch möglich, dass die Erregereinheit gleichzeitig als Sensoreinheit wirkt d.h. die Sensorspule durch eine Erregerspule selbst gebildet ist.

[0037] Eine andere vorteilhafte Durchführung der erfindungsgemäßen Verfahren besteht darin, dass als Zielgröße eine nach dem Biegevorgang erzielte geometrische Kenngröße am Werkstück ausgewählt aus einer Gruppe umfassend Biegewinkel, Schenkellänge, Krümmungsradius an der Biegezone, Parallelität bzw. Bombierung des Werkstücks verwendet wird. Dadurch werden die Ergebnisse der Wirbelstrommessungen direkt mit der Zielgröße des Biegeverfahrens in Beziehung gebracht, wodurch ermöglicht wird, dass bei gegenüber vorhergehenden Biegevorgängen identischen Einstell- und Parameterwerten für Werkstück und Biegepresse der zur Erreichung eines bestimmten Sollwerts einer Zielgröße erforderliche Einstellparameterwert alleine anhand den Ergebnissen der Wirbelstrommessung festgelegt werden kann. Zur Erhöhung der Genauigkeit des Ergebnisses ist es jedoch von Vorteil auch andere Einflussgrößen, insbesondere die Werkstückdicke bei der Festlegung des Einstellparameterwerts mit zu berücksichtigen.

[0038] Eine günstige Variante des Verfahrens besteht darin, dass der Zusammenhang zwischen Wirbelstrommessung und der Zielgröße des Werkstücks - das Modell des Biegevorganges - mit Hilfe von Regressionsrechnung und/oder Korrelationsrechnung aus Ergebnissen von vorangegangenen Wirbelstrommessungen an mehreren Werkstücken und am jeweiligen Werkstück gemessenen Werten der Zielgröße hergestellt wird. Mit Hilfe dieser Rechenverfahren kann auch eine große Anzahl von Messergebnissen zusammengefasst und z.B. in eine Berechnungsvorschrift für den Einstellparameterwert eingearbeitet werden. Die Durchführung dieser Rechenverfahren ist mit den an heutigen Biegemaschinen eingesetzten elektronischen Steuervorrichtungen problemlos möglich.

[0039] Eine weitere vorteilhafte Durchführung des Verfahrens ist dadurch gegeben, dass gemäß zweier weiterer Ansprüche der im Modell des Biegevorganges abgebildete Zusammenhang mit Hilfe eines neuronalen Netzes, insbesondere unter Anwendung eines Back-Propagation-Prozesses aus Ergebnissen einer Abfolge von Biegevorgängen hergestellt wird. Mit Hilfe eines neuronalen Netzes können nichtlineare, mehrparametrige Zusammenhänge, wie sie bei einem Biegeprozess wirksam sind, in einem selbstlernenden Modell abgebildet werden, das auch in der Lage ist, Abweichungen einzelner Werkstückkenngrößen bei der Bestimmung des Einstellparameterwertes zu berücksichtigen, ohne dass die phy-

sikalischen Zusammenhänge zwischen den einzelnen Werkstückkenngrößen formelmäßig oder als Berechnungsvorschrift dem Berechnungssystem vorgegeben werden müssen. Alternativ oder zusätzlich zu einem neuronalen Netz, kann die Festlegung des Einstellparameterwertes auch mit Hilfe einer Fuzzy-Logic-Regelung erfolgen, die zu Abweichungen in den Kenngrößen des Werkstücks gegenüber den Werten bei einem oder mehreren Biegevorgängen an Probestücken die erforderlichen Korrekturen bei der Festlegung des Einstellparameterwerts festlegen kann.

[0040] Zweckmäßig kann es auch sein, nach einem weiteren Anspruch, eine Information über den Einstellparameterwert der Biegemaschine nach Durchführung der Wirbelstrommessung auf dem Werkstück, insbesondere in maschinenlesbarer Form z.B. als Strichcode anzubringen. Die aus der Wirbelstrommessung bezogene Information über das zu biegende Werkstück bleibt dadurch zuverlässig mit diesem verbunden und der Verfahrensschritt zur Durchführung der Wirbelstrommessung kann dadurch problemlos sowohl zeitlich als auch räumlich vom Biegevorgang entkoppelt werden, ohne zusätzliche Maßnahmen zur Messwertspeicherung und Werkstückidentifizierung treffen zu müssen. Die Anbringung der Information kann dabei z.B. mit einem Tintenstrahldrucker oder mit Laserstrahlung erfolgen.

[0041] Besonders zweckmäßig erweist sich das Verfahren, wenn gemäß einem weiteren Anspruch der Biegevorgang als Freibiegevorgang auf einer Biegepresse in Form einer Abkantpresse durchgeführt wird. Durch die weite Verbreitung dieses Verfahrens und die hohe Anzahl der damit bearbeiteten Werkstücke, ist es bei diesem Verfahren innerhalb kurzer Zeit möglich, eine große Anzahl von Daten für die Bildung eines Zusammenhangs zwischen Ergebnissen der Wirbelstrommessung und Werten der Zielgröße zu sammeln.

[0042] Die Wirbelstrommessung, der Vergleich des Ergebnisses der Wirbelstrommessung mit dem Zusammenhang zwischen den Ergebnissen der Wirbelstrommessungen und den Werten der Zielgröße, die Handhabung des Modells des Biegevorganges bzw. der Werkstoffeigenschaften, die Festlegung des Einstellparameterwertes oder die Berechnung der mechanischen Kenngröße wird vorteilhaft mit der elektronischen Steuervorrichtung durchgeführt. Die an modernen Biegepressen eingesetzten elektronischen Steuervorrichtungen bieten in vielen Fällen ausreichende Speicher- und Rechenleistung, die erforderlichen Berechnungen in ausreichender Geschwindigkeit auszuführen, oder sind zumindest zur Erweiterung mit geeigneten Berechnungsmodulen vorbereitet. Prinzipiell ist die Durchführung dieser Berechnungen auch ohne automatisierte Rechnerunterstützung möglich, was jedoch nur in der Anfangsphase bei der Entwicklung und ersten Parametrierung der Berechnungsalgorithmen sinnvoll erscheint.

[0043] Im Folgenden wird eine Fertigungsvorrichtung zum Durchführen des erfindungsgemäßen Verfahrens beschrieben. Der Vorteil dieser Fertigungseinrichtung besteht darin, dass die mit einer elektronischen Steuervorrichtung einer Biegepresse gekoppelte Wirbelstrommesseinrichtung räumlich beliebig angeordnet sein kann und die Ergebnisse der Wirbelstrommessung an einem zu biegenden Werkstück von der elektronischen Steuervorrichtung der Biegepresse automatisch übernommen und durch die Abschätzung der Umformeigenschaften mittels einer Wirbelstrommessung und darauf basierender Festlegung eines Einstellparameterwerts der Biegepresse die Winkelgenauigkeit der Biegepresse erhöht wird. Die Wirbelstrommesseinrichtung kann beispielsweise entfernt von der Biegepresse angeordnet sein, z.B. im Bereich einer vorgeordneten Laserschneidmaschine, in der die verfahrensbedingte Liegezeit für die Wirbelstrommessung genutzt wird. Durch eine entsprechend kleine bauliche Ausbildung der Wirbelstrommesseinrichtung kann diese aber auch direkt im Bereich der Biegewerkzeuge angeordnet sein, wodurch die Wirbelstrommessung unmittelbar vor dem eigentlichen Biegevorgang erfolgt.

[0044] Zur Durchführung von zuverlässigen Wirbelstrommessungen ist es von Vorteil, wenn gemäß einem weiteren Anspruch die Wirbelstrommesseinrichtung eine Erregereinheit zur Erzeugung eines auf das Werkstück wirkenden elektromagnetischen Wechselfelds und eine Sensoreinheit zur Erfassung der durch das Werkstück hervorgerufenen Rückwirkung auf das Wechselfeld umfasst. Es handelt sich dabei im Allgemeinen um zwei getrennte Elemente, die zusätzlich voneinander elektromagnetisch weitgehend abgeschirmt sein können, wodurch die Sensoreinheit im Wesentlichen nur das von einem Werkstück beeinflusste elektromagnetische Wechselfeld aufnimmt bzw. misst. Wie bereits oben erwähnt, ist es jedoch auch möglich, dass die Erregereinheit und die Sensoreinheit durch ein und dasselbe Element gebildet sind.

[0045] Die Sensoreinheit kann nach einem weiteren Anspruch eine Sensorspule und/oder einen Hallsensor zur Messung des Magnetfeldes umfassen, wobei die Messempfindlichkeiten entsprechend der zu messenden Materialgruppen gewählt werden.

[0046] Zur Durchführung von zuverlässigen Wirbelstrommessungen ist es von Vorteil, wenn die Erregereinheit und die Sensoreinheit mit einer beweglichen Aufhängung, insbesondere mit einer kardanischen Aufhängung an der Wirbelstrommesseinrichtung, insbesondere auch elastisch gelagert sind. Damit sind Messfehler durch undefinierte Luftspalte zwischen dem Werkstück und der Wirbelstrommesseinrichtung weitgehend vermieden, die bei einer starren Aufhängung leicht auftreten können, falls die Positionierung des Werkstücks nicht ganz exakt erfolgt oder dieses Formabweichungen aufweist.

[0047] Die Messempfindlichkeit der Wirbelstrommesseinrichtung kann weiters verbessert werden, indem die Aufhängung im Wesentlichen aus unmagnetischem Material besteht und die Messfelder im Wesentlichen nur vom Werkstück beeinflusst sind und nicht von der Wir-

belstrommesseinrichtung selbst.

[0048] Eine zweckmäßige Ausführungsform der Fertigungseinrichtung besteht darin, dass die Wirbelstrommesseinrichtung im Bereich des Maschinenrahmens, des feststehenden Balkens, einer Positioniereinrichtung oder einer Ablegestation für Werkstücke angeordnet ist. Diese Anordnung im unmittelbaren Bereich der Biegepresse bewirkt kurze Wege für den Bediener der Maschine als auch für die Werkstücke und ermöglicht weiters eine einfache Anbindung der Wirbelstrommesseinrichtung an die elektronische Steuer- und Überwachungseinrichtung, die in den meisten Fällen ebenfalls an der Biegepresse angeordnet ist.

[0049] Um mit der Fertigungseinrichtung gegebenenfalls auch einen Biegekraftverlauf messen zu können umfasst die Biegepresse eine Kraftmesseinrichtung zur Messung der von den Biegewerkzeugen auf das Werkstück ausgeübten Biegekraft und ist die Kraftmesseinrichtung mit der Steuervorrichtung kommunikationsverbunden. Dabei kann die Kraftmesseinrichtung Kraftsensoren zur direkten Messung der Biegekraft oder Drucksensoren zur indirekten Messung der Biegekraft bei einem fluidischen Pressbalkenantrieb umfassen, wobei diese Messverfahren aus dem Stand der Technik bereits bekannt sind.

[0050] Zur direkten, insbesondere automatischen Messung des Biegewinkels als Ist-Wert der Zielgröße am Werkstück umfasst die Fertigungseinrichtung, insbesondere das Biegewerkzeug der Biegepresse vorteilhaft eine mit der Steuervorrichtung verbundene Winkelmesseinrichtung, mit der der Biegewinkel im entlasteten Zustand des Werkstücks ermittelt werden kann. Die Handhabung der Werkstücke an der Fertigungseinrichtung bedeutet für das Bedienpersonal häufig eine hohe Wiederholfrequenz bei gleichzeitig hoher erforderlicher Aufmerksamkeit. Es ist deshalb insbesondere bei größeren Losgrößen wirtschaftlich vorteilhaft, wenn gemäß einem weiteren Anspruch im Bereich der Biegepresse eine mit einer Greifvorrichtung versehene Handhabungseinrichtung für die Handhabung der Werkstücke angeordnet ist. Dadurch kann einerseits anstrengende und stark repetitive Tätigkeit für das Bedienpersonal vermieden werden und andererseits die Produktqualität zuverlässig auf hohem Niveau sichergestellt werden, da Fehler aus Ermüdung und Konzentrationsfehlern vermieden werden.

[0051] Aus Gründen der Flexibilität ist die Handhabungseinrichtung vorzugsweise wie ein Industrieroboter mit einem programmierbaren Roboterarm ausgeführt, wobei ein ausgewogener Kompromiss zwischen ausreichender Stabilität zur Erzielung einer hohen Wiederholgenauigkeit, als auch einem schlanken, Platz sparenden Aufbau, damit auch kleine Werkstücke zuverlässig von der Greifvorrichtung erfasst und an das Biegewerkzeug herangeführt werden können. Die Greifvorrichtung kann dabei als Zangengreifer, der den Rand eines Werkstücks erfasst, oder als Vakuumsauger, der ein Werkstück durch ein oder mehrere Vakuumelemente an einer Fläche erfasst, ausgebildet sein.

[0052] Im Fall, dass die Fertigungseinrichtung mit einer Handhabungseinrichtung ausgestattet ist, ist es zweckmäßig, die Wirbelstrommesseinrichtung im Arbeitsraum der Handhabungseinrichtung anzuordnen, wodurch die Handhabung der Werkstücke auch bei der Durchführung der Wirbelstrommessung automatisiert ausgeführt werden kann.

[0053] Zweckmäßig kann es auch sein, die Wirbelstrommesseinrichtung an der Handhabungsvorrichtung, insbesondere im Bereich der Greifvorrichtung, anzuordnen. Dadurch kann die Wirbelstrommessung durchgeführt werden, während das Werkstück von der Greifvorrichtung gehalten wird, z.B. also während des Zuführens von einer Bereitstellungsposition zum Biegewerkzeug.

[0054] Zur Erhöhung der Messgenauigkeit der Wirbelstromfeldmesseinrichtung besteht eine vorteilhafte Weiterbildung darin, dass die Wirbelstrommesseinrichtung eine Haltevorrichtung für ein Werkstück umfasst. Durch diese Haltevorrichtung ist eine bei allen Werkstücken gleiche Positionierung im Bezug auf die Erregereinheit und Sensoreinheit sichergestellt und zufällige Messfehler, z.B. durch schwankende Luftspalte zwischen Werkstück und Wirbelstrommesseinrichtung werden vermieden.

[0055] Von Vorteil ist auch eine Ausbildung der Fertigungseinrichtung , bei der die Fertigungseinrichtung, insbesondere die Wirbelstrommesseinrichtung eine Dickenmesseinrichtung umfasst. Dadurch ist es möglich, dass auch die Dicke des Werkstücks innerhalb der Fertigungseinrichtung gemessen und zur Festlegung des Einstellparameterwertes der Biegepresse herangezogen werden kann. Insbesondere kann die Dickenmessung zeitgleich mit der Wirbelstrommessung erfolgen, wenn die Dickenmesseinrichtung baulich mit der Magnetfeldmesseinrichtung verbunden ist.

[0056] Weiters kann es vorteilhaft sein, die Wirbelstrommesseinrichtung mit einer Vereinzelungseinrichtung für zu biegende, stapelweise bereitgestellte Werkstücke zu koppeln. Insbesondere bei einer Fertigungseinrichtung, die mit einer Handhabungsvorrichtung ausgestattet ist, ist es von Vorteil die zu biegenden Werkstücke mit einer eigenen Vereinzelungseinrichtung zu vereinzeln und dadurch das unplanmäßige, gleichzeitige Zuführen von zwei oder mehr Werkstücken in die Biegepresse zu verhindern. Die Vereinzelung kann dabei beispielsweise durch eine besondere Saugkopfausbildung, pneumatisch, mit Hilfe von magnetischer Kraft, Abstreifelemente oder ähnlichem erfolgen, weiters kann die Vereinzelung durch Blaseinrichtungen oder Rütteleinrichtungen, die auf den Stapel einwirken, erleichtert werden. Zusätzlich kann die Vereinzelungseinrichtung auch mit einer Einrichtung zur Erkennung von Doppelentnahmen ausgerüstet sein. Besonders zweckmäßig ist es dabei, wenn die Bereitstellungsposition für die vereinzelten Werkstücke durch die Magnetfeldmesseinrichtung gebildet wird, da dadurch die Wirbelstrommessung während der Liegezeit vor der Zuführung in die Biegepresse hauptzeitneutral erfolgen kann.

[0057] Die Erfindung wird im nachfolgenden anhand der in den Zeichnungen dargestellten Ausführungsbeispiele näher erläutert.

[0058] Es zeigen:

Fig. 1 eine vereinfachte, schematische Darstellung des erfindungsgemäßen Verfahrens zur Festlegung eines Einstellparameterwertes;

Fig. 2 ein vereinfachtes Flussdiagramm des Verfahrens zur Festlegung eines Einstellparameterwerts mit zwei Verfahrensvarianten;

Fig. 3 eine Abwandlung des Verfahrens zur Festlegung eines Einstellparameterwerts;

Fig. 4 eine vereinfachte Ansicht einer Fertigungseinrichtung zur Durchführung des erfindungsgemäßen Vefahrens;

Fig. 5 eine Ansicht einer beim erfindungsgemäßen Verfahren und bei einer Fertigungseinrichtung benutzten Wirbelstrommesseinrichtung mit einem zu messenden Werkstück in vereinfachter, schematischer Darstellung;

Fig. 6 ein Beispiel für ein Modell eines Biegevorganges

[0059] 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.

[0060] Fig. 1 zeigt schematisch eine Fertigungseinrichtung 1, umfassend zumindest eine Biegepresse 2 und eine Steuervorrichtung 3, die mit der Biegepresse 2 leitungsgebunden oder drahtlos über Funk kommunikationsverbunden ist. Mit der Fertigungseinrichtung 1 kann ein zu biegendes Werkstück 4 durch Krafteinwirkung eines an der Biegepresse 2 angeordnetes Biegewerkzeugs 5 zu einem gebogenen Werkstück 6 verarbeitet werden. Das Werkstück 4, 6 besteht dabei aus Metallblech, das zumeist als Platine oder Zuschnitt vorliegt. Das Werkstück 4 kann aus jedem für eine Biegeumformung geeigneten Material bestehen und durch alle geeigneten Verfahren wie Laserschneiden, Messerschneiden, Scherschneiden, Beißschneiden, Stanzen, Nibbeln usw. aus Halbzeug hergestellt sein.

[0061] Zur Durchführung des Biegevorgangs werden von der Steuervorrichtung 3 mit Steuersignalen Einstellparameter, die die Durchführung des Biegevorgangs beeinflussen, an die Biegepresse 2 übertragen, wie z.B. eine Eintauchtiefe eines Biegestempels oder eine auf das Werkstück 4 ausgeübte Biegekraft. Beim so genannten Freibiegeverfahren können durch Variation eines Einstellparameterwerts die Ist-Werte einer Zielgröße am gebogenen Werkstück 6 beeinflusst werden. Eine Hauptaufgabe der Steuervorrichtung 3 ist deshalb die Festlegung eines oder mehrerer Einstellparameterwerte, um einen oder mehrere Istwerte von Zielgrößen am gebogenen Werkstück 6 möglichst nahe an vorgegebene Sollwerte anzunähern. Aus praktischen Erfahrungswerten und/oder auch aus analytischen Betrachtungen des Umformvorganges sind die Zusammenhänge zwischen der Wahl eines Einstellparameterwerts und den damit erzielbaren Istwerten einer Zielgröße mehr oder weniger bekannt. Ein wichtiger Umstand, der die Einhaltung von engen Toleranzen bei den Zielgrößen erschwert, sind die unvermeidlichen Schwankungen von Kenngrößen eines zu biegenden Werkstücks 4, die das Ergebnis eines Biegevorgangs beeinflussen können. Während sich z.B. geometrische Kenngrößen, wie z.B. Dicke oder Abmessungen eines Werkstücks 4 noch mit verhältnismäßig geringem Aufwand mit ausreichender Genauigkeit feststellen lassen, ist die Ermittlung von mechanisch-technologischen Kennwerten, wie z.B. Biegefestigkeit, Streckgrenze oder Elastizitätsmodul eines konkreten Werkstücks 4 in den meisten Anwendungsfällen viel zu aufwändig bzw. auch unmöglich.

[0062] Die der Steuervorrichtung 3 zugeführten Kenngrößen 7 eines zu biegenden Werkstücks 4 sind deshalb mehr oder weniger mit Unsicherheiten behaftet, weshalb versucht wird möglichst viele relevante Informationen über ein Werkstück 4 bei der Einstellung eines Biegevorgangs zu berücksichtigen. Beim erfindungsgemäßen Verfahren wird deshalb ein zu biegendes Werkstück 4 mit Hilfe einer Wirbelstrommesseinrichtung 8, einer Wirbelstrommessung unterzogen und als weitere Kenngröße 7 der Messwert 9 der Wirbelstrommessung der Steuervorrichtung 3 zugeführt, wobei auf die Wirbelstrommesseinrichtung 8 in Folge noch näher eingegangen wird.

[0063] Weiters wird der Steuervorrichtung 3 als Information über das gebogene Werkstück 6 ein Sollwert 10 einer Zielgröße 11 zugeführt, die durch die Wahl der Einstellungen der Biegepresse 2 beeinflussbar ist. Die Zielgröße 11 ist im Ausführungsbeispiel durch den Biegewinkel 12 am gebogenen Werkstück 6 gegeben. Da der Sollwert 10 des Biegewinkels 12 vor dem Biegevorgang nur einen gewünschten Zustand am gebogenen Werkstück 6 darstellt, ist diese in die Steuervorrichtung 3 zugeführte Information in strichlierten Linien dargestellt.

[0064] Mit Hilfe eines in der Steuervorrichtung 3 enthaltenen Modells 13 des Biegevorgangs wird, basierend auf den Kenngrößen 7 eines zu biegenden Werkstücks 4, insbesondere basierend auf dem Messwert 9 der Wirbelstrommessung, und dem Sollwert 10 der Zielgröße 11 ein Einstellparameterwert 14, beispielsweise eine

Eintauchtiefe 15 eines Biegestempels, an die Biegepresse 2 übertragen. Durch den anschließend durchgeführten Biegevorgang wird am gebogenen Werkstück 6 ein Istwert 16 der Zielgröße 11, beispielsweise des Biegewinkels 12, bewirkt, anschließend der Istwert 16 gemessen und der Steuervorrichtung 3 zugeführt. Die Messung der Zielgröße 11, bzw. deren Istwerts 16 erfolgt dabei nach einer Entlastung des Werkstücks 6, wodurch sich der elastische Anteil der Verformung abbaut und der am gebogenen Werkstück 6 verbleibende Istwert 16 gemessen werden kann. In der Steuervorrichtung 3 erfolgt anschließend eine Verknüpfung des Messwerts 9 der Wirbelstrommessung, des unmittelbar vor der Entlastung des gebogenen Werkstücks 6 wirksamen Einstellparameterwerts 14 sowie des Istwerts 16 der Zielgröße 11 am gebogenen Werkstück 6, im Ausführungsbeispiel also eine Verknüpfung von Messwert 9 der Wirbelstrommessung, der Eintauchtiefe 15 des Biegestempels sowie des Istwerts 16 des Biegewinkels 12. Die Verknüpfung kann dabei beispielsweise in der Zusammenführung dieser Werte zu einem Datensatz bestehen, der einen Zusammenhang zwischen diesen drei Werten abbildet und als Information über das Umformverhalten des Werkstücks 4, 6 herangezogen werden kann.

[0065] In Fig. 2 ist der Ablauf des erfindungsgemäßen Verfahrens noch genauer in Form eines Flussdiagramms dargestellt. Der Steuervorrichtung 3 - als Block mit strichlierten Linien dargestellt - werden vor Beginn eines Biegevorganges Kenngrößen 7 des zu biegenden Werkstücks 4 sowie eine oder mehrere Sollwerte 10 einer Zielgröße 11, beispielsweise des Biegewinkels 12 zugeführt. Die Steuervorrichtung 3 umfasst eine Maschinensteuerung mit der üblicherweise enthaltenen Hardware und Software, also Bestandteile wie Recheneinheit, Speichereinheit, Schnittstellen zur Dateneingabe/-ausgabe und wird an dieser Stelle nicht näher erläutert. Zusätzlich umfasst die Steuervorrichtung 3 das Modell 13 des mit der Biegepresse 3 ausführbaren Umformvorgangs in Form von Software und Daten. Das Modell 13 ist in Fig. 3 als Funktionsschaubild dargestellt, wodurch der Zusammenhang zwischen dem festgelegten Einstellparameterwert 14, z.B. der Eintauchtiefe 15 des Biegewerkzeugs 5 der Biegepresse 2 und deren Auswirkung auf den Ist-Wert 16 der Zielgröße 11, z.B. des Biegewinkels 12 verdeutlicht wird.

[0066] Die Kenngrößen 7 des zu biegenden Werkstücks 4 liefern in ihrer Gesamtheit die Information über das Umformverhalten des Werkstücks 4, das sich nicht anhand eines einfachen Wertes beschreiben lässt. Als Kenngrößen 7 sind dabei den Biegevorgang direkt oder indirekt beeinflussende Merkmale wie Dicke, Streckgrenze, Proportionalitätsgrenze, E-Modul, Walzrichtung, Gleichmaßdehnung, Verfestigungsexponent usw. sowie die Ergebnisse der Wirbelstrommessung verwendbar.

[0067] Eine erste Kenngröße 7a ist beispielsweise durch einen Nennwert 17 einer mechanisch-technologischen Kenngröße 7 vorgegeben. So ist etwa aus Lieferantenangaben eine Streckgrenze von 400 N/mm^2 für das Werkstück 4 bekannt. Aufgrund der produktionstechnologischen Schwankungen ist eine derartige Information jedoch immer mit einer Unschärfe behaftet, da der Aufwand für die exakte Ermittlung bei jedem Werkstück viel zu hoch wäre, und deshalb immer von einem Nennwert 17 mit einer wahrscheinlichen Schwankungsbreite auszugehen ist. Die Nennwerte sind zumeist auf eine Fertigungscharge, also dementsprechend viele Werkstücke 4 bezogen Eine Streckgrenze an einem konkreten Werkstück 4, die jedoch um etwa 5 % vom Nennwert 17 abweicht ist jedoch nicht selten, also beispielsweise 380 N/mm^2 oder 420 N/mm^2 beträgt ergibt bei einem Biegevorgang jedoch auch schwankende Istwerte 16 der Zielgröße 11, die bei hohen Genauigkeitsanforderungen bezüglich der zulässigen Abweichung des Istwerts 16 der Zielgröße 11 vom Sollwert 10 oft nicht zulässig sind.

[0068] Wo es technisch praktikabel und wirtschaftlich vertretbar ist, werden deshalb auch ein oder mehrere Kennwerte 7b von zu biegenden Werkstücken 4 bei der Festlegung des Einstellparameterwerts 14 benutzt, die durch eine Messung am zu biegenden Werkstück 4 ermittelt werden, also ein oder mehrere Messwerte 18 einer Kenngröße 7. Wie in Fig. 2 angedeutet wird eine Dicke 19 des Werkstücks 4 mit Hilfe einer Dickenmesseinrichtung 20 gemessen. Die Dickenmesseinrichtung 20 kann dabei Messmittel oder Messanordnungen mit mechanischem, elektrischem, magnetischem oder optischem Messprinzip wie z.B. Laser umfassen, sowie Kombinationen daraus und die Dicke 19 des Werkstücks 4 berührend oder berührungslos messen und der Steuervorrichtung 3 zugeführt werden.

[0069] Eine weitere Kenngröße 7c, die der Steuervorrichtung 3 zugeführt wird, ist durch einen Messwert 9 einer am zu biegenden Werkstück 4 durchgeführten Wirbelstrommessung gebildet. Dazu wird das Werkstück 4 an einer Wirbelstrommesseinrichtung 8 einem elektromagnetischen Wechselfeld ausgesetzt und die Rückwirkung des Werkstücks 4 auf das Wechselfeld gemessen. Die Wirbelstrommesseinrichtung 8 umfasst eine Erregereinheit 21 mit einer während der Messung von Wechselstrom durchflossenen Erregerspule sowie eine Sensoreinheit 22 mit einer Sensorspule, die dem Wechselfeld ausgesetzt ist und ist mit einer elektronischen Auswerteeinrichtung zur Messung zumindest der in der Sensorspule auftretenden Ströme nach Amplitude und Phasenlage bzw. Phasenwinkel und Aufbereitung der Messsignale zu weiterverarbeitbaren Messwerten 9 verbunden, die direkt in der Wirbelstrommesseinrichtung 8 angeordnet, aber auch anderen Baugruppen der Fertigungseinrichtung 1 zugeordnet sein kann. Alternativ zu einer Sensorspule kann auch ein Hallsensor zur Messung des vom Wirbelstrom bewirkten bzw. vom Werkstück 4 beeinflussten Magnetfeldes vorgesehen sein. Die Aufbereitung kann dabei insbesondere in einer Verstärkung der Messsignale bestehen. Als Ergebnis der Wirbelstrommessung wird im Ausführungsbeispiel die Änderung der Impedanz der Sensorspule anhand der Veränderung von Amplitude und Phasenlage des Wech-

selstroms in der Sensorspule durch die Rückwirkung des Werkstücks 4 gegenüber einem Ausgangszustand des elektromagnetischen Wechselfelds ohne Werkstück 4 herangezogen.

[0070] Bei der Wirbelstrommessung wird von der Erregereinheit 21 das elektromagnetische Wechselfeld mit mehreren, vorzugsweise dreißig verschiedenen Frequenzen nacheinander angeregt und für jede Erregerfrequenz die entsprechende Rückwirkung des Werkstücks 4 auf das elektromagnetische Wechselfeld mit der Sensoreinheit 22 gemessen. Durch die Frequenzabhängigkeit der elektromagnetischen Eigenschaften erzielt man für jede Materialart sowie dessen Gefügezustand eine typische frequenzabhängige elektromagnetische Rückwirkung, anhand der, basierend auf zuvor durchgeführten Wirbelstrommessungen und gemessenen Istwerten 16 der Zielgröße 11, z.B. einem erreichten Biegewinkel 12, ein Einstellparameterwert 14 für den Biegevorgang des Werkstückes 4 festgelegt werden kann.

[0071] Die Durchführung einer Wirbelstrommessung setzt voraus, dass das Werkstück 4 das Magnetfeld aufgrund seiner Materialeigenschaften, insbesondere seine elektrische Leitfähigkeit und seine magnetische Permeabilität beeinflussen kann, weshalb die Anwendung des Verfahrens insbesondere für elektrisch leitfähige Werkstücke 4 geeignet ist. Die Anwendung des Verfahrens ist nicht auf Metalle oder Verbunde aus Metallen und Nichtmetallen, beschränkt, da auch andere Materialien, wie z.B. Kunststoffe wenn auch geringe, aber wirksame und damit messbare Veränderungen des gemessenen Magnetfelds bewirken können.

[0072] Die Messergebnisse der Wirbelstrommesseinrichtung 8 und der Dickenmesseinrichtung 20 werden an die elektronische Steuervorrichtung 3 der Biegepresse 2 übergeben, mit der insbesondere die Werkzeugbewegungen beim Biegevorgang und/oder die vom Biegewerkzeug 5 auf das Werkstück 4 ausgeübte Biegekraft gesteuert und überwacht werden. Weiters kann die Steuervorrichtung 3 dazu verwendet werden, die Bombierung eines Unterwerkzeugs zum Ausgleich der Durchbiegung des oberen, beweglichen Pressbalkens zu steuern. Die Steuervorrichtung 3 umfasst, wie bereits erwähnt eine oder mehrere Recheneinheiten, Speichereinheiten, Ein- und Ausgabeeinheiten mit Schnittstellen zur Signalein- und Signalausgabe, wie sie üblicherweise für die Steuerung und Überwachung von Fertigungsanlagen, insbesondere Biegepressen 2 eingesetzt werden.

[0073] Die Steuervorrichtung 3 und das Modell 13 des Biegevorgangs können dabei in einem gemeinsamen Gehäuse angeordnet sein, jedoch auch räumlich entfernt und datentechnisch verbunden, z.B. wenn das Modell 13 in einer gesonderten Steuerung der Wirbelstrommesseinrichtung 8 enthalten ist.

[0074] Die Zielgröße 11, die bei diesem Verfahren verwendet wird, ist der nach einem Biegevorgang erzielte Biegewinkel 12 an einem gebogenen Werkstück 6. Beim Biegevorgang wird das Werkstück 4 in der Biegepresse 2 mittels eines Stempels 23 in eine Matrize 24 mit einem V-Gesenk 25 gedrückt. Der Grad der Umformung und damit auch des erzielten Biegewinkels 12 ist bei vorgegebenen Werkstückeigenschaften und Werkzeuggeometrie in erster Linie von der Eintauchtiefe 15 des Stempels 23 in die Matrize 24 abhängig. Als Einstellparameterwert 14, der den erzielten Biegewinkel 12 beeinflusst und bestimmt, ist in diesem Ausführungsbeispiel eine bestimmte Eintauchtiefe 15, also der Umformweg zwischen dem ersten Berührpunkt 26 zwischen Stempel 23 und Werkstück 4 und dem unteren Totpunkt 27 gewählt. Alternativ dazu kann als Einstellparameterwert 14 auch die vom Stempel 23 auf das Werkstück 4, 6 aufgebrachte Biegekraft am Ende der Verformung verwendet werden, da diese ebenso wie die Eintauchtiefe 15 direkt den nach Durchführung des Biegevorgangs erzielten Biegewinkel 12 beeinflusst, da der Stempel 23 bei höherer Biegekraft weiter in das Gesenk 24 eindringt und das Werkstück 4, 6 dementsprechend stärker verformt wird.

[0075] Die Festlegung des Einstellparameterwerts 14 - in diesem Fall der Eintauchtiefe 15, die die Erzielung eines bestimmten Biegwinkels 12 bewirkt, erfolgt erfindungsgemäß folgendermaßen:

> Das Ergebnis der Wirbelstrommessung an einem Werkstück 4 wird von der Steuervorrichtung 3 aus der Wirbelstrommesseinrichtung 8 übernommen und anhand des im Speicher abgebildeten Modells 13 zwischen Ergebnissen aus zuvor an anderen Werkstücken 4 durchgeführten Wirbelstrommessungen und bei jeweils bekannten Einstellparameterwerten 14 - in diesem Fall Eintauchtiefen 15 - erzielten Istwerten 16 der Zielgröße 11, in diesem Fall Biegewinkeln 12 ein Einstellparameterwert 14 zur Erreichung des angestrebten Sollwertes 10 der Zielgröße 11, im Beispiel des Biegewinkels 12 des zu biegenden Werkstücks 4 bestimmt. Aufgrund der an sich bekannten Korrelation zwischen elektromagnetischen Eigenschaften und mechanisch-technologischen Eigenschaften wie z.B. E-Modul und Streckgrenze bzw. Dehngrenze von metallischen Werkstoffen besteht auch eine Korrelation zwischen den Messwerten 9 der Wirbelstrommessungen, dem verwendeten Einstellparameterwert 14 und dem erzielbaren Biegewinkel 12.

[0076] Sinngemäß kann das Ergebnis der Wirbelstrommessung dazu verwendet werden, die Biegekraft oder einen Durchbiegungsausgleich an der Biegepresse 2 als Einstellparameterwert 14 festzulegen.

[0077] Zur Verbesserung der Biegegenauigkeit wird nach Durchführung eines Biegevorgangs, entweder nach vollständigem Abschluss oder bei einer Zwischenentlastung, am gebogenen Werkstück 6 der Istwert 16 der Zielgröße 11, im Beispiel des Biegewinkels 12 gemessen, ebenfalls der Steuervorrichtung 3 zugeführt und in dieser mit dem Messwert 9 der Wirbelstrommessung sowie dem unmittelbar vor der Entlastung des gebogenen Werkstücks 6 an der Biegepresse 2 wirksamen Ein-

stellparameterwert 14 verknüpft.

[0078] Diese Rückführung des Ergebnisses des Biegevorgangs kann nun dazu benutzt werden, im Fall einer Zwischenentlastung für den restlichen Biegevorgang den Einstellparameterwert 14 mit der nunmehr zusätzlichen Information über das Umformverhalten des Werkstücks 4, 6 neu festzulegen, insbesondere wenn der Istwert 16 der Zielgröße 11 von dem aufgrund der ursprünglichen Kenngrößen erwarteten Istwert nennenswert abweicht.

[0079] Neben dieser Rückführung zum Zwecke einer allfälligen Neufestlegung des Einstellparameterwerts 14, kann die Verknüpfung auch darin bestehen, dass das Modell 13 des Umformvorgangs anhand des Istwerts 16, des unmittelbar vor der Entlastung wirksamen Einstellparameterwerts 14 sowie des Messwerts 9 der Wirbelstrommessung zu adaptieren, indem diese Werte dem aus früheren Biegevorgängen oder einem angenommenen Zusammenhang zwischen diesen Werten hinzugefügt werden. Diese Werte können als Datenpunkte verwendet werden, die bisher zwischen ihnen verwendeten Korrelationen und Abhängigkeiten zu analysieren und zu korrigieren.

[0080] Die Biegegenauigkeit nimmt durch diese Rückführung des Biegeergebnisses mit der Wirkung eines Regelvorgangs enorm zu und das Modell 13 des Biegevorgangs wird dadurch ständig verbessert.

[0081] Nach einer ausreichenden Anzahl von Biegevorgängen mit dem beschriebenen Verfahren ist das Modell 13, also der Zusammenhang zwischen Messwerten 9 der Wirbelstrommessungen, Einstellparametern 14 und Istwerten 16 des Biegevorgangs so ausgereift, dass auf die Messung der Istwerte 16 verzichtet werden kann und die Biegevorgänge noch wirtschaftlicher durchgeführt werden können. Ein Nachbiegen zur Korrektur des Biegewinkels 12 ist in diesem Stadium im Allgemeinen nicht mehr erforderlich.

[0082] Das Modell 13 mit dem Zusammenhang zwischen Messwerten 9 der Wirbelstrommessungen und den Istwerten 16 der Zielgröße 11 an den Werkstücken 4, 6 - in diesem Fall den Biegewinkeln 12 - kann auf verschiedene Arten in der Steuervorrichtung 3 enthalten sein.

[0083] Die Messergebnisse von zuvor, z.B. in einer Test- oder Trainingsphase an Probewerkstücken durchgeführten Biegevorgängen werden zusammen mit den jeweiligen Einstellparameterwerten in Datensätzen abgespeichert, aus denen mittels Regressionsrechnung und/oder Korrelationsrechnung das Modell 13 ermittelt wird und zur Festlegung des Einstellparameterwerts 14 verwendet wird.

[0084] Eine andere Möglichkeit das Modell 13 aufzubauen, besteht darin, nach Biegevorgängen an Werkstücken 4, 6 Messwerte 9 der Wirbelstrommessungen, die verwendeten Einstellparameterwerte und die gemessenen, tatsächlich erreichten Istwerte 16 der Zielgröße 11, d.h. des Biegewinkels 12 an ein selbstlernendes neuronales Netz zu übergeben, das unter Verwendung eines Back-Propagation-Prozesses so trainiert wird, dass aus Messwerten 9 einer Wirbelstrommessung die Festlegung des Einstellparameterwertes 14 durch die elektronische Steuer- und Überwachungseinrichtung 3 erfolgen kann.

[0085] Eine Abwandlung des bisher beschriebenen Verfahrens zur Festlegung eines Einstellparameterwerts 14 besteht darin, während des Biegevorgangs einen Biegekraftverlauf 28 - in Fig. 2 in strichlierten Linien dargestellt - zu erfassen, wodurch ebenfalls eine Information über das Umformverhalten des Werkstücks 4, 6 erhalten werden kann. Die Maßnahme, die Biegewinkelgenauigkeit dadurch weiter zu erhöhen, besteht darin, während des Biegevorgangs den Verlauf der Biegekraft in Abhängigkeit von der Werkstückverformung zu erfassen und daraus einen Rechenwert einer mechanischen Kenngröße 7 des Werkstücks 4, 6 , insbesondere die Streck- bzw. Dehngrenze des Werkstücks 4, 6 zu errechnen und in Folge bei der Festlegung des Einstellparameterwerts 14 mitzuberücksichtigen. Die Biegekraft kann z.B. durch Kraftmessdosen, Dehnmessstreifen, Piezosensoren im Pressbalkenantrieb direkt gemessen oder über einen Hydraulikdruck des Pressbalkenantriebs oder auch die Leistungsaufnahme eines elektrischen Pressbalkenantriebs errechnet werden; die Werkstückverformung durch ein Wegmessgerät, das die Verschiebung des beweglichen Pressbalkens gegenüber dem Maschinenrahmen misst. Diese direkt aus dem zu biegenden Werkstück 4, 6 erhaltene Information über das Umformverhalten kann für die Festlegung des Einstellparameterwerts 14 herangezogen werden. Diese messtechnisch ermittelte Streck- bzw. Dehngrenze ist vielfach aussagekräftiger, als die vom Lieferanten des Materials bekannt gegebenen Nennwerte 17 der Festigkeit, und die Festlegung des Einstellparameterwerts 14 deshalb mit höherer Genauigkeit möglich. Diese Maßnahme kann dabei erfindungsgemäß alternativ zur Rückführung des Ist-werts 16 der Zielgröße 11 verwendet werden, jedoch auch zusätzlich eingesetzt werden.

[0086] Zusätzlich kann diese direkt aus dem Biegevorgang gewonnene Information benutzt werden, den Zusammenhang zwischen Messwerten 9 von Wirbelstrommessungen und der Zielgröße 11 zu modifizieren, d.h. das Verfahren kann durch Auswertung der einzelnen Biegevorgänge selbstlernend ausgebildet werden. Dazu wird der tatsächlich erzielte Biegewinkel 12 nach dem Biegevorgang gemessen, was durch eine geeignete, im Biegewerkzeug 5 eingebaute Winkelmessvorrichtung sogar automatisiert erfolgen kann, und gemeinsam mit den Messwerten 9 aus der Wirbelstrommessung und den sonstigen, anhand der Kenngrößen ermittelten Maschineneinstellungen dem bisher benutzten Modell 13 zwischen Messwerten 9 der Wirbelstrommessung, Einstellparameterwert 14 und Istwerten 16 der Zielgröße 11 - des Biegewinkels 11 - hinzugefügt.

[0087] In Fig. 3 ist ein weiteres Verfahren zur Festlegung eines Einstellparameterwerts 14 dargestellt, das gegenüber den bisher beschriebenen Verfahren eine al-

ternative Verwendung der Messwerte 9 der Wirbelstrommessung benutzt. Hierbei werden diese dazu verwendet, einen Schätzwert 29 für eine mechanische Kenngröße 7, insbesondere die Streckgrenze bzw. Dehngrenze zu bestimmen und diesen bei der Festlegung des Eingangsparameterwerts 14 für die Steuervorrichtung 3 einzusetzen. Mittels eines in der Steuervorrichtung 3 enthaltenen Berechnungsalgorithmus wird dann der Einstellparameterwert 14 - in diesem Fall die Eintauchtiefe 15 - festgelegt. Der zur Bestimmung des Schätzwertes 29 benutzte Zusammenhang zwischen Messwerten 9 der Wirbelstrommessung und der mechanischen Kenngröße 7, insbesondere der Streckgrenze bzw. der Dehngrenze ist durch ein Werkstoffmodell 30 definiert. Dieses kann wie das Modell 13 des Biegevorgangs an Probewerkstücken ermittelt werden oder auf analytischen Betrachtungen basieren. Die tatsächliche Streck- bzw. Dehngrenze wird dabei etwa durch zerstörende Zugprüfung festgestellt. Der ermittelte Schätzwert 29 wird in Folge mit einem Nennwert 17 einer Werkstückkenngröße 7 verknüpft, insbesondere aus beiden ein gewichteter Mittelwert als Kenngröße 7d gebildet und der Steuervorrichtung 3 zugeführt oder von dieser selbst errechnet.

[0088] In Fig. 4 ist eine Fertigungseinrichtung 1 für das winkelgenaue Biegen von Werkstücken, insbesondere nach dem zuvor beschriebenen Verfahren dargestellt. Diese umfasst eine Biegepresse 2, insbesondere in Form einer Abkantpresse zum Freibiegen von Werkstücken 4, 6 zwischen einem Stempel 23 und einer Matrize 24 mit einem V-Gesenk 25. Die Biegepresse 2 besteht im wesentlichen aus einem Maschinenrahmen 31, einem am Maschinenrahmen 31 horizontal angeordneten, die Matrize 24 tragenden, feststehenden Pressbalken 32, einem horizontal angeordneten, den Stempel 23 tragenden, beweglichen Pressbalken 33, der mittels zumindest einer Verstelleinrichtung, beispielsweise einem fluidischen Pressbalkenantrieb 34, gegenüber dem Maschinenrahmen 31 und in Richtung des feststehenden Pressbalkens 32 verstellbar ist, sowie einer elektronischen Steuervorrichtung 3. Die Verstelleinrichtung 34 umfasst eine Führungsanordnung, mittels derer der bewegliche Pressbalken 33 am Maschinenrahmen 31 geführt ist und einen Verstellantrieb, der bevorzugt als hydraulischer Antrieb ausgebildet ist, z.B. jedoch auch als elektrisch angetriebener Hubspindelantrieb ausgeführt sein kann. Weiters umfasst die Verstelleinrichtung 34 eine Wegmesseinrichtung 35, mit der die Position des beweglichen Pressbalkens 33 im Bezug auf den Maschinenrahmen 31 respektive den feststehenden Pressbalken 32 gemessen und an die Steuervorrichtung 3 übertragen werden kann.

[0089] Zur lagegenauen Ausrichtung der Werkstücke 4 in der Biegepresse 2 ist im Bereich des feststehenden Pressbalkens 32 eine Positioniereinrichtung 36 angeordnet, die von der Steuervorrichtung 3 numerisch gesteuerte Anschläge für die zu biegenden Werkstücke 4 aufweist, damit diese beim Einlegen die richtige Position in Bezug auf Stempel 23 und Matrize 24 einnehmen. Die Positioniereinrichtung 36 ist vorzugsweise als Hinteranschlag, auf der vom Bediener der Biegepresse 2 abgewandten Rückseite der Pressbalken 32, 33 angeordnet.

[0090] Die Fertigungseinrichtung 1 umfasst weiters eine Handhabungseinrichtung 37 z.B. in Form eines programmierbaren Roboterarms, wobei deren Bewegungsraum so bemessen ist, dass sie mittels einer Greifvorrichtung 38 Werkstücke 4 einzeln von einer Bereitstellungsposition 39 erfassen, der Biegepresse 2 zuführen, die zu biegenden Werkstücke 4 während der Biegevorgänge führen sowie nach dem Biegevorgang gebogene Werkstücke 6 der Biegepresse 2 entnehmen und an eine nicht dargestellte Ablageposition bewegen kann. Die Greifvorrichtung 38 bringt die dazu erforderliche Haltekraft auf die Werkstücke 4, 6 im Ausführungsbeispiel durch Vakuumsauger auf, es sind jedoch auch Greifzangen einsetzbar, wobei die Wahl beeinflusst wird von der Lage der Biegekanten am Werkstück 4, sowie die Oberfläche der Werkstücke 4.

[0091] Weiters umfasst die Fertigungseinrichtung 1 zumindest eine mit der Steuervorrichtung 3 verbundene Wirbelstrommesseinrichtung 8, an der jeweils ein zu biegendes Werkstück 4 vor dem Biegevorgang oder zumindest vor Beendigung des Biegevorganges vermessen wird, um basierend auf dem Messwert 9 der Wirbelstrommessung einen Einstellparameterwert 14 der Biegepresse 2 festzulegen. Zur Festlegung des Einstellparameterwerts 14 wird ein zu einem früheren Zeitpunkt hergestellter, in einem Modell 13 des Biegevorganges enthaltener Zusammenhang zwischen Messwerten 9 von an Werkstücken 4 durchgeführten Wirbelstrommessungen, an diesen Werkstücken 4 jeweils gemessenen Istwerten 16 einer Zielgröße 11 und dabei verwendeten Einstellparameterwerten 14 benutzt.

[0092] Die Wirbelstrommessung (siehe auch Fig. 5) besteht, wie oben bereits beschrieben, darin, die elektromagnetische Rückwirkung des Werkstücks 4 auf ein definiertes elektromagnetisches Wechselfeld zu erfassen. Ein Werkstück 4 wird dabei von einem von einer Erregereinheit 21 der Wirbelstrommesseinrichtung 8 erzeugten elektromagnetischen Wechselfeld durchsetzt, welches durch das Werkstück 4 beeinflusst wird, z.B. bei einem ferromagnetischen Werkstück 4 durch die im Werkstück induzierten Wirbelströme, die selbst ein elektromagnetisches Wechselfeld bewirken, das sich dem Erreger-Wechselfeld überlagert. Mit Hilfe einer Sensoreinheit 22 kann diese Wirkung des Werkstücks 4 auf das Wechselfeld gemessen werden. Die Erregereinheit 21 und die Sensoreinheit 22 umfassen vorzugsweise Spulenelemente, mit denen die erforderlichen magnetischen Feldstärken zur Erregung bzw. Messempfindlichkeiten einfach realisiert werden. Als Messgröße bzw. Messwert 9 der Wirbelstrommessung wird vorzugsweise die in einem Spulenelement der Sensoreinheit 22 auftretende Stromstärke und der Phasenwinkel im Spulenelement gegenüber dem Phasenwinkel des Erregerfelds verwendet, also eine Rückwirkung durch eine elektromagnetische Impedanz des Werkstücks 4.

[0093] Abweichend von der zuvor beschriebenen Ausführung ist es beispielsweise auch möglich, die Sensoreinheit 22 mit einem Hallsensor auszustatten, mit dem das resultierende Wechselfeld gemessen wird.

[0094] Da die elektromagnetischen Wirkungen in einem Werkstück 4 und damit auch Messwerte 9 der Wirbelstrommessung eine starke Abhängigkeit von der Frequenz des Erregerfelds zeigen, wird die Wirbelstrommessung bei mehreren, beispielsweise bei dreißig verschiedenen Erregerfrequenzen des elektromagnetischen Wechselfelds durchgeführt, um einen aussagekräftigen Zusammenhang zwischen Messwerten 9 der Wirbelstrommessungen und der (den) Zielgröße (n) 11 der Werkstücke 4 zu erhalten sowie evtl. einen weiteren Zusammenhang zwischen Messwerten 9 der Wirbelstrommessung und mechanischen Kenngrößen 7 der Werkstücke 4 bestimmen zu können.

[0095] Zur Herstellung des Zusammenhangs mittels der Magnetfeldmesseinrichtung 8, der Steuervorrichtung 3, sowie die Festlegung des Einstellparameterwerts 14 der Biegepresse 2, insbesondere der Eintauchtiefe 15 am Werkstück 4 bzw. des unteren Totpunkts 27 der Bewegung des Stempels 23 bzw. die vom Stempel 23 auf das Werkstück 4 zu übertragende Biegekraft sei an dieser Stelle an die obige Beschreibung des Verfahrens verwiesen.

[0096] Eine elektronische Auswerteeinrichtung zur Aufbereitung der Messergebnisse der Wirbelstrommessung kann in der Wirbelstrommesseinrichtung 8 selbst enthalten, aber auch in der Steuervorrichtung 3 ausgebildet sein, die mit der Magnetfeldmesseinrichtung 8 über Schnittstellen 40 verbunden ist. Die Übertragung der Messwerte 9 bzw. der aufbereitenden Messergebnisse von der Wirbelstrommesseinrichtung 8 zur Steuervorrichtung 3 kann dabei zwischen den Schnittstellen 40 leitungsgebunden, aber auch drahtlos über eine Sende- und Empfangseinrichtung mit einer Übertragungstechnologie wie z.B. Bluetooth, Wireless-LAN, Infrarot oder ähnlichem erfolgen.

[0097] Fig. 5 zeigt eine Ansicht einer beim erfindungsgemäßen Verfahren und bei einer Fertigungseinrichtung 1 benutzten Wirbelstrommesseinrichtung 8.

[0098] Das Werkstück 4 liegt beim dargestellten Ausführungsbeispiel auf der Oberseite der Wirbelstrommesseinrichtung 8 und direkt oberhalb der darin enthaltenen Erregereinheit 21 bzw. der Sensoreinheit 22. Damit die zu messenden Werkstücke 4 bei der Messung immer flächig auf der Wirbelstrommesseinrichtung 8 aufliegen und zufällige Messfehler durch schwankende Abstände zur Erregereinheit 21 und der Sensoreinheit 22 vermieden werden, weist die Wirbelstrommesseinrichtung 8 zumindest eine Haltevorrichtung 41 zur Fixierung der Werkstücke 4 auf. Diese kann z.B. durch Vakuumsaugelemente 42 und/oder Magnete 43 gebildet sein, die den gleichmäßigen und zuverlässigen Kontakt zwischen Wirbelstrommesseinrichtung 8 und Werkstück 4 sicherstellen. Die Erregereinheit 21 und die Sensoreinheit 22 können dazu insbesondere an elastisch nachgiebigen oder kardanisch beweglichen Aufhängungen an der Wirbelstrommesseinrichtung 8 gelagert sein, wodurch auch bei dicken Blechplatinen als Werkstück 4 eine gute Anlage erreicht werden kann.

[0099] Im beschriebenen Ausführungsbeispiel ist die Dickenmesseinrichtung 20 an der Wirbelstrommesseinrichtung 8 angeordnet, wodurch die beiden Messungen gleichzeitig ausführbar sind, es kann die Dickenmesseinrichtung 20 jedoch auch an anderer Position innerhalb der Fertigungseinrichtung 1, insbesondere im Bewegungsraum der Handhabungseinrichtung 37 angeordnet sein.

[0100] Fig. 5 ist weiters entnehmbar, dass die Messergebnisse der Wirbelstrommessung von der Schnittstelle 40 leitungsgebunden, aber auch zusätzlich oder alternativ über ein Sende- und Empfangseinrichtung 44 an die Schnittstelle 40 an der Steuervorrichtung 3 übertragen werden können. Die Sende- und Empfangseinrichtung 44 kann dabei die bereits oben erwähnten drahtlosen Übertragungstechnologien Bluetooth, Wireless-LAN, Infrarot oder ähnliches verwenden.

[0101] Die Wirbelstrommesseinrichtung 8 kann, wie in Fig. 4 dargestellt, die Bereitstellungsposition 39 bilden, an der Werkstücke 4 für den Bediener oder eine Handhabungseinrichtung 37 bereitgestellt werden. Damit jeweils nur ein Werkstück 4 in die Biegepresse 2 eingebracht wird, ist es von Vorteil, eine Vereinzelung der Werkstücke 4 durchzuführen. Dies wird durch eine Vereinzelungseinrichtung 45 durchgeführt, die von einem Stapel jeweils ein Werkstück 4 entnimmt und an die Bereitstellungsposition 39 übergibt. Zur Überwachung des Vereinzelungsvorganges kann die Vereinzelungseinrichtung 45 eine Einrichtung zur Erkennung von Doppelentnahmen umfassen, z.B. in Form einer Dickenmessung für das vereinzelte Werkstück oder eine Einrichtung zum Messen der Höhe des Stapels oder bzw. deren Veränderung nach Entnahme eines Werkstücks 4.

[0102] Fig. 6 zeigt ein Beispiel für ein Modell 13 bzw. dessen Verwendung zur Festlegung eines Einstellparameterwerts 14 einer Biegepresse 2 in Form eines in einem karthesischen Koordinatensystem dargestellten Zusammenhangs. Auf der horizontalen Abszisse ist dabei der variierbare Einstellparameter 11, z.B. die Eintauchtiefe 15 des Stempels 23 aufgetragen, während auf der vertikalen Ordinate die Zielgröße 11 z.B. der Biegewinkel 12 aufgetragen wird. Anhand einer Nenn-Umformkennlinie 46, die sich aufgrund der vor dem Biegevorgang vorliegenden Kenngrößen 7 eines Werkstücks bestimmt, ist zum Erreichen einer vorgegebenen Zielgröße 11 ein Nenn-Einstellparameterwert 47 erforderlich. Der Biegevorgang wird jedoch nicht mit diesem Nenn-Einstellparameterwert 47 durchgeführt, sondern mit einem Mess-Einstellparameterwert 48, bei dem die Zielgröße 11 noch einen deutlichen Abstand vom Sollwert 10 besitzt. Mit diesem Mess-Einstellparameterwert 48 würde sich anhand der angenommenen Nenn-Umformkennlinie 46 ein Nenn-Istwert 49 der Zielgröße 11 ergeben. Wenn die Messung des Istwerts jedoch einen

davon abweichenden Mess-Istwert 50 der Zielgröße ergibt, wird daraus geschlossen, dass die Nenn-Umformkennlinie 46 die tatsächliche Umformbarkeit des Werkstücks 4 nur unzureichend beschreibt, und mit dem Nenn-Einstellparameterwert 47 der Sollwert 10 am Ende des Biegevorgangs verfehlt werden wird.

[0103] Um den Einstellparameterwert 14 für den restlichen Biegevorgang so festzulegen bzw. zu korrigieren, dass der Sollwert 10 der Zielgröße 11 möglichst gut angenähert wird, wird nun anhand des mit dem Mess-Einstellparameterwert 48 erzielten Mess-Istwert 50 eine korrigierte Ist-Umformkennlinie 51 festgelegt mit Hilfe derer der korrigierte Einstellparameterwert 14 bestimmt wird. Diese Abweichung der tatsächlich ermittelten Umformbarkeit von der ursprünglich erwarteten Umformbarkeit des Werkstücks kann vereinfacht als Parallelverschiebung der Nenn-Umformkennlinie 46 durch den aus Mess-Einstellparameterwert 48 und Mess-Istwert 50 bestimmten Datenpunkt angenommen werden, woraus die Ist-Umformkennlinie 51 entsteht.

[0104] Neben der hier beschriebenen Korrektur des Einstellparameterwerts 14 nach einem - teilweise - durchgeführten Biegevorgang kann die in Form des aus Mess-Einstellparameterwert 48 und Mess-Istwert 50 bestimmten Datenpunkts tatsächlich ermittelte Ist-Umformbarkeit des Werkstücks 4 dem bisher verwendeten Modell des Biegevorgangs hinzugefügt werden und beispielsweise nach einer neuerlichen Berechnung der Nenn-Umformkennlinie 46 für nachfolgende Biegevorgänge Berücksichtigung finden und das Modell 13 dadurch verbessert und adaptiert werden.

[0105] Der Ordnung halber sei abschließend darauf hingewiesen, dass zum besseren Verständnis die Maßnahmen des Verfahrens zur Festlegung eines Einstellwertes einer Biegepresse für einen Biegevorgang an einem elektrisch leitfähigen Werkstück bzw. die Bestandteile einer Fertigungseinrichtung für das Biegen von leitfähigen Werkstücken vereinfacht, teilweise unmaßstäblich und/oder vergrößert und/oder verkleinert dargestellt wurden.

Bezugszeichenaufstellung

[0106]

1 Werkstück
2 Blechplatine
3 Dicke
4 Dickenmesseinrichtung
5 Magnetfeldmesseinrichtung

6 Erregereinheit
7 Sensoreinheit
8 Steuervorrichtung
9 Steuerung
10 Zusammenhang

11 Biegewinkel
12 Stempel
13 Matrize
14 V-Gesenk
15 Umformweg

16 Berührungspunkt
17 Totpunkt
18 Fertigungseinrichtung
19 Biegepresse
20 Maschinenrahmen

21 Pressbalken
22 Pressbalken
23 Verstelleinrichtung
24 Wegmesseinrichtung
25 Positioniereinrichtung

26 Handhabungseinrichtung
27 Greifvorrichtung
28 Bereitstellungsposition
29 Schnittstelle
30 Haltevorrichtung

31 Vakuumsaugelement
32 Magnet
33 Sende- und Empfangseinrichtung
34 Vereinzelungseinrichtung

Patentansprüche

1. Verfahren zur Festlegung eines Einstellparameterwerts (14) einer Biegepresse (2), bei dem einer Steuervorrichtung (3) der Biegepresse (2) Kenngrößen (7) eines in einem Biegevorgang zu biegenden Werkstücks (4) zugeführt werden, und der Steuervorrichtung (3) ein Sollwert (10) für eine Zielgröße (11) am gebogenen Werkstück (6) zugeführt wird, und durch die Steuervorrichtung (3) aus den Kenngrößen (7) des Werkstücks (4) und dem Sollwert (10) der Zielgröße (11) anhand eines Modells (13) des Biegevorgangs, das einen Zusammenhang zwischen dem Einstellparameterwert (14), den Kenngrößen (7) des Werkstücks (4) und einem daraus bewirkten Wert der Zielgröße (11) enthält, zumindest ein Einstellparameterwert (14) der Biegepresse (2) in Form einer Eintauchtiefe (15) eines Stempels (23) der Biegepresse (2) oder einer vom Stempel (23) auf das Werkstück (4, 6) aufzubringenden Biegekraft oder eines Durchbiegungsausgleichsparameters an der Biegepresse (2), festgelegt wird, wobei das Werkstück (4) vor Beendigung des Biegevorgangs einer Wirbelstrommessung unterzogen wird, bei der es von einem mittels einer Erregereinheit (21) erzeugten, (4) elektromagnetischen Wechselfeld durchsetzt wird und mittels einer Sensoreinheit (22) ein Messwert (9) der elektromagnetischen Rückwirkung des Werkstücks (4) auf das Wechselfeld ermit-

telt wird und eine der Kenngrößen (7) durch den Messwert (9) gebildet ist, **dadurch gekennzeichnet, dass** nach teilweiser oder vollständiger Durchführung des Biegevorgangs bei einer Entlastung des Werkstücks (6) ein Istwert (16) der Zielgröße (11), insbesondere der Biegewinkel (12), gemessen und in der Steuervorrichtung (3) mit dem Messwert (9) der Wirbelstrommessung sowie dem vor der Entlastung wirkenden Einstellparameterwert (14) verknüpft wird, indem der beim aktuell gebogenen Werkstück (6) vorliegende Zusammenhang zwischen Einstellparameterwert (14), der Kenngröße (7) des Werkstücks (4) in Form des Messwerts (9) aus der Wirbelstrommessung und dadurch bewirktem Wert (16) der Zielgröße (11) ermittelt wird und basierend auf dem nach der Entlastung des Werkstücks (6) gemessenen Ist-Wert (16) der Zielgröße (11) und dem Messwert (9) der Wirbelstrommessung sowie dem unmittelbar vor der Entlastung wirkenden Einstellparameterwert (14) das Modell (13) des Biegevorgangs adaptiert wird, indem der im Modell (13) enthaltene Zusammenhang zwischen Einstellparameterwert (14), Kenngröße (7) des Werkstücks (4) in Form des Messwerts (9) aus der Wirbelstrommessung und jeweils dadurch bewirktem Wert (16) der Zielgröße (11) um den am aktuell gebogenen Werkstück (6) ermittelten Zusammenhang ergänzt wird.

2. Verfahren nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet, dass** zumindest eine Kenngröße (7) des Werkstücks (4) ausgewählt aus einer Gruppe umfassend Werkstückdicke, Gewicht oder Werkstückfläche durch eine Messung vor oder während des Biegevorgangs ermittelt und zusammen mit dem Sollwert (10) von der Steuervorrichtung (3) unter Benutzung des Modells (13) des Biegevorgangs bei der Festlegung des Einstellparameterwerts (14) benutzt wird.

3. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Wirbelstrommessung weitgehend auf Zonen im Werkstück (4) beschränkt wird, die beim Biegevorgang verformt werden.

4. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 3, **dadurch gekennzeichnet, dass** ein im Modell (13) des Biegevorgangs enthaltener Zusammenhang zwischen Einstellparameterwert (14), Kenngröße (7) des Werkstücks (4) in Form des Messwerts (9) aus der Wirbelstrommessung und jeweils dadurch bewirktem Wert (16) der Zielgröße (11) mit Hilfe von Regressionsrechung und/oder Korrelationsrechnung aus Messwerten (9) von vorangegangenen Wirbelstrommessungen an mehreren Werkstücken (4, 6) und am jeweiligen Werkstück (6) gemessenen Ist-Werten (16) der Zielgröße (11) ermittelt wird.

5. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 4, **dadurch gekennzeichnet, dass** der Messwert (9) der Wirbelstrommessung oder der daraus abgeleitete Wert einer Kenngröße (7) des Werkstücks (4) auf dem Werkstück (4), insbesondere in maschinenlesbarer Form angebracht wird.

Claims

1. A method for establishing a setup parameter value (14) for a bending press (2), in which characteristic variables (7) of a workpiece (4) to be bent in a bending process are fed to a control device (3) of the bending press (2), and a set point (10) for a target variable (11) on the bent workpiece (6) is fed to the control device (3), and at least one setup parameter value (14) of the bending press (2) in form of an insertion depth (15) of a ram (23) of the bending press (2) or a bending force to be applied by the ram (23) to the workpiece (4, 6) or a deflection compensation parameter of the bending press (2) is established by the control device (3) based on the characteristic variables (7) of the workpiece (4) and the set point (10) of the target variable (11) by way of a model (13) of the bending process, which model contains a correlation between the setup parameter value (14), the characteristic variables (7) of the workpiece (4) and a value of the target variable (11) resulting therefrom, wherein the workpiece (4), prior to completion of the bending process, is subjected to measuring an eddy current, during which it is pervaded by an electromagnetic alternating field generated by an excitation unit (21), and a measured value (9) of the electromagnetic effect of the workpiece (4) on the alternating field is ascertained by means of a sensor unit (22) and one of the characteristic variables (7) is formed by the measured value (9), **characterised in that**, following partial or full execution of the bending process, when the load on the workpiece (6) is relieved, an actual value (16) of the target variable (11), in particular the bending angle (12), is measured and linked in the control device (3) with the measured value (9) of the eddy current measurement and with the setup parameter value (14) active before the load relief, by ascertaining the correlation in the currently bent workpiece (6) between the setup parameter value (14), the characteristic variable (7) of the workpiece (4) in form of the measured value (9) from the eddy current measurement and the value (16) of the target variable (11) resulting therefrom and adapting the model (13) of the bending process on the basis of the actual value (16) of the target variable (11) measured after relieving the load on the workpiece (6) and the measured value (9) of the eddy current measurement as well as the setup parameter value (14) effective directly prior to the load relief, **in that** the correlation contained in the model

(13) between the setup parameter value (14), the characteristic variable (7) of the workpiece (4) in form of the measured value (9) from the eddy current measurement and the resulting value (16) of the target variable (11) is amended by the correlation ascertained on the currently bent workpiece (6).

2. The method according to claim 1, **characterised in that** at least one characteristic variable (7) of the workpiece (4) selected from a group comprising workpiece thickness, weight or workpiece area is ascertained by taking a measurement prior to or during the bending process and is used by the control device (3) together with the set point (10) and with the involvement of the model (13) of the bending process when establishing the setup parameter value (14).

3. The method according to claim 1 or 2, **characterised in that** the eddy current measurement is largely limited to zones in the workpiece (4), which are deformed during the bending process.

4. The method according to one of claims 1 to 3, **characterised in that** a correlation contained in the model (13) of the bending process between setup parameter value (14), characteristic variable (7) of the workpiece (4) in the form of a measured value (9) from the eddy current measurement and the respective value (16) of the target variable (11) resulting therefrom is ascertained with the aid of a regression calculation and/or correlation calculation from measured values (9) of preceding eddy current measurements on a number of workpieces (4, 6) and actual values (16) of the garget variable (11) measured on the respective workpiece (6).

5. The method according to one of claims 1 to 4, **characterised in that** the measured value (9) of the eddy current measurement or the derived value of a characteristic variable (7) of the workpiece (4) is affixed to the workpiece (4), in particular in a machine-readable form.

Revendications

1. Procédé de détermination d'une valeur paramétrique de réglage (14) d'une presse à cintrer (2), dans lequel des grandeurs caractéristiques (7) d'une pièce à cintrer (4) dans un processus de cintrage sont acheminées à un dispositif de commande (3) de la presse à cintrer (2), et une valeur de consigne (10) pour une grandeur cible (11) sur la pièce cintrée (6) est acheminée au dispositif de commande (3), et au moins une valeur paramétrique de réglage (14) de la presse à cintrer (2) sous la forme d'une profondeur de pénétration (15) d'un poinçon (23) de la presse à cintrer (2) ou d'une force de cintrage devant être appliquée par le poinçon (23) sur la pièce (4, 6) ou d'un paramètre de compensation de flexion sur la presse à cintrer (2) est déterminée par le dispositif de commande (3) à partir des grandeurs caractéristiques (7) de la pièce (4) et de la valeur de consigne (10) de la grandeur cible (11) à l'aide d'un modèle (13) du processus de cintrage qui contient une relation entre la valeur paramétrique de réglage (14), les grandeurs caractéristiques (7) de la pièce (4) et une valeur de la grandeur cible (11) ainsi produite, la pièce (4) étant, avant la fin du processus de cintrage, soumise à une mesure de courants de Foucault au cours de laquelle elle est traversée par un champ alternatif électromagnétique produit au moyen d'une unité d'excitation (21) et, au moyen d'une unité de détection (22), une valeur de mesure (9) de la réaction électromagnétique de la pièce (4) sur le champ alternatif est déterminée, et une des grandeurs caractéristiques (7) est formée par la valeur de mesure (9), **caractérisé en ce que**, après une réalisation partielle ou complète du processus de cintrage, lors d'une décharge de la pièce (6), une valeur réelle (16) de la grandeur cible (11), en particulier l'angle de cintrage (12), est mesurée et est, dans le dispositif de commande (3), associée à la valeur de mesure (9) de la mesure de courants de Foucault ainsi qu'à la valeur paramétrique de réglage (14) agissant avant la décharge par le fait que la relation existante pour la pièce (6) actuellement cintrée entre la valeur paramétrique de réglage (14), la grandeur caractéristique (7) de la pièce (4) est déterminée sous la forme de la valeur de mesure (9) issue de la mesure de courants de Foucault et de la valeur (16) ainsi produite de la grandeur cible (11) et, sur la base de la valeur réelle (16) de la grandeur cible (11) mesurée après la décharge de la pièce (6) et sur la base de la valeur de mesure (9) de la mesure de courants de Foucault ainsi que sur la base de la valeur paramétrique de réglage (14) agissant immédiatement avant la décharge, le modèle (13) du processus de cintrage est adapté par le fait que la relation contenue dans le modèle (13) entre la valeur paramétrique de réglage (14), la grandeur caractéristique (7) de la pièce (4) sous la forme de valeur de mesure (9) issue de la mesure de courants de Foucault et la valeur (16) respectivement ainsi produite de la grandeur cible (11) est complétée par la relation déterminée sur la pièce (6) actuellement cintrée.

2. Procédé selon la revendication 1, **caractérisé en ce qu'**au moins une grandeur caractéristique (7) de la pièce (4), sélectionnée parmi un groupe comprenant l'épaisseur de pièce, le poids ou la surface de pièce, est déterminée par une mesure avant et pendant le processus de cintrage et est utilisée conjointement avec la valeur de consigne (10) par le dispositif de commande (3) avec utilisation du modèle (13) du processus de cintrage lors de l'établissement de la

valeur paramétrique de réglage (14).

3. Procédé selon la revendication 1 ou 2, **caractérisé en ce que** la mesure de courants de Foucault est réduite largement à des zones dans la pièce (4) qui sont déformées lors du processus de cintrage.

4. Procédé selon l'une des revendications 1 à 3, **caractérisé en ce qu'**une relation, contenue dans le modèle (13) du processus de cintrage, entre la valeur paramétrique de réglage (14), la grandeur caractéristique (7) de la pièce (4) sous la forme de la valeur de mesure (9) issue de la mesure de courants de Foucault et la valeur réelle (16) respectivement ainsi produite de la grandeur cible (11) est déterminée à l'aide d'un calcul de régression et/ou d'un calcul de corrélation issu de valeurs de mesure (9) de mesures antérieures de courant de Foucault sur plusieurs pièces (4, 6) et de valeurs réelles (16) de la grandeur cible (11) mesurées sur la pièce (6) respective.

5. Procédé selon l'une des revendications 1 à 4, **caractérisé en ce que** la valeur de mesure (9) de la mesure de courants de Foucault ou la valeur, qui en est dérivée, d'une grandeur caractéristique (7) de la pièce (4) est mise en place sur la pièce (4), en particulier sous une forme lisible par une machine.

Fig.1

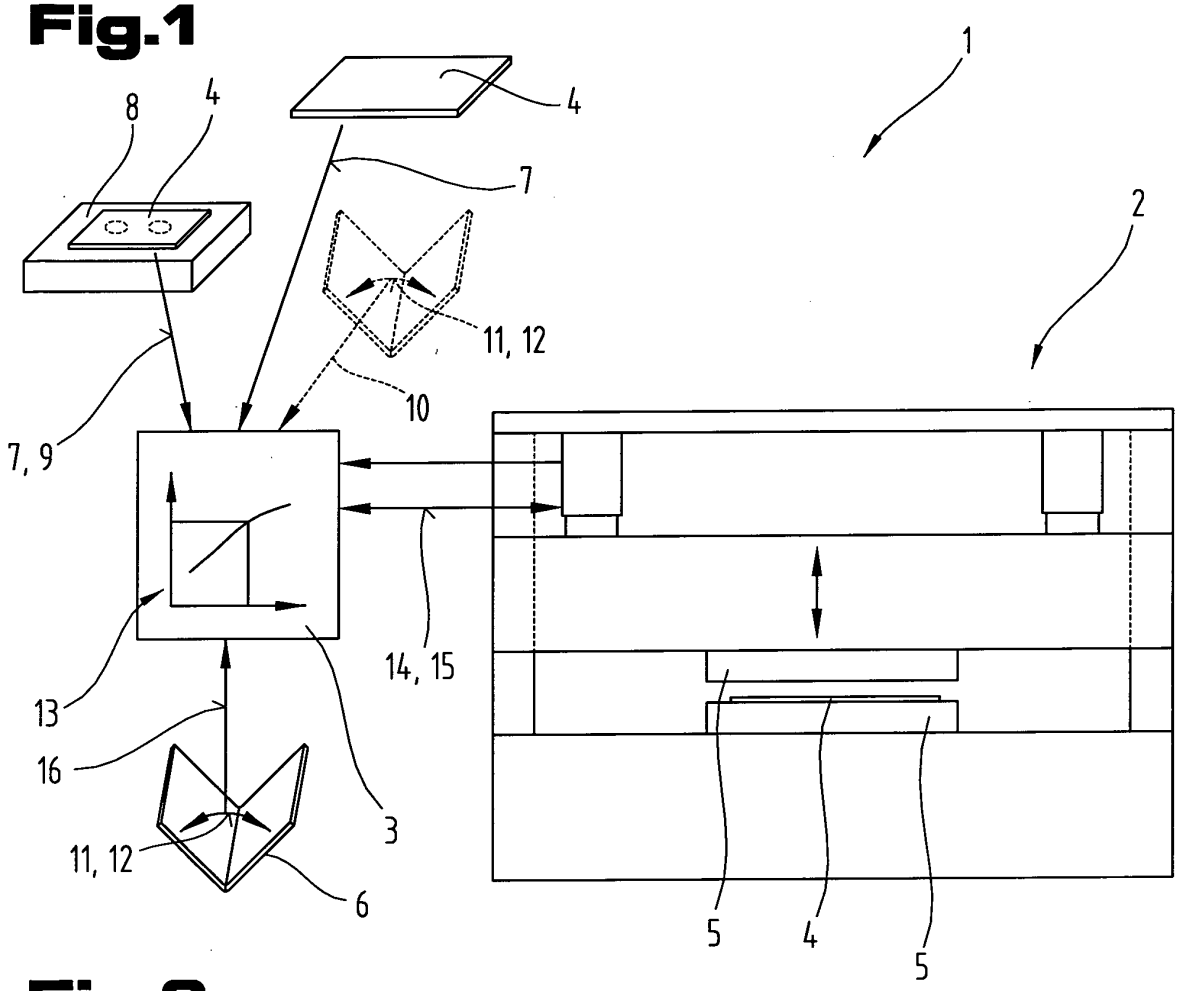

1
2
4
4
8
7
11, 12
10
7, 9
13
16
11, 12
6
3
14, 15
5
4
5

Fig.3

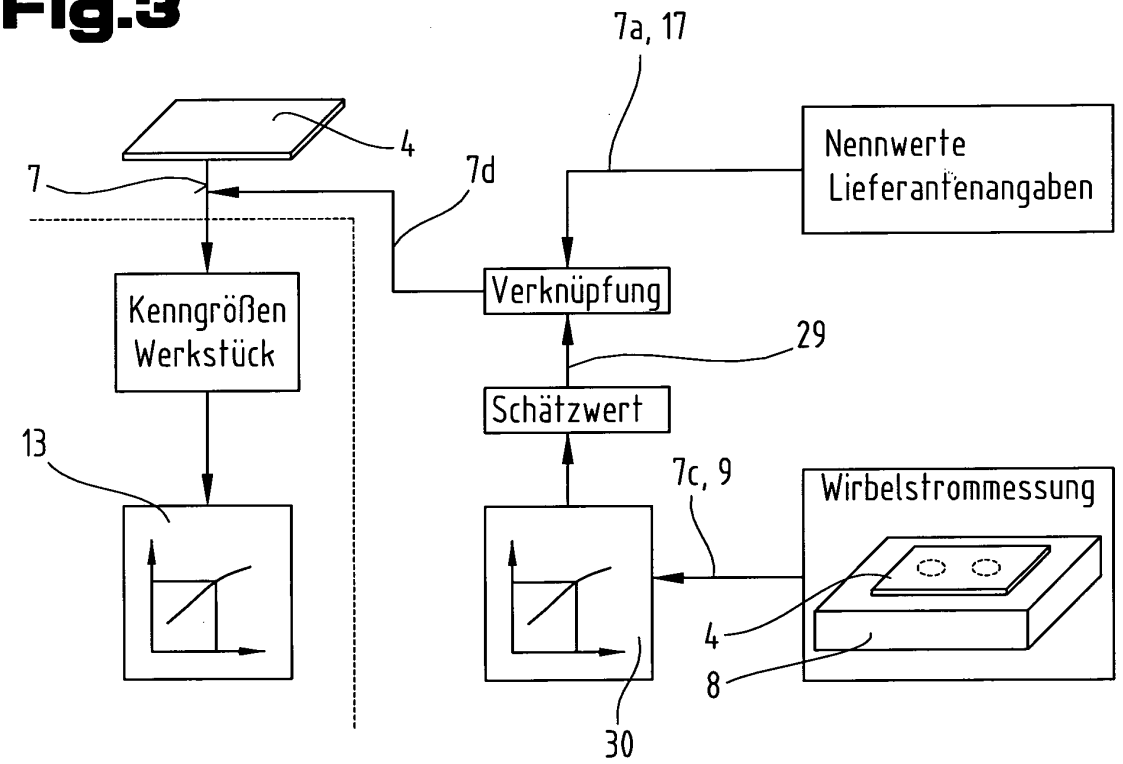
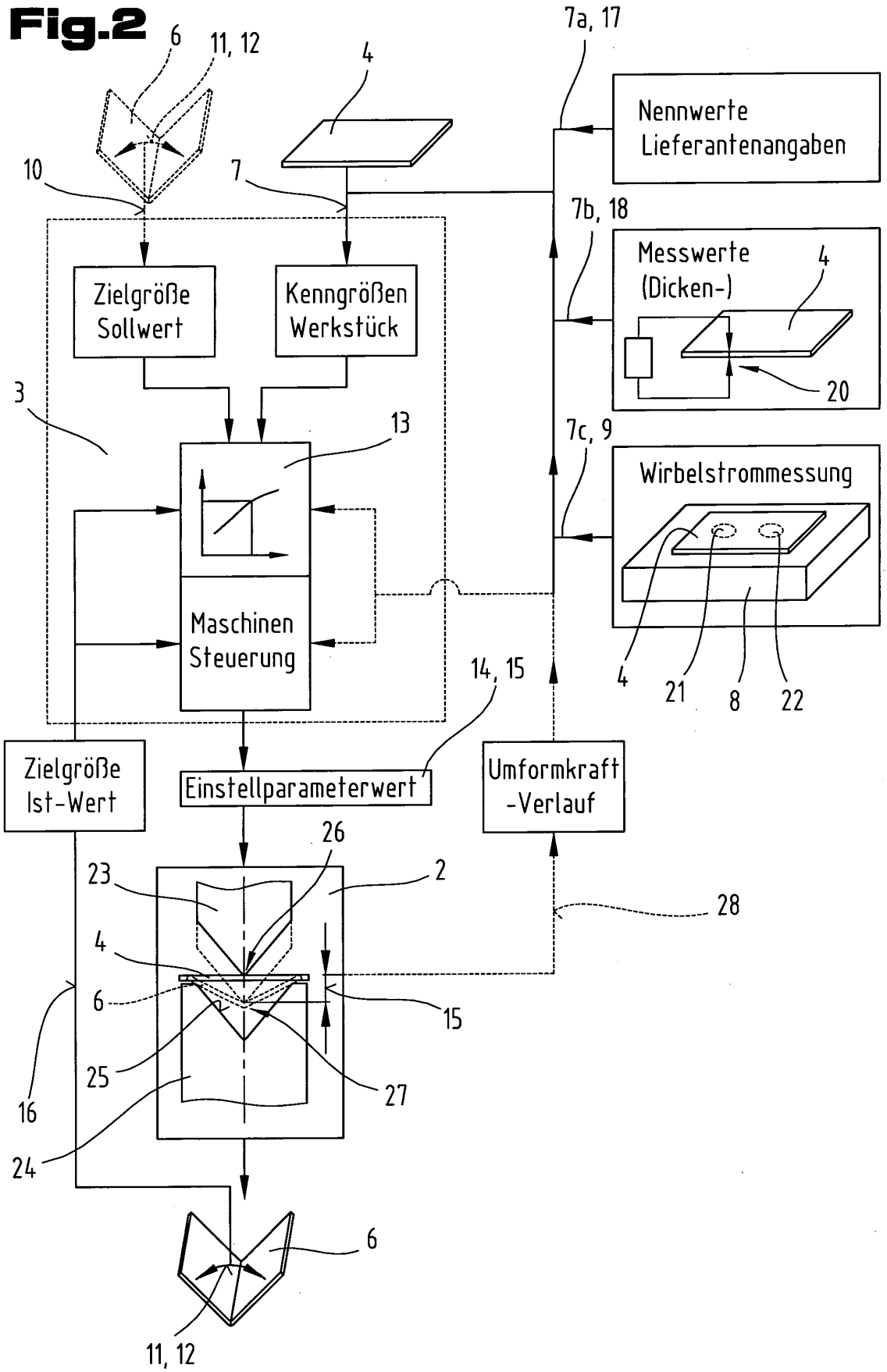

7a, 17
Nennwerte
Lieferantenangaben
4
7
7d
Verknüpfung
Kenngrößen
Werkstück
29
Schätzwert
13
7c, 9
Wirbelstrommessung
4
8
30

Fig.2


6
11, 12
4
7a, 17
Nennwerte
Lieferantenangaben
10
7
7b, 18
Messwerte
(Dicken-)
4
20
Zielgröße
Sollwert
Kenngrößen
Werkstück
3
13
7c, 9
Wirbelstrommessung
Maschinen
Steuerung
4
21
8
22
14, 15
Zielgröße
Ist-Wert
Einstellparameterwert
Umformkraft
-Verlauf
26
23
2
28
4
6
15
25
27
16
24
6
11, 12

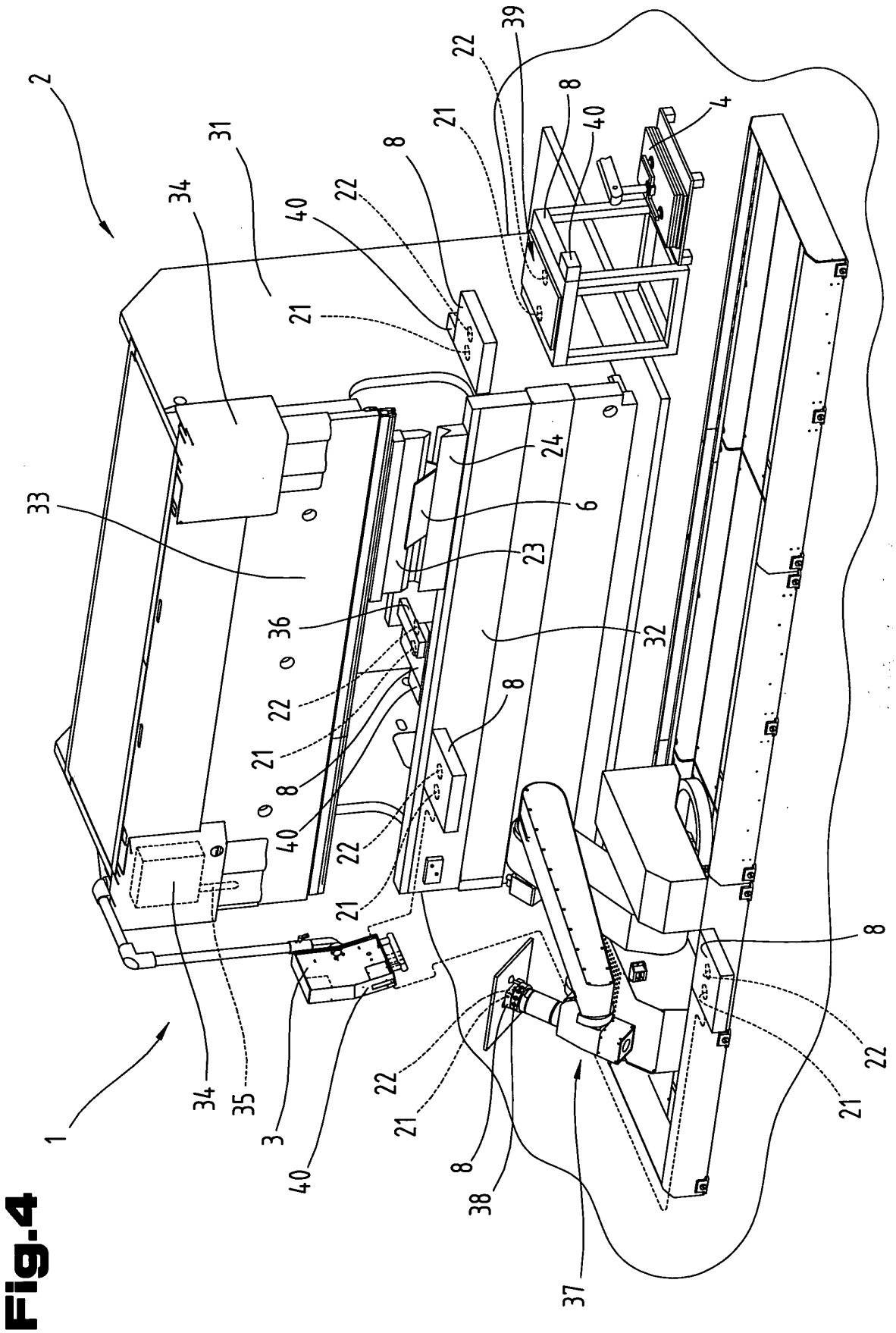


Fig.4

Fig.5

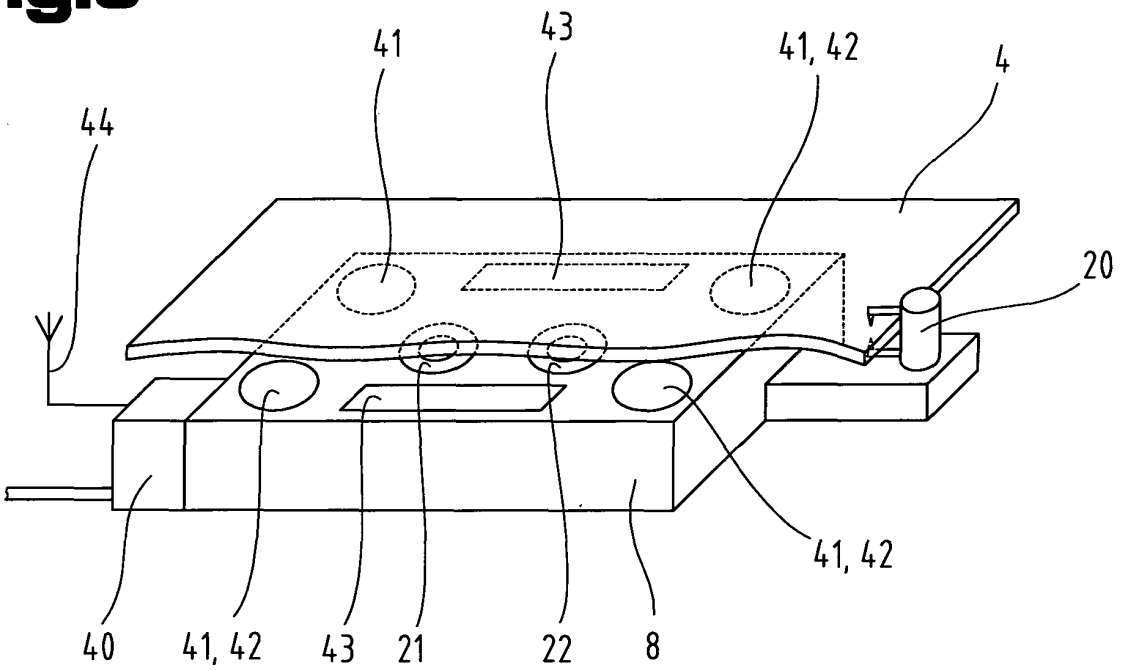
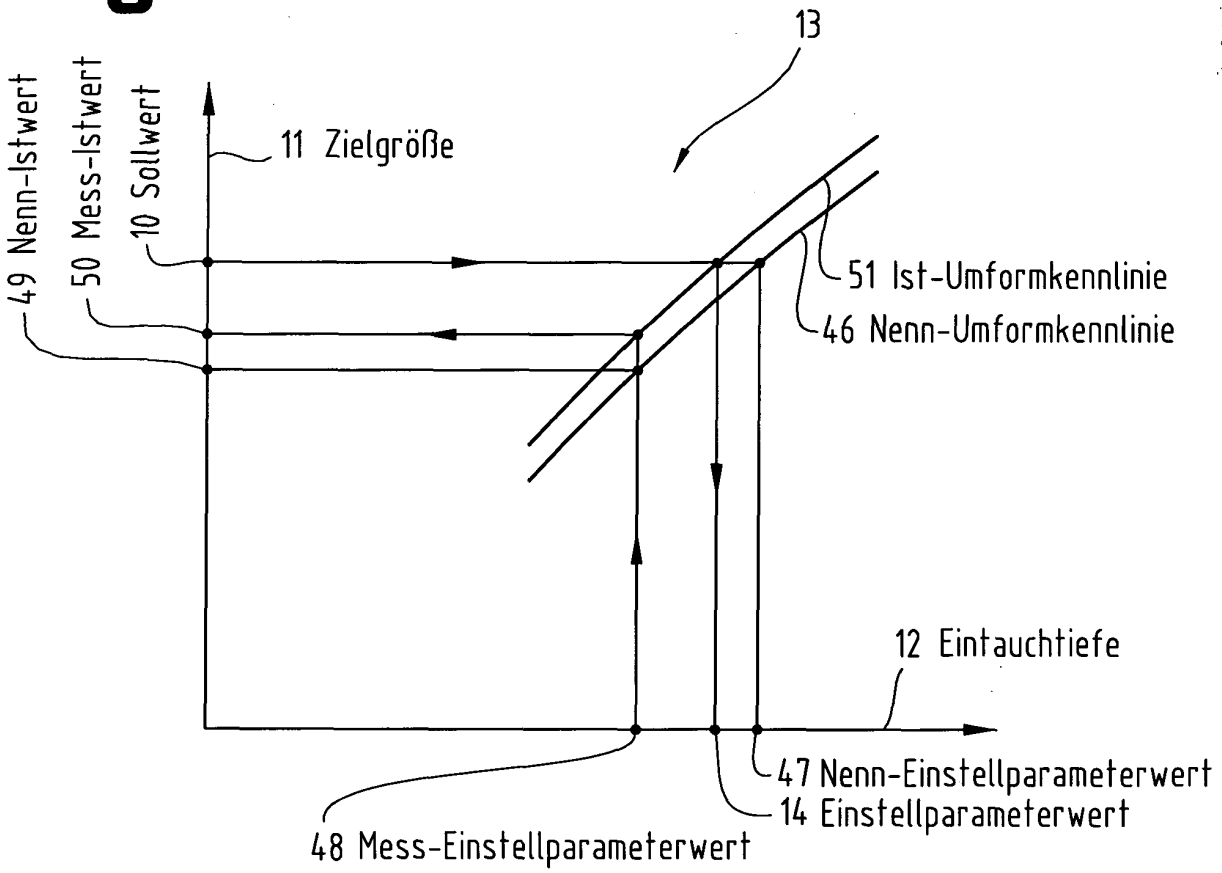

41
43
41, 42
4
44
20
41, 42
40
41, 42
43
21
22
8

Fig.6


13
49 Nenn-Istwert
50 Mess-Istwert
10 Sollwert
11 Zielgröße
51 Ist-Umformkennlinie
46 Nenn-Umformkennlinie
12 Eintauchtiefe
47 Nenn-Einstellparameterwert
14 Einstellparameterwert
48 Mess-Einstellparameterwert

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 1401593 B1 **[0006]**
- DE 3781887 T2 **[0007]**
- WO 2004101193 A **[0008]**