



(11) **EP 3 463 840 B1**

(12) **EUROPÄISCHE PATENTSCHRIFT**

(45) Veröffentlichungstag und Bekanntmachung des Hinweises auf die Patenterteilung:  
**05.08.2020 Patentblatt 2020/32**

(51) Int Cl.:  
**B30B 1/18 (2006.01) B30B 15/14 (2006.01)**

(21) Anmeldenummer: **17739846.8**

(86) Internationale Anmeldenummer:  
**PCT/AT2017/060143**

(22) Anmeldetag: **31.05.2017**

(87) Internationale Veröffentlichungsnummer:  
**WO 2017/205888 (07.12.2017 Gazette 2017/49)**

(54) **VERFAHREN ZUM PRESSEN EINES WERKSTÜCKES MIT EINER VORBESTIMMTEN PRESSKRAFT**

METHOD FOR PRESSING A WORKPIECE WITH A PREDETERMINED PRESSING FORCE

PROCÉDÉ DE PRESSAGE D'UNE PIÈCE À UNE FORCE DE COMPRESSION PRÉDÉFINIE

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

- **GRÜNDL, August**  
4861 Schörfling (AT)
- **KUGI, Andreas**  
1200 Wien (AT)
- **MEINGASSNER, Josef**  
4921 Hohenzell (AT)
- **PAUDITZ, Michael**  
4690 Schwanenstadt (AT)

(30) Priorität: **01.06.2016 AT 505022016**

(43) Veröffentlichungstag der Anmeldung:  
**10.04.2019 Patentblatt 2019/15**

(73) Patentinhaber: **STIWA Holding GmbH**  
4800 Attnang-Puchheim (AT)

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

(72) Erfinder:

- **BRUNNER, Matthias**  
4840 Vöcklabruck (AT)
- **GLÜCK, Tobias**  
1020 Wien (AT)

(56) Entgegenhaltungen:  
**EP-A2- 0 206 984 EP-A2- 1 902 792**  
**EP-A2- 2 233 282 DE-A1- 19 545 004**  
**DE-A1- 19 606 842 DE-A1-102007 030 016**

**EP 3 463 840 B1**

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).

## Beschreibung

**[0001]** Die Erfindung betrifft ein Verfahren zum Pressen eines Werkstückes mit einer vorbestimmten Presskraft.

**[0002]** Aus dem Stand der Technik sind verschiedene Verfahren zum Pressen eines Werkstückes bekannt. Die aus dem Stand der Technik bekannten Verfahren betreffen insbesondere Fertigungsanlagen in welchen Werkstücke mit einer vorbestimmten Presskraft gepresst werden sollen. Dabei müssen die Werkstücke mit einer vorbestimmten Presskraft gepresst werden, wobei der tatsächliche Betrag der Presskraft nur einen geringen Toleranzbereich aufweist.

**[0003]** Die DE 19606842 A1 offenbart ein Verfahren zum Pressen eines Werkstückes, wobei ein Pressstempel vorgesehen ist, der mittels einem Getriebe mit einem Antriebsmotor gekoppelt ist. Der Antriebsmotor wird beim Pressvorgang zuerst auf eine Maximalgeschwindigkeit beschleunigt und anschließend auf eine verminderte Geschwindigkeit abgebremst. Beim Betrieb des Antriebsmotors in der verminderten Drehzahl werden die elektrischen Größen des Antriebsmotors überwacht, um das am Antriebsmotor anliegende Drehmoment zu erfassen.

**[0004]** Die aus dem Stand der Technik bekannten Verfahren weisen den Nachteil auf, dass zum Erreichen der geforderten Presskraft unter Einhaltung des geforderten Toleranzbereiches die Pressgeschwindigkeit entsprechend gering gewählt werden muss, um die Presskraft verfälschende dynamische Effekte welche aufgrund der Massenträgheit der einzelnen Bauteile des Antriebsstranges auftreten, hintanzuhalten.

**[0005]** Aufgabe der vorliegenden Erfindung war es, die Nachteile des Standes der Technik zu überwinden und ein Verfahren zur Verfügung zu stellen, welches eine erhöhte Prozessgeschwindigkeit bei gleichzeitiger Aufrechterhaltung der Prozessgenauigkeit aufweist.

**[0006]** Diese Aufgabe wird durch eine Vorrichtung und ein Verfahren gemäß Anspruch 1 gelöst.

**[0007]** Erfindungsgemäß ist ein Verfahren zum Pressen eines Werkstückes mit einer vorbestimmten Presskraft mittels einem Umformwerkzeug, welches über einen Gewindetrieb mit einem Elektromotor gekoppelt ist, vorgesehen. Ein Gewindetrieb wandelt die rotatorische Bewegung einer Antriebswelle des Elektromotors in eine translatorische Bewegung des Umformwerkzeuges um. Der Elektromotor wird von einer Regelung angesteuert. Das Verfahren umfasst folgende Verfahrensschritte:

- Beschleunigen des Elektromotors in Zudrehrichtung auf eine vorgegebene Maximaldrehzahl, wodurch das Umformwerkzeug auf das Werkstück zubewegt wird;
- Betreiben des Elektromotors in Maximaldrehzahl bis die Antriebswelle des Elektromotors eine vorgegebene Anzahl an Spindelumdrehungen absolviert hat oder das Umformwerkzeug eine vorgegebene Posi-

tion erreicht hat, wobei während diesem Verfahrensschritt das Umformwerkzeug frei auf das Werkstück zubewegt wird ohne dieses zu berühren;

- 5 - Reduzieren der Drehzahl des Elektromotors auf eine vorbestimmte reduzierte Drehzahl;
- Betreiben des Elektromotors in reduzierter Drehzahl bis von einer dem Elektromotor nachgeschalteten Messeinheit ein Presskraftanstieg detektiert wird welcher einen vorbestimmten Schwellenwert überschreitet oder am Elektromotor ein Drehmomentanstieg detektiert wird welcher einen vorbestimmten Schwellenwert überschreitet, wobei der Presskraftanstieg dann auftritt, wenn das Umformwerkzeug am umzuformenden Werkstück zum Anliegen kommt;
- Umformen des Werkstückes unter ständiger Erfassung der Presskraft mittels der Messeinheit oder des Drehmomentes am Elektromotor bis die vorbestimmte Presskraft erreicht ist.

**[0008]** Ein Vorteil des erfindungsgemäßen Verfahrens liegt darin, dass das Verfahren in verschiedenste Verfahrensschritte aufgeteilt wird, wobei der Elektromotor in den einzelnen Verfahrensschritten eine unterschiedliche Geschwindigkeit aufweist. Durch diese Maßnahme wird erreicht, dass die Presszeit möglichst verkürzt werden kann und gleichzeitig die geforderte Presskraft möglichst genau erreicht werden kann. Insbesondere beim Betrieb des Elektromotors in einer vorgegebenen Maximaldrehzahl wird ein möglichst schnelles zustellen des Umformwerkzeuges gewährleistet. In diesem Verfahrensschritt wird das Umformwerkzeug in Richtung des Werkstückes bewegt, wobei darauf geachtet wird, dass das Umformwerkzeug frei auf das Werkstück zubewegt wird und das Umformwerkzeug noch nicht am Werkstück anliegt. Erst im anschließenden Verfahrensschritt in welchem der Elektromotor in reduzierter Drehzahl betrieben wird ist vorgesehen, dass das Umformwerkzeug am zu bearbeitenden Werkstück zur Anlage kommt. Alternativ zu einem Spindeltrieb kann auch ein sonstiges Mittel verwendet werden, welches dazu geeignet ist die rotatorische Bewegung des Elektromotors in eine Translatorische Bewegung des Umformwerkzeuges umzuwandeln. Die vorgegebene Position des Umformwerkzeuges kann beispielsweise mittels einer linearen Messeinheit erfasst werden. Der Drehmomentenanstieg im Elektromotor kann beispielsweise durch Erfassung des Motorstromes im Elektromotor detektiert werden.

**[0009]** Weiters kann es zweckmäßig sein, wenn nach der Detektion des Presskraftanstieges der Elektromotor auf eine vorbestimmte Minimaldrehzahl abgebremst wird. Von Vorteil ist hierbei, dass durch Abbremsen des Elektromotors auf Minimalgeschwindigkeit ein übermäßiges Pressen und damit das Überreichen der Presskraft verhindert werden kann.

**[0010]** Ferner kann vorgesehen sein, dass der Elektromotor eine vorbestimmte oder vorbestimmbare Zeit-

dauer in Minimaldrehzahl betrieben wird, bis Schwingungen, welche im Antriebssystem aufgrund des Abbremsvorganges von der reduzierten Drehzahl in die Minimaldrehzahl auftreten, weitestgehend ausgeklungen sind. Von Vorteil ist hierbei, dass durch das Betreiben des Elektromotors in der Minimaldrehzahl in vorbestimmter Zeitdauer erreicht werden kann, dass das Antriebssystem ausschlagen kann und es somit zu keiner Verfälschung der gemessenen Presskraft an der Messeinheit kommt. In Extremfällen kann es notwendig sein, dass als Minimaldrehzahl kompletter Stillstand gewählt wird. Die Schwingungen, welche ausklingen müssen entstehen aufgrund der Massenträgheit bzw. der Trägheitskräfte der einzelnen Komponenten im Antriebssystem und aufgrund des abrupten Abbremsmanövers.

**[0011]** Darüber hinaus kann vorgesehen sein, dass beim Umformen des Werkstückes die Ansteuerung des Elektromotors von der Regelung auf Basis der in der Messeinheit gemessenen Presskraft vorgegeben wird. Nach Ablauf dieser vorbestimmten Zeitdauer in welcher das Sensorsignal verfälscht wird, kann auf Presskraftregelung umgestellt werden, um die geforderte Presskraft erreichen zu können.

**[0012]** Vorteilhaft ist auch eine Ausprägung, gemäß welcher vorgesehen sein kann, dass die reduzierte Drehzahl zwischen 0,1% und 100%, insbesondere zwischen 0,5% und 99%, bevorzugt zwischen 50% und 80% der Maximaldrehzahl beträgt. Von Vorteil ist hierbei, dass bei betrieb des Elektromotors in reduzierter Drehzahl eine Presskraft, welche einen vorbestimmten Schwellenwert überschreitet, detektiert werden kann und aufgrund der reduzierten Drehzahl anschließend ausreichend Zeit verbleibt, um die Drehzahl weiter zu senken und die geforderte Presskraft einzustellen.

**[0013]** Gemäß einer Weiterbildung ist es möglich, dass direkt nach der Detektion des Presskraftanstieges die weitere Ansteuerung des Elektromotors von der Regelung auf Basis der Presskraft vorgegeben wird, wobei nach der Detektion des Presskraftanstieges der Elektromotor auf eine vorbestimmte Minimaldrehzahl abgebremst wird und in einer Anfangsperiode während des Abbremsvorganges die in der Messeinheit erfasste Presskraft von einer auf einer Modellrechnung basierten Presskraft überblendet wird und nach der Anfangsperiode die von der Messeinheit detektierte Presskraft als Eingangsgröße für die Regelung dient. Diese Alternativvariante weist den Vorteil auf, dass die Verfahrenszeit weiter verkürzt und optimiert werden kann. Durch das Überblenden der erfassten Presskraft mit einer auf einer Mollrechnung basierten Presskraft kann der Messfehler, welcher aufgrund des Schwingens des Systems nach dem Abbremsvorgang des Elektromotors auftritt, ausgeglichen werden.

**[0014]** Ferner kann es zweckmäßig sein, wenn in der Modellrechnung die Massenträgheit und/oder die Federsteifigkeit und/oder die Dämpfung und die Winkel- bzw. Linearbeschleunigungen der einzelnen im Antriebsstrang verbauten Bauteile berücksichtigt wird. Von Vor-

teil ist hierbei, dass auf Grundlage dieser Werte bzw. auf Grundlage dieser Zustandsgrößen das dynamische Verhalten des Antriebsstranges genau berechnet werden kann und dadurch eine Verfälschung der gemessenen Presskraft beim Abbremsen bzw. beim Beschleunigen des Elektromotors ausgeglichen werden kann.

**[0015]** Darüber hinaus kann vorgesehen sein, dass die Modellrechnung auf Basis der jeweils vorhergehenden Zyklen in einem iterativen Lernprozess angepasst wird, wobei zur Anpassung der Modellrechnung der Zeitliche Verlauf des Messwertes des Drehmomentes in der Messeinheit, sowie des Motormomentes und des zugehörigen Drehwinkels der Antriebswelle im Elektromotor herangezogen wird. Von Vorteil ist hierbei, dass das Antriebsverfahren während dem laufenden Betrieb angepasst und verbessert werden kann, wodurch einerseits die Genauigkeit zur Erreichung der Presskraft erhöht werden kann und darüber hinaus die Prozesszeit weiter verkürzt werden kann.

**[0016]** Weiters kann vorgesehen sein, dass für die Modellrechnung ein Störgrößenbeobachter, insbesondere ein Kalman-Filter eingesetzt wird, auf den im ersten Schritt auch geregelt wird und erst ab einem bestimmten Zeitpunkt auf die in der Messeinheit detektierte Kraft überblendet wird. Von Vorteil ist hierbei, dass ein derartiger Störgrößenbeobachter die tatsächlich anliegende Ist-Kraft anhand der Stellgröße und den Sensorsignalen schätzen kann und die geschätzte externe Kraft an die Regelung vorgegeben werden kann, wodurch die Genauigkeit bei der Erreichung der vorbestimmten Presskraft verbessert werden kann.

**[0017]** Es kann außerdem vorgesehen sein, den Regelkreis um eine Vorsteuerung zur Kraft- und/oder Trägheitskompensation zu erweitern, sollte die Dynamik der unterlagerten Regler nicht ausreichen. Die Vorsteuerungen können anhand der mathematischen Modelle hergeleitet werden. Es kann ausreichend sein, dafür ein stark vereinfachtes Modell, wie ein reines Starrkörpersystem, welches nur die Trägheitsmomente und keine dynamischen Elemente berücksichtigt, heranzuziehen. Alternativ dazu kann ein dynamisches System, wie es in diesem Dokument beschrieben ist zur mathematischen Modellbildung herangezogen werden.

**[0018]** Ferner kann vorgesehen sein, dass als Messeinheit ein Piezo-Sensor eingesetzt wird, welcher zur Erfassung der Presskraft im Bereich des Umformwerkzeuges angeordnet ist. Von Vorteil ist hierbei, dass ein Piezo-Sensor einerseits eine hohe Messgenauigkeit aufweist und darüber hinaus ein sehr schnelles Ansprechverhalten aufweist.

**[0019]** Weiters kann vorgesehen sein, dass direkt nach der Detektion des Presskraftanstieges die weitere Ansteuerung des Elektromotors von der Regelung auf Basis einer Solltrajektorie des Presskraftwertes vorgegeben wird, wobei der Drehzahlverlauf in einer Vorsteuerung aus der Solltrajektorie des Presskraftwertes berechnet wird. Wird ein Störgrößenbeobachter verwendet, kann die tatsächlich wirkende Kraft geschätzt werden.

Durch Überblenden auf diese geschätzte Kraft können Störungen ausgeblendet werden.

**[0020]** Ferner kann vorgesehen sein, dass in einer ersten Phase nach der Detektion des Presskraftanstieges der Presskraftwert mittels einem Störgrößenbeobachter geschätzt wird und dass in einer zweiten Phase nach der Detektion des Presskraftanstieges die Presskraft direkt von der Messeinheit detektiert wird und als Eingangsgroße für die Regelung dient. Durch Vorgabe des Presskraftwertes mittels dem Störgrößenbeobachter können Schwingungen bzw. Störungen im System gefiltert werden, sodass es in der Regelung zu keinem Aufschwingen kommt. Nach dem Abklingen der Schwingungen kann anschließend das tatsächlich an der Messeinheit gemessene Drehmoment als Eingangswert für die Regelung dienen.

**[0021]** Weiters kann vorgesehen sein, dass der Übergang zwischen verschiedenen Drehzahlen der einzelnen Verfahrensschritte derart vorgegeben wird, dass keine sprungartigen Anstiege der Beschleunigung auftreten. Durch die Vermeidung von sprungartigen Anstiegen in der Beschleunigung kann der Ruck, der auf die einzelnen Bauteile der Presse einwirkt vermindert werden und dadurch die Langlebigkeit der Presse erhöht werden.

**[0022]** Die Maximaldrehzahl auf die der Elektromotor beschleunigt wird muss nicht zwangsweise der maximal möglichen Drehzahl des Elektromotors entsprechen. Vielmehr ist es auch möglich, dass die Maximaldrehzahl sich aufgrund der Prozessparameter ergibt und ein rechnerisch ermittelter Wert ist. Die vorgegebene Maximaldrehzahl kann dabei von einem Pressprozess zum nächsten variieren.

**[0023]** Ferner kann vorgesehen sein, dass als Regler ein Tiefpassfilter dritter Ordnung der Form

$$R_F(s) = \frac{k_{FP}}{\left(1 + \frac{s}{\omega_{Fg}}\right)^3} \text{ gewählt wird.}$$

**[0024]** Weiters kann vorgesehen sein, dass Reglerparameter mithilfe eines Loop-Shaping-Verfahrens eingestellt werden können.

**[0025]** Der Schwellwert der Presskraft bzw. des Drehmomentes, welche detektiert werden, kann ein vorgegebener oder individuell vorgegebbarer Absolutwert der Presskraft, etwa in N, bzw. des Drehmomentes, etwa in Nm, sein.

**[0026]** Alternativ dazu ist es auch möglich, dass als Schwellwert nicht ein Absolutwert der Presskraft bzw. des Drehmomentes vorgegeben wird, sondern dass als Schwellwert ein vorgegebener oder individuell vorgegebbarer Presskraftanstieg pro Fahrweg des Umformwerkzeuges (wobei der Fahrweg direkt am Umformwerkzeug gemessen werden kann, oder über die Anzahl der Umdrehungen des Antriebsmotors berechnet werden kann) bzw. Drehmomentenanstieg pro Drehwinkel des Motors vorgegeben wird. Der Schwellwert des Presskraftanstieges kann etwa in N pro mm Fahr-

weg oder in N pro °Drehwinkel des Elektromotors definiert sein. Der Schwellwert des Drehmomentenanstieges kann etwa in Nm pro °Drehwinkel definiert sein.

**[0027]** In wieder einer anderen Ausführungsvariante ist es denkbar, dass als Schwellwert eine maximale Änderung des Presskraftanstieges pro Fahrweg des Umformwerkzeuges (wobei der Fahrweg direkt am Umformwerkzeug gemessen werden kann, oder über die Anzahl der Umdrehungen des Antriebsmotors berechnet werden kann) bzw. des Drehmomentenanstieges pro Drehwinkel des Motors vorgegeben wird. Die maximale Änderung des Presskraftanstieges pro Drehwinkel des Motors kann beispielsweise durch die erste Ableitung der Funktion des Presskraftanstieges pro Fahrwegeinheit des Umformwerkzeuges berechnet werden. Dieser Schwellwert der Änderung des Drehmomentenanstieges kann etwa in  $\Delta N$  pro  $\Delta mm$  Fahrweg definiert sein. Die maximale Änderung des Drehmomentenanstieges pro Drehwinkel des Motors kann beispielsweise durch die erste Ableitung der Funktion des Drehmomentenanstieges pro Drehwinkel des Motors berechnet werden. Dieser Schwellwert der Änderung des Drehmomentenanstieges kann etwa in  $\Delta Nm$  pro  $\Delta^\circ$  Drehwinkel definiert sein.

**[0028]** Als Regelung im Sinne dieses Dokumentes kann eine Zweifreiheitsgradekraftregelung mit unterlagter Motorregelung verstanden werden, wobei ein Regelkreis mit dieser Regelung auch zusätzliche Vorsteuerungen aufweisen kann.

**[0029]** Weiters kann vorgesehen sein, dass auf Basis von der Lastkennlinie und einer gewünschten Solltrajektorie für die externe Presskraft ein Drehzahlverlauf berechnet wird. Diese Geschwindigkeit knüpft bei der reduzierten Drehzahl an und wird in den Stillstand übergeführt. Mit diesem Drehzahlprofil wird sichergestellt, dass die externe Presskraft der gewünschten Solltrajektorie hinreichend gut folgt. Dadurch ist es in weiterer Folge möglich die bleibende Regelabweichung mit einem linearen Regler  $R_F$  auszugleichen. Wird ein Störgrößenbeobachter verwendet so wird auf das geschätzte Signal geregelt und am Ende der Trajektorie auf das Messsignal überblendet. Ist der Störgrößenbeobachter nicht vorhanden, weil die Güte des Messsignals hinreichend gut ist, dann wird direkt auf das Messsignal geregelt und dadurch auch keine Überblendung durchgeführt.

**[0030]** Zum besseren Verständnis der Erfindung wird diese anhand der nachfolgenden Figuren näher erläutert.

**[0031]** Es zeigen jeweils in stark vereinfachter, schematischer Darstellung:

- Fig. 1 eine schematische Darstellung eines möglichen Aufbaues einer Presse;
- Fig. 2 ein Ablaufdiagramm einer ersten Regelungsstrategie zum Pressen eines Werkstückes;
- Fig. 3 ein Strukturschaltbild des mechanischen Modells der Presse;
- Fig. 4 eine Kraftverlaufsdarstellung der Presse;

- Fig. 5 ein Strukturschaltbild eines Regelkreises für die Kraftregelung;
- Fig. 6 eine exemplarische Regelstrecke einer Kraftregelung;
- Fig. 7 ein Ablaufdiagramm einer weiteren Regelungsstrategie zum Pressen eines Werkstückes;
- Fig. 8 ein Strukturschaltbild eines Regelkreises mit Störgrößenbeobachter und Lastvorsteuerung, Kraftvorsteuerung sowie Trägheitskompensation;
- Fig. 9 ein Strukturschaltbild eines Regelkreises mit Störgrößenbeobachter und Kraftvorsteuerung sowie Trägheitskompensation;
- Fig. 10 ein Strukturschaltbild eines Regelkreises mit Störgrößenbeobachter und Kraftvorsteuerung;
- Fig. 11 ein Strukturschaltbild eines Regelkreises mit Störgrößenbeobachter und Lastvorsteuerung sowie Kraftvorsteuerung;
- Fig. 12 ein Strukturschaltbild eines Regelkreises mit Lastvorsteuerung, Kraftvorsteuerung sowie Trägheitskompensation;
- Fig. 13 ein Strukturschaltbild eines Regelkreises mit Kraftvorsteuerung sowie Trägheitskompensation;
- Fig. 14 ein Strukturschaltbild eines Regelkreises mit Kraftvorsteuerung;
- Fig. 15 ein Strukturschaltbild eines Regelkreises mit Lastvorsteuerung sowie Kraftvorsteuerung.

**[0032]** 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 diese Lageangaben bei einer Lageänderung sinngemäß auf die neue Lage zu übertragen.

**[0033]** Fig. 1 zeigt eine schematische Darstellung einer Prozesspresse 1. Die Prozesspresse 1 umfasst einen Elektromotor 2, und ein mit dem Elektromotor 2 gekoppeltes Umformwerkzeug 3. Das Umformwerkzeug 3 kann auf ein Werkstück 4 einwirken um dieses verformen zu können. Eine derartige Verformung kann beispielsweise eine Prägung sein. Weiters ist es auch denkbar, dass das Werkstück 4 beispielsweise mittels dem Umformwerkzeug 3 gebogen wird. Der Umformvorgang des Werkstückes 4 kann automatisiert erfolgen. Das Umformwerkzeug 3 kann verschiedenste Formgebungen aufweisen.

**[0034]** Weiters kann vorgesehen sein, dass der Elektromotor 2 als Servomotor ausgeführt ist. Ein derartiger Servomotor kann beispielsweise ein Synchronmotor

sein. Außerdem kann vorgesehen sein, dass der Elektromotor 2 mit einer Regelung 5 verbunden ist. Weiters kann vorgesehen sein, dass ein Frequenzumrichter ausgebildet ist, welcher mit dem Elektromotor 2 zusammenwirkt und die Drehzahl des Elektromotors 2 vorgibt.

**[0035]** Wie aus Fig. 1 weiters ersichtlich kann vorgesehen sein, dass an den Elektromotor 2 ein Spindeltrieb 6 gekoppelt ist. Ein derartiger Spindeltrieb 6 kann beispielsweise als Gewindetrieb, vorzugsweise als Kugelgewindetrieb ausgebildet sein. Ein Kugelgewindetrieb hat den Vorteil, dass er ein geringes Spiel aufweist. Dadurch kann eine hohe Genauigkeit der Prozesspresse 1 erreicht werden.

**[0036]** Mittels dem Spindeltrieb 6 kann die rotatorische Bewegung des Elektromotors 2 in eine translatorische Bewegung des Umformwerkzeuges 3 umgewandelt werden.

**[0037]** Weiters kann optional auch vorgesehen sein, dass zwischen Spindeltrieb 6 und Elektromotor 2 ein Getriebe 7 angeordnet ist, mittels welchem die Drehzahl der Antriebswelle 8 des Elektromotors 2 unteretzt werden kann.

**[0038]** Wenn im Antriebsstrang ein Getriebe 7 vorgesehen ist, dann ist eine Spindel 9 des Spindeltriebes 6 mit einer am Getriebeausgang 10 angeordneten Getriebeausgangswelle 11 gekoppelt und weist dieselbe Rotationsgeschwindigkeit wie diese auf.

**[0039]** Wenn im Antriebsstrang kein Getriebe 7 vorgesehen ist, dann ist die Spindel 9 des Spindeltriebes 6 mit der Antriebswelle 8 des Elektromotors 2 gekoppelt und weist dieselbe Rotationsgeschwindigkeit wie diese auf.

**[0040]** Weiters ist vorgesehen, dass zwischen Spindeltrieb 6 und Umformwerkzeug 3 eine Messeinheit 12 angeordnet ist, welche zum Erfassen der am Umformwerkzeug 3 anliegenden Presskraft ausgebildet ist. Die Messeinheit 12 kann insbesondere als Kraftsensor bzw. als Kraftmessdose ausgebildet sein. Vorzugsweise kann vorgesehen sein, dass die Messeinheit 12 als Piezo-Sensor ausgebildet ist. Die Messeinheit 12 ist an die Regelung 5 gekoppelt.

**[0041]** Weiters kann vorgesehen sein, dass zum Verbinden von Elektromotor 2 und Getriebe 6 bzw. zum Verbinden von Getriebe 7 und Spindeltrieb 6 eine Kupplung 13 vorgesehen ist. Die Kupplungen 13 dienen insbesondere zur Drehmomentenübertragung zwischen den einzelnen Bauteilen und sind daher zwischen den einzelnen Bauteilen angeordnet.

**[0042]** Weiters kann vorgesehen sein, dass die Spindel 9 des Spindeltriebes 6 an einer Lagerung 14 gelagert ist, welche zur Aufnahme der in die Spindel 9 eingeleiteten Axialkräfte und Radialkräfte dient. Ferner kann vorgesehen sein, dass der Spindeltrieb 6 eine Gewindemutter 15 umfasst, welche mit der Spindel 9 gekoppelt ist und die rotatorische Bewegung der Spindel 9 in eine translatorische Bewegung der Gewindemutter 15 umwandelt.

**[0043]** Mit der Gewindemutter 15 kann ein Schlitten 16 gekoppelt sein, welcher zur Aufnahme des Umformwerk-

zeuges 3 dienen kann. Insbesondere kann vorgesehen sein, dass die Messeinheit 12 zwischen Schlitten 16 und Umformwerkzeug 3 angeordnet ist.

**[0044]** In einer nicht dargestellten Ausführungsvariante kann vorgesehen sein, dass die Messeinheit 12 in den Schlitten 16 integriert ist.

**[0045]** Bevorzugt kann vorgesehen sein, dass das Umformwerkzeug 3 abnehmbar mit dem Schlitten 16 gekoppelt ist. Dadurch kann erreicht werden, dass verschiedene Umformwerkzeuge 3 für verschiedene Einsatzerefordernisse mit dem Schlitten 16 gekoppelt werden können.

**[0046]** Weiters kann vorgesehen sein, dass der Schlitten 16 an einer Führungsschiene 17 geführt ist.

**[0047]** Anhand der Fig. 1 wird nun die allgemeine Funktionsweise der Prozesspresse 1 erläutert.

**[0048]** Das Umformwerkzeug 3 wird mittels dem Spindeltrieb 6 auf das Werkstück 4 zubewegt, wobei der Spindeltrieb 6 vom Elektromotor 2 angetrieben wird. In einem ersten Verfahrensschritt wird dabei das Umformwerkzeug 3 frei auf das Werkstück 4 zu bewegt, wobei darauf geachtet wird, dass das Umformwerkzeug 3 das Werkstück 4 nicht berührt. Mit anderen Worten ausgedrückt kann man auch von einem Zustellvorgang sprechen.

**[0049]** Am Ende dieses Zustellvorganges kommt eine Pressfläche 18 des Umformwerkzeuges 3 mit dem Werkstück 4 in Kontakt, wodurch sich die auf das Umformwerkzeug 3 wirkende Kraft sprunghaft erhöht. Anschließend wird das Umformwerkzeug 3 in das Werkstück 4 eingedrückt, wodurch das Werkstück 4 mittels dem Umformwerkzeug 3 verformt wird.

**[0050]** Man kann davon sprechen, dass der Pressvorgang in zwei Stufen unterteilt ist. Die erste Stufe ist ein Zustellvorgang in welcher das Umformwerkzeug 3 frei auf das Werkstück 4 zubewegt wird ohne dieses jedoch zu berühren.

**[0051]** Die zweite Stufe ist eine Umformstufe, in welcher die Pressfläche 18 des Umformwerkzeuges 3 am Werkstück 4 anliegt und das Werkstück 4 mittels dem Umformwerkzeug 3 verformt wird, wobei an der Antriebswelle 8 des Elektromotors 2 ein erhöhtes Drehmoment aufgebracht werden muss.

**[0052]** Beim Zustellvorgang kann vorgesehen sein, dass der Elektromotor 2 überlagert geschwindigkeitsgeregelt wird, bis ein eine vordefinierte Presskraft überschritten wird oder das Auftreffen des Umformwerkzeuges 3 am Werkstück 4 mithilfe eines Gradienten-Verfahrens erkannt wird. In der Umformstufe kann vorgesehen sein, dass der Elektromotor 2 unterlagert momenten geregelt wird, wobei die gemessene Presskraft zur Regelung des Elektromotors 2 dient.

**[0053]** In der Umformstufe kann eine vordefinierte Presskraft mithilfe einer kaskadierten Zwei-Freiheitsgrad-Regelung eingestellt werden. Diese kaskadierte Regelung besteht aus einer inneren Geschwindigkeitsregelung, einer überlagerten Momentenregelung bzw. Kraftregelung und einer entsprechenden modellbasierten Vorsteuerung.

**[0054]** Mithilfe der modellbasierten Vorsteuerung wird die auftretende Presskraft zufolge der Last und die Trägheit des Antriebs kompensiert. Ist die mechanische Kopplung zwischen Elektromotor 2 und Umformwerkzeug 3 hinreichend steif, so kann die an der Messeinheit 12 erfasste Presskraft als direkte Rückführgröße für die Momentenregelung bzw. Kraftregelung verwendet werden.

**[0055]** Die Schwierigkeit bei der Regelung besteht darin, die Prozessgeschwindigkeit hoch und die Presskraft innerhalb vorgegebener Grenzen zu halten. Wird eine ideale, störungsfreie Strecke angenommen, kann ein Motor-Drehzahlverlauf gefunden werden, welcher es ermöglicht, eine gewünschte Presskraft einzustellen. Im realen Anwendungsfall ist allerdings mit auftretenden Störungen und Messrauschen bei der Messeinheit 12 zu rechnen.

**[0056]** Um eine definierte Presskraft zu erreichen und dabei die Prozessgeschwindigkeit möglichst hoch zu halten, wurden die erfindungsgemäßen Regelungsstrategien entwickelt.

**[0057]** Solange das Umformwerkzeug 3 frei auf das Werkstück 4 zubewegt wird und nicht an diesem anliegt, ist mit keinem wesentlichen Anstieg der tatsächlich am Umformwerkzeug 3 anliegenden Presskraft zu rechnen. Es ist daher sinnvoll, in dieser Umformstufe ein Motor-Drehzahlprofil ohne zusätzlicher Momentenregelung bzw. Kraftregelung direkt vorzugeben. Erst wenn die Pressfläche 18 des Umformwerkzeuges 3 das Werkstück 4 kontaktiert, kommt es zu einem rasanten Anstieg der am Umformwerkzeug 3 anliegenden Presskraft und die Momentenregelung bzw. Kraftregelung wird aktiv. In der Umformstufe wird ein Motor-Drehzahlprofil vorgegeben, bei dem unterschiedliche Geschwindigkeitsniveaus stetig miteinander verbunden werden. Dadurch ist sichergestellt, dass die mechanischen Komponenten der Prozesspresse 1 nicht unnötig strapaziert werden und die Anregung von Schwingungen im System gering gehalten wird.

**[0058]** Ziel der Regelung ist es, die tatsächlich am Umformwerkzeug anliegende Presskraft so zu regeln, dass sie einen definierten Wert, auch als vorbestimmte Presskraft bezeichnet, erreicht.

**[0059]** Die tatsächlich am Umformwerkzeug 3 anliegende Presskraft soll mithilfe der Messeinheit 12 gemessen werden und als Rückführungsgröße bei der Regelung dienen. Allerdings ist zu erwähnen, dass die in der Messeinheit 12 gemessene Presskraft nur dann der tatsächlich am Umformwerkzeug 3 anliegenden Presskraft entspricht, wenn das Umformwerkzeug 3 nicht gerade beschleunigt oder abgebremst wird und daher keine dynamischen Effekte aufgrund der Massenträgheit der einzelnen Bauteile auftreten. Mit anderen Worten ausgedrückt kann die tatsächlich am Umformwerkzeug 3 anliegende Presskraft von der Messeinheit 12 genau gemessen werden, wenn das Umformwerkzeug 3 stillsteht oder sich mit einer konstanten Vorschubgeschwindigkeit bewegt, wobei dieser Zustand auch schon eine gewisse

Zeitdauer wahren muss, sodass Schwingungen bereits abgeklungen sind.

**[0060]** Fig. 2 zeigt ein Ablaufdiagramm eines schematischen Ablaufes einer ersten Regelungsstrategie zum Pressen des Werkstückes 4.

**[0061]** An den Entscheidungspfaden steht ein Plus (+) für Bedingung ist erfüllt. Ein Minus (-) steht für Bedingung ist nicht erfüllt.

**[0062]** Im Verfahrensschritt 1 wird die Antriebswelle 8 des Elektromotors 2 auf Maximaldrehzahl beschleunigt. Um den Elektromotor 2 auf Maximaldrehzahl zu beschleunigen kann ein bestimmter zeitlicher Verlauf der Winkelgeschwindigkeit bzw. eine gewisse Beschleunigungsrampe vorgegeben sein anhand welcher der Elektromotor 2 beschleunigt wird. In der Abfrage A wird abgefragt, ob die Antriebswelle 8 des Elektromotors 2 bereits eine vorgegebene Anzahl an Spindelumdrehungen absolviert hat, beziehungsweise damit einhergehend wie weit das Umformwerkzeug 3 bereits mittels dem Spindeltrieb 6 in seiner Linearbewegung bewegt wurde.

**[0063]** Der Elektromotor 2 wird solange in Maximaldrehzahl betrieben bis in der Abfrage A ein Erreichen der vorgegebenen Anzahl an Spindelumdrehungen bzw. ein Erreichen des vorgegebenen Zustellweges des Umformwerkzeuges 3 zu einer Erfüllung der Bedingung führt. Die Anzahl der Spindelumdrehungen welche als Trigger zum Wechsel in den Verfahrensschritt 2 dient wird so hoch wie möglich gewählt, jedoch so niedrig gewählt, dass in allen aufgrund der Toleranzen denkbaren Fällen gewährleistet ist, dass die Pressfläche 18 des Umformwerkzeuges 3 nicht während diesem Verfahrensschritt am Werkstück 4 zum Anliegen kommt. Während dem Verfahrensschritt 1 kann vorgesehen sein, dass die an der Messeinheit 12 gemessene Presskraft nicht abgefragt wird oder zumindest nicht in die Motorregelung miteinfließt.

**[0064]** Anschließend wird im Verfahrensschritt 2 der Elektromotor 2 mit reduzierter Drehzahl betrieben. Die reduzierte Drehzahl dient dazu, dass bei der Detektion eines Presskraftanstieges in der Messeinheit 12 ausreichend Zeit bleibt, um die Motordrehzahl zu verringern bzw. um auf eine Kraftregelung umzustellen. Die Drehgeschwindigkeit in der reduzierten Drehzahl ist davon abhängig, wie schnell der Elektromotor 2 abgebremst werden kann und welchen Verfahrensweg das Umformwerkzeug 3 nach dem Aufsetzen am Werkstück 4 noch weiter verfahren werden kann. Dieser maximale Verfahrensweg wird auch Einpresstiefe genannt. Wenn vorgesehene Einpresstiefe beispielsweise sehr groß ist, kann die reduzierte Drehzahl einen hohen Wert aufweisen und beispielsweise annähernd gleich groß wie die Maximaldrehzahl sein.

**[0065]** Der Übergang von Maximaldrehzahl zu reduzierter Drehzahl kann ebenfalls entsprechend einem vorbestimmten zeitlichen Verlauf der Winkelgeschwindigkeit erfolgen. Während des Betriebes des Elektromotors 2 in reduzierter Drehzahl wird die Messeinheit 12 aktiviert, um erfassen zu können, wenn die Pressfläche

18 des Umformwerkzeuges 3 mit dem Werkstück 4 in Kontakt kommt, wodurch es zu einem sprunghaften Anstieg der in der Messeinheit 12 detektierten Presskraft kommt. Abfrage B wird ermittelt, ob die in der Messeinheit 12 detektierte Presskraft einen gewissen vordefinierten Schwellenwert erreicht hat und bei Erreichen des Schwellenwertes wird der Verfahrensschritt 3 eingeleitet.

**[0066]** Anschließend wird in Verfahrensschritt 3 eine Kraftregelung, wie sie im Strukturschaltbild des Regelkreises in Fig. 5 mit der Regelstrecke in Fig. 6 dargestellt ist, aktiviert. Mittels der Kraftregelung wird der Elektromotor 2 derart gesteuert, dass die vorbestimmte Presskraft erreicht wird.

**[0067]** Fig. 3 zeigt ein Strukturschaltbild des mechanischen Modells der Prozesspresse 1. Dieses dient als Grundlage für die Modellierung der Prozesspresse 1. Die Eingangsgröße des Modells stellt das Motormoment  $M_m$  dar, welchem das Reibmoment  $M_{rm}$  des Antriebs entgegenwirkt. Das Motorträgheitsmoment ist durch  $\theta_m$  bestimmt. Die Kupplung 13 wird als lineares Feder-Masse-Dämpfer-Element modelliert. Dieses ist durch die Federkonstante  $c_k$ , den Dämpfungskonstanten  $d_k$  und das Trägheitsmoment  $\theta_k$  charakterisiert, wobei das Trägheitsmoment an- bzw. abtriebsseitig je zur Hälfte berücksichtigt wird. Das Moment nach der Kupplung 13, welches als Antriebsmoment der Spindel 9 wirkt, wird mit  $M_{sp}$  bezeichnet. Die Reibungsverluste werden mit dem Moment  $M_{rs}$  berücksichtigt. Mit  $\theta_{sp}$  wird das Trägheitsmoment der Spindel 9 angegeben. Der Kugelgewindetrieb transformiert die rotatorische Bewegung der Spindel 9 in eine translatorische Bewegung des Schlittens 16. Das Übersetzungsverhältnis dieser Transformation wird mit  $i_g$  bezeichnet. Die Messeinheit 12, welcher den Schlitten 16 mit der Masse  $m_1$  und das Umformwerkzeug 3 mit der Masse  $m_2$  verbindet, wird mit einem linearen Feder-Dämpfer-Modell mit der Federkonstanten  $c_s$  und der Dämpfungskonstanten  $d_s$  modelliert. Die Position des Schlittens 16 wird mit  $s_1$  und die Position des Umformwerkzeuges 3 mit  $s_2$  angegeben. Das transformierte Spindelmoment verursacht die Kraft  $F_a$ , welche auf den Schlitten 16 wirkt. Die Kraft  $F_s$  gibt den Messwert der Messeinheit 12 an und  $F_{ext}$  die beim Pressen auftretende externe Kraft.

**[0068]** Fig. 4 zeigt einen exemplarischen Verlauf der externen Kraft über den Verlauf der Position des Umformwerkzeuges 3. Der exemplarische Verlauf der externen Kraft kann durch einen Versuch ermittelt werden. Dieser exemplarische Verlauf wird auch als Lastkennlinie bezeichnet.

**[0069]** Um ein breites Feld an Pressanwendungen zu ermöglichen und die Einfachheit der Modellanpassung zu gewährleisten, wird das Lastmodell der spezifischen Anwendungsfälle empirisch ermittelt. Ziel ist es, eine Kennlinie messtechnisch zu erfassen, die den Zusammenhang zwischen der externen Kraft  $F_{ext}$  und der Position des Umformwerkzeuges 3  $s_2$  angibt. Dazu wird das Umformwerkzeug 3 mit konstanter Geschwindigkeit, entsprechend dem Anwendungsfall, so weit bis zum Werk-

stück 4 bewegt, bis eine definierte Grenzkraft erreicht ist. Der so ermittelte Zusammenhang zwischen Kraft und Weg ist in Fig. 4 dargestellt und entspricht dem einer nichtlinearen Feder der Form  $F_{ext}(s_2) = k(s_2) \cdot s_2$  mit der positionsabhängigen Federsteifigkeit  $k(s_2)$ . Die Kennlinie teilt sich in zwei Bereiche. Während sich das Umformwerkzeug 3 frei bewegt, kommt es zu keinem wesentlichen Kraftanstieg. Für diesen Vorgang wird  $F_{ext} = 0N$  angenommen. Erst ab dem Auftreffen des Umformwerkzeuges 3 auf das Werkstück 4 kommt es zu einem merkbaren Kraftanstieg. Wird dieser Kraftanstieg  $F_{ext} \approx F_s > F_{trigger}$  detektiert, beginnt die Umformstufe. Die zugehörige Schlittenposition wird mit  $s_{trigger}$  bezeichnet.

**[0070]** Fig. 5 zeigt ein Strukturschaltbild eines Regelkreises für die Kraftregelung, wobei der Kraftregler für die Umformstufe konzipiert ist und bei dieser aktiv ist.

**[0071]** Bei einigen Pressvorgängen kann es vorkommen, dass die Kurve der Presskraft einen sehr steilen Anstieg aufweist. Mit anderen Worten ausgedrückt steigt die Presskraft bei nur geringer Bewegung des Umformwerkzeuges 3 steil an. Daher kann es notwendig sein, dass das Umformwerkzeug 3 innerhalb einer kurzen Distanz zum Stillstand gebracht wird, um einen vorbestimmten Wert der Presskraft erreichen zu können. Aufgrund der Trägheit des Systems bzw. aufgrund der Trägheit einer konventionellen Regelung des Elektromotors 2 kann es jedoch vorkommen, dass die Dynamik des unterlagerten Drehzahlreglers des Elektromotors 2 für dieses Bremsmanöver nicht ausreicht.

**[0072]** Um dieses Problem zu umgehen, wird nicht nur eine Kraftvorsteuerung sondern auch eine Motor-Drehzahlvorsteuerung zur Trägheits- und Lastkompensation verwendet. Dieser erweiterte Regelkreis ist in Fig. 5 dargestellt. Aufgrund der hohen Steifigkeit im relevanten Frequenzbereich wird für den Vorsteuerungs- und Motor-Drehzahlreglerentwurf  $\varphi_m = \varphi_{sp} = s_2/i_g$  angenommen, wobei  $\varphi_m$  für die Motorwinkelposition des Elektromotors 2 und  $\varphi_{sp}$  für die Spindelwinkelposition der Spindel 9 des Spindeltriebes 6 steht. Zunächst wird die translatorische Gesamtmasse, d. h.  $m_t = m_1 + m_2$  entsprechend dem Übersetzungsverhältnis  $i_g$  mit dem Trägheitsmoment des Antriebsstranges zu einem Gesamtträgheitsmoment  $\theta = \theta_m + \theta_k + \theta_{sp} + m_t i_g^2$  aufaddiert, wobei  $\theta_m$  das Trägheitsmoment des Elektromotors 2,  $\theta_k$  das Trägheitsmoment der Kupplung 13 und  $\theta_{sp}$  das Trägheitsmoment der Spindel 9 repräsentiert. Daraus ergibt sich das vereinfachte Entwurfsmodell

$$\theta \omega_m^* = M_m^* - F_{ext} i_g.$$

**[0073]** Mit  $F^* = F_{ext}$  und  $M_{FF}^* = M_m^*$ , so folgt die

$$\text{Motor-Drehzahlvorsteuerung zu } M_{FF}^* = M_{\omega,FF}^* +$$

$M_{ext,FF}^*$ . Mit dem Vorsteueranteil  $M_{\omega,FF}^*$  kann in weiterer Folge der Einfluss der Trägheitsmomente und -massen der Presse während der Beschleunigungspha-

sen kompensiert werden. Der Vorsteueranteil zur Kompensation der externen Kraft  $F_{ext}$  lautet

$M_{ext,FF}^* = F^* i_g$ . Ist die Annahme der hohen Steifigkeit nicht gerechtfertigt, gilt dieses vereinfachte System nicht und die Vorsteueranteile müssen anhand des Systems in Fig. 3 berechnet werden.

**[0074]** Ein Ersatzmodell für die Regelstrecke

$G_{\omega_m^*,F_s}(s)$  ist in Fig. 6 dargestellt. Die Übertragungsfunktion  $G_{\omega_m}(s)$  mit dem Motormoment  $M_m$  als Eingang und der Motordrehzahl  $\omega_m$  als Ausgang bildet die Ausgangsrückführung  $\omega_m$  für den unterlagerten Drehzahlre-

gelkreis  $T_\omega(s) = \frac{R_\omega(s)}{1 + R_\omega(s)G_{\omega_m}(s)}$  dieser bilde gemeinsam mit der Übertragungsfunktion  $G_{F_s}(s)$  mit dem Motormoment  $M_m$  als Eingang und der Sensorkraft  $F_s$  als Ausgang, die gesamte Regelstrecke

$$G_{\omega_m^*,F_s}(s) = \frac{F_s}{\omega_m^*} = T_\omega(s)G_{F_s}(s)$$

von der Soll-drehzahl  $\omega_m^*$  als Eingang zur Sensorkraft  $F_s$  als Ausgang ab. Als Regler wird ein Tiefpassfilter dritter Ordnung

$$R_F(s) = \frac{k_{FP}}{\left(1 + \frac{s}{\omega_{FG}}\right)^3}$$

der Form gewählt. Die Grenzfrequenz  $\omega_{FG}$  und die Verstärkung  $k_{FP}$  werden so angepasst, dass sich ein stabiles Verhalten für den geschlossenen Regelkreis einstellt. Die Reglerparameter können mithilfe eines Loop-Shaping-Verfahrens eingestellt werden.

**[0075]** Fig. 7 zeigt ein Ablaufdiagramm eines schematischen Ablaufes einer weiteren Regelungsstrategie zum Pressen des Werkstückes 4, wobei die ersten beiden Verfahrensschritte gleich wie im Ablaufdiagramm nach Fig. 2 sind.

**[0076]** Im Verfahrensschritt 3 wird der Elektromotor 2 in einer minimalen Drehzahl betrieben. Die minimale Drehzahl kann von Prozess zu Prozess unterschiedlich sein und wird aufgrund der aktuellen Prozessparameter vorgegeben. In Extremfällen kann es sogar notwendig sein, dass die minimale Drehzahl gleich Null oder annähern Null ist. Das Abbremsen von reduzierter Drehzahl in minimale Drehzahl sollte im Rahmen der Festigkeitswerte der Prozesspresse 1 möglichst zügig bzw. abrupt von statten gehen. Im Verfahrensschritt 3 wird der Elektromotor 2 so lange in Minimaldrehzahl betrieben, bis die aufgrund des abrupten Abbremsmanövers auftretenden Schwingungen im Antriebsstrang ausgeklungen sind. Hierzu wird in Abfrage C eine vorberechnete Zeitdauer zum Abklingen der Schwingungen abgefragt.

**[0077]** In einer Alternativvariante kann auch vorgesehen sein, dass die nötige Zeitdauer zum Abklingen der Schwingungen nicht aufgrund eines Modells berechnet

wird, sondern dass diese in einem iterativen Verfahren angepasst wird oder dass das Abklingen der Schwingungen durch Erfassen des Motordrehmomentes im Elektromotor 2 im Vergleich mit dem gemessenen Drehmoment in der Messeinheit 12 festgestellt wird.

**[0078]** Anschließend wird in Verfahrensschritt 4 eine Kraftregelung, wie sie im Strukturschaltbild des Regelkreises in Fig. 4 bzw. in der Regelstrecke in Fig. 5 dargestellt ist, aktiviert. Mittels der Kraftregelung wird der Elektromotor 2 derart gesteuert, dass die vorbestimmte Presskraft erreicht wird.

**[0079]** In den Figuren 8 bis 14 sind verschiedene Strukturschaltbilder von möglichen Regelkreisen zur Kraftregelung gezeigt. Um unnötige Wiederholungen zu vermeiden wird auf die Figur 5 bzw. die jeweils vorangegangenen Figuren Bezug genommen.

**[0080]** In dem Ausführungsbeispiel nach Fig. 8 dient als Eingangsgröße für den Kraftregler  $R_F$  nicht das Sensorsignal  $F_s$ , wie dies in Fig. 5 der Fall ist, sondern wird als Eingangsgröße für den Kraftregler  $R_F$  von einem Störgrößenbeobachter 19 eine geschätzte Kraft  $\hat{F}_{ext}$  bereitgestellt. Weiters sind eine Kraftvorsteuerung  $V_F$ , eine Lastvorsteuerung  $V_{ext}$  und eine Trägheitskompensation  $V_{\omega}$  vorgesehen.

**[0081]** In dem Ausführungsbeispiel nach Fig. 9 dient als Eingangsgröße für den den Kraftregler  $R_F$  ein vom Störgrößenbeobachter 19 geschätzte Kraft  $\hat{F}_{ext}$ . Weiters sind eine Kraftvorsteuerung  $V_F$  und eine Trägheitskompensation  $V_{\omega}$  vorgesehen.

**[0082]** In dem Ausführungsbeispiel nach Fig. 10 dient als Eingangsgröße für den Kraftregler  $R_F$  ein vom Störgrößenbeobachter 19 geschätzte Kraft  $\hat{F}_{ext}$ . Weiters ist eine Kraftvorsteuerung  $V_F$  vorgesehen.

**[0083]** In dem Ausführungsbeispiel nach Fig. 11 dient als Eingangsgröße für den Kraftregler  $R_F$  ein vom Störgrößenbeobachter 19 geschätzte Kraft  $\hat{F}_{ext}$ . Weiters sind eine Kraftvorsteuerung  $V_F$  und eine Lastvorsteuerung  $V_{ext}$  vorgesehen.

**[0084]** In dem Ausführungsbeispiel nach Fig. 12 dient als Eingangsgröße für den Kraftregler  $R_F$  das Sensorsignal  $F_s$ . Weiters sind eine Kraftvorsteuerung  $V_F$ , eine Lastvorsteuerung  $V_{ext}$  und eine Trägheitskompensation  $V_{\omega}$  vorgesehen.

**[0085]** In dem Ausführungsbeispiel nach Fig. 13 dient als Eingangsgröße für den Kraftregler  $R_F$  das Sensorsignal  $F_s$ . Weiters sind eine Kraftvorsteuerung  $V_F$  und eine Trägheitskompensation  $V_{\omega}$  vorgesehen.

**[0086]** In dem Ausführungsbeispiel nach Fig. 14 dient als Eingangsgröße für den Kraftregler  $R_F$  das Sensorsignal  $F_s$ . Weiters ist eine Kraftvorsteuerung  $V_F$  vorgesehen.

**[0087]** In dem Ausführungsbeispiel nach Fig. 15 dient als Eingangsgröße für den Kraftregler  $R_F$  das Sensorsignal  $F_s$ . Weiters sind eine Kraftvorsteuerung  $V_F$  und eine Lastvorsteuerung  $V_{ext}$  vorgesehen.

**[0088]** Die Ausführungsbeispiele zeigen mögliche Ausführungsvarianten, wobei an dieser Stelle bemerkt sei, dass die Erfindung nicht auf die speziell dargestellten

Ausführungsvarianten derselben eingeschränkt ist, sondern vielmehr auch diverse Kombinationen der einzelnen Ausführungsvarianten untereinander möglich sind und diese Variationsmöglichkeit aufgrund der Lehre zum technischen Handeln durch gegenständliche Erfindung im Können des auf diesem technischen Gebiet tätigen Fachmannes liegt.

**[0089]** Der Schutzbereich ist durch die Ansprüche bestimmt. Die Beschreibung und die Zeichnungen sind jedoch zur Auslegung der Ansprüche heranzuziehen. Einzelmerkmale oder Merkmalskombinationen aus den gezeigten und beschriebenen unterschiedlichen Ausführungsbeispielen können für sich eigenständige erfinderische Lösungen darstellen. Die den eigenständigen erfinderischen Lösungen zugrundeliegende Aufgabe kann der Beschreibung entnommen werden.

**[0090]** Sämtliche Angaben zu Wertebereichen in gegenständlicher Beschreibung sind so zu verstehen, dass diese beliebige und alle Teilbereiche daraus mitumfassen, z.B. ist die Angabe 1 bis 10 so zu verstehen, dass sämtliche Teilbereiche, ausgehend von der unteren Grenze 1 und der oberen Grenze 10 mit umfasst sind, d.h. sämtliche Teilbereiche beginnen mit einer unteren Grenze von 1 oder größer und enden bei einer oberen Grenze von 10 oder weniger, z.B. 1 bis 1,7, oder 3,2 bis 8,1, oder 5,5 bis 10.

**[0091]** Der Ordnung halber sei abschließend darauf hingewiesen, dass zum besseren Verständnis des Aufbaus Elemente teilweise unmaßstäblich und/oder vergrößert und/oder verkleinert dargestellt wurden.

## Bezugszeichenaufstellung

### [0092]

- |    |                       |
|----|-----------------------|
| 1  | Prozesspresse         |
| 2  | Elektromotor          |
| 3  | Umformwerkzeug        |
| 4  | Werkstück             |
| 5  | Regelung              |
| 6  | Spindeltrieb          |
| 7  | Getriebe              |
| 8  | Antriebswelle         |
| 9  | Spindel               |
| 10 | Getriebeausgang       |
| 11 | Getriebeausgangswelle |
| 12 | Messeinheit           |
| 13 | Kupplung              |
| 14 | Lagerung              |
| 15 | Gewindemutter         |
| 16 | Schlitten             |
| 17 | Führungsschiene       |
| 18 | Pressfläche           |
| 19 | Störgrößenbeobachter  |

## Patentansprüche

1. Verfahren zum Pressen eines Werkstückes (4) mit einer vorbestimmten Presskraft mittels einem Umformwerkzeug (3), welches über ein Getriebe, insbesondere einen Spindeltrieb (6), mit einem Elektromotor (2) gekoppelt ist, wobei das Getriebe die rotatorische Bewegung einer Antriebswelle (8) des Elektromotors (2) in eine translatorische Bewegung des Umformwerkzeuges (3) umwandelt, und wobei der Elektromotor (2) von einer Regelung (5) angesteuert wird, **dadurch gekennzeichnet, dass** das Verfahren folgende Verfahrensschritte umfasst:
  - Beschleunigen des Elektromotors (2) in Zuehrichtung auf eine vorgegebene Maximaldrehzahl, wodurch das Umformwerkzeug (3) auf das Werkstück (4) zubewegt wird;
  - Betreiben des Elektromotors (2) in Maximaldrehzahl bis die Antriebswelle (8) des Elektromotors (2) eine vorgegebene Anzahl an Umdrehungen absolviert hat oder das Umformwerkzeug (3) eine vorgegebene Position erreicht hat, wobei während diesem Verfahrensschritt das Umformwerkzeug (3) frei auf das Werkstück (4) zubewegt wird ohne dieses zu berühren;
  - Reduzieren der Drehzahl des Elektromotors (2) auf eine vorbestimmte reduzierte Drehzahl;
  - Betreiben des Elektromotors (2) in reduzierter Drehzahl bis von einer dem Elektromotor (2) nachgeschalteten Messeinheit (12) ein Presskraftanstieg detektiert wird welcher einen vorbestimmten Schwellenwert überschreitet, wobei der Presskraftanstieg dann auftritt, wenn das Umformwerkzeug (3) am umzuformenden Werkstück (4) zum Anliegen kommt;
  - Umformen des Werkstückes (4) unter ständiger Erfassung der Presskraft mittels der Messeinheit (12) bis die vorbestimmte Presskraft erreicht ist.
  
2. Verfahren nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet, dass** nach der Detektion des Presskraftanstieges der Elektromotor (2) auf eine vorbestimmte Minimaldrehzahl abgebremst wird.
  
3. Verfahren nach Anspruch 2, **dadurch gekennzeichnet, dass** der Elektromotor (2) eine vorbestimmte oder vorbestimmbare Zeitdauer in Minimaldrehzahl betrieben wird, bis Schwingungen, welche im Antriebssystem aufgrund des Abbremsvorganges von der reduzierten Drehzahl in die Minimaldrehzahl auftreten, weitestgehend ausgeklungen sind.
  
4. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** beim Umformen des Werkstückes (4) die Ansteuerung des Elektromotors (2) von der Regelung (5) auf Basis der in
  - der Messeinheit (12) gemessenen Presskraft vorgegeben wird.
  
5. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** die reduzierte Drehzahl zwischen 0,1% und 100%, insbesondere zwischen 0,5% und 99%, bevorzugt zwischen 50% und 80% der Maximaldrehzahl beträgt.
  
6. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** direkt nach der Detektion des Presskraftanstieges die weitere Ansteuerung des Elektromotors (2) von der Regelung (5) auf Basis der Presskraft vorgegeben wird, wobei nach der Detektion des Presskraftanstieges der Elektromotor (2) auf eine vorbestimmte Minimaldrehzahl abgebremst wird und in einer Anfangsperiode während des Abbremsvorganges die in der Messeinheit (12) erfasste Presskraft von einer Modellrechnung basierten Presskraft überblendet wird und nach der Anfangsperiode die von der Messeinheit (12) detektierte Presskraft als Eingangsgröße für die Regelung (5) dient.
  
7. Verfahren nach Anspruch 6, **dadurch gekennzeichnet, dass** in der Modellrechnung die Massenträgheit und/oder die Federsteifigkeit und/oder die Dämpfung und die Winkel- bzw. Linearbeschleunigungen der einzelnen im Antriebsstrang verbauten Bauteile berücksichtigt wird.
  
8. Verfahren nach Anspruch 6 oder 7, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Modellrechnung auf Basis der jeweils vorhergehenden Zyklen in einem iterativen Lernprozess angepasst wird, wobei zur Anpassung der Modellrechnung der Zeitliche Verlauf des Messwertes der Presskraft in der Messeinheit (12), sowie des Motormomentes und des zugehörigen Drehwinkels der Antriebswelle (8) im Elektromotor (2) herangezogen wird.
  
9. Verfahren nach einem der Ansprüche 6 bis 8, **dadurch gekennzeichnet, dass** zur Überblendung von Modellrechnung und in der Messeinheit (12) detektierter Presskraft ein Störgrößenbeobachter (19), insbesondere ein Kalman-Filter eingesetzt wird.
  
10. Verfahren nach Anspruch 9 dadurch gezeichnet, dass eine Überblendung zwischen der im Störgrößenbeobachter (19) geschätzten tatsächlichen Kraft und der in der Messeinheit (14) erfassten Kraft durchgeführt wird.
  
11. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** als Messeinheit (12) ein Piezo-Sensor eingesetzt wird, welcher zur Erfassung der Presskraft im Bereich des Umformwerkzeuges angeordnet ist.

12. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** direkt nach der Detektion des Presskraftanstieges die weitere Ansteuerung des Elektromotors (2) von der Regelung (5) auf Basis einer Solltrajektorie des Presskraftwertes vorgegeben wird, wobei der Drehzahlverlauf in einer Vorsteuerung aus der Solltrajektorie des Presskraftwertes berechnet wird.
13. Verfahren nach Anspruch 12, **dadurch gekennzeichnet, dass** in einer ersten Phase nach der Detektion des Presskraftanstieges der Presskraftwert mittels einem Störgrößenbeobachter (19) geschätzt wird und dass in einer zweiten Phase nach der Detektion des Presskraftanstieges die Presskraft direkt von der Messeinheit (12) detektiert wird und als Eingangsgröße für die Regelung (5) dient.
14. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** der Übergang zwischen verschiedenen Drehzahlen der einzelnen Verfahrensschritte derart vorgegeben wird, dass keine sprungartigen Anstiege der Beschleunigung auftreten.

#### Claims

1. A method for pressing a workpiece (4) with a predetermined pressing force, by means of a forming tool (3), which is coupled by way of a gear mechanism, in particular a spindle drive (6), with an electric motor (2), wherein the gear mechanism converts the rotational movement of a drive shaft (8) of the electric motor (2) into a translational movement of the forming tool (3), and wherein the electric motor (2) is controlled by a closed loop controller (5), **characterized in that** the method comprises the following method steps:
- accelerating the electric motor (2) in the clockwise direction of rotation, to a predetermined maximum rotational speed, whereby the forming tool (3) is moved toward the workpiece (4);
  - operating the electric motor (2) at the maximum rotational speed until the drive shaft (8) of the electric motor (2) has completed a predetermined number of revolutions or the forming tool (3) has reached a predetermined position, wherein during this method step, the forming tool (3) is freely moved toward the workpiece (4), without touching it;
  - reducing the rotational speed of the electric motor (2) to a predetermined reduced rotational speed;
  - operating the electric motor (2) at the reduced rotational speed until a pressing force increase is detected by a measuring unit (12) that follows

the electric motor (2), which increase exceeds a predetermined threshold value, wherein the pressing force increase occurs when the forming tool (3) comes to lie against the workpiece (4) to be formed;

- forming the workpiece (4) with constant detection of the pressing force by means of the measuring unit (12) until the predetermined pressing force has been reached.

2. The method according to claim 1, **characterized in that** the electric motor (2) is braked to a predetermined minimum rotational speed after the detection of the pressing force increase.
3. The method according to claim 2, **characterized in that** the electric motor (2) is operated at minimum rotational speed for a predetermined or predeterminable time period, until vibrations that occur in the drive system due to the process of braking from the reduced rotational speed to the minimum rotational speed have largely died away.
4. The method according to one of the preceding claims, **characterized in that** during forming of the workpiece (4), control of the electric motor (2) is set by the closed loop controller (5) on the basis of the pressing force measured in the measuring unit (12).
5. The method according to one of the preceding claims, **characterized in that** the reduced rotational speed amounts to between 0.1% and 100%, in particular between 0.5% and 99%, preferably between 50% and 80% of the maximum rotational speed.
6. The method according to one of the preceding claims, **characterized in that** directly after detection of the pressing force increase, further control of the electric motor (2) is set by the closed loop controller (5) on the basis of the pressing force, wherein after detection of the pressing force increase, the electric motor (2) is braked to a predetermined minimum rotational speed, and in an initial period during the braking process, a pressing force based on a model calculation is superimposed on the pressing force detected in the measuring unit (12), and after the initial period, the pressing force detected by the measuring unit (12) serves as an input variable for the closed loop controller (5).
7. The method according to claim 6, **characterized in that** in the model calculation, the mass inertia and/or the spring stiffness and/or the damping and the angular and/ or linear accelerations of the individual components built into the drive train are taken into consideration.
8. The method according to claim 6 or 7, **characterized**

in that the model calculation is adapted on the basis of the respective preceding cycles in an iterative learning process, wherein for adaptation of the model calculation, the Time Progression of the measured value of the pressing force in the measuring unit (12), as well as of the motor torque and of the associated angle of rotation of the drive shaft (8) in the electric motor (2) are used.

9. The method according to one of claims 6 to 8, **characterized in that** an interference variable observer (19), in particular a Kalman filter, is used for superimposition of model calculation and pressing force detected in the measuring unit (12).

10. The method according to claim 9, **characterized in that** superimposition between the actual force estimated in the interference variable observer (19) and the force detected in the measuring unit (14) is carried out.

11. The method according to one of the preceding claims, **characterized in that** a Piezo sensor is used as a measuring unit (12), which sensor is disposed in the region of the forming tool, so as to detect the pressing force.

12. The method according to one of the preceding claims, **characterized in that**, directly after the detection of the pressing force increase, the further activation of the electric motor (2) is set by the closed loop controller (5) on the basis of a target trajectory of the pressing force value, wherein the rotational speed variation is calculated from the target trajectory of the pressing force value in a precontroller.

13. The method according to claim 12, **characterized in that**, in a first phase after the detection of the pressing force increase, the pressing force value is estimated by means of an interference variable observer (19) and, in a second phase after detection of the pressing force increase, the pressing force value is detected directly by the measuring unit (12) and used as the input variable for the closed loop controller (5).

14. The method according to one of the preceding claims, **characterized in that** the transition between different rotational speeds of the individual method steps is specified in such a way that no sudden increases in acceleration occur.

## Revendications

1. Procédé de pressage d'une pièce (4) avec une force de pression prédéterminée au moyen d'un outil de formage (3) qui est couplé, par l'intermédiaire d'une

transmission, plus particulièrement d'un entraînement à broche (6), avec un moteur électrique (2), dans lequel la transmission convertit le mouvement rotatif d'un arbre d'entraînement (8) du moteur électrique (2) en un mouvement de translation de l'outil de formage (3) et dans lequel le moteur électrique (2) est contrôlé par un dispositif de régulation (5), **caractérisé en ce que** le procédé comprend les étapes suivantes :

- accélération du moteur électrique (2) dans la direction aller jusqu'à une vitesse de rotation maximale prédéterminée, ce qui déplace l'outil de formage (3) vers la pièce (4) ;

- fonctionnement du moteur électrique (2) avec la vitesse de rotation maximale jusqu'à ce que l'arbre d'entraînement (8) du moteur électrique (2) ait effectué un nombre prédéterminé de rotations ou jusqu'à ce que l'outil de formage (3) ait atteint une position prédéterminée, dans lequel, pendant cette étape, l'outil de formage (3) est déplacé librement vers la pièce (4) sans entrer en contact avec celle-ci ;

- réduction de la vitesse de rotation du moteur électrique (2) jusqu'à une vitesse de rotation réduite prédéterminée ;

- fonctionnement du moteur électrique (2) à vitesse de rotation réduite jusqu'à ce qu'une augmentation de la force de pression soit détectée par une unité de mesure (12) branchée en aval du moteur électrique (2), qui dépasse une valeur seuil prédéterminée, dans lequel l'augmentation de la force de pression survient lorsque l'outil de formage (3) arrive en appui contre la pièce (4) à former ;

- formage de la pièce (4) avec une mesure permanente de la force de pression au moyen de l'unité de mesure (12) jusqu'à ce que la force de pression prédéterminée soit atteinte.

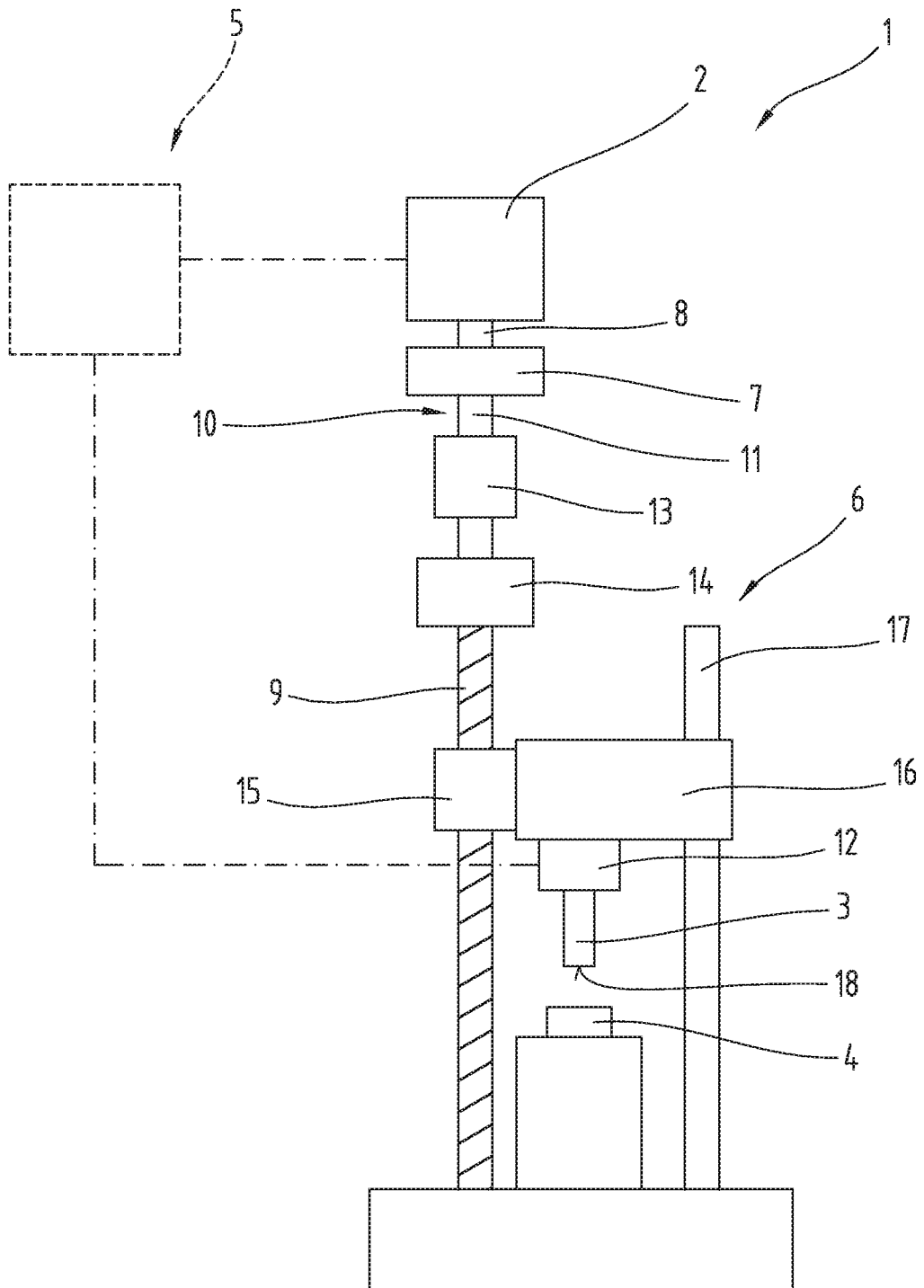
2. Procédé selon la revendication 1, **caractérisé en ce que**, après la détection de l'augmentation de la force de pression, le moteur électrique (2) est freiné jusqu'à une vitesse de rotation minimale prédéterminée.

3. Procédé selon la revendication 2, **caractérisé en ce que** le moteur électrique (2) fonctionne à la vitesse de rotation minimale pendant une durée prédéterminée ou pouvant être prédéterminée, jusqu'à ce que les vibrations qui surviennent dans le système d'entraînement, du fait du processus de freinage de la vitesse de rotation réduite à la vitesse de rotation minimale, soient largement atténuées.

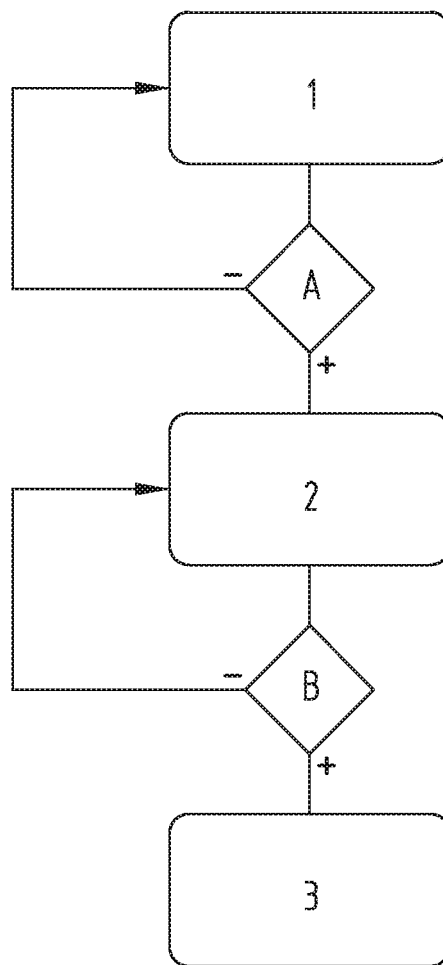
4. Procédé selon l'une des revendications précédentes, **caractérisé en ce que**, lors du formage de la pièce (4), le contrôle du moteur électrique (2) est

- prédéterminé par le dispositif de régulation (5) sur la base de la force de pression mesurée dans l'unité de mesure (12).
5. Procédé selon l'une des revendications précédentes, **caractérisé en ce que** la vitesse de rotation réduite représente entre 0,1 % et 100 %, plus particulièrement entre 0,5% et 99 %, de préférence entre 50 % et 80 % de la vitesse de rotation maximale.
6. Procédé selon l'une des revendications précédentes, **caractérisé en ce que**, immédiatement après la détection de l'augmentation de la force de pression, le contrôle supplémentaire du moteur électrique (2) est prédéterminé par le dispositif de régulation (5) sur la base de la force de pression, dans lequel, après la détection de l'augmentation de la force de pression, le moteur électrique (2) est freiné jusqu'à une vitesse de rotation minimale prédéterminée et, dans une période initiale, pendant le processus de freinage, la force de pression mesurée dans l'unité de mesure (12) est suivie d'une force de pression basée sur une modélisation et après la période initiale la force de pression détectée par l'unité de mesure (12) sert de grandeur d'entrée pour le dispositif de régulation (5).
7. Procédé selon la revendication 6, **caractérisé en ce que**, dans la modélisation, l'inertie de masse et/ou la rigidité du ressort et/ou l'amortissement et les accélérations angulaire resp. linéaire des différents composants montés dans la chaîne cinématique sont pris en compte.
8. Procédé selon la revendication 6 ou 7, **caractérisé en ce que** la modélisation est adaptée sur la base des cycles précédents respectifs dans un processus d'apprentissage itératif, dans lequel le tracé temporel de la valeur de mesure de la force de pression dans l'unité de mesure (12), ainsi que du couple moteur et de l'angle de rotation correspondant de l'arbre d'entraînement (8) dans le moteur électrique (2) est utilisé pour l'adaptation de la modélisation.
9. Procédé selon l'une des revendications 6 à 8, **caractérisé en ce que**, pour l'enchaînement entre la modélisation et la force de pression détectée dans l'unité de mesure (12), un observateur de perturbations (19), plus particulièrement un filtre de Kalman, est utilisé.
10. Procédé selon la revendication 9, **caractérisé en ce que** un enchaînement est effectué entre la force réelle estimée dans l'observateur de perturbations (19) et la force mesurée dans l'unité de mesure (14).
11. Procédé selon l'une des revendications précédentes, **caractérisé en ce que** l'unité de mesure (12)
- peut être un capteur piézoélectrique qui est disposé au niveau de l'outil de formage pour la mesure de la force de pression.
12. Procédé selon l'une des revendications précédentes, **caractérisé en ce que**, immédiatement après la détection de l'augmentation de la force de pression, le contrôle supplémentaire du moteur électrique (2) est prédéterminé par le dispositif de régulation (5) sur la base d'une trajectoire de consigne de la valeur de la force de pression, dans lequel le tracé de la vitesse de rotation est calculée dans un dispositif de pilotage à partir de la trajectoire de consigne de la valeur de la force de pression.
13. Procédé selon la revendication 12, **caractérisé en ce que**, dans une première phase après la détection de l'augmentation de la force de pression, la valeur de la force de pression est estimée au moyen d'un observateur de perturbations (19) et **en ce que**, dans une deuxième phase après la détection de l'augmentation de la force de pression, la force de pression est détectée directement par l'unité de mesure (12) et sert de grandeur d'entrée pour le dispositif de régulation (5).
14. Procédé selon l'une des revendications précédentes, **caractérisé en ce que** la transition entre différentes vitesses de rotation des différentes étapes du procédé est prédéterminée de façon à ce qu'aucune augmentation brusque des accélérations ne se produise.

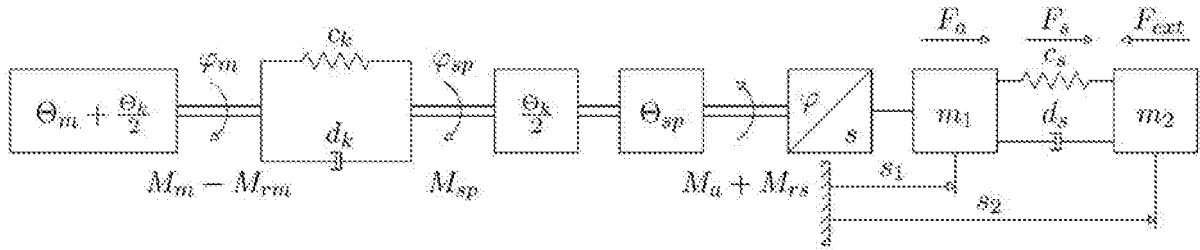
**Fig.1**



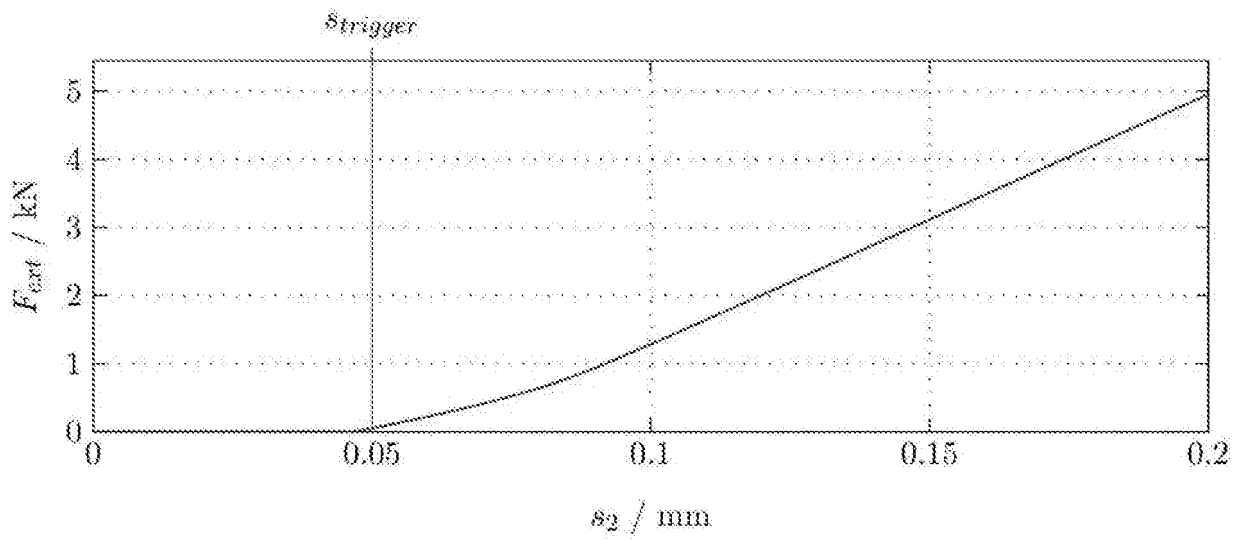
**Fig.2**



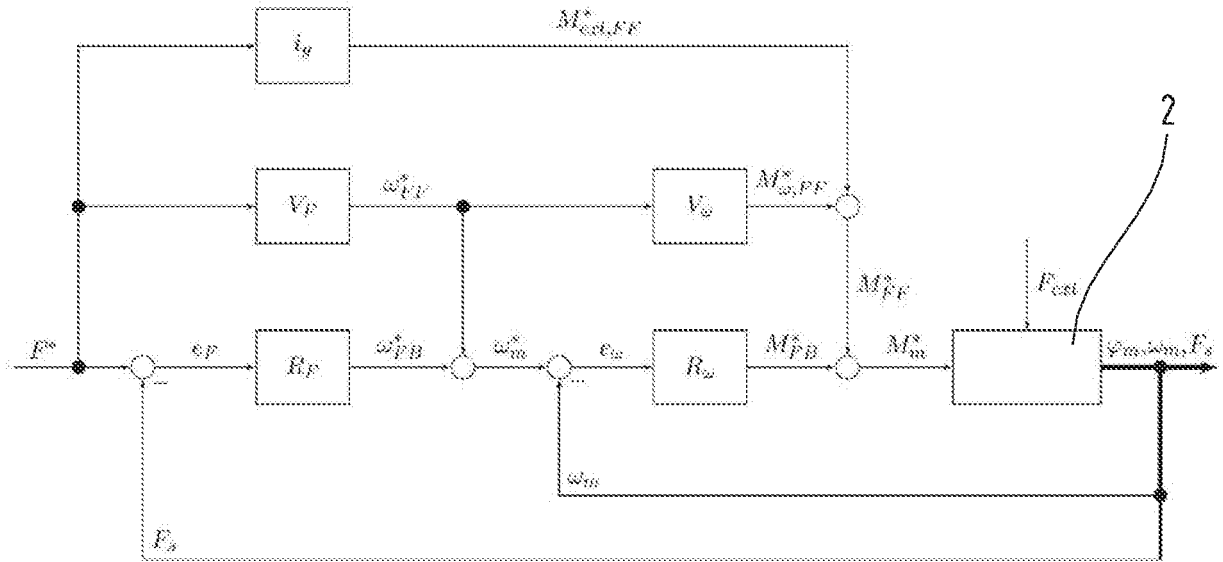
**Fig.3**



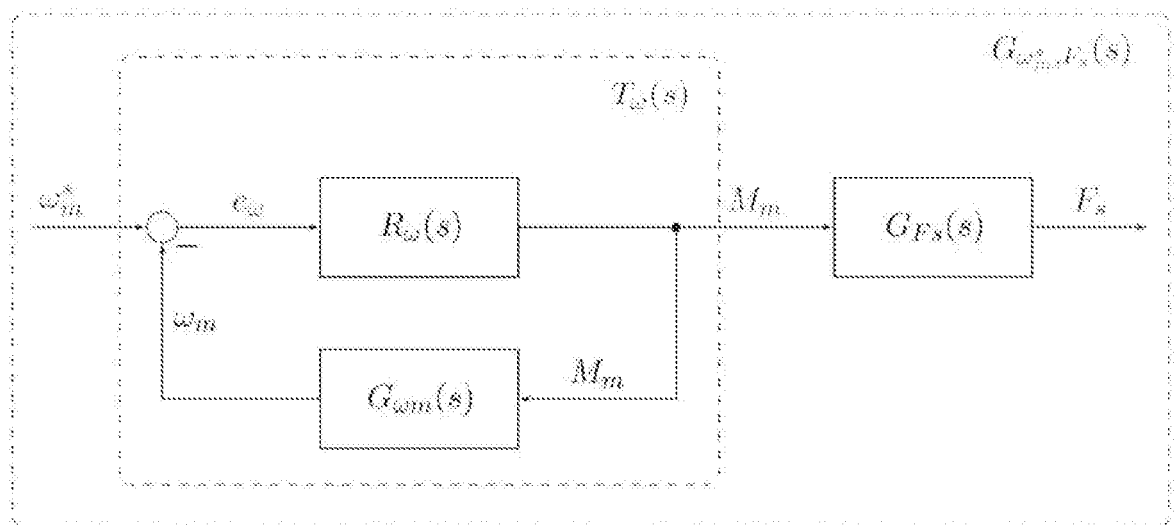
**Fig.4**



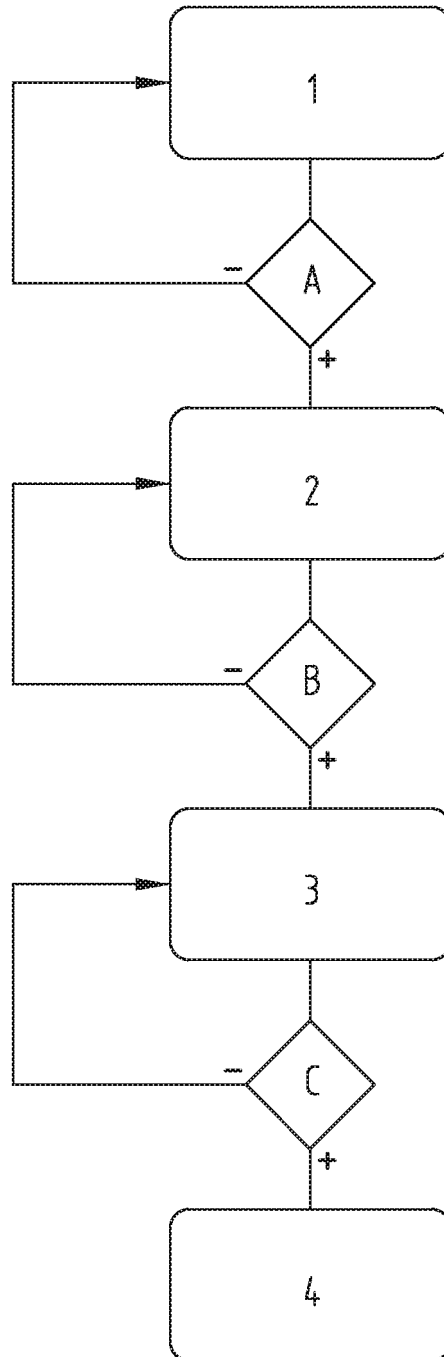
**Fig.5**



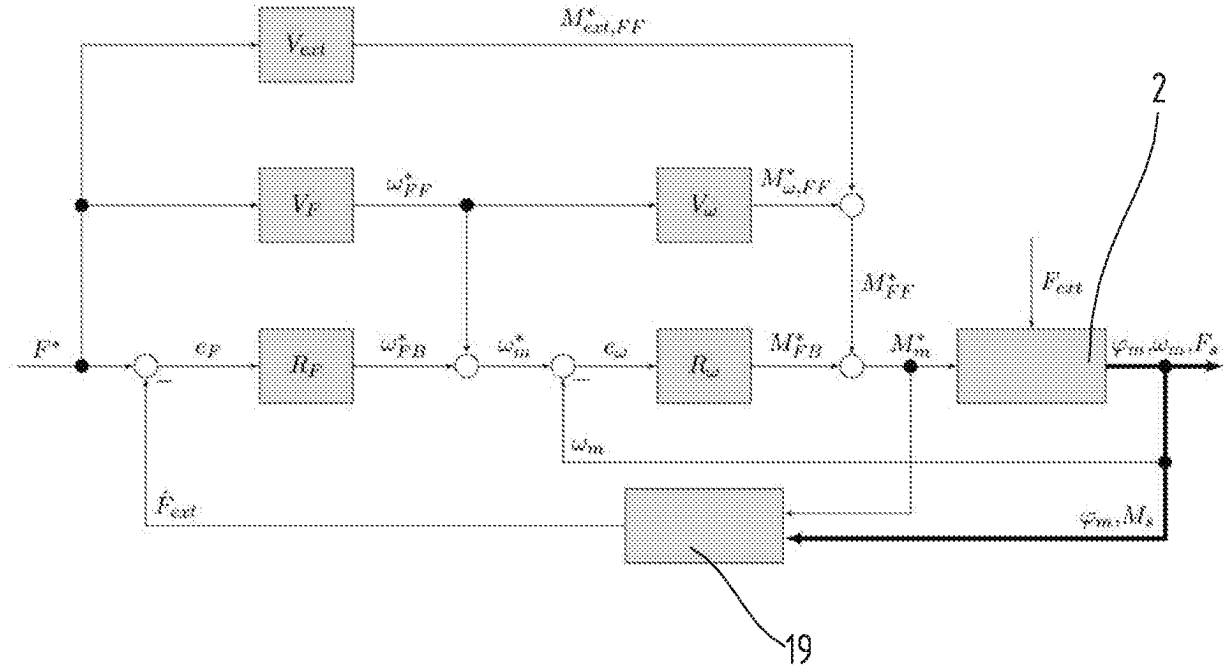
**Fig.6**



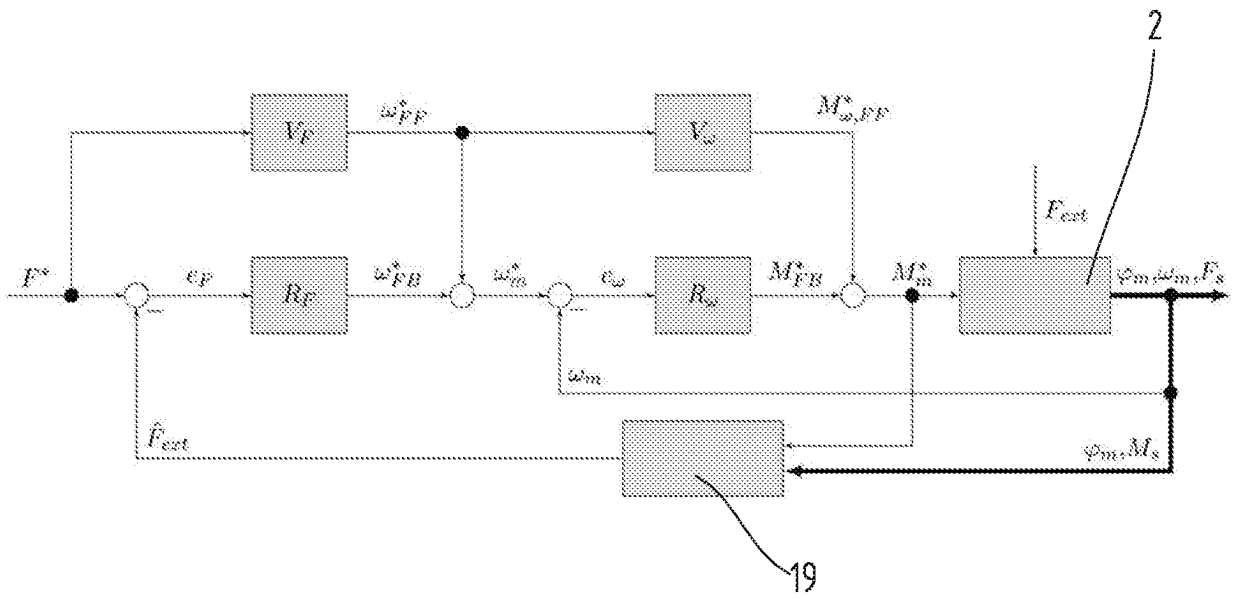
**Fig.7**



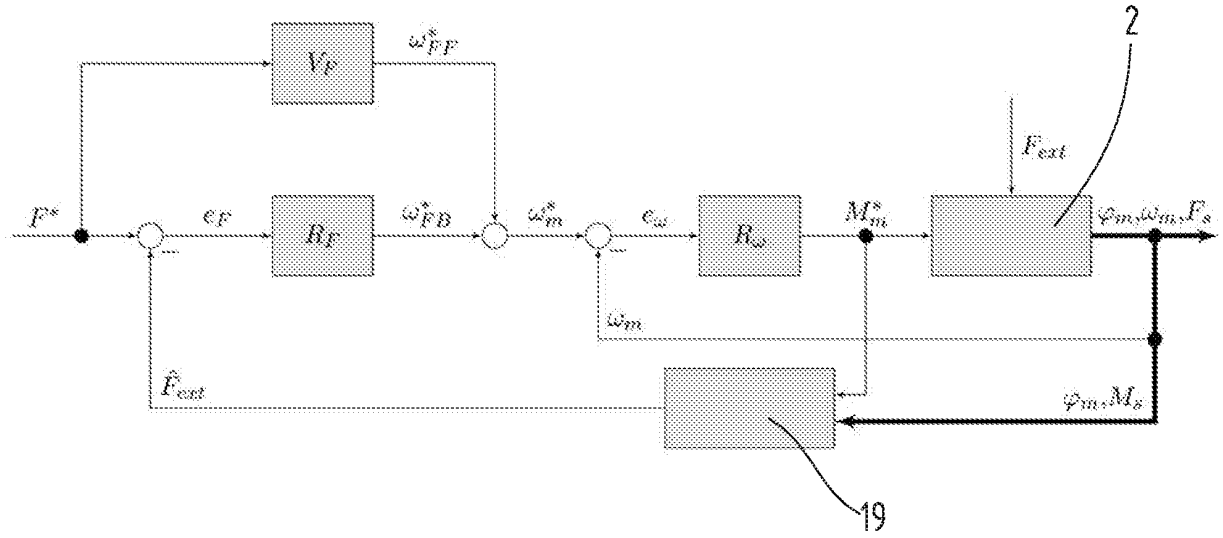
**Fig.8**



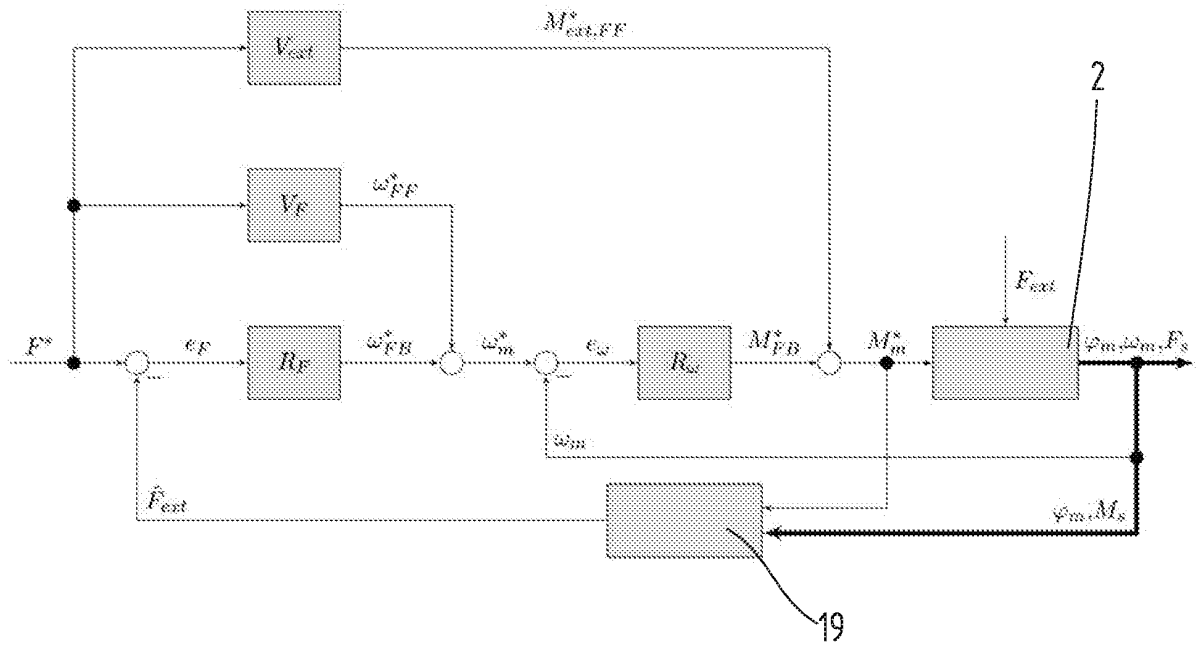
**Fig.9**



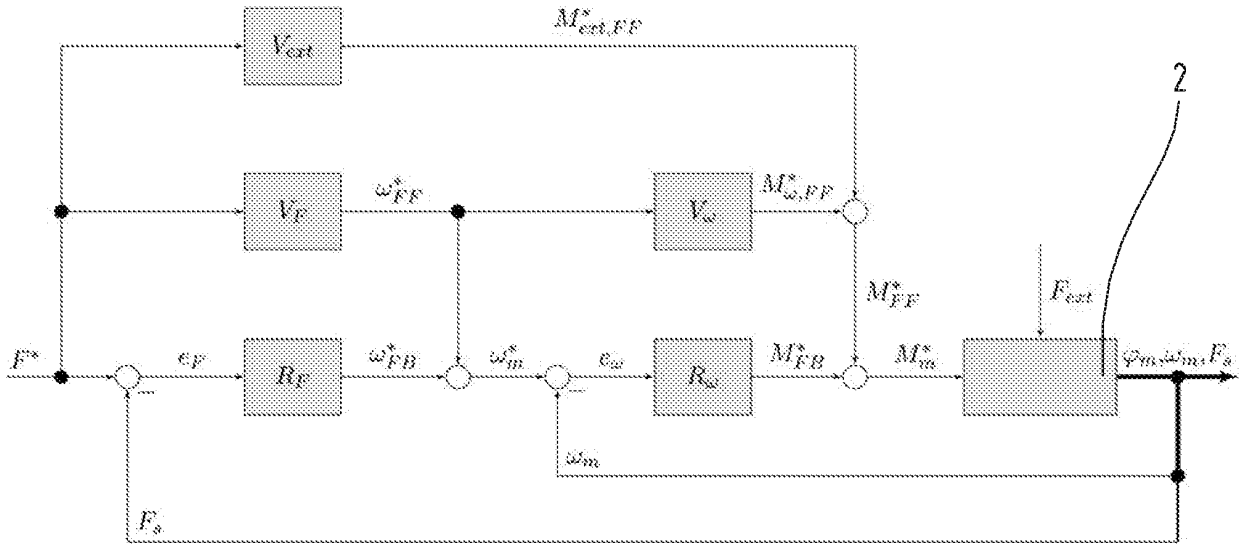
**Fig.10**



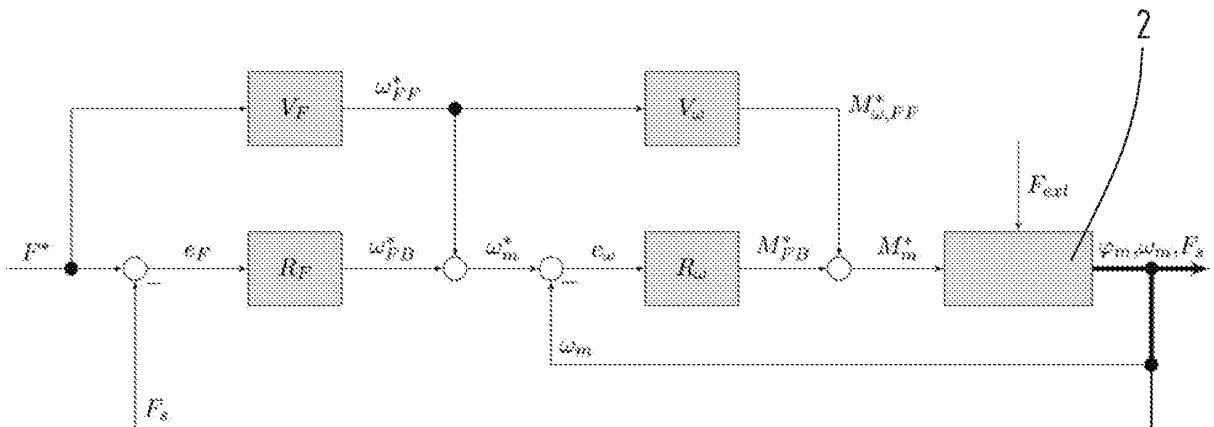
**Fig.11**



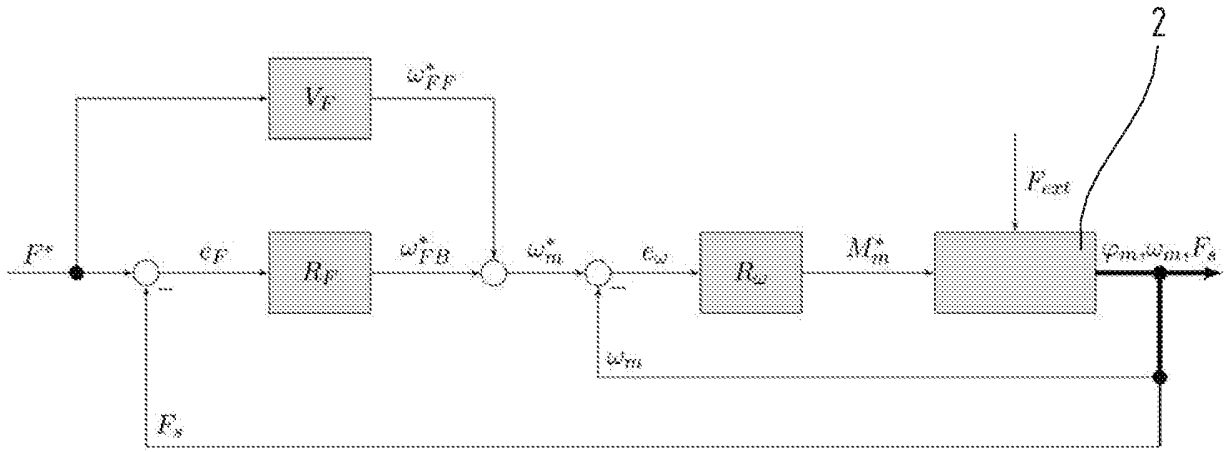
**Fig.12**



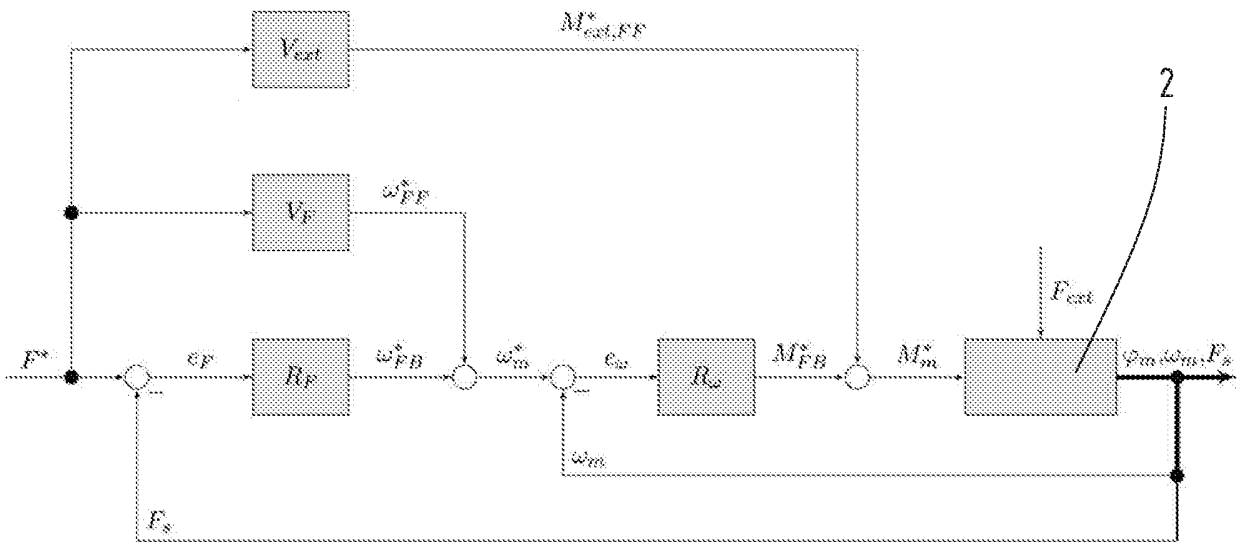
**Fig.13**



**Fig.14**



**Fig.15**



**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**

- DE 19606842 A1 [0003]