

5 Anmelder:

TRUMPF Werkzeugmaschinen GmbH + Co. KG  
Johann-Maus-Str. 2  
D-71254 Ditzingen

10

Vertreter:

TRUMPF Patentabteilung  
15 Trumpf GmbH + Co. KG  
TH501 Patente und Lizenzen  
Johann-Maus-Str. 2  
D-71254 Ditzingen

20

25 Verfahren zum Bestimmen von Materialeigenschaften eines Werkstücks  
durch Audioanalyse einer Werkstückbearbeitung sowie  
Stanzmaschine und Computerprogrammprodukt

30 Die Erfindung betrifft ein Verfahren zum Bestimmen mindestens einer Material-  
eigenschaft eines Werkstücks, insbesondere zum Bestimmen von Werkstück-  
material und/oder Werkstückdicke.

Die Auswahl einer passenden Technologietabelle bei der Laserbearbeitung wird  
bisher manuell durch den Bediener oder Programmierer vorgenommen. Die Aus-

wahl einer solchen Technologietabelle ist abhängig vom Material des jeweils zu bearbeitenden Werkstücks. Daher muss immer darauf geachtet werden, dass die passende Technologietabelle für das momentan verwendete Werkstückmaterial eingestellt ist. Dies resultiert in Mehraufwand und potentiellen Fehlerquellen und schränkt die Flexibilität hinsichtlich einer Automatisierung der Laserbearbeitung ein.

Der vorliegenden Erfindung liegt daher die Aufgabe zugrunde, ein Verfahren zum Bestimmen mindestens einer Materialeigenschaft eines in einer Stanzmaschine angeordneten Werkstücks sowie auch eine zugehörige Stanzmaschine und Computerprogrammprodukt anzugeben.

Diese Aufgabe wird erfindungsgemäß gelöst durch ein Verfahren zum Bestimmen mindestens einer Materialeigenschaft eines in einer Stanzmaschine angeordneten Werkstücks (z.B. Blech), insbesondere zum Bestimmen von Werkstückmaterial und/oder Werkstückdicke, mit folgenden Verfahrensschritten:

- Bearbeiten des Werkstücks durch Ausführen einer Hubbewegung eines Werkzeugs der Stanzmaschine;
- Aufnehmen der beim Bearbeiten des Werkstücks erzeugten Bearbeitungsgeräusche und/oder Werkstückvibrationen; und
- Bestimmen der mindestens einen Materialeigenschaft des Werkstücks durch Vergleichen der aufgenommenen Bearbeitungsgeräusche und/oder Werkstückvibrationen mit Referenz-Bearbeitungsgeräuschen und/oder Referenz-Werkstückvibrationen, die beim Bearbeiten von Referenz-Werkstücken mit bekannten Materialeigenschaften aufgenommen worden sind.

Erfindungsgemäß kann durch eine Werkstückbearbeitung der Stanzmaschine, also z.B. durch Stanzen mit einem Stanzwerkzeug, Prägen mit einem Prägewerkzeug, Signieren mit einem Signierwerkzeug oder Umformen mit einem Umformwerkzeug oder durch Anklopfen mit dem Werkzeug an das Werkstück, anhand einer Audioanalyse der aufgenommenen Bearbeitungsgeräusche (Klang) oder Werkstückvibrationen erkannt werden, ob ein Werkstück des richtigen Materials in der richtigen Dicke in der Stanzmaschine eingelegt ist. So ändern sich beispielsweise die Sprödigkeit und die Schmelztemperatur eines Stahls in Abhängigkeit

seiner Legierungsbestandteile (insbesondere seines Kohlenstoffgehalts), so dass durch Audioanalyse der Bearbeitungsgeräusche oder Werkstückvibrationen die Sprödigkeit und daraus die Schmelztemperatur und daraus das Stahlmaterial bestimmt werden können. Je nach Werkstückdicke ändern sich auch die Bearbeitungsgeräusche und Werkstückvibrationen, so dass auch die Werkstückdicke bzw. Abweichungen von der nominellen Materialdicke bestimmt werden können.

Für den Fall, dass die Bearbeitung des Werkstücks eine erste und eine nachfolgende zweite Bearbeitung umfasst, kann vorteilhaft bei der ersten Bearbeitung durch Audioanalyse der Bearbeitungsgeräusche oder Werkstückvibrationen mindestens eine für die zweite Bearbeitung relevante Materialeigenschaft des Werkstücks, insbesondere Werkstückmaterial und/oder Werkstückdicke, bestimmt werden. Bevorzugt ist die erste Bearbeitung eine andere Bearbeitung als Stanzen oder Umformen und die zweite Bearbeitung eine Stanz- oder Umformbearbeitung, denn beim Stanzen und Umformen (Biegen) spielen die Materialeigenschaften eine größere Rolle als bei den anderen Bearbeitungsarten, so dass vor Stanz- oder Umformbearbeitungen die Materialeigenschaften bevorzugt durch andere Bearbeitungsarten bestimmt werden. Dadurch können bspw. schon die ersten Stanz- oder Umformbearbeitungen mit einem verbesserten Schnittspiel zwischen Ober- und Unterwerkzeug bzw. der richtigen Rückfederungskonstante durchgeführt werden.

Vorteilhaft werden mit einem ersten Stanzhub oder einer ersten Umformung alle bearbeitungsrelevanten Materialeigenschaften bestimmt und diese Information genutzt, um möglichst alle folgenden Bearbeitungen, also z.B. weitere mechanische Bearbeitungen oder Laserbearbeitungen, mit verbesserten Parametern durchführen zu können.

Vorzugsweise erfolgt das Bearbeiten des Werkstücks mit unterschiedlichen Stanzwerkzeugen der Stanzmaschine, um durch Audioanalyse der jeweiligen Stanzgeräusche Materialeigenschaften wie z.B. die Werkstückdicke zu bestimmen.

Besonders bevorzugt wird das Bestimmen der mindestens einen Materialeigenschaft des Werkstücks automatisiert für jedes neu in der Stanzmaschine angeordnete Werkstück durchgeführt, wodurch bedienerabhängige Fehlerquellen weiter reduziert werden und der Automatisierungsgrad der Bearbeitung erhöht wird.

5

Bei einem in einer Stanz-/Laserkombinationsmaschine angeordneten Werkstück wird bevorzugt mindestens eine für eine Laserbearbeitung relevante Materialeigenschaft des Werkstücks, insbesondere Werkstückmaterial und/oder Werkstückdicke, vor der Laserbearbeitung des Werkstücks durch Vergleichen der mit einem Werkzeug der Stanz-/Laserkombinationsmaschine erzeugten Bearbeitungsgeräusche und/oder Werkstückvibrationen mit den Referenz-Bearbeitungsgeräuschen und/oder den Referenz-Werkstückvibrationen bestimmt. Bei Stanz-/Laserkombinationsmaschinen wird in den meisten Fällen vor der Laserbearbeitung (z.B. Laserschnitt) eine Stanzbearbeitung durchgeführt, deren Stanzgeräusche erfindungsgemäß zur Bestimmung der laserrelevanten Materialeigenschaft genutzt werden können. Anhand der so bestimmten, mindestens einen Materialeigenschaft des Werkstücks kann dann mindestens ein Laserbearbeitungsparameter, insbesondere eine Technologietabelle, für die folgende Laserbearbeitung des Werkstücks automatisiert ausgewählt oder angepasst werden.

20

Vorzugsweise wird die bestimmte, mindestens eine Materialeigenschaft des Werkstücks zusammen mit den zugehörigen aufgenommenen Bearbeitungsgeräuschen und/oder Werkstückvibrationen als Referenz-Bearbeitungsgeräusche und/oder Referenz-Werkstückvibrationen gespeichert, insbesondere in einer Technologietabelle. Vorteilhaft können die bestimmte, mindestens eine Materialeigenschaft des Werkstücks und die zugehörigen aufgenommenen Bearbeitungsgeräusche und/oder Werkstückvibrationen zum Überprüfen und gegebenenfalls zum Anpassen der Technologietabelle verwendet werden. Mithilfe von maschinellem Lernen, beispielsweise unter Verwendung eines neuronalen Netzwerks, können in den Daten dann bestimmte Muster erkannt und dadurch auch bestimmte Fehlerarten identifiziert werden.

30

Die Erfindung betrifft in einem weiteren Aspekt auch eine Stanzmaschine, insbesondere eine Stanz-/Laserkombinationsmaschine, mit einem absenkbaaren Werk-

zeug zum Bearbeiten eines Werkstücks, mit mindestens einem Mikrofon zur Aufnahme von bei einer Werkstückbearbeitung erzeugten Bearbeitungsgeräuschen und/oder mindestens einem Vibrationssensor zur Aufnahme von bei einer Werkstückbearbeitung erzeugten Werkstückvibrationen, mit einem Datenspeicher zum Speichern von Referenz-Bearbeitungsgeräuschen und/oder Referenz-Werkstückvibrationen, die beim Bearbeiten von Referenz-Werkstücken mit bekannten Materialeigenschaften aufgenommen worden sind, und mit einer Auswerteeinheit, die mit dem Mikrofon und/oder dem Vibrationssensor sowie mit dem Datenspeicher verbunden ist, zur Bestimmung mindestens einer Materialeigenschaft des Werkstücks durch Vergleich der bei der Werkstückbearbeitung aufgenommenen Bearbeitungsgeräusche und/oder Werkstückvibrationen mit gespeicherten Referenz-Bearbeitungsgeräuschen und/oder Referenz-Werkstückvibrationen.

Die Erfindung betrifft schließlich auch ein Computerprogrammprodukt, welches Codemittel aufweist, die zum Durchführen aller Schritte des erfindungsgemäßen Verfahrens angepasst sind, wenn das Programm auf einer Steuerung einer Stanzmaschine, insbesondere Stanz-/Laserkombinationsmaschine, abläuft.

Weitere Vorteile und vorteilhafte Ausgestaltungen des Gegenstands der Erfindung ergeben sich aus der Beschreibung, den Ansprüchen und der Zeichnung. Ebenso können die vorstehend genannten und die noch weiter aufgeführten Merkmale je für sich oder zu mehreren in beliebigen Kombinationen Verwendung finden. Die gezeigten und beschriebenen Ausführungsformen sind nicht als abschließende Aufzählung zu verstehen, sondern haben vielmehr beispielhaften Charakter für die Schilderung der Erfindung.

Es zeigt:

Fig. 1 schematisch eine erfindungsgemäße Stanz-/Laserkombinationsmaschine zum Durchführen des erfindungsgemäßen Verfahrens.

Die in **Fig. 1** schematisch gezeigte Stanz-/Laserkombinationsmaschine **1** dient zum Bearbeiten eines Werkstücks (z.B. Blech) **2** mittels eines Stanzwerkzeugs **3**

und eines Laserstrahls **4**. Das Stanzwerkzeug **3** ist zum Stanzen des Werkstücks **2** absenkbar in einem Bearbeitungskopf **5** der Maschine **1** angeordnet, aus dem auch der Laserstrahl **4** zum Laserbearbeiten des Werkstücks **2** austritt. Der Bearbeitungskopf **5** und das auf einer Werkstückauflage **6** aufliegende Werkstück **2**

5 sind mittels nicht gezeigter Antriebe in Richtung der X- und Y-Achsen relativ zueinander bewegbar gelagert. Eine Maschinensteuerung **7** dient sowohl zum Ansteuern der Antriebe als auch zum Ansteuern des Laserstrahls **4** und der Hubbewegung des Stanzwerkzeugs **3**.

10 Die Maschine **1** umfasst ferner ein oder mehrere Mikrofone **10** zur Aufnahme von Stanzgeräuschen, einen Datenspeicher **11** und eine Auswerteeinheit **12**, die mit den Mikrofonen **10** und mit dem Datenspeicher **11** verbunden ist, zum Auswerten der aufgenommenen Stanzgeräusche. Im Datenspeicher **11** sind Referenz-

15 Stanzgeräusche gespeichert, die beim Stanzen von Referenz-Werkstücken mit bekannten Materialeigenschaften, insbesondere mit bekanntem Werkstückmaterial und bekannter Werkstückdicke, aufgenommen worden sind.

Wenn ein neues Werkstück **2** für eine Laserbearbeitung in die Stanz-Laser-Kombimaschine **1** eingelegt ist, werden vor der Laserbearbeitung die folgenden

20 Verfahrensschritte nacheinander automatisiert durchgeführt:

1. Durchführen einer Stanzbearbeitung an dem Werkstück **2**. In den meisten Fällen wird vor der Laserbearbeitung (z.B. Laserschnitt) ohnehin eine Stanzbearbeitung durchgeführt.
2. Aufnehmen der während der Stanzbearbeitung erzeugten Stanzgeräusche mit den Mikrofonen **10**.
- 25 3. Bestimmen mindestens einer Materialeigenschaft des Werkstücks **2**, wie z.B. Werkstückmaterial und -dicke, mittels der Auswerteeinheit **12**, indem die aufgenommenen Stanzgeräusche durch Audioanalyse mit den gespeicherten Referenz-Stanzgeräuschen verglichen werden.
- 30 4. Überprüfen mittels der Auswerteeinheit **12**, ob ein Werkstück **2** des richtigen Materials in der richtigen Dicke eingelegt ist. Wenn das eingelegte Werkstück als falsch erkannt wird, kann ein neues Werkstück eingelegt werden.
5. Optional: Auswählen einer passenden Lasertechnologietabelle **13** aus einer Technologie-Datenbank **14** durch die Maschinensteuerung **7** anhand der be-

stimmten, mindestens einen Materialeigenschaft des Werkstücks 2 für die Laserbearbeitung des Werkstücks 2.

6. Durchführen der Laserbearbeitung des Werkstücks 2.

- 5 Vorzugsweise werden die so bestimmte(n) Materialeigenschaft(en) des Werkstücks 2 und die zugehörigen aufgenommenen Stanzgeräusche als Referenz-Stanzgeräusche im Datenspeicher 11 gespeichert, insbesondere in oder zugeordnet zur Technologietabelle 13. Vorteilhaft können die bestimmte(n) Materialeigenschaft(en) des Werkstücks 2 und die zugehörigen aufgenommenen Stanzgeräusche zum Überprüfen und gegebenenfalls zum Anpassen der Technologietabelle 13 verwendet werden. Mithilfe von maschinellem Lernen, beispielsweise unter Verwendung eines neuronalen Netzwerks, können in den Daten dann bestimmte Muster erkannt und dadurch auch bestimmte Fehlerarten identifiziert werden.
- 10
- 15 Alternativ oder zusätzlich zu dem bzw. den Mikrofonen 10 können auch ein oder mehrere Vibrationssensoren **15** am Werkstück 2 selbst oder integriert in der Werkstückauflage 6 angeordnet sein, welche die beim Stanzen erzeugten Werkstückvibrationen aufnehmen. Durch Vergleich der aufgenommenen Werkstückvibrationen mit Referenz-Werkstückvibrationen, die beim Stanzen von Referenz-
- 20 Werkstücken mit bekannten Materialeigenschaften aufgenommen worden sind und im Datenspeicher 11 gespeichert sind, kann mindestens eine Materialeigenschaft des Werkstücks 2, wie z.B. Werkstückmaterial und -dicke, mittels der Auswerteeinheit 12 bestimmt werden.
- 25 Statt das Werkstück 2 zu stanzen, kann das Werkstück 2 auch mit einem Oberflächenwerkzeug geprägt werden oder zum Erzeugen von Geräuschen oder Vibrationen auch nur angestoßen werden.

5

Patentansprüche

1. Verfahren zum Bestimmen mindestens einer Materialeigenschaft eines in einer Stanzmaschine (1) angeordneten Werkstücks (2), insbesondere zum Bestimmen von Werkstückmaterial und/oder Werkstückdicke, mit folgenden Verfahrensschritten:
- 10
- Bearbeiten des Werkstücks (2) durch Ausführen mindestens einer Hubbewegung eines Werkzeugs (3) der Stanzmaschine (1),
  - Aufnehmen der beim Bearbeiten des Werkstücks (2) erzeugten Bearbeitungsgeräusche und/oder Werkstückvibrationen, und
  - 15 - Bestimmen der mindestens einen Materialeigenschaft des Werkstücks (2) durch Vergleichen der aufgenommenen Bearbeitungsgeräusche und/oder Werkstückvibrationen mit Referenz-Bearbeitungsgeräuschen und/oder Referenz-Werkstückvibrationen, die beim Bearbeiten von Referenz-Werkstücken mit bekannten Materialeigenschaften aufgenommen
  - 20 worden sind.
2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass das Bearbeiten des Werkstücks (2) mindestens eine der folgenden Bearbeitungsarten umfasst: Stanzen, Prägen, Signieren, Umformen des Werkstücks (2) und An-
- 25 klopfen an das Werkstück (2).
3. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, dass die Bearbeitung des Werkstücks (2) eine erste und eine nachfolgende zweite Bearbeitung umfasst und dass bei der ersten Bearbeitung mindestens eine für
- 30 die zweite Bearbeitung relevante Materialeigenschaft des Werkstücks (2), insbesondere Werkstückmaterial und/oder Werkstückdicke, bestimmt wird.



4. Verfahren nach Anspruch 3, dadurch gekennzeichnet, dass die erste Bearbeitung eine andere Bearbeitung als Stanzen oder Umformen und die zweite Bearbeitung eine Stanz- oder Umformbearbeitung ist.
- 5 5. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass das Bearbeiten des Werkstücks (2) mit verschiedenen Werkzeugen (3) der Stanzmaschine (1) erfolgt.
- 10 6. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass das Bestimmen der mindestens einen Materialeigenschaft des Werkstücks (2) automatisiert für jedes neu in der Stanzmaschine (1) angeordnete Werkstück (2) durchgeführt wird.
- 15 7. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass bei einem in einer Stanz-/Laserkombinationsmaschine (1) angeordneten Werkstück (2) mindestens eine für eine Laserbearbeitung relevante Materialeigenschaft des Werkstücks (2), insbesondere Werkstückmaterial und/oder Werkstückdicke, vor der Laserbearbeitung des Werkstücks (2) bestimmt wird durch Vergleichen der mit einem Werkzeug (3) der  
20 Stanz-/Laserkombinationsmaschine (1) erzeugten Bearbeitungsgeräusche und/oder Werkstückvibrationen mit den Referenz-Bearbeitungsgeräuschen und/oder den Referenz-Werkstückvibrationen.
- 25 8. Verfahren nach Anspruch 7, dadurch gekennzeichnet, dass für die Laserbearbeitung des Werkstücks (2) mindestens ein Laserbearbeitungsparameter, insbesondere eine Technologietabelle (13), anhand der bestimmten, mindestens einen Materialeigenschaft des Werkstücks (2) automatisiert ausgewählt oder angepasst wird.
- 30 9. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die bestimmte, mindestens eine Materialeigenschaft des Werkstücks (2) zusammen mit den zugehörigen aufgenommenen Bearbeitungsgeräuschen und/oder Werkstückvibrationen als Referenz-

Bearbeitungsgeräusche und/oder Referenz-Werkstückvibrationen gespeichert wird, insbesondere in einer Technologietabelle (13).

5 10. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die bestimmte, mindestens eine Materialeigenschaft des Werkstücks (2) und die zugehörigen aufgenommenen Bearbeitungsgeräusche und/oder Werkstückvibrationen zum Überprüfen und gegebenenfalls zum Anpassen einer Technologietabelle (13) verwendet werden.

10 11. Stanzmaschine (1), insbesondere Stanz-/Laserkombinationsmaschine, mit einem absenkbaaren Werkzeug (3) zum Bearbeiten eines Werkstücks (2), gekennzeichnet durch:

- 15 - mindestens ein Mikrofon (10) zur Aufnahme von bei einer Werkstückbearbeitung erzeugten Bearbeitungsgeräuschen und/oder mindestens einen Vibrationssensor (15) zur Aufnahme von bei einer Werkstückbearbeitung erzeugten Werkstückvibrationen,
- einen Datenspeicher (11) zum Speichern von Referenz-Bearbeitungsgeräuschen und/oder Referenz-Werkstückvibrationen, die beim Bearbeiten von Referenz-Werkstücken mit bekannten Materialeigenschaften aufgenommen worden sind, und
- 20 - eine Auswerteeinheit (12), die mit dem Mikrofon (10) und/oder dem Vibrationssensor (15) sowie mit dem Datenspeicher 12 verbunden ist, zur Bestimmung mindestens einer Materialeigenschaft des Werkstücks (2) durch Vergleich der bei der Werkstückbearbeitung aufgenommenen Bearbeitungsgeräusche und/oder Werkstückvibrationen mit den gespeicherten Referenz-Bearbeitungsgeräuschen und/oder Referenz-
- 25 Werkstückvibrationen.

30 12. Computerprogrammprodukt, welches Codemittel aufweist, die zum Durchführen aller Schritte des Verfahrens nach einem der Ansprüche 1 bis 10 angepasst sind, wenn das Programm auf einer Steuerung (7) einer Stanzmaschine (1), insbesondere Stanz-/Laserkombinationsmaschine, abläuft.

5

### Zusammenfassung

Das erfindungsgemäße Verfahren zum Bestimmen mindestens einer Materialeigenschaft eines in einer Stanzmaschine (1) angeordneten Werkstücks (2), insbesondere zum Bestimmen von Werkstückmaterial und/oder Werkstückdicke, umfasst die folgenden Verfahrensschritte:

10

- Bearbeiten des Werkstücks (2) durch Ausführen mindestens einer Hubbewegung eines Werkzeugs (3) der Stanzmaschine (1),
- Aufnehmen der beim Bearbeiten des Werkstücks (2) erzeugten Bearbeitungsgeräusche und/oder Werkstückvibrationen, und

15

- Bestimmen der mindestens einen Materialeigenschaft des Werkstücks (2) durch Vergleichen der aufgenommenen Bearbeitungsgeräusche und/oder Werkstückvibrationen mit Referenz-Bearbeitungsgeräuschen und/oder Referenz-Werkstückvibrationen, die beim Bearbeiten von Referenz-Werkstücken mit bekannten Materialeigenschaften aufgenommen worden sind.

20

(Fig. 1)

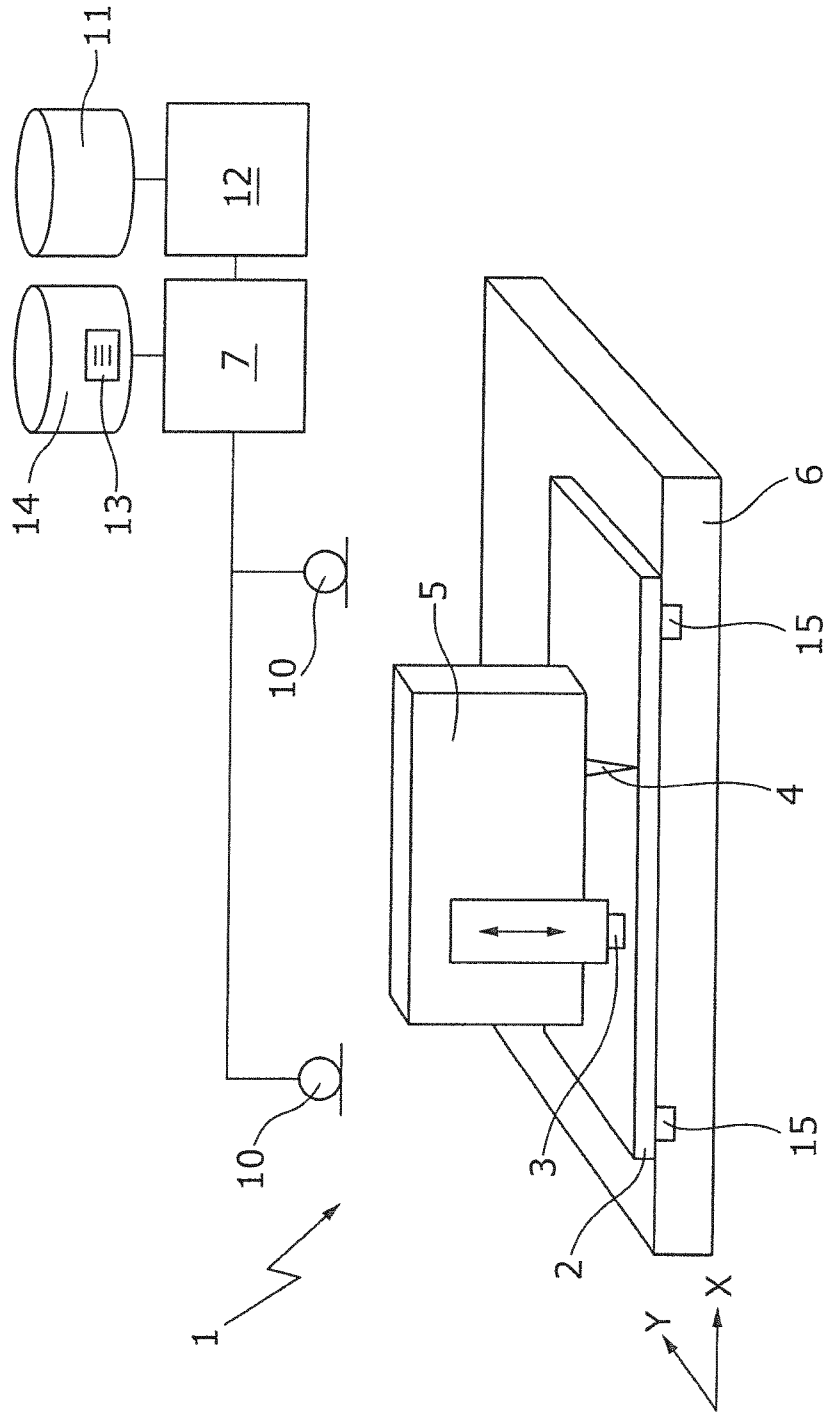


Fig. 1