



## Beschreibung

[0001] Die Erfindung betrifft ein Verfahren zum Runds Schleifen bei der Herstellung von Werkzeugen aus Hartmetall auf einer Runds Schleifmaschine, die einen Werkstückspindelstock und einen Reitstock aufweist, wobei von einem aus Hartmetall bestehenden Rundstab als Ausgangsmaterial ausgegangen wird, gemäß dem Oberbegriff des Anspruchs 1.

## Stand der Technik

[0002] Nach dem aus der betrieblichen Praxis bekannten Stand der Technik geht man in der Regel von Rundstäben aus gesintertem Hartmetall aus. Diese Stäbe haben dann für den Schaftbereich ein Schleifaufmaß und werden auf die erforderliche Werkzeuglänge abgelängt, oder die Ausgangskörper werden in ihrer gesamten Länge durch spitzenloses Runds Schleifen, das sogenannte Centerless-Schleifen, auf das erforderliche Schaftmaß gebracht und anschließend abgelängt. Aus den einzelnen abgelängten Stangenstücken wird sodann das Werkzeug durch Schleifen aus dem Vollem hergestellt. Hierzu werden die Hartmetall-Werkzeuge beim Schleifen zwischen Hohlkörnern, Spitzen oder in einem Spannfutter aufgenommen. Das Schleifen erfolgt entweder im konventionellen Schleifverfahren oder im Schälschleifverfahren mittels Diamantschleifscheiben. Auf jeden Fall ist ein mehrmaliges Umspannen erforderlich, weil zuerst die einzelnen Stangenstücke durch Schleifen und Ablängen, gegebenenfalls auch in umgekehrter Reihenfolge, hergestellt werden und sodann in nachgeschalteten Schleifvorgängen, welche auf anderen Maschinen stattfinden, das Herausschleifen der Werkzeug-Konturen sowie der Schneiden, Abstufungen, Spiralnuten und dergleichen erfolgt.

[0003] Die bekannten Verfahren nach dem Stand der Technik arbeiten zufriedenstellend, bringen jedoch die Gefahr der Rundlauffehler mit sich. Diese Fehler sind vor allem in dem mehrmaligen Umspannen begründet. Selbst wenn mit großem Aufwand hinsichtlich der Präzision gearbeitet wird, sind derartige Rundlauffehler nicht immer zu vermeiden. Sie machen sich am fertigen Werkzeug durchaus unangenehm bemerkbar. Das gilt besonders für Hochgeschwindigkeits-Bearbeitungen, zum Beispiel im Flugzeugbau. Hier wird mit Fräswerkzeugen gearbeitet, die mit Umdrehungszahlen von 30.000 bis 60.000 Umdrehungen pro Minute arbeiten. Bei der Bearbeitung von den im Flugzeugbau weitverbreiteten Leichtmetall-Teilen macht sich auch der kleinste Rundlauffehler am Werkzeug sehr störend bemerkbar.

## Aufgabenstellung

[0004] Der Erfindung liegt daher die Aufgabe zugrunde, das aus dem Stand der Technik bekannte

Verfahren in der Richtung zu verbessern, dass Rundlauffehler bei vergleichbaren Herstellkosten mit Sicherheit vermieden werden.

[0005] Die Lösung dieser Aufgabe gelingt gemäß dem kennzeichnenden Teil des Anspruchs 1 durch die folgenden Verfahrensschritte:

- a) Einspannen des Rundstabes, dessen Länge ein Vielfaches der Länge eines einzelnen Werkzeugs beträgt, in ein Spannfutter des Werkstückspindelstocks, das bei gelöstem Spannfutter ein axiales Verschieben des Rundstabes ermöglicht, wobei ein aus dem Werkstückspindelstock herausragender Endbereich des Rundstabes dem Reitstock zugewandt ist;
- b) Anschleifen mindestens eines Lünettensitzes an dem aus dem Werkstückspindelstock herausragenden Endbereich des Rundstabes und Anstellen der Lünette an den Lünettensitz;
- c) Anschleifen eines ersten Stirnkonus an die dem Reitstock zugewandte Stirnfläche des Rundstabes;
- d) Festspannendes Ineinanderfahren des ersten Stirnkonus mit einem Hohlkörner, der sich an einer Pinole des Reitstockes befindet;
- e) Runds Schleifen des aus dem Werkstückspindelstock herausragenden Endbereiches des Rundstabes über etwa die dem einzelnen Werkzeug entsprechende Gesamtlänge bis auf dessen Runds Schleif-Endkontur;
- f) Abstechen des insoweit fertiggeschliffenen einzelnen Werkzeugs von dem Rundstab;
- g) Lösen des bis dahin gespannt gebliebenen Spannfutters des Werkstückspindelstocks, Verschieben des Rundstabes in dem Werkstückspindelstock in Richtung auf den Reitstock und anschließendes Spannen des Spannfutters, wobei ein weiterer zu bearbeitender Endbereich des Rundstabes aus dem Werkstückspindelstock herausragt.

[0006] Nach dem erfindungsgemäßen Verfahren wird somit „von der laufenden Stange gearbeitet“. Hierzu wird der aus gesintertem Hartmetall bestehende Rundstab, der beispielsweise eine Länge von 300 bis 400 mm aufweisen kann, schrittweise durch das Spannfutter des Werkstückspindelstocks hindurchgeschoben und jeweils festgespannt, wenn ein bestimmter, dem herzustellenden Werkzeug in seiner Länge etwa entsprechender Endbereich des Rundstabes aus dem Werkstückspindelstock herausragt und dem Reitstock zugewandt ist. Das Besondere des erfindungsgemäßen Verfahrens besteht darin, dass der herausragende Endbereich, noch während er mit dem übrigen Rundstab verbunden ist, auf seine Runds Schleif-Endkontur abgeschliffen wird. Die Runds Schleif-Endkontur des herzustellenden Hartmetall-Werkzeugs ist diejenige Kontur des fertigen Werkzeugs, die durch Runds Schleifen herzustellen ist. Anschließend müssen noch Schneiden, Spiralnuten und dergleichen in anschließenden Verfahren in das

Werkzeug eingearbeitet werden. Da der aus dem Werkstückspindelstock herausragende Endbereich je nach Werkzeug eine beachtliche Länge aufweisen kann, ist es erforderlich, ihn an seinem freien Ende einzuspannen, wozu wiederum eine Kontur von hoher Genauigkeit erforderlich ist. Deswegen wird bei dem erfindungsgemäßen Verfahren zunächst mindestens ein Lünettensitz an den frei herausragenden Endbereich angeschliffen. Wenn dann der Endbereich mittels des mindestens einen Lünettensitzes an einer oder mehreren Lünetten abgestützt ist, kann das Anschleifen eines ersten Stirnkonus an die dem Reitstock zugewandte Stirnfläche des Rundstabes bzw. seines Endbereiches mit der erforderlichen Genauigkeit erfolgen. Der Stirnkonus wird sodann mit einem Hohlkürper an einer Pinole des Reitstockes festspannend ineinandergefahren. Der Endbereich ist nunmehr an seinen beiden Enden eingespannt, ohne dass ein Lösen der ersten Aufspannung im Werkstückspindelstock erforderlich war. Nunmehr kann das Rundschleifen auf die schon erläuterte Rundschleif-Endkontur mit der erforderlichen Genauigkeit vorgenommen werden.

[0007] Anschließend wird das insoweit fertiggeschliffene einzelne Werkzeug von dem Rundstab abgestochen; das bis dahin gespannt gebliebene Spannfutter des Werkstückspindelstocks wird gelöst und der Rundstab wird in dem gelösten Spannfutter ein Stück weiter in Richtung auf den Reitstock vorgeschoben, wobei ein weiterer zu bearbeitender Endbereich des Rundstabes aus dem Werkstückspindelstock herausragt.

[0008] In dem hier vorliegenden Zusammenhang bedeutet die Vorschrift eines „insoweit fertiggeschliffenen einzelnen Werkzeuges“ etwas anderes als ein Fertigschleifen im Sinne des Schlichtens als Gegensatz zum Schrappen. Es bedeutet auch nicht, dass das herzustellende Hartmetall-Werkzeug bereits gebrauchsfertig sein muss. Vielmehr bedeutet der Begriff des Fertigschleifens hier nur, dass das entstehende Hartmetall-Werkzeug in seiner ersten Aufspannung so weit fertig herausgeschliffen ist, wie das durch Rundschleifen die Aufgabe ist, eben bis zu seiner gewünschten Rundschleif-Endkontur.

[0009] Die Vorteile des erfindungsgemäßen Verfahrens bestehen vor allem darin, dass mehrmaliges Aufspannen vermieden wird. Somit werden Umspannfehler vermieden, und es ergeben sich beste Rundlaufergebnisse und Form- und Lagetoleranzen in Bezug auf Schaft und Schneidenteil. Dabei sind trotz höherer Anschaffungskosten der Rundschleifmaschine die Kosten für das einzelne Werkstück verringert, weil das entstehende Werkzeug in einer einzigen Maschine vom Roh- zum Halbfertigteil oder auch Fertigteil bearbeitet wird. Weiterhin sind die Durchlaufzeiten verringert; und es kann sehr schnell auf die Bestellung eines bestimmten Hartmetall-Werkzeuges reagiert werden, weil die gewünschten Endbereiche in unterschiedlichen Längen von dem Rundstab abgestochen werden können. Somit

kann schließlich auch die Lagerhaltung von Halbfabrikaten verringert werden, weil flexibel und schnell gefertigt werden kann.

[0010] Eine vorteilhafte Weiterbildung des erfindungsgemäßen Verfahrens besteht darin, dass beim Rundschleifen des aus dem Werkstückspindelstock herausragenden Endbereiches des Rundstabes die Lünette von dem Lünettensitz zurückgefahren ist. Die Lünette dient vor allem dazu, das dem Reitstock zugewandte Einspannende des aus dem Werkstückspindelstock herausragenden Endbereiches des Rundstabes mit größtmöglicher Genauigkeit anzuschleifen. Hingegen kann das Einschleifen der Werkzeug-Kontur ohne zusätzliche Abstützung durch Lünetten erfolgen. Hierdurch wird der Bearbeitungsvorgang vereinfacht, und es lässt sich ohne Weiteres eine einwandfreie Oberfläche der Rundschleif-Endkontur erreichen.

[0011] Bei hohen Anforderungen an die Genauigkeit selbst dünner Rundstäbe können an dem Endbereich des Rundstabes zwei Lünettensitze axial beabstandet angeschliffen werden. In vielen Fällen, also bei kürzeren Hartmetall-Werkzeugen, wird aber ein einziger Lünettensitz ausreichen.

[0012] Eine weitere vorteilhafte Ausgestaltung des erfindungsgemäßen Verfahrens besteht darin, dass der aus dem Werkstückspindelstock herausragende Endbereich des Rundstabes nach dem Rundschleifen von dem verbleibenden Rundstab abgetrennt wird, indem mit einer einzigen Schleifscheibe zunächst bei rotierendem Rundstab ein zweiter Stirnkonus an die dem Werkstückspindelstock zugewandte Stirnfläche des insoweit fertigen Werkzeugs angeschliffen wird, sodann nach Zurückfahren und axialem Versetzen der Schleifscheibe gegenüber dem Rundstab ein nur einen zentralen Verbindungsbund belassender Trennschnitt angebracht und schließlich nach Stillsetzen der Rotationsbewegung des Rundstabes der Trennvorgang durch Wegschleifen des Verbindungsbundes abgeschlossen wird.

[0013] Bei dieser Vorgehensweise bleibt der herausragende Endbereich des Rundstabes bis zum letzten möglichen Zeitpunkt mit dem übrigen Rundstab verbunden, nämlich über den zentralen Verbindungsbund. Somit ist bis zuletzt ein zweiseitiges Einspannen des Endbereiches ohne nochmaliges Umspannen gewährleistet, und die Bearbeitungsgenauigkeit wird ohne zusätzlichen Aufwand weiter verbessert. Ferner kann so lang wie möglich am rotierenden Rundstab geschliffen werden, was für die thermische Belastung des entstehenden Werkzeugs vorteilhaft ist.

[0014] Beim endgültigen Abstechen des fertig geschliffenen einzelnen Werkzeugs werden sodann der Reitstock und/oder die Pinole von dem entstehenden fertigen Werkzeug zurückgefahren, und dieses wird von einer Greifereinheit gehalten. Die Greifereinheit kann nach dem Ende des Trennvorganges das insoweit fertige Werkzeug aus der Maschine entfernen und ablegen, wodurch die Wirtschaftlichkeit des Ver-

fahrens weiter erhöht wird.

[0015] Für den wichtigsten Vorgang des Rundschleifens gemäß dem Verfahrensschritt e) in Anspruch 1 können die bekannten Rundschleif-Techniken zur Anwendung kommen. So kann das Rundschleifen zum Erzeugen der Werkzeugkontur mit einer schmalen Schleifscheibe im Schältschleifverfahren und/oder mit einer breiten Schleifscheibe in Pendelschleifverfahren erfolgen.

[0016] Das erfindungsgemäße Verfahren kann ebenso in einer fast handwerklichen Vorgehensweise wie in einer hochautomatisierten Ausgestaltung durchgeführt werden. Im letzteren Fall ist vor allem dafür Sorge zu tragen, dass das letzte zu bearbeitende Stangenstück nicht etwa nur mit einer zu geringen axialen Erstreckung im Spannfutter des Werkstückspindelstocks eingespannt ist. In diesem Falle können nämlich Fehler auftreten, die durch einen schlechten Rundlauf infolge zu geringer Einspannlänge bedingt sind. Durch unvollkommenes Spannen können Beschädigungen der Maschine oder sogar Unfälle auftreten, wenn nicht mit der nötigen Sorgfalt gearbeitet wird. Um dies zu verhindern, ist nach einer weiteren Ausgestaltung des erfindungsgemäßen Verfahrens vorgesehen, dass die zum Durchschieben des Rundstabes durch das Spannfutter des Werkstückspindelstocks noch zur Verfügung stehende Restlänge des Rundstabes zumindest bei jedem Spannvorgang kontrolliert und beim Unterschreiten einer Mindestrestlänge ein Signal gegeben und/oder die Rundschleifmaschine stillgesetzt wird.

[0017] Auf diese Weise ist die größte mögliche Sicherheit des Verfahrensablaufes gewährleistet.

[0018] Die Erfindung betrifft auch eine Rundschleifmaschine zum Schleifen von zylindrischen Ausgangskörpern bei der Herstellung von Werkzeugen aus Hartmetall, insbesondere zur Durchführung des Verfahrens nach einem der Ansprüche 1 bis 7.

[0019] Gemäß Anspruch 8 ist eine derartige erfindungsgemäße Maschine mit einem Maschinenbett vorgesehen, mit einem auf dem Maschinenbett verfahrbaren Schleiftisch, auf dem ein Werkstückspindelstock und ein Reitstock angeordnet sind, mit einem Spannfutter an dem Werkstückspindelstock, das ein axiales Hindurchschieben eines als Ausgangsmaterials dienenden Rundstabes und sein Festspannen in unterschiedlichen axialen Stellung ermöglicht, mit mindestens einer im Bereich zwischen dem Werkstückspindelstock und dem Reitstock angeordneten Lünette und einer in demselben Bereich angeordneten Greifereinheit, wobei ein durch das Spannfutter des Werkstückspindelstocks hindurchgeschobener und festgespannter Endbereich des Rundstabes wahlweise durch den Reitstock und/oder die Lünette und/oder die Greifereinheit zusätzlich gehalten werden kann, und mit mindestens einem Schleifspindelstock mit einer oder mehreren Schleifspindeln, durch den eine oder mehrere unterschiedliche Schleifscheiben an den Rundstab anstellbar sind.

[0020] Bei der erfindungsgemäßen Maschine ge-

mäß dem Anspruch 8 wirken somit eine Vielzahl von Merkmalen zusammen, damit die beschriebenen Vorteile des Verfahrens erzielt werden können. Neben dem Spannfutter des Werkstückspindelstocks, der ein Hindurchschieben und schrittweises Festspannen des aus Hartmetall bestehenden Rundstabes erlaubt, sind auch die zahlreichen Einrichtungen zum Abstützen des herausragenden Endbereiches des Rundstabes erforderlich, also der Reitstock, die eine oder mehrere Lünetten und wahlweise auch die Greifereinheit. Das Zusammenwirken aller dieser Einzelteile in dem vorgeschriebenen Sinne ist erforderlich, damit die Hartmetall-Werkzeuge wirtschaftlich und dennoch mit hoher Präzision hergestellt werden können.

[0021] Grundsätzlich ist es möglich, bei der erfindungsgemäßen Rundschleifmaschine mit einer einzigen Schleifscheibe auszukommen, wenn diese in Schrägstellung mit dem Rundstab in Eingriff gebracht werden kann. Auf diese Weise lässt sich nämlich der Stirnkonus an den beiden Enden des entstehenden Werkzeuges anbringen, während bei Parallelstellung von Schleifscheibe und Rundstab das Rundschleifen auf die gewünschte Endkontur durchgeführt werden kann. Es wird jedoch bevorzugt, wenn gemäß einer Ausgestaltung der erfindungsgemäßen Rundschleifmaschine ein Schleifspindelstock vorgesehen ist, der zwei Schleifspindeln trägt und um eine Schwenkachse schwenkbar ist, die senkrecht zu einer Ebene gerichtet ist, in der die gemeinsame Achse von Werkstückspindelstock, Rundstab und Reitstock liegt.

[0022] Auf diese Weise lassen sich schnell zwei verschiedene Schleifspindeln in Wirkstellung bringen, wobei jede dieser Schleifspindeln noch mehrere Schleifscheiben tragen kann.

[0023] Besonders bevorzugt wird dabei die Anordnung einer Mehrfachsleifscheibe, bei der sich zwei oder mehr Schleifscheiben von unterschiedlichem Durchmesser, unterschiedlicher Breite und/oder unterschiedlicher Außenkontur unmittelbar nebeneinander auf einer gemeinsamen angetriebenen Achse befinden.

[0024] Auf diese Weise wird jeweils eine ganz bestimmte, für einen bestimmten Vorgang speziell ausgebildete Schleifscheibe zum Einsatz gebracht, ohne dass dabei die unmittelbar daneben befindliche weitere Schleifscheibe stören muss. Beispielsweise kann von zwei benachbarten Einzelscheiben die eine zum Rundschleifen im Schältschleifverfahren ausgebildet sein, während die andere mit einer kegelförmigen Schleifkontur auf optimale Weise das Anschleifen eines Stirnkonus übernimmt.

[0025] Wenn ein Bedarf nach größeren Stückzahlen dieser Mehrfach-Sleifscheiben besteht, kann es auch vorteilhaft sein, dass die unterschiedlichen Schleifscheiben zu einem gemeinsamen Schleifkörper vereinigt sind. Es liegt dann ein angepasster Formschleifkörper vor, bei dem nur ein einziger Trägerkörper erforderlich ist.

[0026] Die erfindungsgemäße Rundschleifmaschine

ne kann in vorteilhafter Weise mit einer CNC-Steuerung versehen sein, womit dann der gesamte Schleifvorgang weitgehend automatisiert wird.

[0027] In Anbetracht des schon geschilderten Problems, wonach es gerade beim hochautomatisierten Ablauf erforderlich ist, den Schleifvorgang selbsttätig zu überwachen, wird nach einer weiteren vorteilhaften Ausgestaltung dem Spannutter des Werkstückspindelstock ein Sensor zugeordnet, durch den die zum Durchschieben den Rundstabes durch das Spannutter noch zur Verfügung stehende Restlänge des Rundstabes zumindest bei jedem Spannvorgang kontrolliert und beim Unterschreiten einer Mindestrestlänge ein Signal gegeben und/oder die Rundschleifmaschine still gesetzt wird.

[0028] Bei einer derartigen Ausgestaltung wird mit Sicherheit vermieden, dass das letzte Reststück einer Rundstange mit einer zu kleinen Einspannlänge geschliffen wird, wodurch sich leicht Fehler oder sogar Unfälle ergeben können.

[0029] Bei der erfindungsgemäßen Rundschleifmaschine wird in vorteilhafter Weise zudem ein Reitstock mit einer einen Hohlkörner tragenden Pinole verwendet. Ein Hohlkörner eignet sich besonders gut dazu, den Stirnkonus eines zu schleifenden zylindrischen Teils zentrierend und sicher aufzunehmen.

[0030] Das erfindungsgemäße Verfahren und die erfindungsgemäße Rundschleifmaschine sind nicht nur zum Schleifen von Hartmetall-Werkzeugen hervorragend geeignet, sondern auch für sämtliche Werkstücke mit ähnlich gelagerter Kontur und Problematik.

#### Ausführungsbeispiel

[0031] Die Erfindung wird anschließend anhand von in den Figuren dargestellten Ausführungsbeispielen noch näher erläutert. In den Figuren ist das Folgende dargestellt:

[0032] **Fig. 1** ist eine Ansicht von oben auf eine Schleifmaschine zur Durchführung des erfindungsgemäßen Verfahrens.

[0033] **Fig. 2** stellt Einzelheiten der Schleifmaschine gemäß **Fig. 1** beim Anschleifen von Lünettensitzen dar;

[0034] **Fig. 3** ist eine der **Fig. 2** entsprechende Darstellung, wobei das Anschleifen eines Stirnkonus an den Rundstab gezeigt wird.

[0035] **Fig. 4** zeigt alle Möglichkeiten, den aus dem Werkstückspindelstock herausragenden Endbereich des Rundstabes einzuspannen.

[0036] **Fig. 5** stellt zusätzlich die Greifereinheit dar, die beim Abtrennen des Endbereichs von dem Rundstab zum Einsatz kommt.

[0037] Die **Fig. 5a, 5b** und **5c** zeigen den Ablauf des Trennvorgangs nach dem Rundschleifen des entstehenden Werkzeugs.

[0038] **Fig. 6** gibt schematisch den Übergang zum Rundschleifen des folgenden Endbereichs an dem Rundstab wieder.

[0039] **Fig. 7** veranschaulicht zwei verschiedene Hartmetall-Werkzeuge im Zustand ihrer Rundschleif-Endkontur

[0040] **Fig. 1** ist die vereinfachte Ansicht von oben auf eine Schleifmaschine zur Durchführung des erfindungsgemäßen Verfahrens. Mit der Bezugsziffer **1** ist das Maschinenbett dargestellt, auf dem im vorderen Bereich ein Schleiftisch **2** aufgesetzt ist. Der Schleiftisch **2** ist in Richtung der Achse **Z** mittels einer CNC-Steuerung verfahrbar. Auf dem Schleiftisch **2** ist auf der linken Seite ein Werkstückspindelstock **3** aufgesetzt, der ein Spannutter **4** aufnimmt, das mittels eines nicht dargestellten Elektromotors rotatorisch angetrieben ist. Das Spannutter **4** ist vorne an dem Werkstückspindelstock **3** erkennbar. Es dient zum Einspannen des Werkstücks, in diesem Fall also des Rundstabs **6**. Das Spannutter **4** ist derart ausgebildet, dass der Rundstab **6** durch das Spannutter hindurchgeschoben und in gewünschten axialen Stellungen mittels der Spannbacken **5** (**Fig. 2**) festgespannt werden kann. Dem Werkstückspindelstock **3** entgegengesetzt ist auf dem Schleiftisch **2** ein Reitstock **7** angebracht, der eine in Axialrichtung verfahrbare Pinole **8** aufnimmt. Die Pinolenbewegung ist durch den Pfeil **9** dargestellt. Das dem Werkstückspindelstock **3** zugewandte äußere Ende der Pinole **8** ist als Hohlkörner **10** ausgebildet und dient dazu, das als Stirnkonus zugeschliffene Ende des Rundstabes aufzunehmen.

[0041] Mit **11** und **12** sind zwei Lünetten bezeichnet, die zum zusätzlichen Abstützen an den Endbereich des Rundstabs **6** angestellt werden können. Die Verschiebewegung der Lünetten **11** und **12** ist in **Fig. 2** durch die Pfeile **13** und **14** gekennzeichnet.

[0042] Der Rundstab **6**, der Werkstückspindelstock **3** und das Spannutter **4** sowie die Pinole **8** und der Reitstock **7** bilden eine gemeinsame Mittelachse **15**, die auch als gemeinsame Funktionsachse bezeichnet werden kann.

[0043] Aus **Fig. 1** geht weiter ein Schleifspindelstock **16** hervor, der eine erste Schleifspindel **17** und eine zweite Schleifspindel **18** trägt. Die erste Schleifspindel **17** ist mit einer ersten Schleifscheibe **20** und die zweite Schleifspindel **18** mit einer zweiten Schleifscheibe **21** ausgestattet. Der Schleifspindelstock **16** ist um eine Schwenkachse **19** verschwenkbar, die senkrecht zu einer Ebene gerichtet ist, in der die gemeinsame Achse **15** von Werkstückspindelstock **3**, Rundstab **6** und Reitstock **7** liegt. Wie ohne Weiteres aus der Darstellung gemäß **Fig. 1** hervorgeht, kann durch Verschwenken des Schleifspindelstocks **16** um die Schwenkachse **19** wahlweise die erste Schleifscheibe **20** oder die zweite Schleifscheibe **21** in Wirkstellung gebracht werden. Darüberhinaus ist der Schleifspindelstock **16** auch in Richtung der X-Achse linear verfahrbar. Das Verfahren in Richtung der X-Achse erfolgt ebenfalls CNC-gesteuert. Die Schleifspindeln **17** und **18** enthalten integrierte Elektromotoren, wodurch die Schleifscheiben **20, 21** rotatorisch angetrieben werden.

[0044] Zusätzliche Einzelheiten der in **Fig. 1** dargestellten Rundschleifmaschine gehen aus den **Fig. 2** bis **4** hervor.

[0045] So sind in **Fig. 2** die Spannbacken **5** des Spannfutters **4** erkennbar, durch die der Rundstab **6** für den Schleifvorgang eingespannt wird. Wie schon gesagt, kann der Rundstab **6** durch das Spannfutter **4** hindurchgeschoben und in wählbaren axialen Stellung festgespannt werden. Hierbei ragt jeweils ein Endbereich **23** des Rundstabs **6** aus dem Spannfutter **4** bzw. dem Werkstückspindelstock **3** heraus. Die Länge des Endbereichs **23** entspricht etwa der Länge des herzustellenden Hartmetall-Werkzeugs zuzüglich einer bestimmten Einspann- und Bearbeitungslänge, vgl. **Fig. 5**.

[0046] In **Fig. 5** ist außerdem schematisch eine Greifereinheit **22** dargestellt, deren Spannteile **24** und **25** den Endbereich **23** des Rundstabs von außen umgreifen und halten können. Die Bewegung der Spannteile **24**, **25**, ist durch Pfeile **26**, **27** angedeutet.

[0047] Die **Fig. 2** zeigt, wie die erste Schleifspindel **17** des Schleifspindelstocks **16** in die Wirkstellung gefahren ist. Die erste Schleifscheibe **20** ist hier vergrößert dargestellt. Sie weist einen Grundkörper **28** von größerer axialer Erstreckung und einen aus diesem radial herausragenden schmalen Bereich **29** auf. Der schmale Bereich **29** trägt den Schleifbelag **30** von zylindrischer Kontur. Die Schleifscheibe **20** ist beispielsweise als Diamant-Schleifscheibe mit einer Höhe des Schleifbelages von ca. 5 mm ausgeführt.

[0048] In **Fig. 3** hingegen ist die zweite Schleifspindel **18** mit der zweiten Schleifscheibe **21** in Wirkstellung gebracht. Die zweite Schleifscheibe **22** weist eine erste Einzelscheibe und eine zweite Einzelscheibe **32** auf. Die zweite Schleifscheibe kann dabei als Mehrfach-Schleifscheibe ausgebildet sein. Die beiden Einzelscheiben **31** und **32** können aber auch Teile eines gemeinsamen Schleifkörpers mit einem einzigen Grundkörper sein. Mit **33** und **34** sind die Schleifbeläge der beiden Einzelscheiben **31** und **32** bezeichnet. Die beiden Einzelscheiben **31** und **32** haben eine unterschiedliche axiale Dicke und sind beide mit konischen Schleifflächen von entgegengesetzt gerichteter Neigung ausgestattet.

[0049] Auch bei der Darstellung gemäß **Fig. 5** ist die zweite Schleifspindel **18** mit der zweiten Schleifscheibe **21** im Einsatz.

[0050] Die übrigen Maschinenteile, die in den **Fig. 2** bis **5** dargestellt sind, tragen die schon vorher erwähnten Bezugszeichen und sind daher nicht mehr im Einzelnen erläutert.

[0051] Das auf der Schleifmaschine gemäß den **Fig. 1** bis **6** durchzuführende Schleifverfahren läuft in der folgenden Weise ab:

Ausgangsmaterial ist der schon erwähnte Rundstab **6** aus einem gesintertem Hartmetall. Ein derartiger Rundstab, der beispielsweise eine Länge von 300 bis 400 mm aufweisen kann, wird durch das Spannfutter **4** des Werkstückspindelstocks **3** hindurch geschoben, bis ein Endbereich **23** (**Fig. 2**) von gewünschter

Länge aus dem Spannfutter **4** herausragt. In dieser Stellung werden die Spannbacken **5** an den Rundstab **6** gefahren, so dass dieser festgespannt ist.

[0052] Sodann wird die erste Schleifspindel **17** des Schleifspindelstocks **16** in Wirkstellung gebracht. Mittels der an der ersten Schleifspindel **17** befindlichen und rotierend angetriebenen ersten Schleifscheibe **20**, die eine zylindrische Schleiffläche hat, wird sodann ein erster Lünettensitz **35** an den Endbereich **23** des Rundstabs **6** angeschliffen. Anschließend wird die erste Lünette **11** in Richtung des Pfeiles **13** gegen den ersten Lünettensitz **35** gefahren, so dass der Endbereich **23** bei weiteren Schleifvorgängen sicher abgestützt ist.

[0053] Erforderlichenfalls können auch noch ein zweiter Lünettensitz **36** oder weitere Lünettensitze an dem Endbereich **23** des Rundstabs **6** angeschliffen werden. Hierzu ist beispielsweise die zweite Lünette **12** vorgesehen. Hierbei wird dann zuerst der Lünettensitz **36**, der näher am Spannfutter **4** angeordnet ist, und danach der Lünettensitz **35** geschliffen.

[0054] Nach der Darstellung gemäß **Fig. 3** sind beide Lünetten **11** und **12** an die zugehörigen Lünettensitze **35**, **36** angestellt. Der Endbereich **23** ist damit sicher abgestützt. Nunmehr wird die zweite Schleifspindel **18** mit der zweiten Schleifscheibe **21** in Wirkstellung gebracht. Deren erste Einzelscheibe **31** dient sodann dazu, einen ersten Stirnkonus **37** an die dem Reitstock **7** zugewandte Stirnfläche des Rundstabs **6** bzw. seines Endbereichs **23** anzuschleifen. Der erste Stirnkonus **37** ist derart bemessen, dass er in den Hohlkörper **10** der Pinole **8** passt, die in dem Reitstock **7** in Richtung des Pfeiles **9** verschiebbar angeordnet ist.

[0055] **Fig. 4** zeigt den Zustand, in dem das freie Ende des Endbereichs **23** mit dem ersten Stirnkonus **37** in dem Hohlkörper **10** festgespannt ist. In Wirkstellung befindet sich wieder die erste Schleifspindel **17** des Schleifspindelstocks **16**, die nunmehr CNC-gesteuert in Richtung der X-Achse an den Endbereich **23** zugestellt wird. Zugleich wird der Schleiftisch **2** in Richtung der Z-Achse CNC-gesteuert verfahren. Auf diese Weise wird mittels der ersten Schleifscheibe **20** fast die gesamte Länge des Endbereichs **23** im Schältschleifverfahren rundgeschliffen. Das bedeutet, dass diese Länge in einem einzigen Vorgang der Schleifscheibe **20** an dem Endbereich **23** geschliffen wird. Es ist jedoch auch möglich, eine breitere Schleifscheibe zu verwenden und den Vorgang im Pendelschleifverfahren durchzuführen. Hierbei erfolgen dann mehrere radiale Zustellbewegungen, und die Längsbewegung muss mehrfach wiederholt werden, bis das Schleifaufmass **38** abgetragen und der gewünschte Oberflächenzustand des Endbereichs **23** erreicht ist.

[0056] Die **Fig. 4** gibt einen Zustand wieder, bei dem die Lünetten **11** und **12** auch während dieses Teilvorganges an dem Endbereich **23** angestellt sind. Das ist jedoch keinesfalls zwingend. Der Einsatz der Lünetten **11** und **12** ist vor allem beim Anschleifen

des ersten Stirnkonus **37** unumgänglich. Bei den folgenden Vorgängen kann auch derart gearbeitet werden, dass die Lünetten dann zurückgefahren sind.

[0057] Der in **Fig. 4** dargestellte Vorgang des Rundschleifens beschränkt sich keineswegs darauf, lediglich eine durchgehend zylindrische Kontur von gewünschter Oberflächenqualität zu erhalten. Vielmehr soll bei diesem Verfahrensschritt die gesamte Rundschleif-Endkontur des entstehenden fertigen Hartmetall-Werkzeugs erreicht werden. D.h., dass je nach Endkontur des Werkzeugs bereits in diesem Stadium des Verfahrens, in dem sich der Endbereich **23** noch an dem Rundstab **6** befindet, Teilbereiche mit Abstufungen von zylindrischer, kegliger oder balliger Kontur herausgeschliffen werden können. Denkbar sind alle Konturen, die sich durch Rundschleifen erzielen lassen. Dies kann auch derart erfolgen, dass Satzschleifscheiben mit bestimmten Konturen zum Einsatz kommen. Dies ist in **Fig. 4** aber nicht dargestellt.

[0058] Beispiele für derartige Rundschleif-Endkonturen sind in **Fig. 7** dargestellt.

[0059] Der Endbereich **23** des Rundstabes **6** und damit das entstehende Hartmetall-Werkzeug sind damit insoweit fertig geschliffen. Die Bezeichnung „Fertigschleifen“ bedeutet hier nicht ein Fertigschleifen im Sinne von Schlichten als Gegensatz zum Schruppen, sondern das denjenige Endstadium, das für das entstehende Werkzeug durch Rundschleifen im äußersten Fall erzielbar ist. Anschließend müssen noch Schneiden, Spiralnuten und dergleichen mehr in gesonderten Verfahren angeschliffen werden. Vorerst ist es jedoch erforderlich, dass insoweit fertiggeschliffene Werkzeug von dem Rundstab **6** abzutrennen.

[0060] Dieser Vorgang ist anhand der **Fig. 5** sowie 5a bis 5c erläutert. Der Endbereich **23** des Rundstabes **6** ist vorerst noch an seinen beiden Enden eingespannt, wie das in **Fig. 4** gezeigt ist. Eine oder mehrere Lünetten können an den Endbereich **23** ange stellt sein; das ist jedoch nicht zwingend.

[0061] Abweichend von der Darstellung gemäß **Fig. 4** wird nunmehr wieder die zweite Schleifspindel **18** in Wirkstellung gebracht, indem der Schleifspindelstock **16** um die Schwenkachse **19** geschwenkt wird. Von der zweiten Schleifscheibe **21**, die eine Mehrfach-Schleifscheibe ist, kommt nunmehr jedoch die zweite Einzelscheibe **32** zum Einsatz, die einen größeren Durchmesser hat als die erste Einzelscheibe **31**. Die rotierende zweite Einzelscheibe **32** wird sodann gegen den gleichfalls rotierenden Endbereich **23** des Rundstabes **6** angestellt. Dieser erste Anstellvorgang wird unterbrochen, sobald die zweite Einzelscheibe **32** den zweiten Stirnkonus **39** geschliffen hat (**Fig. 5a**).

[0062] Sodann wird die zweite Schleifscheibe **21** von dem Endbereich **23** des Rundstabes **6** zurückgefahren. Es erfolgt ein axialer gegenseitiger Versatz von Rundstab **6** und zweiter Einzelscheibe **32**. Der Versatz beträgt etwa die Dicke der zweiten Einzelscheibe **32**. Sodann wird die Einzelscheibe **32** erneut gegen den Endbereich **23** des Rundstabes **6** zuge-

stellt und bewirkt diesmal einen Trennschnitt **40**. Der Vorgang wird solange fortgesetzt, bis die Verbindung zwischen der verbleibenden Restlänge des Rundstabes **6** und seinem Endbereich **23** nur noch in einem schmalen Verbindungsbund **41** besteht. Bis zu diesem Zeitpunkt war der Endbereich **23** des Rundstabes **6** an seinen beiden Enden eingespannt und zur Rotation angetrieben (**Fig. 5b**).

[0063] Abschließend wird der Drehantrieb des Werkspindelstocks stillgesetzt, und der Reitstock **7** mit der Pinole **8** wird aus der Spannstellung zurückgefahren. Der Endbereich **23** des Rundstabes **6** mit dem ersten Stirnkonus **37** liegen nunmehr frei und werden von den Spannenteilen **24**, **25** der Greifereinheit **22** umfasst und sicher gehalten. Durch weiteres Zustellen der zweiten Einzelscheibe **32** wird anschließend der Trennvorgang fortgesetzt und auch noch der Verbindungsbund **41** weggeschliffen (**Fig. 5c**). Das hinsichtlich des Rundschleifens fertiggestellte Werkzeug ist nunmehr von dem verbleibenden Rest des Rundstabes **6** abgetrennt und insoweit fertig. Das entstehende Hartmetall-Werkzeug ist in der Greifereinheit **22** gehalten und wird von dieser aus der Maschine entnommen und abgelegt, vgl. **Fig. 5**.

[0064] Anschließend wird der Rundstab erneut ein Stück aus dem Spannfutter **4** herausgefahren, damit der nächste Endbereich **23** bearbeitet werden kann (**Fig. 6**).

[0065] In **Fig. 7** sind zwei verschiedene Hartmetall-Werkzeuge in einem Stadium dargestellt, wie es mit dem erfindungsgemäßen Verfahren und der erfindungsgemäßen Rundschleifmaschine erzielt werden soll. Die dargestellten, insoweit fertiggeschliffenen Werkzeuge lassen noch den zweiten Stirnkonus an ihrem einen Ende erkennen. Die ursprüngliche zylindrische Kontur des Rundstabes **6** ist strichpunktiert dargestellt, so dass erkennbar ist, wie die angestrebte Rundschleif-Endkontur allein durch Rundschleifen zustande gekommen ist. Die Figur lässt klar erkennen, dass abgestufte zylindrische, keglige oder ballige Konturen ohne weiteres erzielbar sind. Das Besondere besteht darin, dass diese vielfältigen Formen zustande gekommen sind, wobei zumindest an dem einen Ende eine einzige, auf den das Ausgangsmaterial bildenden Rundstab einwirkende Aufspannung ausgereicht hat.

[0066] Es sei noch bemerkt, dass die Durchführung des Verfahrens nicht auf die in den **Fig. 1** bis **5** dargestellten Maßnahmen beschränkt ist. Es ist sogar möglich, mit einer einzigen Schleifscheibe für alle Vorgänge auszukommen, wenn die Möglichkeit besteht, diese Schleifscheibe in Schrägrichtung an den Rundstab zuzustellen.

## Bezugszeichenliste

|    |  |
|----|--|
| 1  | Maschinenbett                          |
| 2  | Schleiftisch                           |
| 3  | Werkstückspindelstock                  |
| 4  | Spannfutter                            |
| 5  | Spannbacken                            |
| 6  | Werkstück                              |
| 7  | Reitstock                              |
| 8  | Pinole                                 |
| 9  | Pfeil (Pinolen-Bewegung)               |
| 10 | Hohlkörner                             |
| 11 | erste Lünette                          |
| 12 | zweite Lünette                         |
| 13 | Pfeil (Anstellbewegung der Lünette 11) |
| 14 | Pfeil (Anstellbewegung der Lünette 12) |
| 15 | gemeinsame Achse (Funktionsachse)      |
| 16 | Schleifspindelstock                    |
| 17 | erste Schleifspindel                   |
| 18 | zweite Schleifspindel                  |
| 19 | Schwenkachse des Schleifspindelstocks  |
| 20 | erste Schleifscheibe                   |
| 21 | zweite Schleifscheibe                  |
| 22 | Greifereinheit                         |
| 23 | Endbereich von 6                       |
| 24 | Spannteil vom 22                       |
| 25 | Spannteil von 22                       |
| 26 | Pfeil                                  |
| 27 | Pfeil                                  |
| 28 | Grundkörper                            |
| 29 | schmaler Bereich                       |
| 30 | Schleübelag                            |
| 31 | erste Einzelscheibe                    |
| 32 | zweite Einzelscheibe                   |
| 33 | Schleübelag von 31                     |
| 34 | Schleifbelag von 32                    |
| 35 | erster Lünettensitz                    |
| 36 | zweiter Lünettensitz                   |
| 37 | erster Stirnkonus                      |
| 38 | Schleifaufmass                         |
| 39 | zweiter Stirnkonus                     |
| 40 | Trennschnitt                           |
| 41 | Verbindungsbund                        |

## Patentansprüche

1. Verfahren zum Rundschleifen bei der Herstellung von Werkzeugen aus Hartmetall auf einer Rundschleifmaschine, die einen Werkstückspindelstock und einen Reitstock aufweist, wobei von einem aus Hartmetall bestehenden Rundstab als Ausgangsmaterial ausgegangen wird, gekennzeichnet durch die folgenden Verfahrensschritte:

a) Einspannen des Rundstabes (6), dessen Länge ein Vielfaches der Länge eines einzelnen Werkzeugs beträgt, in ein Spannfutter (4) des Werkstückspindelstocks (3), das bei gelöstem Spannfutter (4) ein axiales Verschieben des Rundstabes (6) ermöglicht, wobei ein aus dem Werkstückspindelstock (3) herausragender Endbereich (23) des Rundstabes (6) dem

Reitstock (7) zugewandt ist;

b) Anschleifen mindestens eines Lünettensitzes (35, 36) an den aus dem Werkstückspindelstock (3) herausragenden Endbereich (23) des Rundstabes (6) und Anstellen der Lünette (11, 12) an den Lünettensitz (35, 36);

c) Anschleifen eines ersten Stirnkonus (37) an die dem Reitstock (7) zugewandte Stirnfläche des Rundstabes (6);

d) festspannendes Ineinanderfahren des ersten Stirnkonus (37) mit einem Hohlkörner (10), der sich an einer Pinole (8) des Reitstocks (7) befindet;

e) Rundschleifen des aus dem Werkstückspindelstock (3) herausragenden Endbereiches (23) des Rundstabes (6) über etwa die dem einzelnen Werkzeug entsprechende Gesamtlänge bis auf dessen Rundschleif-Endkontur;

f) Abstechen des insoweit fertig geschliffenen einzelnen Werkzeugs von dem Rundstab (6);

g) Lösen des bis dahin gespannt gebliebenen Spannfutters (4) des Werkstückspindelstocks (3), Verschieben des Rundstabes (6) in dem Werkstückspindelstock (3) in Richtung auf den Reitstock (7) und anschließendes Spannen des Spannfutters (4), wobei ein weiterer zu bearbeitender Endbereich des Rundstabes (6) aus dem Werkstückspindelstock (3) herausragt.

2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass beim Rundschleifen des aus dem Werkstückspindelstock (3) herausragenden Endbereiches (23) des Rundstabes (6) die Lünette (11, 12) von dem Lünettensitz (35, 36) zurückgefahren ist.

3. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, dass an dem Endbereich (23) des Rundstabes (6) zwei Lünettensitze (35, 36) axial beabstandet angeschliffen werden.

4. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 3, dadurch gekennzeichnet, dass der aus dem Werkstückspindelstock (3) herausragende Endbereich (23) des Rundstabes (6) nach dem Rundschleifen von dem verbleibenden Rundstab (6) abgetrennt wird, indem mit einer einzigen Schleifscheibe (21) zunächst bei rotierendem Rundstab (6) ein zweiter Stirnkonus (39) an die dem Werkstückspindelstock (3) zugewandte Stirnfläche des insoweit fertigen Werkzeugs angeschliffen wird, sodann nach Zurückfahren und axialem Versetzen der Schleifscheibe (21) gegenüber dem Rundstab (6) ein nur einen zentralen Verbindungsbund (41) belassender Trennschnitt (40) angebracht und schließlich nach Stillsetzen der Rotationsbewegung des Rundstabes (6) der Trennvorgang durch Wegschleifen des Verbindungsbundes (41) abgeschlossen wird.

5. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass während des Abstechens des fertig geschliffenen einzelnen

Werkzeugs der Reitstock (7) und/oder die Pinole (8) von dem entstehenden fertigen Werkzeug zurückgefahren und dieses von einer Greifereinheit (22) gehalten wird.

6. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass das Rundschleifen zum Erzeugen der Werkzeug-Kontur mit einer schmalen Schleifscheibe im Schältschleifverfahren und/oder mit einer breiten Schleifscheibe im Pendelschleifverfahren erfolgt.

7. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die zum Durchschieben des Rundstabes (6) durch das Spannfutter (4) des Werkstückspindelstocks (3) noch zur Verfügung stehende Restlänge des Rundstabes (6) zumindest bei jedem Spannvorgang kontrolliert und beim Unterschreiten einer Mindestrestlänge ein Signal gegeben und/oder die Rundschleifmaschine stillgesetzt wird.

8. Rundschleifmaschine zum Schleifen von zylindrischen Ausgangskörpern bei der Herstellung von Werkzeugen aus Hartmetall, insbesondere zur Durchführung des Verfahrens nach einem der Ansprüche 1 bis 7, mit einem Maschinenbett (1), mit einem auf dem Maschinenbett (1) verfahrbaren Schleiftisch (2), auf dem ein Werkstückspindelstock (3) und ein Reitstock (7) angeordnet sind, mit einem Spannfutter (4) an dem Werkstückspindelstock (3), das ein axiales Hindurchschieben eines als Ausgangsmaterial dienenden Rundstabes (6) und sein Festspannen in unterschiedlichen axialen Stellungen ermöglicht, mit mindestens einer im Bereich zwischen dem Werkstückspindelstock (3) und dem Reitstock (7) angeordneten Lünette (11, 12) und einer in demselben Bereich angeordneten Greifereinheit (22), wobei ein durch das Spannfutter (4) des Werkstückspindelstocks (3) hindurchgeschobener und festgespannter Endbereich (23) des Rundstabes (6) wahlweise durch den Reitstock (7) und/oder die Lünette (11, 12) und/oder die Greifereinheit (22) zusätzlich gehalten werden kann, und mit mindestens einem Schleifspindelstock (16) mit einer oder mehreren Schleifspindeln (17, 18), durch den eine oder mehrere unterschiedliche Schleifscheiben (20, 21) an den Rundstab (6) anstellbar sind.

9. Rundschleifmaschine nach Anspruch 8, gekennzeichnet durch einen Schleifspindelstock (16), der zwei Schleifspindeln (17, 18) trägt und um eine Schwenkachse (19) schwenkbar ist, die senkrecht zu einer Ebene gerichtet ist, in der die gemeinsame Achse (15) von Werkstückspindelstock (3), Rundstab (6) und Reitstock (7) liegt.

10. Rundschleifmaschine nach Anspruch 8 oder 9, gekennzeichnet durch die Anordnung einer Mehrfachsleifscheibe (21), bei der sich zwei oder mehr

Einzelscheiben (31, 32) von unterschiedlichem Durchmesser, unterschiedlicher Breite und/oder unterschiedlicher Außenkontur unmittelbar nebeneinander auf einer gemeinsamen angetriebenen Achse befinden.

11. Rundschleifmaschine nach Anspruch 10, dadurch gekennzeichnet, dass die unterschiedlichen Schleifscheiben zu einem gemeinsamen Schleifkörper vereinigt sind.

12. Rundschleifmaschine nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die Maschine mit einer CNC-Steuerung versehen ist.

13. Rundschleifmaschine nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass dem Spannfutter (4) des Werkstückspindelstocks (3) ein Sensor zugeordnet ist, durch den die zum Durchschieben des Rundstabes (6) durch das Spannfutter (4) noch zur Verfügung stehende Restlänge des Rundstabes (6) zumindest bei jedem Spannvorgang kontrolliert und beim Unterschreiten einer Mindestrestlänge ein Signal gegeben und/oder die Rundschleifmaschine stillgesetzt wird.

14. Rundschleifmaschine nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass der Reitstock (7) eine einen Hohlkörper (10) tragende Pinole (8) aufweist.

Es folgen 5 Blatt Zeichnungen

Fig. 1

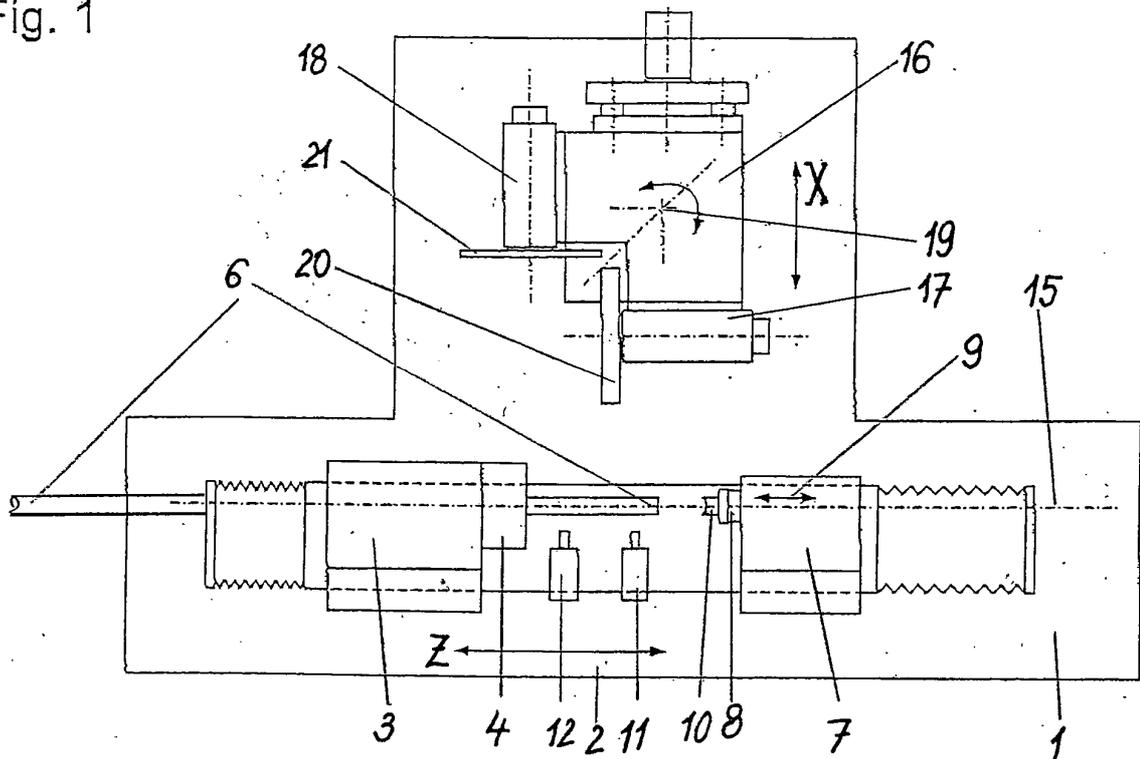
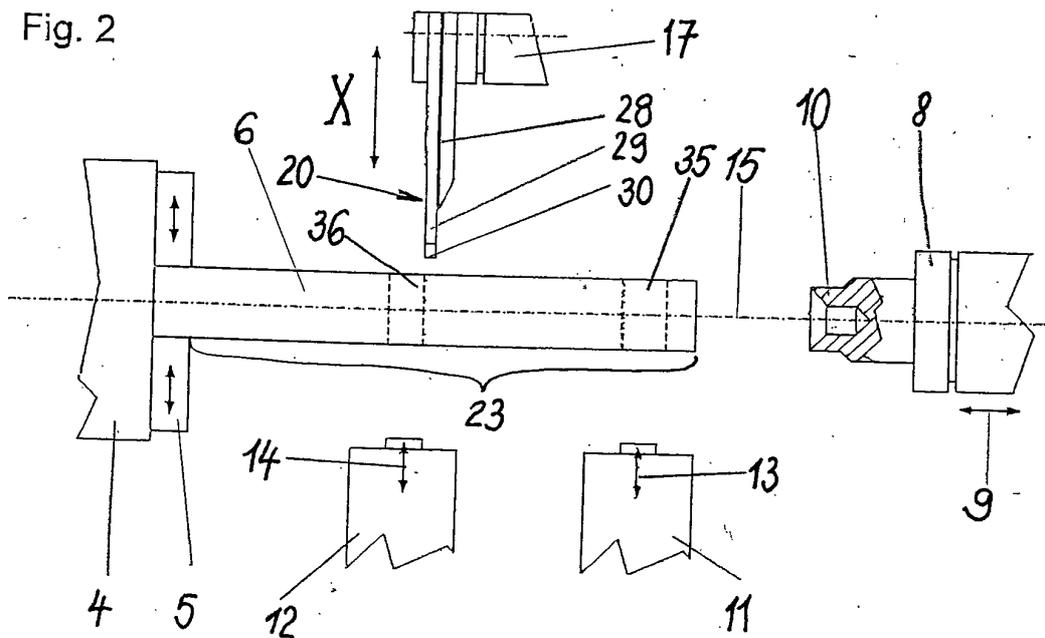
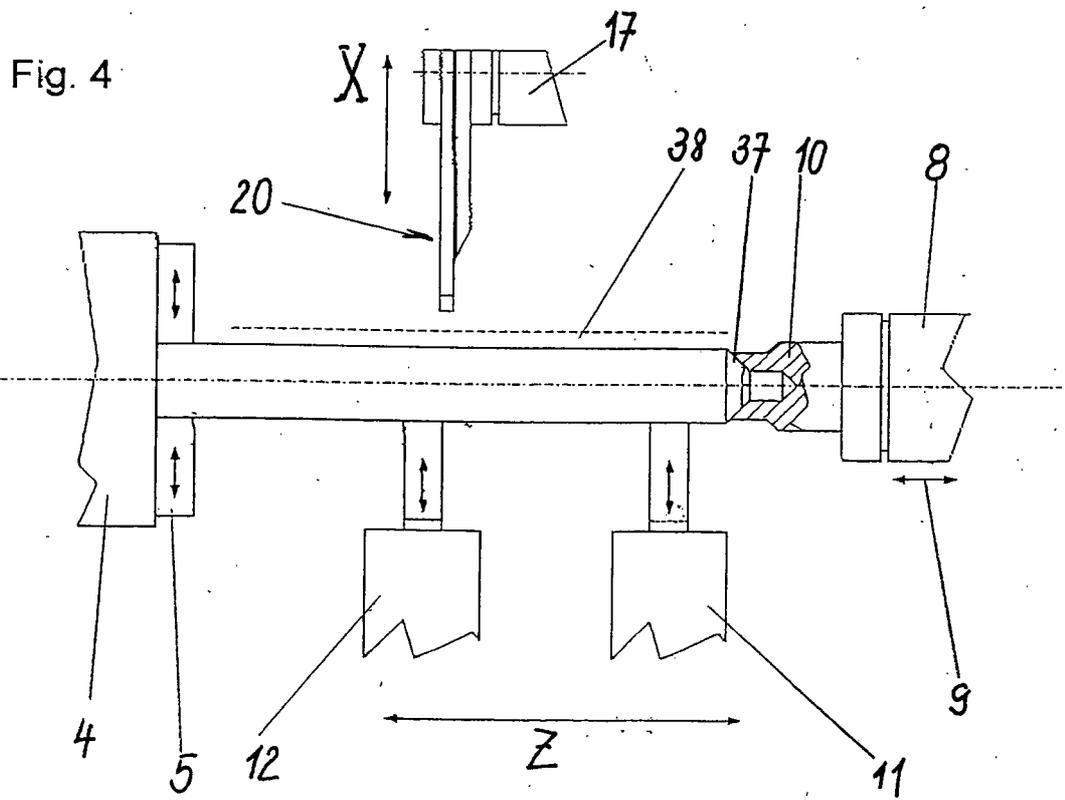
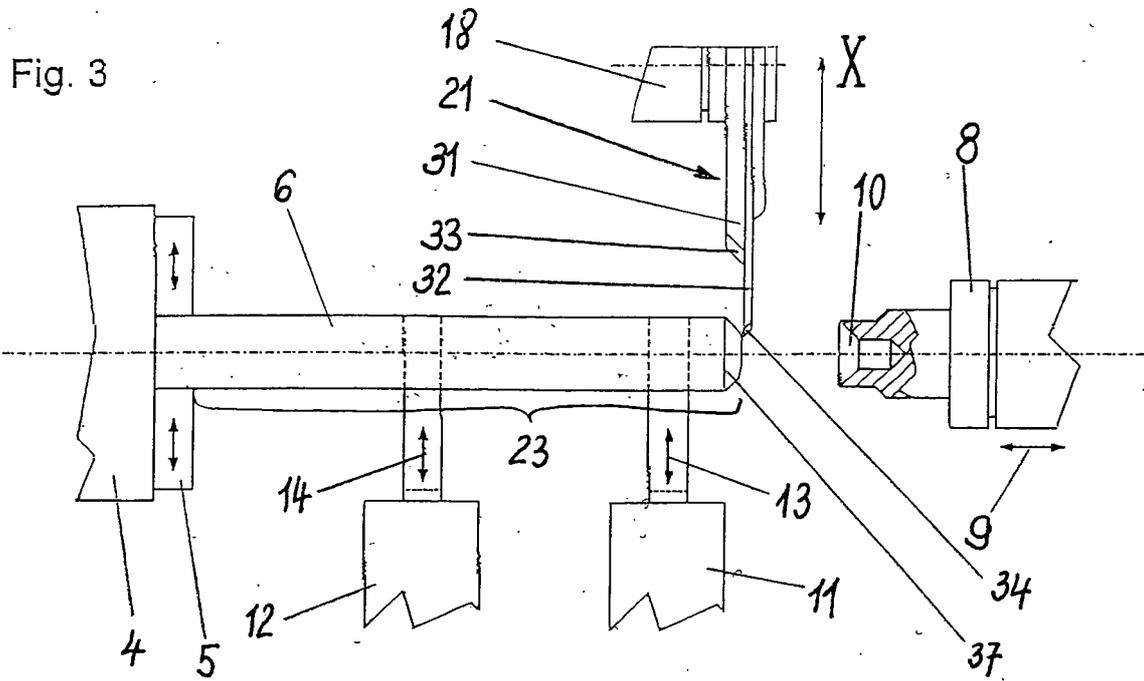


Fig. 2





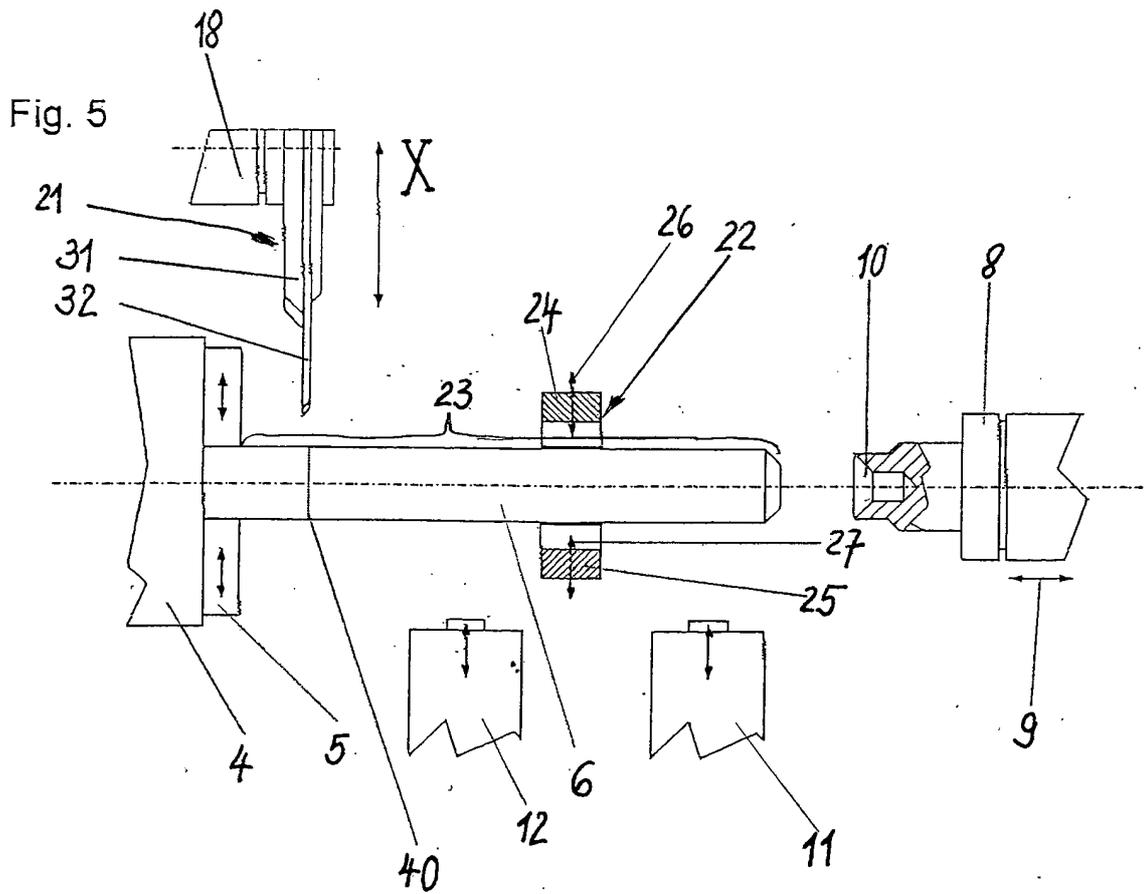


Fig. 6

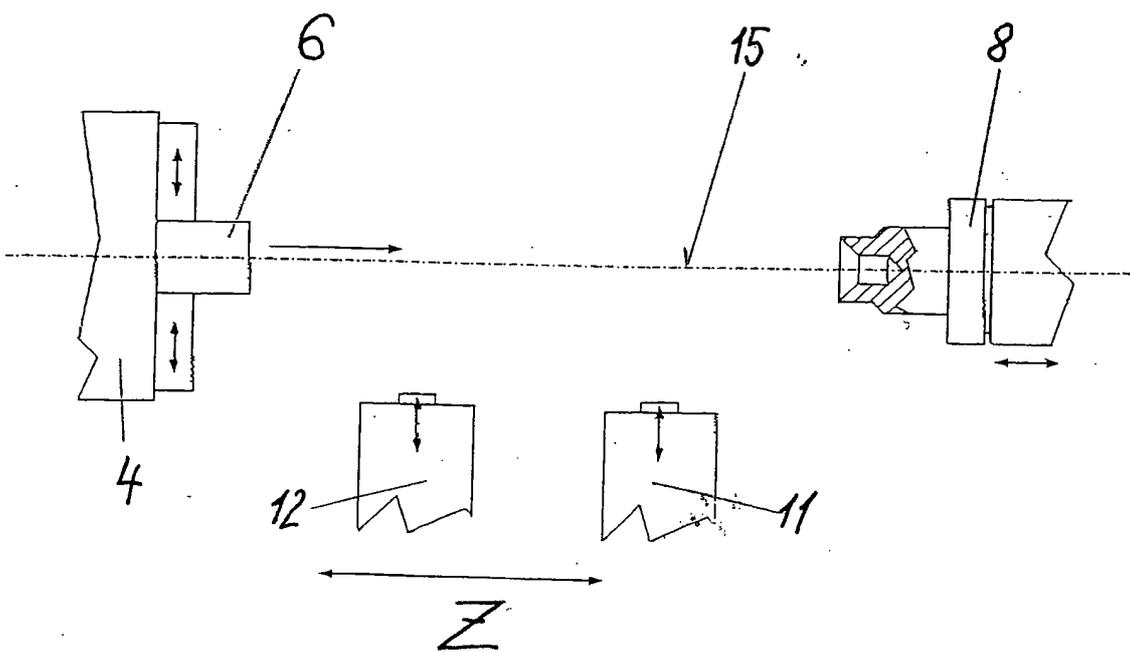


Fig. 5a

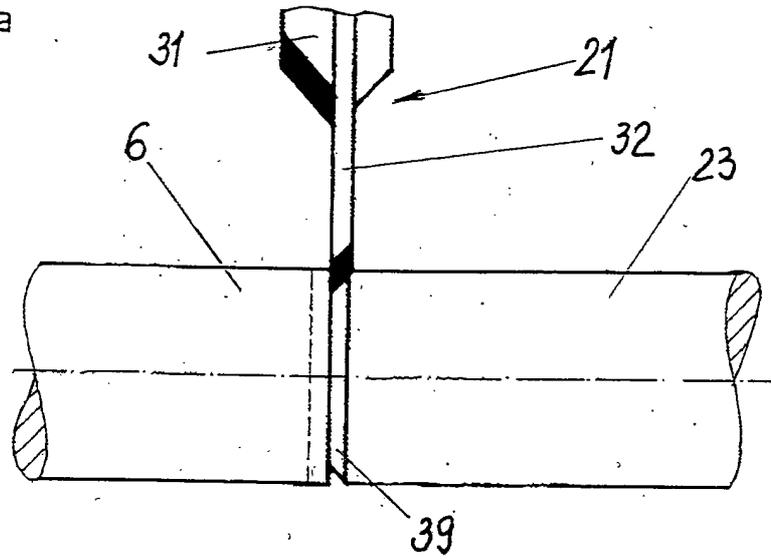


Fig. 5b

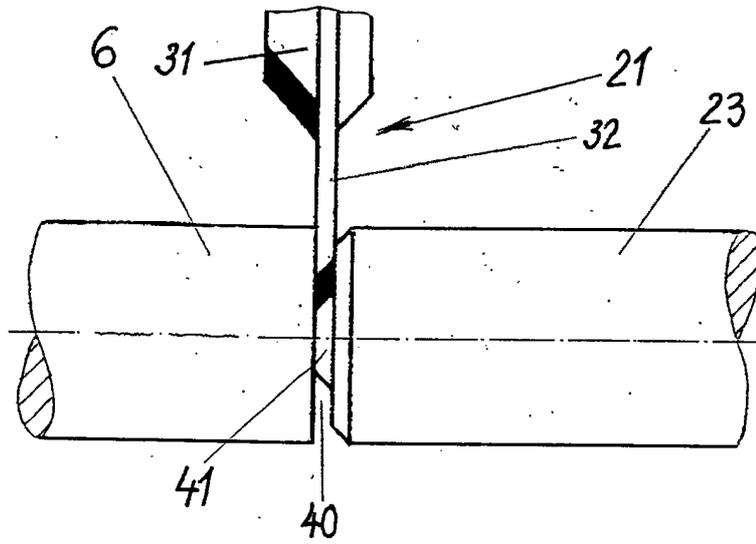
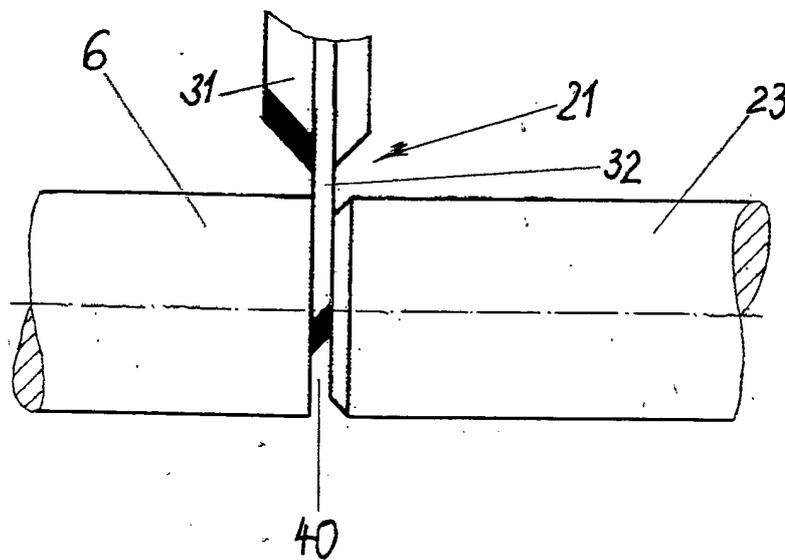


Fig. 5c



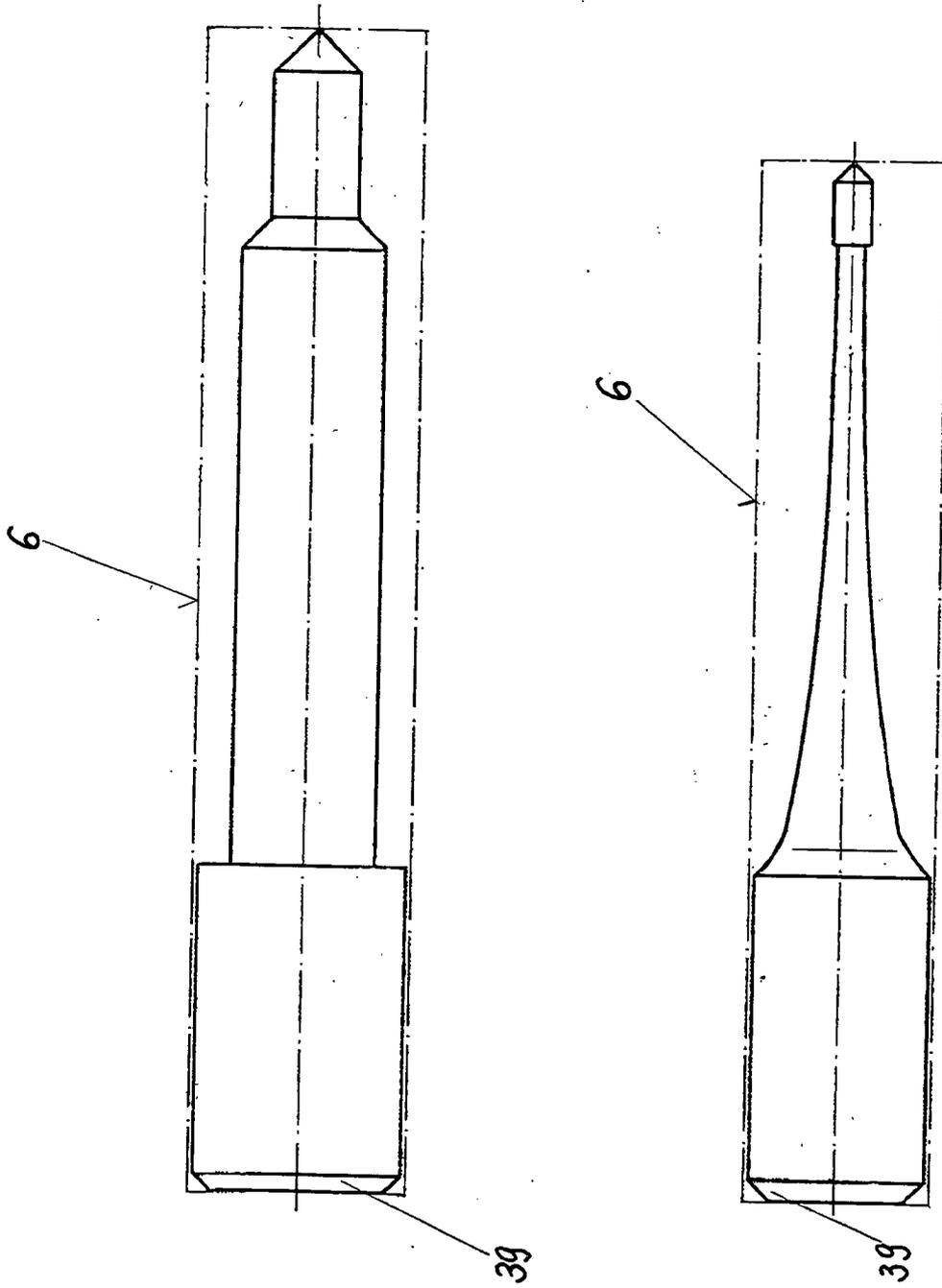


Fig. 7