

# KONZEPTVERBESSERUNGEN AN DER DREHBANK FÜR HÖCHSTE ANSPRÜCHE

H. MUREN

T. U. Ljubljana, Jugoslawia  
Eingegangen an 28. Juni 1988  
Vorgelegt von Prof. Dr. O. Petrik

## Abstract

Also those modern machine tools, the construction of which is believed to be optimal, have not yet reached their final development. A detailed study of manufacturing lathes has shown that a whole series of improvements would be possible.

The report gives a suggestion for a new type of manufacturing lathe for higher requirements. The main features of the new type are: welded steel construction, a very simplified construction of the headstock with a continuous regulation of the number of revolutions, a very rigid construction of the lathe bed, sliding carriage with a three-point support, improved distribution of the forces in the guideways, central position of the screw spindle, and a partially changed construction of the tailstock.

The machine tool is to be especially recommended for high precision machining of small and medium size workpieces.

## 1. Einführung

Wie allgemein bekannt, sind statische und dynamische Starrheit von entscheidender Wichtigkeit für die Arbeitsgenauigkeit einer Werkzeugmaschine. Die statische Starrheit eines Teiles kann man dabei auf zwei Weisen vergrößern: mit Vergrößerung der Dimensionen, was zur gleichzeitigen Vergrößerung der Masse führt, und mit der Auswahl einer günstigeren Form, zum Beispiel eines hohen Profils bei der Beanspruchung auf Biegung. Die dynamische Starrheit hat ein festes Verhältnis mit der statischen Starrheit und man kann sie mit einer Vergrößerung der statischen Starrheit vergrößern, wenn sich dabei die Masse nicht vergrößert. Das heißt, bei einem kastenförmigen Teil bleibt die dynamische Starrheit unverändert, wenn man die statische Starrheit mit einer Verdoppelung der Wände verdoppelt.

Der zweite entscheidende Faktor für die Genauigkeit einer Werkzeugmaschine ist die Ausführung der Führungen. Neben vielen wichtigen Merkmalen sei besonders auf das Problem der statischen Bestimmtheit hingewiesen. Eine Führungskombination kann statisch bestimmt oder überbestimmt sein. Überbestimmte Ausführungen, die nach Meinung einiger Konstrukteure genauer sein sollten, können bei ungenügend genauer Bearbeitung oder nach ungleichmäßigen Abnutzung unsicher werden. Dabei

wird allgemein vergessen, daß eine lange Fläche statisch überbestimmt ist. Ist die Abnutzung an Enden größer als in der Mitte, benimmt sich eine solche Führungsfläche als eine Wiege. Diese theoretisch falsche Ausführung wird inzwischen allgemein verwendet, in der Erwartung, daß die Abnutzung der Länge nach überall gleichmäßig sein wird.

Diese Erwägungen haben vor allem dazugetragen, daß man in einer Studie mit der Analyse der Werkzeugmaschinen begonnen hat. Als erstes hat man klassische Drehbänke kritisch analysiert, teilweise weil sie gut durchschaubar sind, teilweise weil sie die am meisten verbreiteten Werkzeugmaschinen sind. Dabei wurden unerwartet viele Schwächen entdeckt, die mit entsprechenden Veränderungen behoben werden können. In der Folge wird davon ausführlich berichtet. Leider kann man momentan nur über die Vorschläge Berichten. Die ersten Resultate mit dem Prototyp mußten aus objektiven Gründen entfallen.

Bei dem Prototyp hat man sich für geschweißte Stahlkonstruktion entschieden. Diese Ausführung ist normalerweise wegen schlechter Dämpfung ungünstig, gibt aber bei gleicher Masse zweimal größere Starrheit. Wenn man mit geeigneter Konstruktion die Dämpfung künstlich erhöht, müßte das Verhalten sogar besser sein, als bei normaler Gußeisenausführung. Entsprechende Vorkehrungen wären erstens schon längere Zeit bekannte Füllung der Hohlräume mit Beton oder ähnlichem Material und zweitens zusätzliche Elemente, die beim Antreten der Schwingungen die Reibung verursachen, welche für die weitere Fortplanzung nötige Energie verschluckt. Bei dem geplanten Prototyp sind beide Vorkehrungen eingebaut. Die Versuche und Messungen sollten die Richtigkeit unserer These bestätigen.

## 2. Auswahl der Versuchsmaschine

Für die erste Studie der erwähnten Problematik wurde eine Drehbank kleinerer Ausführung, aber für relativ hohe Genauigkeit gewählt. Mit der Einführung der CNC-Drehbänke wurden vollkommen neue Formen mit entscheidend größerer Starrheit und mit großen installierten Leistungen entwickelt. Drehbänke kleinerer Abmessungen mit kleineren Leistungen werden nur ausnahmsweise mit numerischen Steuerungen produziert, an ihnen werden auch kaum Verbesserungen angewendet.

Bei einem systematischen Studium der „normalen“ Drehbänke sind relativ sehr viele Mängel entdeckt worden und das bei fast allen Hauptteilen. Einige dieser Mängel sind von früher bekannt — in der Literatur wurden sogar einige Hinweise erwähnt — die heutigen normalen Drehbänke sind jedoch praktisch seit 50 Jahren unverändert, mit Ausnahme der größeren Masse und größeren Leistung.

Im Rahmen von diesem Studium hat es sich gezeigt, daß klassische Drehbänke in einem nicht ganz kleinem Umfang noch immer benötigt werden. Die Konstruktion dieser Maschinen könnte man jedoch entscheidend verbessern, auch die Produktion könnte man besser den Wünschen der Käufer anpassen.

### 3. Konzept einer neuen Drehbank kleineren Abmessungen

Allen modernen Ansprüchen entsprechende Maschine müßte eine „offene“ Ausführung haben, sollte man in der Computerei übliche Terminologie verwenden. Das Grundmodell der Maschine läßt sich ohne Veränderungen und zusätzlichen Bearbeitungen mit Zusatzteilen weiter ausbauen. Damit erhält man eine Familie verschiedenen aber eng verwandten Maschinen, die für sehr breite Arbeitsgebiete einsetzbar wären — von einfacher Handbedienung bis zu modernen numerischen Steuerung. Die Werkzeugmaschinenfabrik könnte in diesem Falle auf dem Lager nur eine bestimmte Anzahl der Grundeinheiten und Teilen halten. Nach spezifischen Wünschen des Käufers könnte die gewünschte Ausführung in ein Paar Tagen zusammengesetzt und geliefert werden.

Die beschriebene Idee ist in der Maschinenbautechnik zwar nichts Neues, wurde jedoch bis jetzt nicht an den Universal- und Produktionsdrehbänken — besonders kleinerer Ausführungen — angewandt. Jedenfalls hat es sich gezeigt, daß diese Idee sehr leicht zu realisieren wäre, es werden sogar keine Grundeinheiten in zwei oder mehr Ausführungen gebraucht. Ein anderes Typ der Maschine ist fast immer nur mit Zusatzeinheiten zu realisieren.

In der Folge werden die interessantesten Merkmale der vorgeschlagenen Ausführung beschrieben.

### 4. Hauptantrieb

Klassische Ausführungen der Drehbänke werden ausnahmslos mit einfachen Drehstrommotoren über ein Wechselgetriebe angetrieben. Als billige Ausführung käme diese Möglichkeit noch weiter in Betracht. Man darf jedoch nicht die schädliche Einflüsse der Zahnräder auf das dynamische Verhalten der Maschine übersehen, besonders bei Modellen mit hohen Drehzahlen.

Erwähnte „offene“ Ausführung müßte ohne Konstruktionsveränderungen mit folgenden Arten des Antriebs ausführbar sein:

- mit Drehstrommotor und Zahnräderwechselgetriebe
- mit Drehstrommotor und Frequenzregulation
- mit Gleichstrom-Servomotor.

Die entsprechende Konstruktionslösung ist sehr einfach: im Spindelstock wird nur die Hauptspindel gelagert, ohne andere Antriebsteile. Die Spindel wird im Fall 2 und 3 direkt von Motor über Riemengetriebe angetrieben, im Falle 1 kommt dazwischen noch das Wechselgetriebe. In allen drei Fällen können das Motor sowie das Getriebe im Fuße der Drehbank unter dem Spindelstock untergebracht werden, bei höchsten Ansprüchen auf Laufruhe auch auf eigenem Fundament.

Von den drei Antriebsmöglichkeiten ist die zweite besonders interessant und zukunftsweisend. Dazu kann man nämlich ganz normale, billige Drehstrommotoren einsetzen. Das Regulationsaggregat ist zwar zur Zeit zwar nicht billig, der Preis

wird aber bestimmt in naher Zukunft vertretbar werden. Sehr wahrscheinlich hat diese Lösung beste Zukunftsaussichten, darum wurde sie für das Prototyp gewählt.

Da der neue Konzept nicht unbedingt auf kleine Drehbänke begrenzt ist, müßten für größere Modelle Gleichstrommotore eingesetzt werden.

Für die Lagerung der Hauptspindel kommen alle jetzt bekannte Ausführungen in Betracht, die Auswahl hängt von Belastung, Drehzahlbereich und gewünschter Genauigkeit ab. Für das Prototyp wurde die Ausführung mit fünf Spezial-Schulterlagern gewählt (Bild 1).

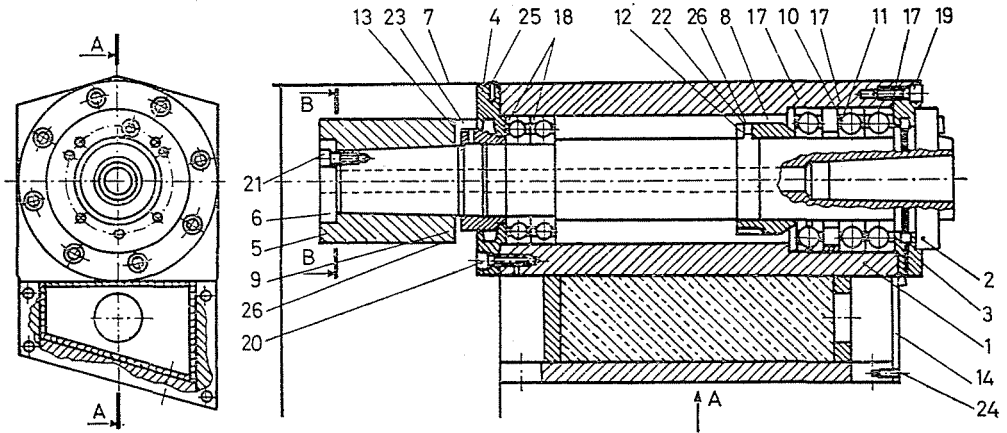


Bild 1. Spindelstock mit Spindellagerung auf 5 Schulterlagern

Der Spindelstock auf dem Bild 1 kann ohne jegliche Änderung eine Reihe anderer Lagerungen aufnehmen. So kann man sich optimal jeder Situation anpassen.

Für den Prototyp ist ein Spindelstock in geschweißter Stahlkonstruktion vorgesehen. Das Innere wird mit Beton gefüllt. So erwartet man gleich gutes Schwingungsverhalten wie bei Gußkonstruktion. Wären die Erwartungen nicht erfüllt, kann man selbstverständlich dieselbe Form auch aus Grauguß herstellen. Wie schon anfangs erwähnt, soll jedoch zuerst das noch unbekannt Verhalten der Schweißkonstruktion erforscht werden.

Da sich im Spindelstock keine weitere Teile befinden, sind seine Dimensionen für eine Drehbank ungewöhnlich klein. Wegen kleineren Masse müßte auch das dynamische Verhalten besser sein. Der keilne Querschnitt hat aber noch weitere Vorteile. Er erlaubt auf einfache Weise sehr gute Überdeckung der vorderen Schlittenführung und gute Verteilung der Kräfte auch die vordere und hintere Führung.

Das äussere Aussehen der Maschine wird dadurch vielleicht angewöhnungsdürftig. Das letzte Wort sollte einem Designer überlassen werden.

Bei dem Prototyp wird ein Flachriementrieb vorgesehen. Die Riemenscheibe auf dem Bild 1 ist außerordentlich klein, da die höchste Drehzahl um  $10\,000\text{ min}^{-1}$  vorgesehen ist.

Für Sonderfälle würden moderne Zahnriemen sehr gute Dienste leisten. Das dynamische Verhalten ist jedoch nicht genug bekannt; eine eingehende Untersuchung wäre wünschenswert.

## 5. Bett

Bei einer optimal ausgelegten Maschine müssen die Starrheiten aller Teile untereinander abgestimmt sein. Die Starrheit der Maschine ist nämlich immer kleiner als die Starrheit des schwächsten Teiles, ähnlich wie bei einer Kette. Bei der Drehbank mit optimal abgestimmten Teilen müssen die Starrheiten des Bettes und des Schlittens zweimal so groß sein, wie die Starrheiten des Spindelstockes und des Reitstockes [1]. Aus diesem Grunde wurde das Bett beim Prototyp vollkommen anders als bei normalen Drehbänken konzipiert.

Für die Versuchsmaschine ist das Bett in geschweißter Stahlkonstruktion vorgesehen, teilweise gefüllt mit Beton, um die Dämpfung zu erhöhen.

Aus der Literatur ist ein Versuch der geschweißten Ausführung mit einem Rohr als Grundkörper bekannt. Die Versuche ergaben sehr gute Resultate, es gab aber Schwierigkeiten mit der Späneabfuhr. Das Rohr als Teil des Bettes findet man auch bei vielen modernen CNC-gesteuerten Drehbänken, jedenfalls im Grauguß.

Vor einigen Jahren wurde auch eine Drehbank mit kastenförmigem Bett gebaut. Für bessere Abfuhr der Späne wurde die obere Fläche nach hinten geneigt.

Diese zwei Prinzipien wurden bei unserem Prototyp vereinigt. In einem Kasten, geschweißt aus Platten, mit leicht nach hinten geneigter Oberfläche, ist durch die ganze Länge ein Stahlrohr eingebettet. Beide Teile sind zusätzlich teilweise mit Rippen verbunden. Das Bett ist so aus zwei Trägern zusammengesetzt, der äußere ist außerordentlich widerstandsfähig gegen Biegung, der innere gegen Verdrehung. Die nur teilweise geschweißten Rippen sollten beim Antritt der Schwingungen eine Reibung verursachen, die die Dämpfung erhöht. Auch die Betonfüllung zwischen dem Kasten und Rohr sollte die Schwingungsgefahr vermindern.

Die Reibung an ungeschweißten Rippenrändern soll mit einer Vorspannung der Kastenplatten erhöht werden. Es bleibt aber noch offen, ob diese Vorspannung nach dem nötigen Glühen erhalten bleibt. Der zusätzlichen Reibung sollten auch die geschraubten Führungsleisten (Pos. 12 und 13 im Bild 2), sowie die starke Lamelle (Pos. 8) auf der oberen Fläche, welche für die Führung und Befestigung des Reitstockes vorgesehen wird, dienen.

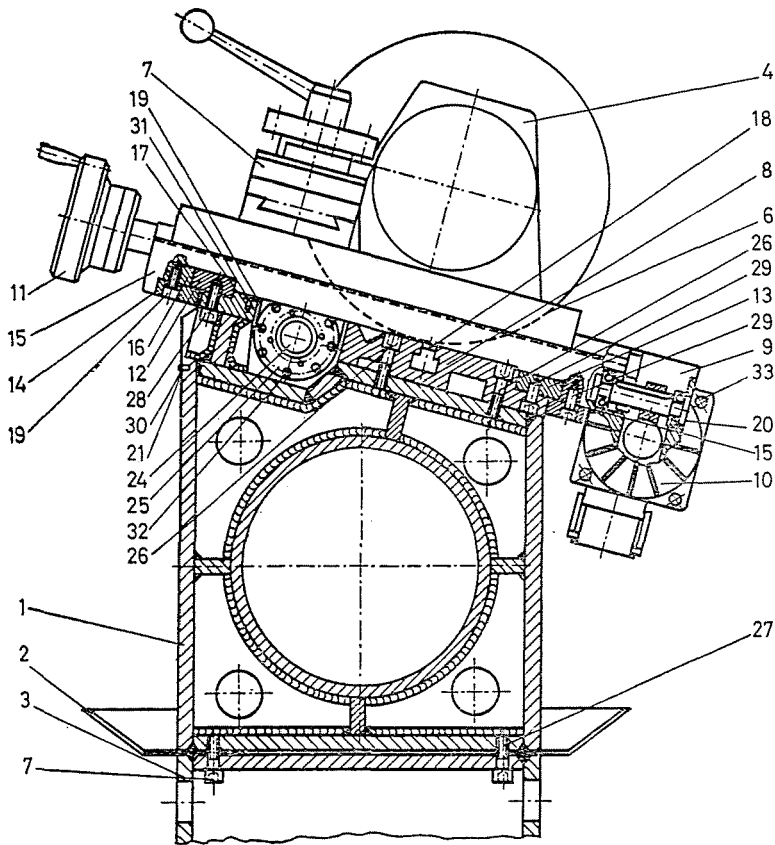


Bild 2. Querschnitt durch Bett und Schlitten

## 6. Schlittenführungen

Die Schlittenform- und Führung weichen beim Prototyp sehr stark von den herkömmlichen Ausführungen ab. Eine der üblichen Ausführungen bei konventionellen Drehbänken sieht man auf dem Bild 3a. Das Bild zeigt auch die Schnittkraft beim Drehen größerer Werkstücke. Der Angriffspunkt liegt außerhalb der vorderen Führungsbahn. Die Reaktionskraft an der hinteren Führungsbahn ist nach oben gerichtet, was ein Abheben des Schlittens von der Führungsbahn und die Belastung der unteren Sicherheitsleiste verursacht. Die hintere Führungsbahn wird nur beim Drehen kleinerer Werkstücke belastet.

Bei der neuen Ausführung des Schlittens (Bild 3b) ist die vordere Schlittenführung mehr nach vorne vorgerückt, so daß auch bei dem größten Werkstück der Angriffspunkt der Schnittkraft zwischen den beiden Führungsbahnen liegt. Die Reaktions-

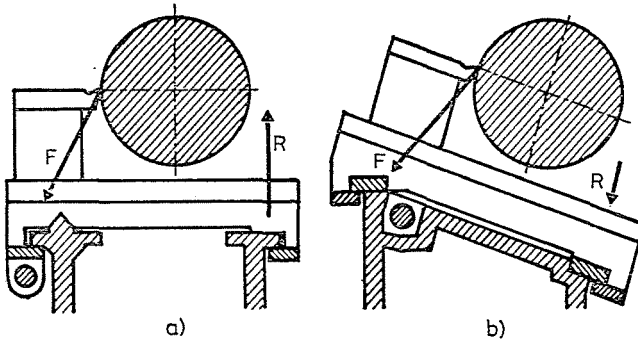


Bild 3. Schlittenführungen bei konventioneller Drehbank (a) und beim Prototyp (b)

kraft in der hinteren Führungsbahn ist damit immer nach unten gerichtet, die Sicherheitsleiste wird nicht belastet. Die Lage des Schlittens ist somit stabil bei allen Arbeitsbedingungen. Noch immer ist jedoch die Belastung der vorderen Führungsbahn entscheidend größer als die Belastung der hinteren Führungsbahn. Darum darf die aktive Fläche der hinteren Führungsbahn ungefähr dreimal kleiner als die aktive Fläche der vorderen Bahn sein, ohne daß damit ein größerer Verschleiß zu erwarten wäre.

Erwähnenswert ist die Lage der Leitspindel. Sie ist nicht mehr vor dem Bett angeordnet, sondern ist sie in die obere Fläche eingebettet, nahe der vorderen Führungsbahn. Ungefähr da liegt auch der Angriffspunkt der Resultante beider Reibungskräfte in Führungen. Mit solcher Anordnung werden die Kipp- und Drehmomente am Schlitten auf ein Mindestmaß reduziert.

Die Leitspindel ist als Kugelumlaufspindel vorgesehen. Damit wird Verschleiß auf ein Mindestmaß reduziert, die Zugspindel wird nicht mehr benötigt. Da die Kugelumlaufspindeln nicht selbstsperrend sind, muß der vorgesehene Servo-Antriebsmotor eine inkorporierte Bremse besitzen: Selbstverständlich muß die Leitspindel vor den abfallenden Spänen geschützt werden. Die spezielle beweglich Abdeckung ist leider auf dem Bild 2 nicht sichtbar, da sie gerade an der Schnittstelle geteilt ist.

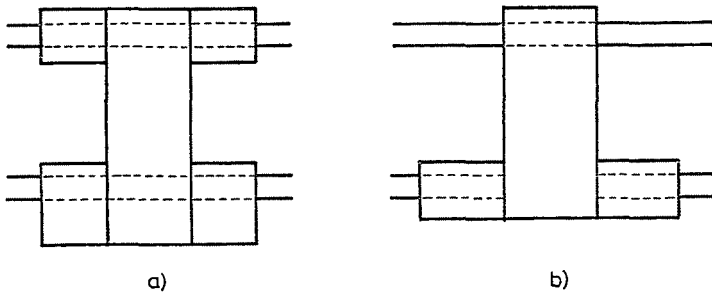


Bild 4. Grundriß des Schlittens bei konventioneller (a) und neuer (b) Ausführung

Das zweite besondere Merkmal des neuen Schlittens sieht man auf dem Bild 4b. Die vordere Führung ist länger als bei herkömmlichen Ausführungen (Bild 4a), die hintere ungewöhnlich kurz. Das entspricht der tatsächlichen Kräfteverteilung; die Abnutzung dürfte somit an allen Gleitflächen gleich sein.

Die gleichmäßige Abnutzung ist jedoch nicht der wichtigste Grund für die vorgeschlagene Veränderung. Die herkömmliche Ausführung (doppeltes *T*) ist sehr problematisch bei der Bearbeitung: der Schlitten deformiert sich fast immer wegen der restlichen inneren Spannungen und er muß nachträglich geschabt werden, sollten die beiden Führungen gleichmäßig anliegen und präzise parallel sein (Bild 5).

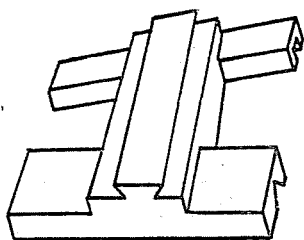


Bild 5. Verdrehung des Schlittens

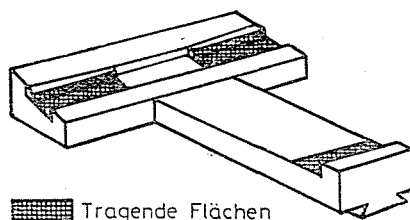


Bild 6. Neue Form der Führungsflächen

Noch wichtiger ist der dritte Grund. Schon anfangs wurde erwähnt, daß eine lange Fläche nicht eindeutig die Lage bestimmen kann, wenn sie nicht absolut genau ist. Bei den neuen Ausführung wird die lange vordere Gleitfläche in zwei kürzere Flächen geteilt, zwischen denen eine relativ lange Aussparung vorgesehen wird. Bei jeder Teilfläche wird die seitliche Luft mit einer besonderen Keilleiste eingestellt; selbstverständlich sind die zwei Leisten an der nicht belasteten Seite. Der Schlitten liegt somit an drei relativ kurzen Flächen (Bild 6), was sehr nahe einer Dreipunktauf-  
lage kommt. Der Angriffspunkt der Schnittkraft liegt praktisch immer im Inneren eines Dreieckes durch diese drei Punkte. Trotz der verkürzten Tragfläche hinten bleibt der Schlitten vollkommen stabil. Da gleichzeitig die Enden der vorderen Tragflächen weiter auseinander liegen wie bei konventioneller Ausführung, sind die Stabilität und Arbeitsgenauigkeit sogar größer als bis jetzt.

Die neue Form des Schlittens und nach hinten versetzter Spindelstock lassen eine bessere Annäherung des Schlittens dem Spindelstock zu. Beim Drehen zwischen den Spitzen verkürzt sich damit die freie Länge des herausragenden Teiles der Spindel und damit die gesamte Starrheit.



## 7. Reitstock

Einige Veränderungen — obwohl nicht so schwerwiegend — sind auch beim Reitstock vorgesehen. Bei kleineren Drehbänken, an welchen vorwiegend kurze Werkstücke bearbeitet werden, ist die extreme Starrheit des Reitstockes nicht unbedingt nötig, obwohl eine Vergrößerung überaus wünschenswert erscheint. Man kann jedoch erwähnen, daß man für schwer beanspruchte Drehbänke, die in unseren Studie noch nicht eingehend bearbeitet wurden, auf eine vollkommen andere Konstruktion gedacht hat. Das Bett der Drehbank wäre mit einem zusätzlichen Träger verstärkt. Der Reitstock würde dann auf dem Bett geführt und auf den zusätzlichen Träger angelehnt.

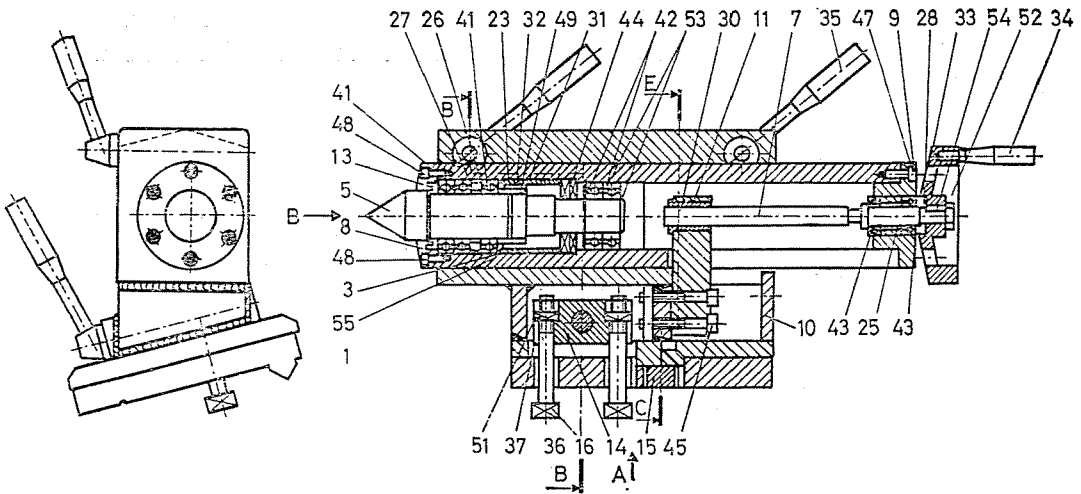


Bild 7. Reitstock mit laufender Spitze

Als erstes muß man auf die Führung und Verbindung des Reitstockes mit dem Bett aufmerksam machen (Bilder 1 und 7). Auf die obere Fläche des Bettes ist eine starke Platte mit einer nach unten gedrehten prismatischen Führung und einer T-Nut angeschraubt. Der Reitstock wird mit dieser prismatischen Führung und mit der Flachführung, die gleichzeitig als hintere Führung für den Schlitten vorgesehen ist, geführt. Die T-Nut in der Mitte ist für die Befestigung des Reitstockes vorgesehen. Die entsprechende zwei Befestigungsschrauben sind beide auf die vordere (linke) Hälfte des Reitstockes loziert, wo ein Abheben wegen der Kräfte an der Spitze zu verhindern ist. Eine Schraube auf der rechten Seite wäre sinnlos. Interessant ist auch der Kräfteausgleich der beiden Schrauben mit einer Wiege (Pos. 14 auf dem Bild 7). Beide Schrauben werden so gleichzeitig mit der gleichen Kraft von dem Exzenter gespannt.

Die Platte für die Befestigung des Reitstockes hat noch eine andere wichtige Aufgabe. Die Reibung an der Berührungsfläche mit dem Bett soll eine zusätzliche Dämpfung geben und somit die dynamische Starrheit erhöhen.

Für die Pinole wurde schon die bekannte lange Ausführung gewählt, bei der die Pinole immer auf der gleichen Länge geführt wird. Die Pinole wird aber nicht mit einem, sondern mit zwei Elementen blockiert, die so weit wie möglich auseinander angeordnet sind. Die Anordnung auf der oberen Seite der Pinole verhindert eine Bewegung der Spitze beim Blockieren, da die Kraft dieser zwei Elemente in derselben Richtung wie die Schwerkraft wirkt.

Die Lagerung der Spitze auf fünf Schulterkugellagern unmittelbar in der Pinole sollte die Starrheit und die Arbeitsgenauigkeit erhöhen. Auch die Gewindespindel ist achsial mit vorgespannten Kugellagern ohne Luft gelagert. Für die Lagerentlastung bei Temperaturendeckungen des Werkstückes sind Tellerfedern vorgesehen.

Bei der Versuchsmaschine wird auch der Reitstock aus Stahlteilen zusammengeschweißt.

## 8. Zusammenfassung

Der Versuch, eine Maschine eingehend zu analysieren, hat schon bei rein theoretischen Überlegungen gezeigt, daß die herkömmlichen Ausführungen in vielen Punkten zu verbessern wären. Ohne Versuche an einem Prototyp sind jedoch einige Neuigkeiten, zum Beispiel Verwendung vom Stahl statt Gußeisen, nicht zu klären. Ob auch das dynamische Verhalten so gut, wie erwartet, sein wird, kann man nur nach einer Reihe Messungen sowie praktischen Arbeitserfahrungen aussagen.

## 9. Literatur

1. MUREN, H.: Konstruiranje odrezovalnih strojev, Univerza v Ljubljani, 1973.
2. MUREN, H.: Prijedlog promjena u konceptu produkcione tokarilice, 21 Savjetovanje proizvodnog strojarstva Jugoslavije, Opatija, 1970.

Prof. Hinko MUREN, T.U. Ljubljana, Jugoslavia