



República Federativa do Brasil
Ministério do Desenvolvimento, Indústria
e do Comércio Exterior
Instituto Nacional da Propriedade Industrial

(11) (21) **PI 9903539-1 A**

(22) Data de Depósito: 11/08/1999
(43) Data de Publicação: 24/04/2001
(RPI 1581)



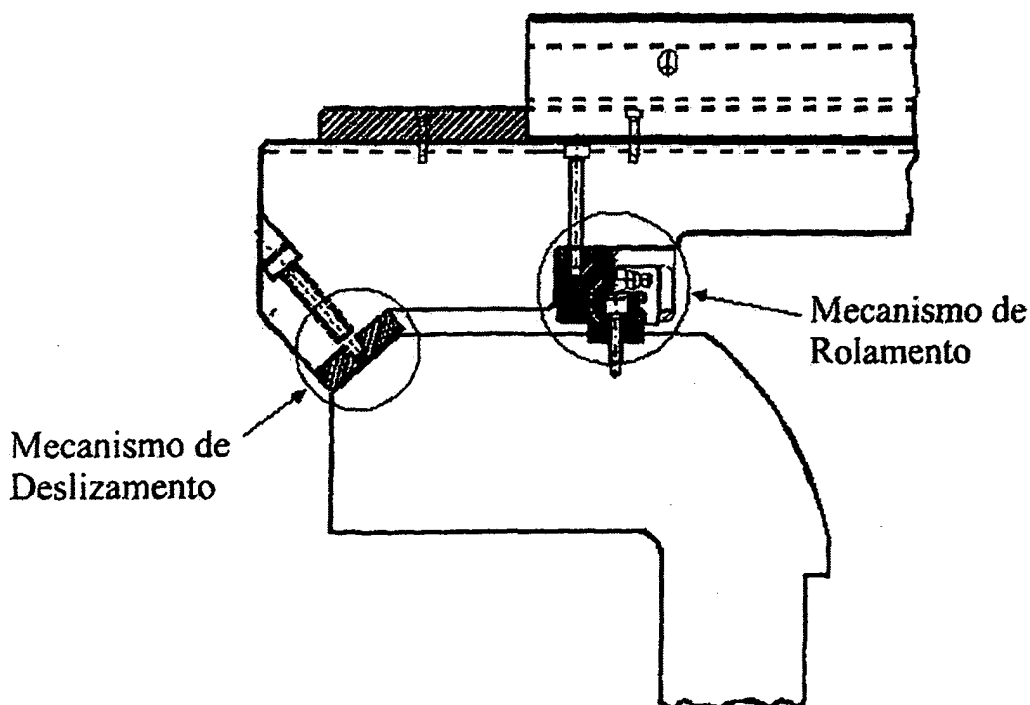
(51) Int. Cl.⁷.:
B23B 17/00
B23Q 1/00

(54) Título: **GUIA COMBINADA
ROLAMENTO/DESLIZAMENTO COM ATRITO E
RIGIDEZ AJUSTÁVEIS**

(71) Depositante(s): Universidade Federal de Pernambuco
(BR/PE)

(72) Inventor(es): Hugo Marcelo Bezerra de Carvalho

(57) Resumo: Patente de invenção: "GUIA COMBINADA ROLAMENTO/DESLIZAMENTO COM ATRITO E RIGIDEZ AJUSTÁVEIS". Refere-se a invenção a uma guia combinada rolamento/deslizamento com atrito e rigidez ajustáveis, que possibilita dependendo dos esforços que surgiram sobre ela. Ajusta-la para que esta com uma maior precisão e adequada rigidez. A guia desenvolvida é constituída basicamente: (1) carro longitudinal; (2) carro transversal; (3) barramento longitudinal; (4) dispositivo de rolamento do carro longitudinal; (5) fuso de esfera do carro longitudinal; (6) parafuso de ajuste do atrito e da rigidez do carro longitudinal; (7) pista de rolamento do carro transversal; (8) régua de ajuste do carro longitudinal; (9) parafuso de fixação da pista de rolamento do carro transversal; (10) parafuso de fixação do mecanismo de rolamento; (11) parafuso de ajuste do atrito e rigidez do carro do carro transversal; (12) dispositivo de rolamento do carro transversal; (13) fuso de esferas do carro transversal; (14) parafusos de fixação da pista de rolamento do carro longitudinal; (15) parafuso de ajuste do atrito e rigidez do carro transversal; (16) régua de ajuste do carro transversal; (17) pista de rolamento do carro longitudinal; (18) parafuso do fuso de esfera do carro longitudinal e (19) parafuso do fuso de esfera do carro transversal.



Relatório Descritivo da patente de invenção: "GUIA COMBINADA ROLAMENTO /DESLIZAMENTO COM ATRITO E RIGIDEZ AJUSTÁVEIS".

Refere-se a presente invenção a uma guia que trabalha simultaneamente com o mecanismo de rolamento e de deslizamento lado a lado, e que possibilita através de análise tribológica das suas superfícies, que têm movimento relativo entre si, o ajuste da sua rigidez e do seu atrito.

A qualidade final de um conjunto, formado por peças elementares ajustadas entre si, depende das propriedades geométricas que têm cada uma dessas peças. Estas propriedades geométricas vão influenciar diretamente o desempenho funcional deste conjunto, determinando, por exemplo, a sua vida útil.

O custo para se manter as propriedades geométricas e mecânicas das peças a mais constante possível é muito elevado. Assim, são prescritas faixas de variações dimensionais permissíveis que, são denominadas de tolerâncias. As atuais exigências quanto a qualidade dos produtos industriais têm levado a uma necessidade crescente de se fabricar peças com tolerâncias cada vez mais apertadas. Esta tendência se apresenta tanto nos processos de fabricação usuais quanto nos processos de fabricação de precisão e ultra-precisão.

Os conceitos de usinagem convencional, de precisão, ou até mesmo de ultra-precisão variaram bastante ao longo deste século pressionados principalmente pelas exigências de tolerâncias cada vez mais rígidas das peças usinadas. Isto decorreu não só pelo aumento da demanda por peças que tenham uma vida maior, mas também devido à globalização da economia, a qual está acontecendo desde o início da década de 90, e através da qual tem-se tornado cada vez mais freqüente a exigência de que uma peça fabricada em um determinado país tenha que trabalhar em conjunto com outra fabricada em outro lugar.

Quando a tolerância dimensional diminui abaixo da ordem de centésimos de milímetro, as variações de forma e de textura passam a responder por uma parte muito expressiva da tolerância dimensional admissível. Assim, a tendência é que a relação entre tolerância dimensional e a textura da superfície se torne cada vez mais importante, a medida que há um aumento da demanda por novos patamares de precisão.

Uma das maneiras de se alcançar estes novos patamares de precisão é pela otimização dos processos de fabricação. Dentre os processos de fabricação existentes o torneamento é um dos processos que tem aumentado muito sua aplicação em usinagem de precisão.

No processo de torneamento para que peças tenham uma certa precisão tem sido desenvolvidas várias técnicas para minimizar os possíveis erros, que podem ocorrer nestes tipo de processo. Basicamente o controle das peças usinadas pode ser feito nas seguintes situações:

- antes do processo
- durante o processo;
- durante a interrupção do processo

O controle antes do processo é feito principalmente através do dimensionamento das guias dos tornos, pois para que estes possam fabricar peças com tolerâncias mais rígidas é necessário otimizar as exigências funcionais destas guias, visto que elas são responsáveis por orientar o posicionamento das ferramentas e das peças antes e durante o processo de torneamento.

No torneamento para que o posicionamento e deslocamento das ferramentas e peças durante o processo de fabricação seja o mais preciso possível é necessário minimizar a variação da velocidade de deslocamento da guia. Esta variação está intimamente ligada com a variação da força de atrito entre o carro porta-ferramenta e a guia, com a variação da força de avanço, resultante da não homogeneidade do material que está sendo usinado, e com a vibração da máquina ferramenta.

Como as guias são elementos que têm como exigências funcionais: alta precisão de movimento; alta capacidade de transporte de carga; mínimo coeficiente de atrito; mínimo desgaste; alta rigidez; alta capacidade de amortecimento de vibração; durabilidade e baixo consumo de potência, é necessário otimiza-las para que se tenha uma maior precisão no processo de torneamento. No entanto a otimização destas exigências funcionais é feita através do dimensionamento das características microgeométricas da superfície da guia que trabalhará no processo de torneamento.

Antes de se iniciar este dimensionamento é necessário comparar os diversos tipos de guias existente, que são: guias de deslizamento; guias hidrostáticas; guias aerostática e guias de rolamento.

As guias de deslizamento se caracterizam por ter um ótimo amortecimento normal e tangencial e boa rigidez mecânica, responsável por maior ou menor deformação das suas superfícies de contato e por mau alinhamento do elemento deslizante devido a cargas externas. Porém, este tipo de guia, em comparação com outros tipos de guias, tem como desvantagem o fato de apresentar o efeito Stick-Slip. O efeito Stick-Slip é caracterizado pela variação das condições de lubrificação. Existem três tipos de atrito, são eles: sólido, misto e fluido. O efeito Stick-Slip é o efeito que ocorre principalmente entre as regiões de atrito sólido e atrito misto. Considerando-se uma guia prismática no início do seu funcionamento, dificilmente seu deslizamento se encontrará na região de atrito misto, porque este é função da velocidade de deslizamento e na partida a velocidade inicial de deslizamento da guia é igual a zero. O mesmo acontece em determinadas situações do processo de torneamento onde há baixa velocidade de avanço e onde talvez haja uma maior dificuldade de alcançar ou até mesmo permanecer na região de atrito misto, prejudicando portanto o acabamento superficial da peça usinada.

As guias hidrostática são pressurizadas a óleo. O princípio de funcionamento baseia-se no fornecimento de fluido sob pressão entre as superfícies dos membros que estão em contato, mantendo sob todas condições de operação um filme de fluido, mesmo na ausência de movimento relativo. As principais características destas guias são baixíssimo coeficiente de atrito, inexistência de desgaste, potência mínima requerida para acionamento, alta rigidez, capacidade de transporte de carga e boa capacidade de amortecer vibrações entre outras características. No entanto, estas guias necessitam para sua operação de dispositivos de bombeamento, controle, condução e filtragem do fluido, sendo preciso para o uso deste tipo de guia um elevado custo inicial e de manutenção além de uma complexidade maior associada ao sistema, apesar de existirem pesquisas nesta direção para diminuir esta complexidade.

As guias aerostáticas tem como características principais: habilidade para operar em temperaturas extremas e/ou altas velocidades; a dispensa de sistema de coleta e reaproveitamento do fluido, mas por sua vez o seu projeto é mais complexo que as guias hidráulicas por trabalhar com fluido compressível.

As guias de rolamento dependendo do dimensionamento dos seus elementos rolantes tem como boas características baixa fricção e desgaste, sob todas velocidades de operação, boa rigidez e vida útil e podem operar sem folgas, eliminadas através da proteção dos elementos rolantes, possibilitando assim a elevação da rigidez e a redução dos desalinhamentos, mas por outro lado possui como característica ruim baixa capacidade de amortecer vibrações.

Cada uma dessas guias se sobressai sobre as outras em um ou em vários itens, mas nunca em todos. Por causa disso surgiram as guias combinadas. Dentre as guias combinadas, as guias combinadas rolamento/deslizamento são as mais freqüentemente empregadas em máquinas ferramenta. O que se pretende com esta combinação é que a guia resultante tenha tanto as características positivas de um tipo de guia quanto do outro, para se obter uma melhoria no seu desempenho. Mas mesmo com o aumento crescente do seu uso, as guias combinadas são pouco estudadas.

As guias combinadas surgiram para se ter uma combinação das vantagens que cada um tipo de guia possui sobre as outras. Para a idealização desta guia combinada é necessário definir a funcionabilidade de seus mecanismos de modo que sua aplicabilidade e viabilidade sejam confirmadas.

5 A guia idealizada aqui é uma guia combinada rolamento/deslizamento com atrito e rigidez ajustáveis. Esta guia trabalha ao mesmo tempo com os mecanismos de rolamento e de deslizamento, um ao lado do outro. Apesar do dimensionamento da guia ser feito admitindo que a guia trabalha com mecanismo de rolamento de esferas este pode ser também de rolos, dependendo da aplicação da guia. O mesmo pode ser dito ao perfil da pista de rolamento que
10 é em estilo gótico mas pode ser adotada outras configurações de pistas.

Este tipo de guia combinada em comparação, com as guias que só trabalham com o mecanismo de rolamento ou deslizamento, tem várias vantagens, tanto do ponto de vista do atrito, precisão de movimento e de posicionamento em comparação com as guias de deslizamento quanto do ponto de vista da rigidez, capacidade de suportar carga e amortecimento mecânico em comparação com as guias de rolamento. A guia combinada desliza-
15 mento/rolamento foi projetada, de modo que a sua precisão de posicionamento seja a maior possível e que os erros nas peças usinadas, devido aos desvios e aos desgastes que ocorrem nas suas superfícies, que têm movimento relativo, sejam também o menor possível. Uma outra vantagem da guia combinada é que ela foi idealizada de modo que as modificações e os
20 acréscimos de elementos orgânicos de máquina sejam o menor possível em comparação com as guias de deslizamento ou de rolamento, aumentando desta forma sua relação custo/benefício.

Com relação as guias combinadas existentes anteriormente, a guia combinada rolamento /deslizamento desenvolvida aqui, possui como vantagem a possibilidade de ajustar
25 a rigidez e o atrito através do parafuso que se encontra no mecanismo de deslizamento.

Este ajuste será feito em função dos esforços que a guia combinada sofrerá. Por exemplo, se a guia for aplicada em um torno de comando numérico (CN), este ajuste será feito em função das forças de usinagem que irão surgir durante a fabricação da peça. Deste modo, pode-se ajustar o atrito e a rigidez para que a peça a ser usinada tenha uma precisão
30 maior. O que é uma grande vantagem sobre os tornos que possuem guias de rolamento, deslizamento e guias combinadas rolamento/deslizamento sem atrito e rigidez ajustáveis, pois normalmente estas guias são dimensionadas para suportar os esforços máximos das máquinas que fazem parte, por exemplo, tornos.

Através destes parafusos é aplicada, antes de iniciar a usinagem, uma pressão nas
35 superfícies que trabalham com o mecanismo de deslizamento. Com esta pré-pressão surgirá uma área de contato entre estas duas superfícies que definirá as características da guia combinada, de modo que, ela trabalhe com uma máxima rigidez e um mínimo atrito para uma determinada situação de operação, tornando assim possível, em uma produção seriada de peças, ajustar a pressão entre as superfícies do mecanismo de deslizamento da guia
40 combinada.

Para o controle do atrito e rigidez da guia combinada rolamento/deslizamento se desenvolverá abaixo as equações dos mecanismo de rolamento e deslizamento desta guia. O atrito da guia combinada, é uma soma da força de atrito do mecanismo de deslizamento com a força de atrito do mecanismo de rolamento, e é dado por:

$$45 \quad F_{at} = F_{at(dest.)} + F_{at(rol.)} \quad (1)$$

A força de atrito do mecanismo de deslizamento da guia combinada é menor que a da guia de deslizamento. Isto acontece porque os esforços que surgem durante a usinagem, são distribuídos entre o mecanismo de deslizamento e o de rolamento.

Desenvolvendo a Eq.(1), a força de atrito da guia combinada é dada por:

$$F_{at} = F_{at (desl)(adesão)} + F_{at (desl.) (abrasão)} + F_{at (rol.)} \quad (2)$$

5 Como a maior parte do atrito por deslizamento é devido a adesão, tem-se

$$F_{at} = A_{real (desl.)} \cdot \tau_{desl.} + F_{at (rol.)} \quad (3)$$

onde:

$\tau_{desl.}$ - é a força de atrito por unidade de área e

10 $A_{real (desl.)}$ - é a área real entre as superfícies de deslizamento.

A resistência ao movimento que ocorre nos mecanismos de rolamento é dividida em três parcelas: atrito de rolamento, atrito de escorregamento e atrito fluido, Eq.(3)

$$15 \quad F_{at (rol.)} = \mu_R \cdot N_{rol} + F_e + F_f \quad (4)$$

onde:

$F_{at (rol.)}$ - é a força de resistência ao rolamento;

μ_R - é o coeficiente de atrito de rolamento;

N_{rol} - é a carga normal às superfícies de rolamento;

20 F_e - é a força devida ao atrito de escorregamento e

F_f - é a força devida ao atrito fluido.

A parcela de contribuição de F_e e F_f é pequena em relação ao atrito de rolamento ($\mu_R \cdot N_{rol}$). Através de experimentos e catálogos é também verificado que $\mu_R < 0,005$ para
25 vários tipos de guias de rolamento, THK América (1986) e INA (1996).

Por outro lado, este coeficiente de atrito (μ_R) é função: da razão (C/P_R) entre a capacidade de carga dinâmica (C) do rolamento e a carga (P_R) que atua neste mecanismo de rolamento; da dureza do material; do número de pontos de contato entre o elemento rolante e a pista; da geometria das superfícies de contato; das dimensões dos elementos rolantes e do acabamento superficial da pista e dos corpos rolantes.
30

Se os elementos rolantes (gaiolas) da guia combinada já estão definidos, o coeficiente de atrito (μ_R) só dependerá da carga aplicada. Quando o valor de (μ_R) varia na faixa de 0,001 a 0,002 a razão (C/P_R) variará de 4 a 20, sendo a normal do mecanismo de rolamento (N_{rol}) igual a força aplicada (P_R), INA (1986). Com isso, através da escolha dos
35 elementos rolantes (gaiola), pode-se calcular a força de atrito resultante.

Um modo de calcular o coeficiente de atrito do mecanismo de rolamento para quantificar a força de atrito da Eq.(3), é dado por

$$40 \quad \mu_R = 0,08 \cdot \mu \cdot \left(\frac{a}{R}\right)^2 \cdot \left(\frac{b}{a}\right)^2 \quad (5)$$

onde:

μ_R - é o coeficiente de atrito do mecanismo de rolamento;

μ - é o coeficiente de atrito das superfícies de contato;

45 a - é o raio da elipse de contato entre a esfera e a pista na direção de rolamento;

R - é o raio de curvatura da esfera e

R_b - é o raio da elipse de contato entre a esfera e a pista em uma direção perpendicular à direção de rolamento.

Na equação (4) o coeficiente de atrito está em função: da área de contato entre a esfera e a pista, das dimensões dos elementos rolantes, da dureza do material e do acabamento superficial da pista e da esfera. Com isso, pela Eq.(3), é possível quantificar a influência do acabamento superficial do mecanismo de rolamento na precisão da guia combinada.

5 Quanto à rigidez e à capacidade de suportar carga da guia combinada, estes estão em função da área real de contato de ambos os mecanismos. O mecanismo de deslizamento por ter uma área de contato maior, aumentará a rigidez da guia combinada em comparação com as guias de rolamento.

A rigidez é dada em função da área real de contato. A área real de contato é calculada 10 através das expressões das deformações dos picos das rugosidades. Estas por sua vez podem ser calculadas pelo método elástico ou o método elasto-plástico.

No método elástico a equação da força aplicada sobre uma área nominal é dada, segundo Greenwood & Williamson (1966), por

$$15 \quad P = \frac{4}{3} \cdot \eta \cdot A_n \cdot E' \cdot r_e^{\frac{1}{2}} \cdot \int_d^{\infty} (R_z - d)^{\frac{3}{2}} \cdot \phi(z) dz \quad (6)$$

onde:

- 20 P - é a carga aplicada em uma superfície nominal A_n ;
 A_n - é a área nominal do mecanismo de deslizamento ou do rolamento;
 R_z - é a profundidade média da rugosidade da pista;
d - é a distância entre o vale mais profundo e a linha de deformação dos picos de rugosidades no contato esfera/pista, ou seja é a distâncias entre as superfícies em contato;
25 r_e - é o raio equivalente das rugosidades entre a esfera e a pista;
 η - é a densidades de picos da área nominal de contato;
 E' - é o modulo de elasticidade equivalente das superfícies em contato e
 $\phi(z)$ - é a distribuição das amplitudes dos picos de rugosidades.

30 Já no método elasto-plástico a equação da força é dada, segundo Chang et al (1989), por

$$35 \quad P = \eta \cdot A_n \cdot E' \cdot \left[\frac{4}{3} \cdot r_e^{\frac{1}{2}} \cdot \int_d^{d+w_c} (R_z - d)^{\frac{3}{2}} \cdot \phi(z) dz + \pi \cdot r_e \cdot \frac{K \cdot H}{E'} \cdot \int_{d+w_c}^{\infty} [2 \cdot (R_z - d) - w_c] \cdot \phi(z) dz \right] \quad (7)$$

onde:

- w_c - é a deformação elástica máxima das rugosidades;
H - é a dureza da pista e
40 K - é a constante que determina o início da deformação plástica.

Através das Eq.(5) e (6) calcula-se as distâncias entre as superfícies em contato (d), e com isso as deformações que as rugosidades destas superfícies sofrerão. Após determinada estas deformações é calculada a área real de contato, que pode ser expressa, caso o método escolhido seja o método elástico, segundo Greenwood & Williamson (1966), por

$$45 \quad A = \pi \cdot \eta \cdot A_n \cdot E' \cdot r_e^{\frac{1}{2}} \cdot \int_d^{\infty} (R_z - d) \cdot \phi(z) dz \quad (8)$$

e para o método elasto-plástico, segundo Chang et al (1989), por

$$A_e = \eta \cdot A_n \cdot \pi \cdot r_c \cdot \int_d^{d+w_c} (z-d)\phi(z)dz$$

(9)

$$A_p = \eta \cdot A_n \cdot \pi \cdot r_c \cdot \int_{d+w_c}^{\infty} [2 \cdot (R_z - d) - w_c] \cdot \phi(z)dz$$

5

$$A_t = A_e + A_p$$

onde:

A_t - é a área total devido às deformações elásticas e plásticas;

10 A_e - é a área real de contato devido às deformações elásticas e

A_p - é a área real de contato devido às deformações plásticas.

A escolha do método a ser utilizado depende da deformação (w) que uma rugosidade isolada pode sofrer em cada um desses mecanismos, e é dada, segundo Chang et al (1989), por

15

$$w = \left(\frac{\pi \cdot p_m}{2 \cdot E'} \right)^2 \cdot r_c \quad (10)$$

onde:

20 p_m - é a pressão média em uma rugosidade central para o mecanismo de rolamento e a pressão média na área real de contato para o mecanismo de deslizamento e

E' - é o módulo de elasticidade equivalente.

Se esta deformação for maior que a maior deformação dentro do regime elástico na área nominal de contato, esta deformação será dada por:

25

$$w_c = \left(\frac{\pi \cdot 0,6 \cdot H}{2 \cdot E'} \right)^2 \cdot r_c \quad (11)$$

(onde σ_y é a tensão de escoamento da pista) o método utilizado deverá ser o método elasto-plástico, caso contrário deverá ser o método elástico.

30

A rigidez da guia, é função da carga total que atua nela e é dada por

$$\text{Carga total} = P_d + P_R \quad (10)$$

35 onde:

P_d - é a carga que o mecanismo de deslizamento suporta;

P_R - é a carga que o mecanismo de rolamento suporta.

40 Para calcular a carga do mecanismo de deslizamento é necessário analisar como este mecanismo se deforma. A deformação no mecanismo de deslizamento e no mecanismo de rolamento são diferentes, figura 1.

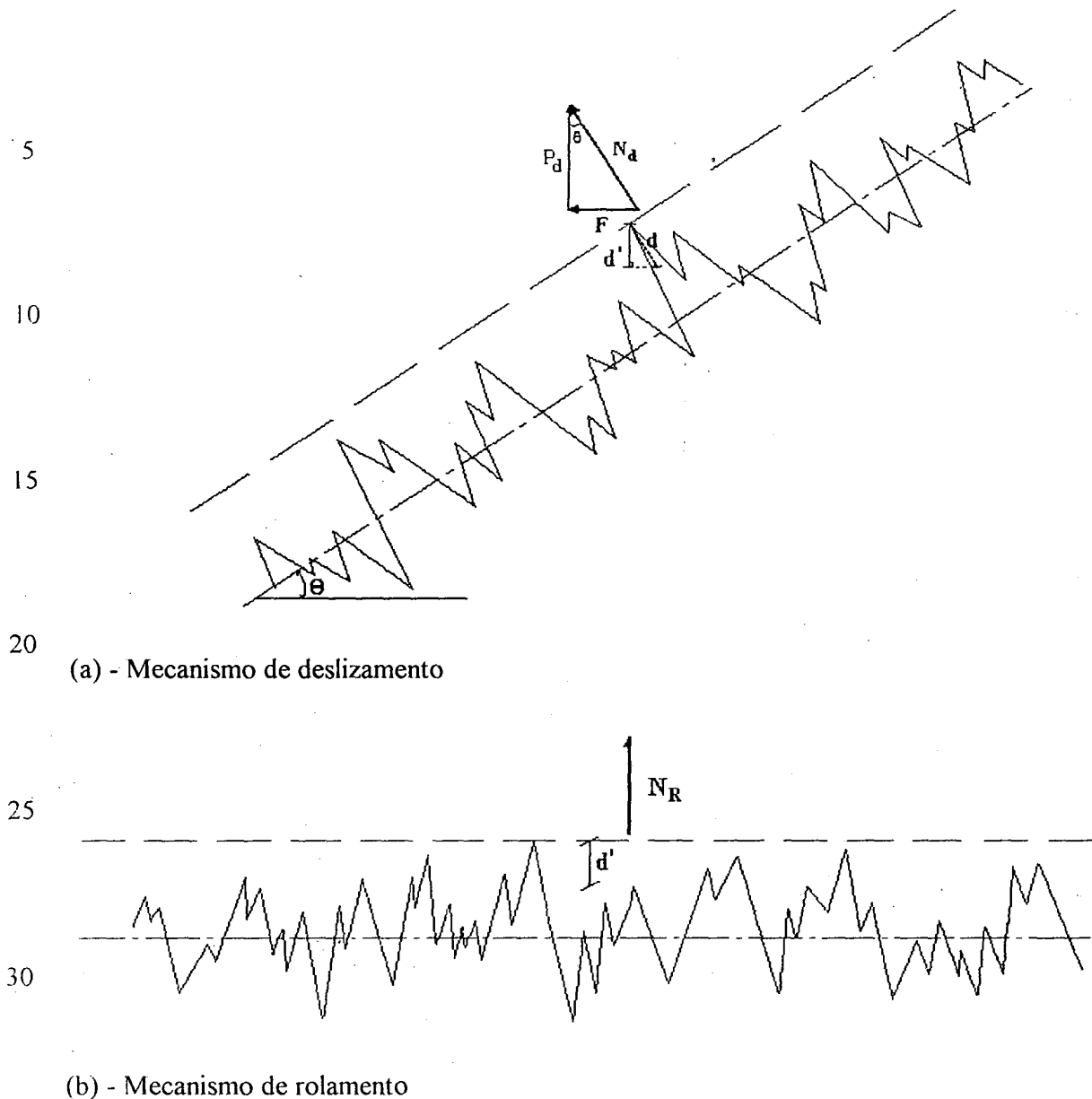


Figura 1 - Deformação na guia de deslizamento/rolamento

Conforme a figura 1(a) e a equação (5) a componente normal (N_d) da carga atuante no mecanismo de deslizamento para o método elástico, é dada por

$$N_d = \frac{\left(\frac{4}{3} \cdot \eta_{(d)} \cdot A_{n(d)} \cdot E_{(d)} \cdot r_{e(d)}^{\frac{1}{2}} \cdot \int_{d'}^{\infty} (R_z - d)^{\frac{3}{2}} \cdot \phi(z) dz \right)}{\cos(\theta)} \quad (12)$$

onde:

$\eta_{(d)}$ - é a densidade equivalente dos picos das rugosidades na superfícies do mecanismo de deslizamento;

$A_{n(d)}$ - é a área nominal do mecanismo de deslizamento;

$r_{e(d)}$ - é o raio equivalente das superfícies de deslizamento e

$E'_{(d)}$ - é o módulo de elasticidade equivalente das superfícies do mecanismo de deslizamento.

Para o método elasto-plástico, N_d é dado por

$$N_d = \left[\eta_{(d)} \cdot A_{n(d)} \cdot E \cdot \left[\frac{4}{3} \cdot r_{e(d)}^{\frac{1}{2}} \cdot \int_d^{d+w_c} (R_z - d) \cdot \phi(z) dz + \pi \cdot r_{e(d)} \cdot \frac{K \cdot H}{E} \cdot \int_{d'+w_x}^{\infty} \left[2 \cdot (R_z - d) - w_{c(d)} \right] \cdot \phi(z) dz \right] \right] / \cos(\theta) \quad (13)$$

Como $P_d = N_d \cdot \cos(\theta)$, tem-se caso utilize o método elástico

$$P_d = \left(\frac{4}{3} \cdot \eta_{(d)} \cdot A_{n(d)} \cdot E_{(d)} \cdot r_{e(d)}^{\frac{1}{2}} \cdot \int_d^{\infty} (R_z - d)^{\frac{3}{2}} \cdot \phi(z) dz \right) \quad (14)$$

e caso utilize o método elasto-plástico

$$P_d = \left[\eta_{(d)} \cdot A_{n(d)} \cdot E \cdot \left[\frac{4}{3} \cdot r_{e(d)}^{\frac{1}{2}} \cdot \int_d^{d'+w_c} (R_z - d) \cdot \phi(z) dz + \pi \cdot r_{e(d)} \cdot \frac{K \cdot H}{E} \cdot \int_{d'+w_x}^{\infty} \left[2 \cdot (R_z - d) - w_{c(d)} \right] \cdot \phi(z) dz \right] \right] \quad (15)$$

onde:

$$d' = d \cdot \cos(\theta)$$

Como a deformação no mecanismo de rolamento é perpendicular à superfície, a força normal é dada, caso as deformações sejam elásticas, por

$$N_R = \left(\frac{4}{3} \cdot \eta_{(R)} \cdot A_{n(R)} \cdot E_{(R)} \cdot r_{e(R)}^{\frac{1}{2}} \cdot \int_d^{\infty} (R_z - d)^{\frac{3}{2}} \cdot \phi(z) dz \right) \quad (16)$$

onde:

$\eta_{(R)}$ - é a densidade equivalente dos picos das rugosidades na superfície do mecanismo de rolamento;

$A_{n(R)}$ - é a área nominal do mecanismo de rolamento;

$r_{e(R)}$ - é o raio equivalente das superfícies do mecanismo de rolamento e

$E_{(R)}$ é o módulo de elasticidade equivalente das superfícies do mecanismo de rolamento.

e caso as deformações sejam elasto-plásticas, por

$$N_R = \left[\eta_{(R)} \cdot A_{n(R)} \cdot E \cdot \left[\frac{4}{3} \cdot r_{e(R)}^{\frac{1}{2}} \cdot \int_d^{d'+w_c} (R_z - d)^{\frac{3}{2}} \cdot \phi(z) dz + \pi \cdot r_{e(R)} \cdot \frac{K \cdot H}{E} \cdot \int_{d'+w_x}^{\infty} \left[2 \cdot (R_z - d) - w_{c(R)} \right] \cdot \phi(z) dz \right] \right] \quad (17)$$

Desta forma a carga total, se o método utilizado for o método elástico, é obtida substituindo a Eq.(13) e Eq.(15) na Eq.(10), a qual resulta na seguinte equação

$$\text{Carga total} = \left(\frac{4}{3} \cdot \eta_{(d)} \cdot A_{n(d)} \cdot E_{(d)} \cdot r_{e(d)}^{\frac{1}{2}} \cdot \int_d^{\infty} (R_z - d)^{\frac{3}{2}} \cdot \phi(z) dz \right) + \left(\frac{4}{3} \cdot \eta_{(R)} \cdot A_{n(R)} \cdot E_{(R)} \cdot r_{e(R)}^{\frac{1}{2}} \cdot \int_d^{\infty} (R_z - d)^{\frac{3}{2}} \cdot \phi(z) dz \right) \quad (18)$$

Se o método utilizado for o elasto-plástico a carga total (10) será dada por:

$$\begin{aligned}
 \text{Carga total} = & \left[\eta_{(d)} \cdot A_{n(d)} \cdot E \cdot \left[\frac{4}{3} \cdot r_{e(d)}^{\frac{1}{2}} \cdot \int_d^{d'+w_c} (R_z - d) \cdot \phi(z) dz + \pi \cdot r_{e(d)} \cdot \frac{K \cdot H}{E} \cdot \right. \right. \\
 & \left. \cdot \int_{d'+w_x}^{\infty} \left[2 \cdot (R_z - d) - w_{c(d)} \right] \cdot \phi(z) dz \right] + \eta_{(R)} \cdot A_{n(R)} \cdot E \cdot \left[\frac{4}{3} \cdot r_{e(R)}^{\frac{1}{2}} \cdot \int_d^{d'+w_c} (R_z - d) \cdot \phi(z) dz \right. \\
 & \left. + \pi \cdot r_{e(R)} \cdot \frac{K \cdot H}{E} \cdot \int_{d'+w_x}^{\infty} \left[2 \cdot (R_z - d) - w_{c(R)} \right] \cdot \phi(z) dz \right] \quad (19)
 \end{aligned}$$

Caso tenha pré-carga na parte de deslizamento, o valor da deformação (d) é acrescido do valor de $d_{\text{pré-carga}}$. O valor de $d_{\text{pré-carga}}$ é calculado, caso o método utilizado seja o método elástico, pelas Eqs. (5) e (4.16). Caso o método utilizado seja o método elasto-plástico serão usadas as Eqs.(4.15) e (4.17).

Pela Eq. (4.27) ou Eq.(4.28) verifica-se que quando se acrescenta a pré-carga no mecanismo de deslizamento, a guia torna-se mais rígida, pois, para um esforço maior será mais difícil para ela se deformar. Esta pré-carga também definirá a proporção de carga entre o mecanismo de rolamento e o mecanismo de deslizamento. Torna-se claro que, caso não haja a pré-carga as superfícies já manterão uma proporção para a divisão de cargas entre elas. Esta proporção está relacionada com a área real de contato destes dois mecanismos e pode ser calculada pela Eq.(4.27) ou pela Eq.(4.28), dependendo se as rugosidades sofrem deformações elásticas ou elasto-plásticas respectivamente.

Com isso a distribuição da carga será dada em função da área real de contato que está em função da área nominal de contato e do número e tamanho das esferas que por sua vez está em função do mecanismo de rolamento e este por sua vez em função da precisão que as peças usinadas tenham. Desta forma é possível especificando a precisão das peças usinadas, determinar as deformações e os desvios máximos das superfícies tanto do mecanismo de rolamento quanto do mecanismo de deslizamento, que a guia combinada deve ter, determinando desta forma a proporcionalidade entre estes mecanismos e suas dimensões.

Objetivando aumentar a precisão de posicionamento e de movimentação de guias, e tendo em vista a diminuição das tolerâncias ao longo do século XX constatou-se a necessidade do desenvolvimento de um tipo de guia, onde a precisão (atrito) e a rigidez seja definido através de um mecanismo de ajuste, entre suas partes móveis. Com este tipo de ajuste é possível variar a força de atrito entre as partes móveis da guia, e com isto conseguir produzir peças com um melhor acabamento superficial e tolerâncias iguais ou menores que este tipo de guia tenha sido projetada. Além de possibilitar o ajuste no caso de desgaste destas partes da guia.

Para uma melhor compreensão do funcionamento e composição da guia combinada rolamento/deslizamento com atrito e rigidez ajustáveis serão descritos pormenorizadamente os desenhos esquemáticos em anexo que representam:

A figura 1 descreve os mecanismos de funcionamento da guia combinada idealizada.

A figura 2 mostra as três vistas da guia combinada rolamento/deslizamento com atrito e rigidez ajustáveis. (a) vista frontal; (b) vista superior e (c) vista lateral.

A figura 3 mostra o detalhamento da vista frontal da guia combinada rolamento/deslizamento com atrito e rigidez ajustáveis.

A figura 4 mostra o detalhamento da vista lateral da guia combinada idealizada.

A figura 5 mostra o detalhamento da vista superior da guia combinada idealizada.

Com referência a figura 1 verifica-se que a guia combinada idealizada trabalha com o mecanismo de rolamento e de deslizamento lado a lado, tanto no carro longitudinal quanto no carro transversal. O seu ajuste é feito através dos parafusos de ajuste do atrito e rigidez do carro longitudinal (6) e do carro transversal (15). Este ajuste dependerá da carga aplicada sobre e das dimensões dos mecanismos de rolamento e deslizamento. Quando a carga aumenta a tendência é que a percentagem de carga que o mecanismo de deslizamento suporta aumente, pois a área nominal do contato do mecanismo de deslizamento é maior que a do mecanismo de rolamento. Com isso, conhecendo de antemão as forças que atuará na guia combinada é possível ajustá-la de modo que ela trabalhe basicamente com o mecanismo de rolamento quando atua sobre ela pequenas cargas e trabalhe basicamente com o mecanismo de deslizamento quando atuam sobre ela altas cargas. Deste modo, por exemplo, caso esta guia seja aplicada em um torno CN, tem-se o menor atrito durante o posicionamento da ferramenta, e uma grande rigidez quando este torno estiver usinando uma peça com forças de usinagem altas.

As partes da guia combinada rolamento/deslizamento com atrito e rigidez ajustáveis enumeradas nas figuras 2, 3 e 4 estão descritas abaixo.

- (1) carro longitudinal;
- (2) carro transversal;
- (3) barramento longitudinal;
- 20 (4) dispositivo de rolamento do carro longitudinal;
- (5) fuso de esfera do carro longitudinal;
- (6) parafuso de ajuste do atrito e da rigidez do carro longitudinal;
- (7) pista de rolamento do carro transversal;
- (8) régua de ajuste do carro longitudinal;
- 25 (9) parafuso de fixação da pista de rolamento do carro transversal;
- (10) parafuso de fixação do mecanismo de rolamento;
- (11) parafuso de ajuste do atrito e rigidez do carro do carro transversal;
- (12) dispositivo de rolamento do carro transversal;
- (13) fuso de esferas do carro transversal;
- 30 (14) parafusos de fixação da pista de rolamento do carro longitudinal;
- (15) parafuso de ajuste do atrito e rigidez do carro transversal;
- (16) régua de ajuste do carro transversal;
- (17) pista de rolamento do carro longitudinal;
- (18) parafuso do fuso de esfera do carro longitudinal;
- 35 (19) parafuso do fuso de esfera do carro transversal.

Reivindicações

5 As guias combinada rolamento/deslizamento com atrito e rigidez ajustáveis, são caracterizadas por poderem ser usadas pela indústria em vários tipos de máquinas, por exemplo tornos de comando numérico (CN), que necessitem de guias com movimentos de precisão e rigidez ajustáveis aos esforços que lhe são aplicados.

10 As guias combinada rolamento/deslizamento com atrito e rigidez ajustáveis, são caracterizadas por possuir um sistema de ajuste por parafuso, que leva em consideração um estudo tribológico para quantificar o atrito e a rigidez.

 As guias combinadas rolamento/deslizamento com atrito e rigidez ajustáveis, são caracterizadas por possuir dois mecanismos um de rolamento, podendo este ser de esfera ou de rolos, e outro de deslizamento.

15 As guias combinadas rolamento/deslizamento com atrito e rigidez ajustáveis, são caracterizadas por ter dois tipos de mecanismos que dividem os esforços que atuam sobre eles.

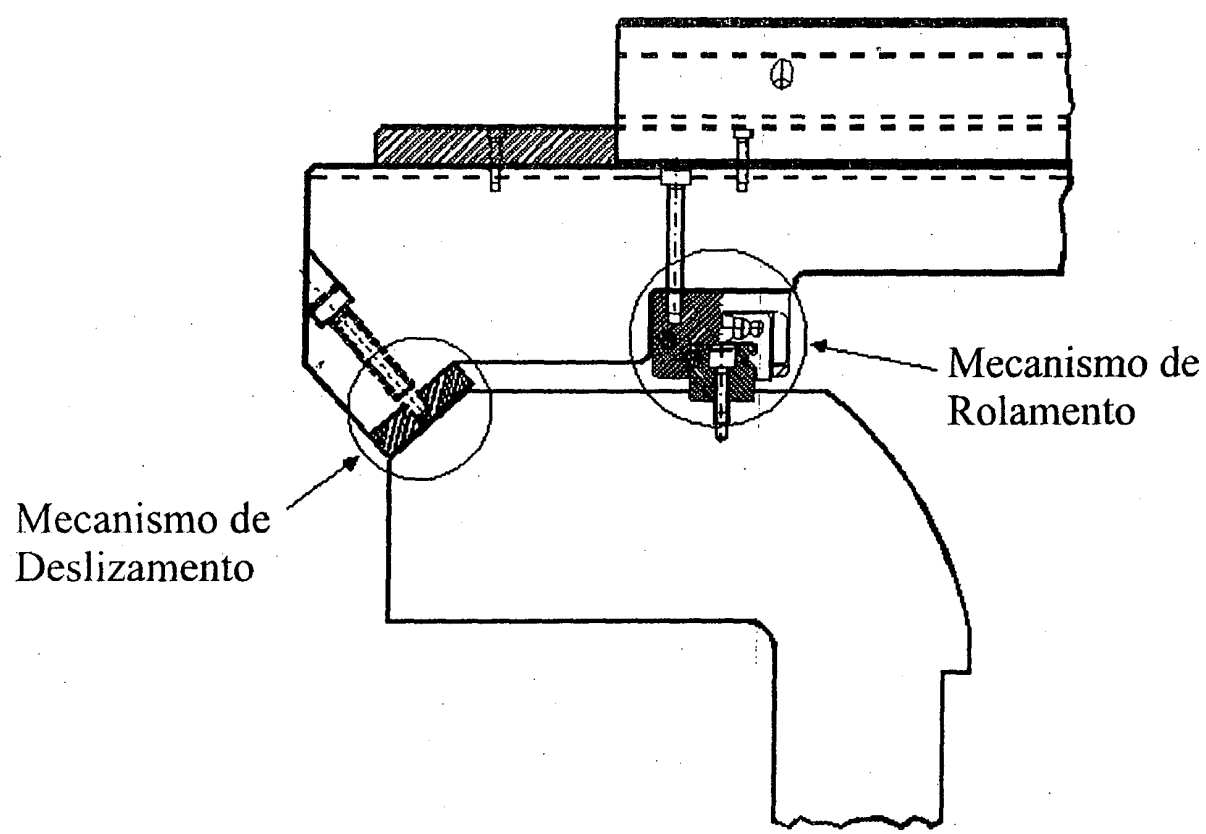


Figura 1.

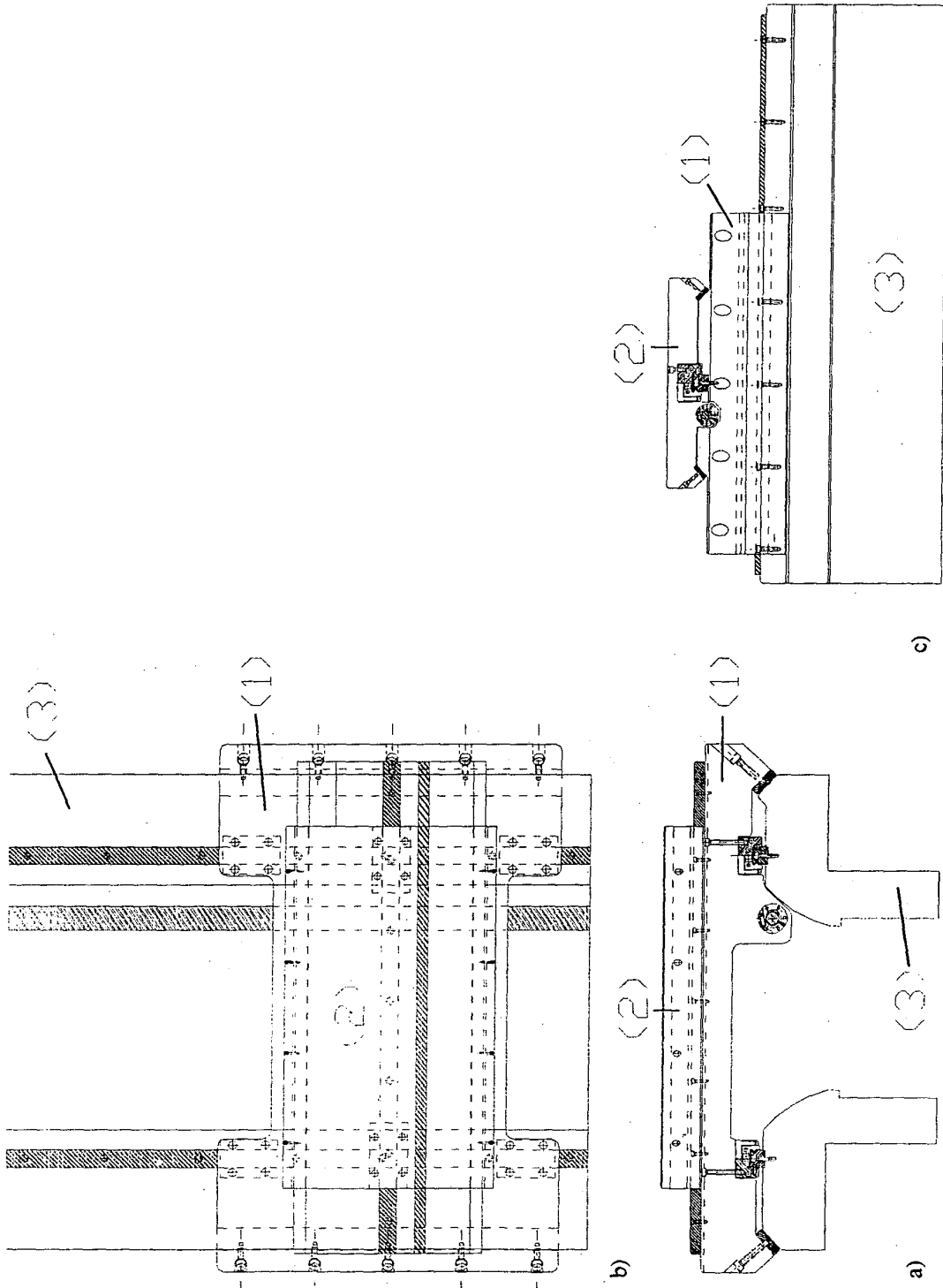


Figura 2

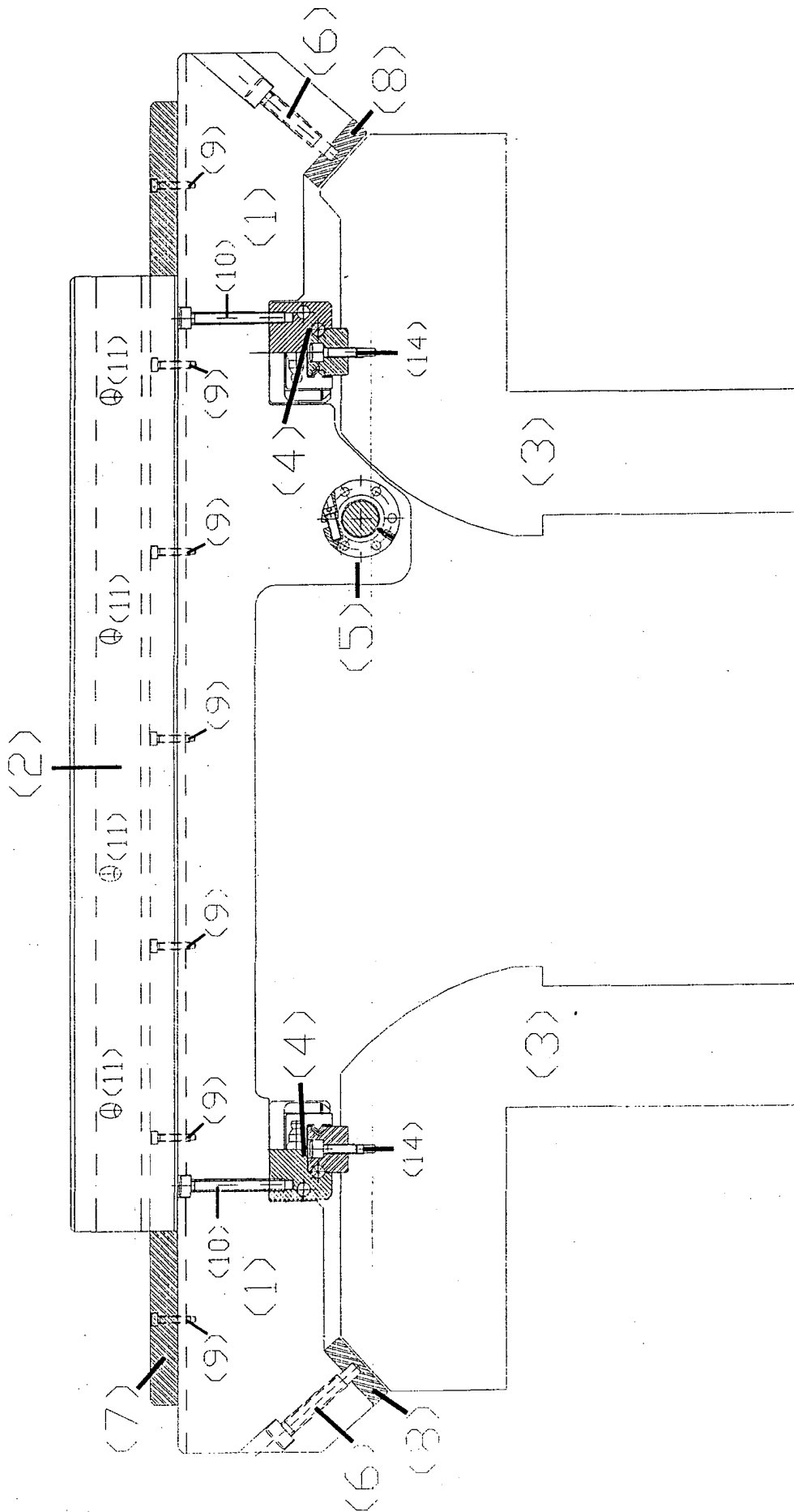


Figura 3

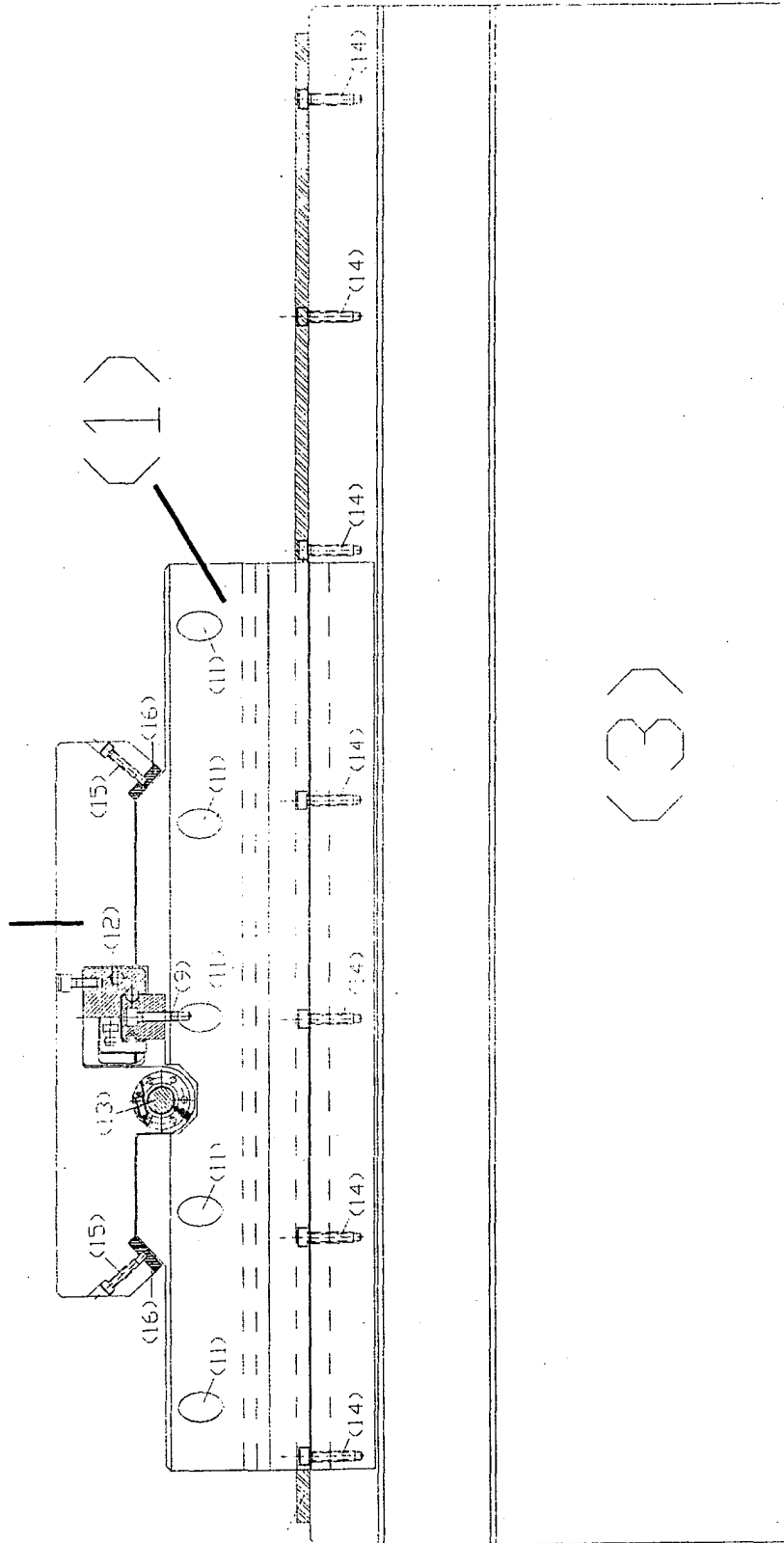


Figura 4

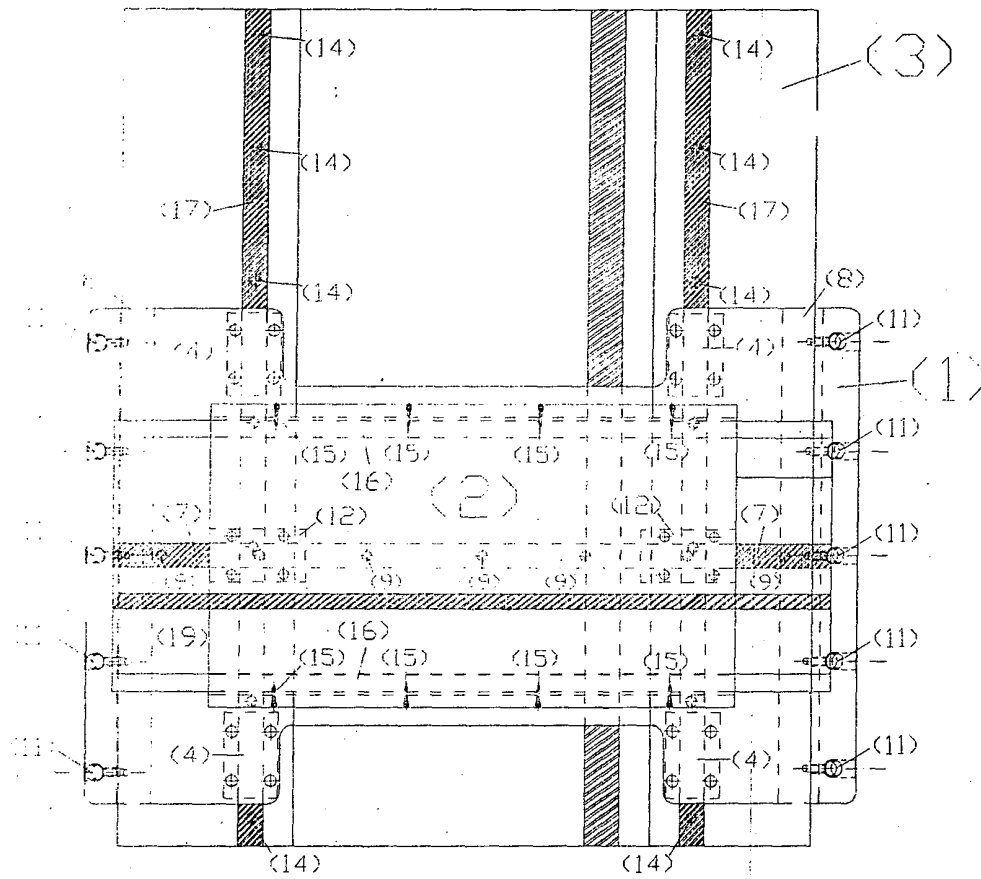


Figura 5

Resumo

Patente de invenção: "GUIA COMBINADA ROLAMENTO/DESLIZAMENTO COM ATRITO E RIGIDEZ AJUSTÁVEIS".

5 Refere-se a invenção a uma guia combinada rolamento/deslizamento com atrito e rigidez ajustáveis, que possibilita dependendo dos esforços que surgiram sobre ela. Ajusta-la para que esta com uma maior precisão e adequada rigidez.

A guia desenvolvida é constituída basicamente:

- (1) carro longitudinal;
- 10 (2) carro transversal;
- (3) barramento longitudinal;
- (4) dispositivo de rolamento do carro longitudinal;
- (5) fuso de esfera do carro longitudinal;
- (6) parafuso de ajuste do atrito e da rigidez do carro longitudinal;
- 15 (7) pista de rolamento do carro transversal;
- (8) régua de ajuste do carro longitudinal;
- (9) parafuso de fixação da pista de rolamento do carro transversal;
- (10) parafuso de fixação do mecanismo de rolamento;
- (11) parafuso de ajuste do atrito e rigidez do carro do carro transversal;
- 20 (12) dispositivo de rolamento do carro transversal;
- (13) fuso de esferas do carro transversal;
- (14) parafusos de fixação da pista de rolamento do carro longitudinal;
- (15) parafuso de ajuste do atrito e rigidez do carro transversal;
- (16) régua de ajuste do carro transversal;
- 25 (17) pista de rolamento do carro longitudinal;
- (18) parafuso do fuso de esfera do carro longitudinal e
- (19) parafuso do fuso de esfera do carro transversal.