

ESTUDO DO ERRO DE POSICIONAMENTO DE PEÇAS PRISMÁTICAS NA USINAGEM

Joel Martins Crichigno Filho

Universidade do Estado de Santa Catarina

Departamento de Engenharia Mecânica

Campus Universitário Prof. Avelino Marcante S/N.

Caixa Postal 631 – Joinville – SC

CEP: 96201-900

e-mail: crichigno@joinville.udesc.br

Cleiton Rodrigues Teixeira

Fundação Universidade Federal de Rio Grande

Departamento de Materiais e Construção

Rua Alfredo Huch, 475

Caixa Postal 474 – Rio Grande – RS

CEP: 96201-900

e-mail: cleiton@dmc.furg.br

Resumo. Um sistema de fixação tem como principal objetivo posicionar as peças de forma exata e precisa. Além disso, deve absorver o peso da peça, as forças de fixação, de usinagem e de montagem, impedindo que a peça se move ou deform. Estima-se que uma grande parcela do erro de fabricação é decorrente de um sistema de fixação mal projetado. Geralmente, a escolha de um sistema de fixação está relacionada à experiência do processista ou através do método de tentativa e erro. Uma vez que vários fatores influem na fixação das peças, durante a usinagem ou a medição de um lote de peças, a precisão de posicionamento não é garantida. A utilização de um sistema mais preciso muitas vezes não é suficiente para aumentar a precisão de posicionamento, devendo ser levado em conta outros fatores inerentes ao sistema. Fatores como atrito, rigidez de contato normal e tangencial, bem como rugosidade fazem com que a precisão dos sistemas de fixação de peças seja difícil de ser alcançada. O objetivo desse trabalho é estudar o emprego de posicionadores e fixadores empregando elementos flexíveis com o intuito de aumentar a precisão de sistemas de fixação de peças.

Palavras-chave. sistemas de fixação, posicionamento de precisão, elementos flexíveis

1. INTRODUÇÃO

Sistemas de fixação são meios especiais de fabricação com o objetivo principal de posicionar e sustentar peças em uma posição pré-determinada. São empregados na usinagem, em sistemas de medição, dispositivos para a montagem etc. O principal objetivo é posicionar as peças de forma exata e precisa. Deve absorver as forças de fixação, de usinagem, de montagem, o próprio peso da peça impedindo que a peça se move ou deform. Um sistema de fixação não pode obstruir o caminho da ferramenta na usinagem, no sistema de medição ou na montagem. Apesar de aparentemente simples, os erros inerentes ao mau projeto de um sistema de fixação podem levar a erros significativos na fabricação, medição ou montagem. Com a disseminação das filosofias de fabricação com erros nulos, seis sigma, entre outras, vem-se exigindo cada vez mais que as variações inerentes aos processos de fabricação, medição e montagem estejam de acordo com

tolerâncias cada vez mais estreitas. Conseqüentemente todos os fatores de um sistema de fabricação, ou seja, máquina-ferramenta, sistema de fixação, ferramenta e peça, têm que ser considerado com relação à sua exatidão e, antes de tudo, sua precisão. Um posicionamento preciso pode ser realizado a partir da restrição cinemática da peça. Como um corpo pode se mover no espaço com seis graus de liberdade, o princípio nada mais é do que, através de apoios, restringir a movimentação da peça. A Figura (1) apresenta a restrição de movimentação de uma peça prismática.

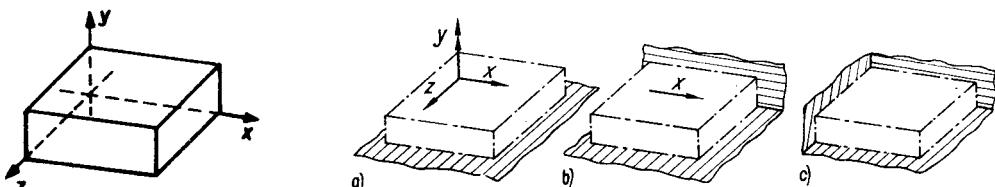


Figura 1. Restrição de movimentação de uma peça prismática. a) restrição de 3 graus de liberdade através do plano na direção y; b) restrição de mais 2 graus de liberdade através do plano na direção z; c) restrição de mais 1 grau de liberdade através do plano na direção x (Fronober 1992)

Para que a peça não se move durante a usinagem, medição ou montagem, fixadores aplicam uma força empurrando-a contra os posicionadores. A exatidão e precisão de posicionamento de peças em sistemas de fixação dependem de uma série de fatores. Alguns trabalhos foram realizados no intuito de determinar a posição e a tolerância dos posicionadores no projeto de sistemas de fixação (Choudhuri; 1999, Rong, 2001; Wang, 2002). Outros analisaram a deflexão da peça, do sistema de fixação em função da posição de aplicação e magnitude das forças de fixação, por exemplo, empregando o método dos elementos finitos (De Meter, 1988; Li, 1999; Gene Liao, 2000). Alguns autores desenvolveram algoritmos computacionais para determinar o melhor posicionamento dos posicionadores e fixadores (Liu 2003; Wu, 1998; Ding, 2001). A determinação das forças de fixação e as consequentes reações nos posicionadores também é alvo de interesse por parte dos pesquisadores. Forças de fixação demasiadas podem levar à deformação elástica e plástica da peça. Entretanto, se a magnitude da força for menor do que as forças externas, por exemplo, na usinagem, a peça tende a se deslocar em relação ao sistema de fixação (Fronober, 1992). Segundo Xiongand et al (2003) é usual desprezar o efeito do atrito no contato entre peça e os elementos de fixação (Asada, 1985 apud Xiongand, 2003). Isso simplifica consideravelmente os cálculos, uma vez que as forças de contato não podem ser determinadas diretamente através da equação de equilíbrio, ou seja, o sistema de equações é indeterminado. Uma metodologia para determinar as forças de contato normais e tangenciais, bem como as deformações nos contato, em sistemas de fixação de peças é proposta por Xiongand et al (2003).

Do ponto de vista prático é sabido que a precisão no posicionamento de peças em sistemas de fixação é problemática. Ou seja, tentar colocar a peça numa mesma posição, de maneira exata, sob as mesmas condições, repetindo várias vezes o mesmo procedimento é uma tarefa difícil. Um estudo da precisão de posicionamento para diferentes tipos de acoplamentos é apresentado por Li (2000). Ele observou que, montando e desmontando duas peças várias vezes, o posicionamento relativo entre elas, como é de se esperar, se comporta segundo uma distribuição normal. Quando se deseja usar elementos de uma peça que tenham que ter características de tolerância estreita uma em relação à outra, deve-se usiná-las, mantendo a peça na mesma fixação, sem reposicioná-la (Nakazawa, 1994).

Vários trabalhos foram realizados para se determinar a precisão de sistemas de fixação em função dos posicionadores, mas pouco tem sido feito para melhorar a precisão de posicionamento, diminuindo ou tentando eliminar os efeitos que ocasionam a imprecisão do posicionamento entre o sistema de fixação e a peça. Por isso, esse trabalho tem como objetivo um estudo da aplicação de sistemas flexíveis em sistemas de posicionamento com o objetivo de minimizar a influência de alguns fatores responsáveis pela imprecisão dos sistemas de fixação.

2. SISTEMAS DE POSICIONAMENTO DE PRECISÃO

Como mostrado anteriormente, um sistema de fixação restringe a movimentação de uma peça através de posicionadores e fixadores. A questão é como posicionar de maneira exata, evitando a hiperestaticidade entre o sistema de fixação e a peça. Um método bastante difundido é o princípio do sistema de localização de 3,2,1 posicionadores em planos ortogonais. Segundo Nee et al (1995), na maior superfície plana da peça são localizados 3 posicionadores, 2 num plano perpendicular ao plano dos 3 posicionadores e o restante num plano ortogonal aos anteriores. Teoricamente, o contato entre os posicionadores e a peça deveria ser pontual, mas, por razões práticas, isso não acontece porque a pressão tenderia a infinito. Entretanto, aumentando a área de contato, a precisão de posicionamento tende a diminuir por causa dos efeitos de imprecisão das superfícies em contato.

Um sistema de posicionamento mais exato e preciso, empregado na engenharia de precisão, é o acoplamento estaticamente determinado (Nakazawa, 1994). Seu objetivo são que os contatos ocorram em um número de pontos igual ao número de graus de liberdade que se deseja restringir. A Figura (2) apresenta um exemplo de um acoplamento estaticamente determinado. O princípio baseia-se na restrição da cinemática das partes e consiste basicamente em duas superfícies, que irão ser acopladas, sendo que cada parte contém 3 rebaixos em forma de V e a ligação entre elas é feita por 3 esferas. As esferas tem contato em somente dois pontos com cada ranhuras em V, sendo um total de 6 pontos de contato que restringem os 6 graus de liberdade das partes.

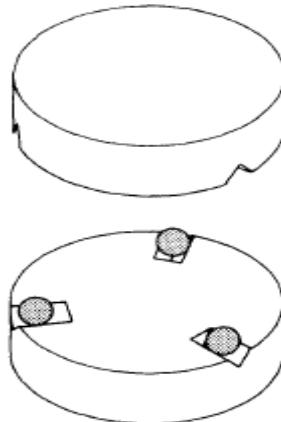


Figura 2. Exemplo de acoplamento cinemático

Mesmo nesses sistemas mais precisos existe o problema da precisão de posicionamento. Os principais fatores influentes são o atrito, a rigidez de contato, a rugosidade e a contaminação das superfícies. Esses fatores em conjunto com uma variação da força de aperto F_p contribuem para a piora da precisão de posicionamento. Para minimizar a influência desses fatores, Schouten et al (1997) estudou o efeito da construção de elementos flexíveis nas paredes das ranhuras em V, como mostra a Figura (3). Melhoras significativas foram obtidas empregando os elementos flexíveis, inclusive minimizando o problema de histerese.

O emprego do princípio de elementos flexíveis nesse caso traz uma vantagem que é minimizar a influência da rigidez de contato e do atrito. Em um sistema de fixação, quando uma peça não é colocada na posição determinada, ou seja, em contato com todos os posicionadores sob as mesmas condições, a força de aperto aplicada pelos fixadores tem que deslocar a peça para corrigir o seu posicionamento. Dependendo da posição inicial da peça e seqüência de aperto, o atrito, a rugosidade das superfícies e a rigidez de contato impedem que as forças de aperto desloque a peça para a posição ideal.

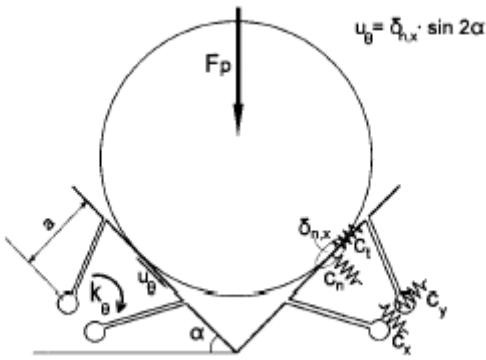


Figura 3. Aplicação de elementos flexíveis no acoplamento cinemático (Schouten 1997)

3. FATORES INFLUENTES NA INTERFACE POSICIONADOR/PEÇA

3.1. Atrito

A força de resistência à movimentação entre duas peças em contato é devido à força de atrito entre as superfícies. A força de atrito pode ser estática ou dinâmica. No caso de sistemas de fixação é considerada a força de atrito estática, sendo determinada pela lei de atrito de Coulomb. Ela é amplamente empregada no projeto de sistemas de fixação e de garras na robótica. A força de atrito é importante para impedir que a peça deslize ou até se solte do sistema de fixação devido às forças externas. Entretanto se uma peça for colocada na posição errada, ela irá se opor à aplicação da força de fixação para corrigir o seu posicionamento. Dependendo da intensidade, da direção e do local de aplicação da força de aperto, a peça poderá transladar e/ou rotacionar, ido para a posição requerida ou simplesmente não. Teoricamente, se as condições de contato (forças na direção normal e tangencial) forem sempre as mesmas em cada posicionador e localizador, considerando uma mesma peça, esta estará exatamente posicionada. Entretanto, esta condição é difícil de ser alcançada devido ao fato da existência do atrito e da rigidez de contato entre as superfícies.

3.2. Rigidez de Contato

O Problema da rigidez de contato pode ser simplificado com auxílio da Figura (4).

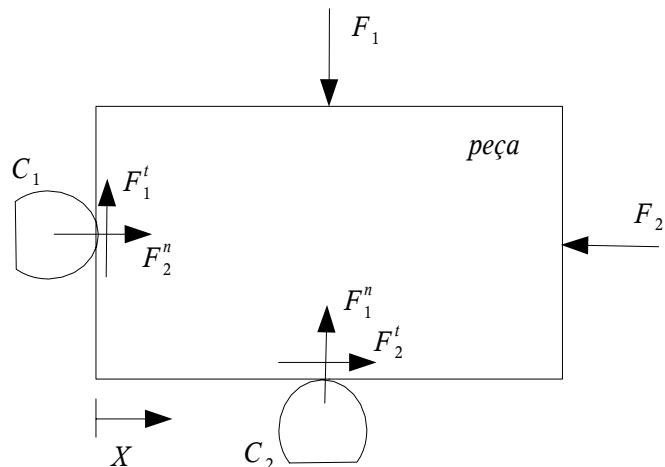


Figura 4. Exemplificação da atuação das forças de aperto e as reações dos posicionadores

Esse exemplo mostra as forças de fixação F_1 e F_2 atuando na peça, empurando-a contra os posicionadores C_1 e C_2 . Reações nos posicionadores nas direções normais F_1^n , F_2^n e

tangenciais F_1^t , F_2^t irão aparecer. O deslocamento da peça dependerá da seqüência de aplicação das forças F_1 e F_2 . Um aspecto interessante, que é pouco explorado na literatura, é o fato da consideração que a peça está sob as mesmas condições de contato com os posicionadores. Ou seja, como dito anteriormente, a magnitude das forças tangencial e normal, para um mesmo posicionador ou fixador, sempre são as mesmas. Entretanto, este fato não tende a acontecer na prática, uma vez que erros de posicionamento devido ao sistema de manipulação ocorrem. Conseqüentemente, o posicionamento relativo entre peça e sistema de fixação, nessa fase inicial, varia. Analisando o exemplo da Figura (4), considerando uma peça ideal, se a distância entre a peça e o posicionador C_1 varia e se a seqüência de aperto for F_1 e F_2 logo, a força F_2^t tende a ser maior que F_1^t .

A deformação elástica na direção tangencial depende das forças normal e tangencial aplicadas no posicionador, da característica do material do posicionador e da peça, da geométrica das superfícies em contato, bem como da magnitude da força (Johnson, 1987). A deformação na direção normal podem ser calculada pela Equação (1) segundo Xiogand et al (2003):

$$\delta d_n = \frac{0,95}{\sqrt{\pi}} \cdot \left(\frac{4}{3E_i^2 R_i} \right)^{\frac{1}{3}} \cdot F_n^{\frac{2}{3}} . \quad (1)$$

Por sua vez, a deformação na direção tangencial ao posicionador é calculada como a Equação (2).

$$\delta d_t = \frac{1}{\pi} \cdot \left(\frac{4E_i}{3R_i} \right)^{\frac{1}{3}} \cdot \left[\frac{(1+\nu_i)(2-\nu_i)}{E_i} + \frac{(1+\nu_p)(2-\nu_p)}{E_p} \right] \cdot \frac{F_t}{F_n^{\frac{1}{3}}} \quad (2)$$

onde:

$$R_i = \left(\frac{1}{R_i} + \frac{1}{R_p} \right)^{-1} \quad (3)$$

e

$$E_i = \left[(1-\nu_p^2)E_p^{-1} + (1-\nu_i^2)E_i^{-1} \right]^{-1} , \text{ sendo} \quad (4)$$

F_n - força normal, F_t - força tangencial, R_i - raio do posicionador, R_p - raio da peça, ν_i - coeficiente de poison do material do posicionador, ν_p - coeficiente de poison do material do posicionador, E_i - módulo de elasticidade do material do posicionador e E_p - módulo de elasticidade do material da peça.

Para se ter uma idéia da influência da rigidez de contato tangencial em um sistema de fixação, foi realizada uma simulação, onde se pressupõe que a peça vai ser posicionada n vezes no sistema de fixação. Nesse caso, a distância entre a peça e o posicionador C_1 varia segundo uma distribuição normal, com média e desvio padrão estipulados pela característica de precisão de um sistema de manipulação, como por exemplo um braço mecânico (robô). Quando a posição da peça for negativa em relação ao posicionador C_1 , a posição da peça é considerada nula, ou seja, a peça está em contato com C_1 . Considerando a seqüência de aplicação de força F_1 e F_2 , inicialmente é calculada a força tangencial em C_2 necessária para deslocar a peça até o posicionador C_1 . Essa força é então subtraída da força normal F_2 . De posse desse resultado, finalmente o deslocamento é calculado, levando ainda em consideração as deformações de contato tangencial em C_2 e a normal em C_1 . Esse procedimento é calculado para os n ciclos de montagem. A Figura (5) apresenta o resultado de simulação.

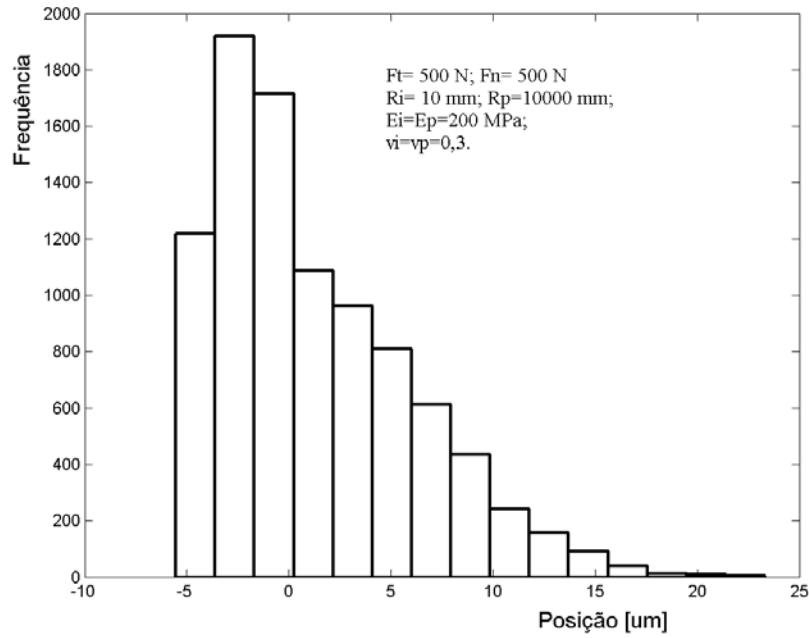


Figura 5. Simulação do posicionamento relativo da peça na direção X

Da figura pode-se observar que o posicionamento da peça se comporta segundo uma distribuição log-normal. Isso acontece em decorrência do efeito do erro de posicionamento inicial da peça e da rigidez tangencial de contato.

3.3. Rugosidade

A precisão de posicionamento entre duas superfícies é também influenciada pela rugosidade das peças. A Figura (6) mostra um exemplo de como a rugosidade influencia na precisão de posicionamento. No início quando os picos de rugosidade estão ainda novos, o erro é maior. A medida com que as duas superfícies vão sendo acopladas, os picos de rugosidade vão se deformando e com isso o erro tende a diminuir.

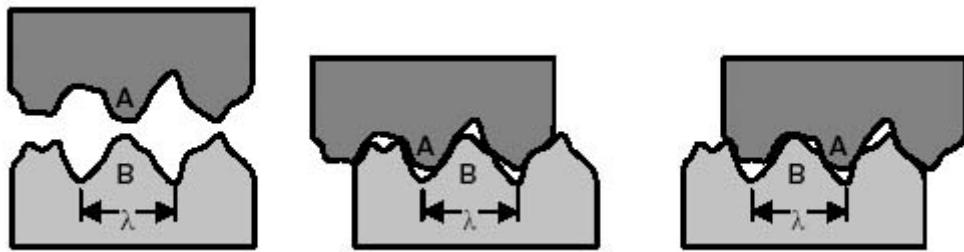


Figura 6. Influencia da rugosidadena repetibilidade de posicionamento (Culpepper, 2000)

Segundo Culpepper (2000), a repetibilidade de posicionamento de duas superfícies pode ser estimada pela relação:

$$\text{Repetibilidade} \sim \frac{\lambda}{2} \sim 2 \cdot R_a \quad (5)$$

A questão do atrito entre as superfícies, a rigidez tangencial e a rugosidade são fatores de fundamental importância no aumento da precisão de posicionamento das partes. Uma questão óbvia

que pode ser considerada para minimizar esses efeitos seria empregar superfícies com baixa rugosidade, materiais duros das partes e a aplicação de lubrificante. Entretanto, nem sempre isso é possível. Uma solução para minimizar o efeito desses fatores seria então elementos flexíveis em sistemas de fixação. Por isso, o objetivo principal desse trabalho é estender a proposta utilizada por Schouten (1997) no emprego de sistemas flexíveis no acoplamento cinemático em sistemas de fixação de peças prismáticas.

4. EMPREGANDO ELEMENTOS FLEXÍVEIS PARA ELIMINAR O EFEITO DA RIGIDEZ DE CONTATO TANGENCIAL

Elementos flexíveis, também conhecidos como *flexures* são usados onde é necessário um movimento angular limitado em torno de um eixo flexível, sem atrito e sem folgas. (Paros, 1965 apud Rabe, 2001). Segundo Rabe (2001), os elementos flexíveis têm como características a capacidade de suportar grandes cargas externas sem deformar, alta rigidez, custo de fabricação acessível e com diversas possibilidades de fabricação etc. O campo de aplicação se dá onde existir a necessidade de movimentação à nível micrométrico. O emprego de um sistema de fixação com posicionadores fixos traz a desvantagem dos problemas de rigidez tangencial, atrito, e rugosidade. Por esses motivos, se uma peça for colocada inicialmente na posição errada, dificilmente através da atuação dos fixadores se conseguirá reposicioná-la nas tolerâncias requeridas. Portanto, o emprego de posicionadores e fixadores empregando o princípio dos elementos flexíveis tem a vantagem de eliminar esses inconvenientes, desde que o deslocamento necessário seja na ordem de miléssimos de milímetros. A Figura (7) mostra o princípio de um posicionador flexível que pode ser utilizado em sistemas de fixação. Ele tem como principal característica a flexibilidade em duas direções ortogonais.

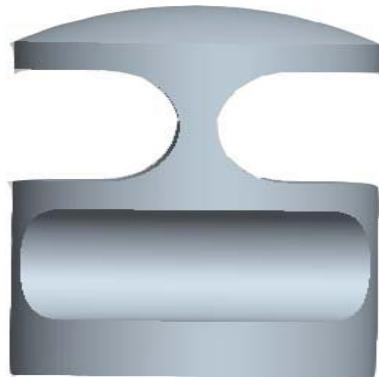


Figura 7. Localizador com elementos flexíveis

Os elementos flexíveis podem ser vistos, em sua essência, como vigas que funcionam como molas, possuindo rotação em torno de um pivô elástico coincidente com o ponto de menor espessura da viga. É o pivô o principal responsável por conferir flexibilidade em determinadas direções e rigidez nas restantes. Seu movimento original é angular, no entanto, devido aos pequenos ângulos deslocados e combinações construtivas, o movimento resultante é muito próximo ao retilíneo (Rabe 2001).

Segundo Paros (1965) apud Pham (2002), a rigidez tangencial pode ser calculada empregando a seguinte relação:

$$K = \frac{9\pi r^{1/2}}{2Eb^5t^{5/2}},$$

onde: E é o módulo de elasticidades do material, t a espessura do entalhe, r o raio do entalhe e b a largura do elemento.

Considerando que o posicionador C_2 , na Figura (4), como sendo um elemento flexível,

independente do erro de posicionamento da peça em relação ao posicionador C_1 , a rigidez tangencial será sempre a mesmas. Logo, a precisão de posicionamento da peça dependerá somente da resultante das forças normais nos posicionadores.

Como dito anteriormente, os sistemas flexíveis têm direções de sensibilidades e por isso cuidados na escolhas das direções de deslocamentos devem ser tomados. A Figura (8) apresenta uma proposta de aplicação de elementos flexíveis em um sistema de fixação de uma peça prismática.

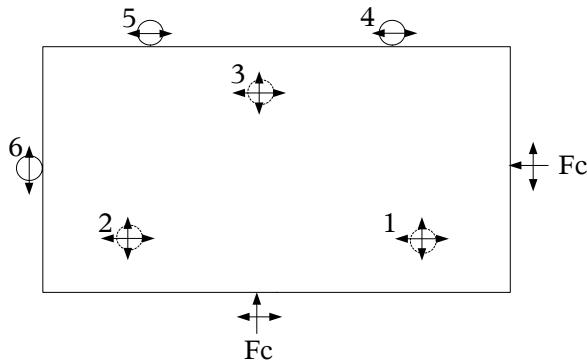


Figura 8. Proposta de aplicação de elementos flexíveis em um sistema de fixação de peças prismáticas

Nessa proposta é considerada que a peça, no seu posicionamento, tenha que estar em contato primeiramente com os posicionadores 1, 2, 3. As setas de dupla pontas indicam as direções de deslocamento permitidas nos posicionadores e nos fixadores. Independente da seqüência de aplicação das forças de aperto F_c pelos fixadores, a peça tende a se deslocar e entrar em contato com os posicionadores 4, 5 e 6. Pelo fato de não existirem elementos com flexibilidade na direção normal ao plano da figura, a peça será impedida pelo atrito de se movimentar nessa direção, garantindo assim que as forças externas resultantes não retirem a peça do sistema de fixação no caso da utilização de fresamento discordante.

5. CONCLUSÕES

Um sistema de fixação é um elemento fundamental para a produção de peças com baixos erros dimensionais e tolerâncias estreitas de forma e de posição. O principal problema é tentar reposicionar, com precisão, uma peça no mesmo sistema de fixação. A precisão do sistema é influenciada por fatores como o atrito entre a peça e os posicionadores, a rugosidade e a rigidez de contato. Pode-se tentar minimizar esses fatores empregando lubrificante para diminuir o atrito, lapidar e polir as superfícies para diminuir a rugosidade e empregar materiais mais duros para aumentar a rigidez de contato. Entretanto, esses procedimentos, na maioria das vezes, não podem ser utilizados na prática. Em sistemas de acoplamento estaticamente determinado pode-se empregar o princípio dos elementos flexíveis para minimizar os efeitos acima citados, melhorando a precisão de posicionamento. O objetivo desse artigo foi propor uma solução baseada em elementos flexíveis para sistemas de fixação de peças prismáticas. Para tal, simulou-se, para um caso mais simples, a influência da variação do posicionamento inicial da peça no sistema de fixação. Foi observado que devido à rigidez de contato tangencial, a variação da posição da peça se comporta segundo uma distribuição log-normal. Empregando posicionadores e fixadores com elementos flexíveis, a rigidez na direção tangencial é constante e por isso a variação de posicionamento inicial da peça, desde que na ordem de micrômetros não influi na variação do posicionamento final. Além do mais o efeito do atrito e da rugosidade entre as partes é minimizada, ou eliminada. Por último, foi apresentada uma proposta de aplicação de elementos flexíveis em um sistema de fixação para peças prismáticas.

6. REFERÊNCIAS

- Asada, H., By, A.B., 1985, "Kinematic Analysis of Workpart Fixture for Flexible Assembly with Automatically Reconfigurable Fixture", IEEE Trans. Robotics and Automat, Vol. 1, no.2, pp. 86-93.
- Choudhuri, S.A. and De Meter, E. C., 1999, "Tolerance Analysis of Machining Fixture Locators. Journal of Manufacturing Science and Engineering", Vol. 121, pp. 273-281.
- Culpepper, M. L., 2000, "Design and Application of Compliant Quasi-Kinematic Couplings", MIT, Tese de Doutorado.
- De Meter, E. C., 1988, "Fast support optimization", International Journal of Machine Tools and Manufacture. 38, pp. 1221-1239.
- Ding, D., Liu, Y. H., Wang, M. Y. and Wang, S., 2001, "Automatic Selection of Fixture Surfaces and Fixturing Points for Polyhedral Worpieces", IEEE Transactions on Robotics and Automation, Vol. 17, No. 6, pp. 833-841.
- Fronober, M., 1992, "Vorrichtungen: Gestalten, Bemessen, Bewerten", Verl. Technik, Berlin, 320 p.
- Gene Liao, Y.J. and Hu, S. J., 2000, "Flexible multibody dynamics based fixture-workpiece analysis model for fixturing stability", International Journal of Machine Tools and Manufacture, Vol. 40, pp. 343-362.
- Johnson, K.L., 1987, "Contact Mechanics", Cambridge University Press, Cambridge, 464 p.
- Li, B and Melkote S.N., 1999, "Improved workpiece location accuracy through fixture layout optimization", International Journal of Machine Tools and Manufacturing Vol. 39, pp. 871-883.
- Li, H, Landers, R. and Kota, S., 2000, "A Review of Feasible Joining Methods for Reconfigurable Machine Tool Components", 2000 Japan-USA Symposium on Flexible Automation, Ann Arbor, Michigan, (CD-ROM).
- Liu, T. and Wang, M. Y., 2003, "An Approximate Quadratic Analysis of Fixture Locating Schemes", Automation 2003, Sep. 12-14, National Chung Chng University, Chia-Yi, Taiwan.
- Nakazawa, H., 1994, "Principles of Precision Engineering", Oxford University Press, New York, p. 267.
- Nee, A.Y.C., Whybrew, K. and Kumar, A. S., 1995, "Advanced Fixture Design for FMS", Springer-Verlag, London, Berlin, p. 204.
- Paros, J. M. and Weisbord, L., 1965, "How to Design Flexure Hinges". Machine Design, n. 25, pp.151-156.
- Pham, H. H. and Chen, I-M., 2002, "Kinematics, Workspace and Static Analyses of 2-DOF Flexure Parallel Mechanism", Seventh International Conference on Control, Automation, Robotics And Vision (ICARCV'02), Singapore, pp. 968-973.
- Rabe, R. G., 2001, "Desenvolvimento de um Sistema de Fixação e Posicionamento de Ferramenta para Usinagem de Ultraprecisão". Dissertação de Mestrado, Engenharia Mecânica, UFSC, p.169.
- Rong, Y., Hu, W., Kang, Y., Zhang, Y. and Yen, D. W., 2001, "Locating error analysis and tolerance for computer-aided fixture design", Int. J. Prod. Res., Vol. 39, No. 15, pp. 3529-3545.
- Schouten, C.H.; Rosielie, P.C.J.N. and Schellekens, P.H.J., 1997, "Design of a kinematic coupling for precision application". Precision Engineering 20, pp. 46-52.
- Wang, M.Y., 2002, "Tolerance analysis for fixture layout design", Assembly Automation, Vol. 22, Number 2, pp. 153-162.
- Wu, Y.; Rong, Y. Ma, W. and LeClair, S.R., 1998, "Automated modular fixture planning: Accuracy, clamping, and accessibility analyses", Robotic and Computer-Integrated Manufacturing, Vol. 14 , pp. 17-26.
- Xiongand, C.-H., Xiong, Y.-L. and Wang, M. Y., 2003, "On Prediction of Passive Contact Forces of Workpiece-Fixture Systems", Proceedings of DETC.03 ASME 2003 Design Engineering Technical Conferences and Computers and Information in Engineering Conference Chicago, Illinois, USA, September 2-6, (CD-ROM).

A STUDY OF THE POSITIONAL ERROR OF PRISMATIC WORKPIECES IN MACHINING

Joel Martins Crichigno Filho

Universidade do Estado de Santa Catarina

Departamento de Engenharia Mecânica

Campus Universitário Prof. Avelino Marcante S/N.

Caixa Postal 631 – Joinville – SC

CEP: 96201-900

e-mail: crichigno@joinville.udesc.br

Cleiton Rodrigues Teixeira

Fundação Universidade Federal de Rio Grande

Departamento de Materiais e Construção

Rua Alfredo Huch, 475

Caixa Postal 474 – Rio Grande – RS

CEP: 96201-900

e-mail: cleiton@dmc.furg.br

Abstract. *A fixturing system has as main objective to position the workpieces with a high precision workpiece positioning. Must be capable to support clamp, machining, inspection and assembly forces impeding that the workpiece moves or deforms. It is considered that a great portion of the production error is current of the bad projected fixturing systems. Generally the choice of a fixturing system is usually related to the experience of the process engineer or through the trial and error method. Several factors influence on the fixturing of the workpieces that during machining of workpieces the positioning accuracy is not guaranteed. The use of a more precise systems sometimes is not enough to increase the positioning accuracy and for that should be taken into account other inherent factors to the production systems. Factors like friction forces, contact rigidity, as well roughness leads to the inaccurate of the fixturing systems. Thus, the objective of this work is to study the clamps and locators made of flexible elements to increase the precision of fixturing systems.*

Keywords. *fixturing system, precision positioning, flexible elements*