



20° POSMEC

SIMPÓSIO DO PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA MECÂNICA
UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA

Simulação dos problemas de contato para a otimização das propriedades elásticas de revestimento

Autor(es)
Luciano de Oliveira Castro Lara

Orientador:
José Daniel Biasoli de Mello

Resumo

Em muitas aplicações dos revestimentos multifuncionais, o contato mecânico do corpo revestido com um contra corpo ocorre, e a interação mecânica é inevitável. Neste caso, a vida útil e confiabilidade do sistema são determinadas, de certa forma, pela interação mecânica. Neste contexto, o conhecimento dos campos de tensão e deformação gerados no sistema filme-substrato, devido ao contato mecânico seria muito útil, por exemplo, para análise de falhas, ou para um projeto otimizado de sistemas de filme com maior durabilidade. Neste trabalho faz-se uma simulação dos problemas de contato para a otimização das propriedades elásticas do revestimento sob um substrato macio, de modo que a distribuição de tensões dentro de uma determinada faixa de carga não atinja valores elevados o suficiente para causar deformação plástica ou fratura. Um sistema com uma estrutura ideal é apresentado através dessa análise.

Introdução

Revestimentos multifuncionais, amplamente utilizados em aplicações tribológicas têm suas propriedades fortemente influenciadas pelas características de interação do sistema revestimento/substrato. A inserção de múltiplas camadas é uma solução para o problema das elevadas tensões internas que são geradas nesse sistema, nomeadamente sobre substratos macios. A utilização desta técnica visa melhorar a adesão do filme principal sobre o substrato. Como efeito secundário, por ocasião de uma deformação gerada por alguma carga, há a dissipação de energia no sistema de multicamadas, impedindo que haja propagação de trincas. A diminuição do gradiente de tensões entre o substrato e o filme promove o ganho em adesão. No caso onde há apenas uma camada, um filme de alta dureza depositado sobre um substrato macio tem tensões internas muito superiores a este. Que provocam uma resposta em deformação muito diferente para cada elemento. No caso de múltiplas camadas, a concentração de tensões varia gradualmente. Análises de tensões e deformações são freqüentemente usadas com o intuito de explicar e prever falhas desse sistema. O conhecimento desses campos de tensão e deformação gerados no sistema filme-substrato devido ao contato mecânico permite um projeto otimizado de sistemas de filme com maior durabilidade.

Metodologia de Análise

Neste trabalho utiliza-se o programa FilmDoctor[®] para a avaliação do campo elástico. O modelo é ilustrado por meio de um sistema hipotético constituído de um substrato macio e um adequado filme de múltiplas camadas. É utilizado o procedimento mencionado para até cinco camadas, e um revestimento ideal é proposto em função da variação dos parâmetros do módulo de elasticidade e coeficiente de Poisson. O efeito do penetrador é descrito por um penetrador cônico com um ângulo de ponta de 120° e raio de 200 µm. As cargas aplicadas às superfícies dos sistemas hipotéticos, são para obtenção do caso extremo de início da deformação plástica no substrato em função do valor crítico da tensão de von Mises, com uma parcela grande da carga de cisalhamento na direção x (coeficiente de atrito $\mu=1$), com um raio de contato, $a=1\mu\text{m}$, com uma espessura total do filme, $h=1\mu\text{m}$.

Os parâmetros mecânicos dos diferentes sistemas hipotéticos são apresentados na Tabela 1.

Tabela 1: Parâmetros mecânicos dos diferentes sistemas hipotéticos.

Sistemas	Camada 1 E /v/e	Camada 2 E/v/e	Camada 3 E/v/e	Camada 4 E/v/e	Camada 5 E/v/e	Substrato E/v
Sistema 1	300/0,25/1	-	-	-	-	170/0,3
Sistema 2	500/0,25/1	-	-	-	-	170/0,3
Sistema 3	500/0,25/0,5	400/0,25/0,5	-	-	-	170/0,3
Sistema 4	300/0,25/0,5	400/0,25/0,5	-	-	-	170/0,3
Sistema 5	200/0,25/0,2	400/0,25/0,2	300/0,25/0,2	250/0,25/0,2	200/0,25/0,2	170/0,3
Sistema 6	300/0,25/0,2	400/0,25/0,2	300/0,25/0,2	250/0,25/0,2	200/0,25/0,2	170/0,3

Considerada a tensão de von Mises, conforme Eq. 1:

$$\sigma_M = \sqrt{3J_2} = \sigma_M = \sqrt{\frac{1}{2} \left[(\sigma_{xx} - \sigma_{yy})^2 + (\sigma_{zz} - \sigma_{yy})^2 + (\sigma_{xx} - \sigma_{zz})^2 + 6 \times (\tau_{xy}^2 + \tau_{xz}^2 + \tau_{yz}^2) \right]} \quad (1)$$

É importante frisar que para esta análise utiliza-se um coeficiente de atrito que gera uma parcela grande da carga de cisalhamento na direção x. Pois, a força normal é frequentemente acompanhada de solicitações tangenciais que decorrem da cinemática relativa das superfícies dos sólidos em contato. A solicitação tangencial desenvolvida atua no plano da superfície de contato e é perpendicular à solicitação normal. A presença do atrito introduz alterações significativas no estado de tensão no interior dos sólidos em contato. E segundo Boresi (1993) força de atrito também é responsável por alterar a localização do ponto onde atua a tensão de cisalhante máxima, o qual se move da superfície de contato para o interior do sólido em contato a medida que o coeficiente de atrito diminui. Este fato pode ser notado através da Fig. 1, a qual representa os valores da tensão von Mises ao longo das coordenadas x e z para o sistema 6 com coeficientes de atrito de 1, 0,5 e 0,1.

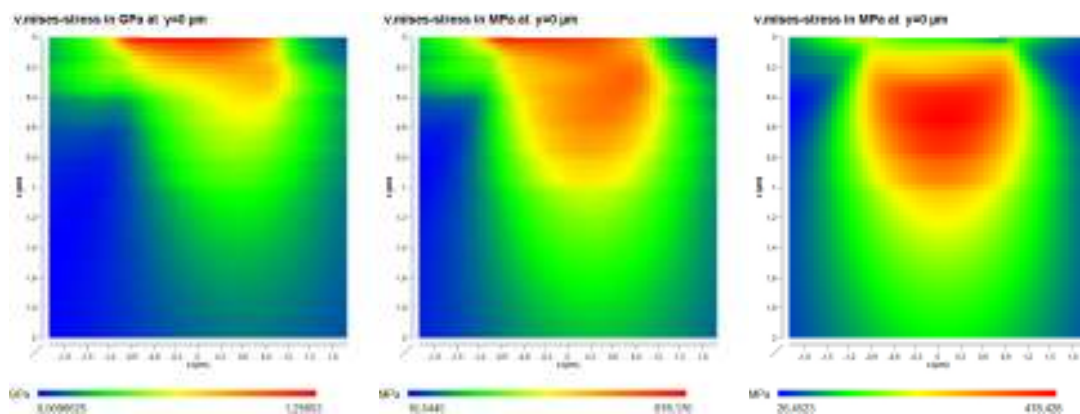


Figura 1: Tensão von Mises ao longo das coordenadas x e z para o sistema 6 com coeficientes de atrito de 1, 0,5 e 0,1.

Alem disso a tensão de tração ao longo da superfície ($z=0$) é diminuída, o que é importante, pois reduz a possibilidade da ocorrência de deformação plástica nessa região e conseqüente destacamento desse filme. Contudo, as atenções agora são voltadas para o interior do sistema, onde a camada em questão deve ter uma

tensão de resistência superior a tensão mecânica atuante nesta camada. O valor do coeficiente de atrito determina o valor da força tangencial ou de atrito, para uma determinada força normal aplicada ao contato entre os dois sólidos. Conseqüentemente, os valores da tensão normal máxima e da tensão máxima de von Mises também vão depender do coeficiente de atrito. Contudo, a estrutura para um sistema ideal, proposta neste trabalho, é conservativa, logo aplicável aos demais casos com menores coeficientes de atrito.

Resultados

Para efeito de simplificação apenas os valores máximos da tensão de von Mises serão comparados. Na Fig. 2(a) os valores máximos das tensões de von Mises para as diferentes camadas individuais são mostrados. Assumindo ter um valor crítico de aproximadamente 300 MPa para o início da deformação plástica no substrato, deve-se evitar a geração desses valores de tensão nas proximidades da região de interface. Mas, como mostrado na Fig. 2(a), tanto nos sistemas de camada única como nos de camada dupla, a tensão crítica é ultrapassada na interface. Além disso, essas condições de carregamento causam tensões relativamente altas na superfície (Fig. 2(b)). Na Fig. 3(a), tensões como a do sistema 2, podem levar a fissuras e, posteriormente, ao destacamento do filme.

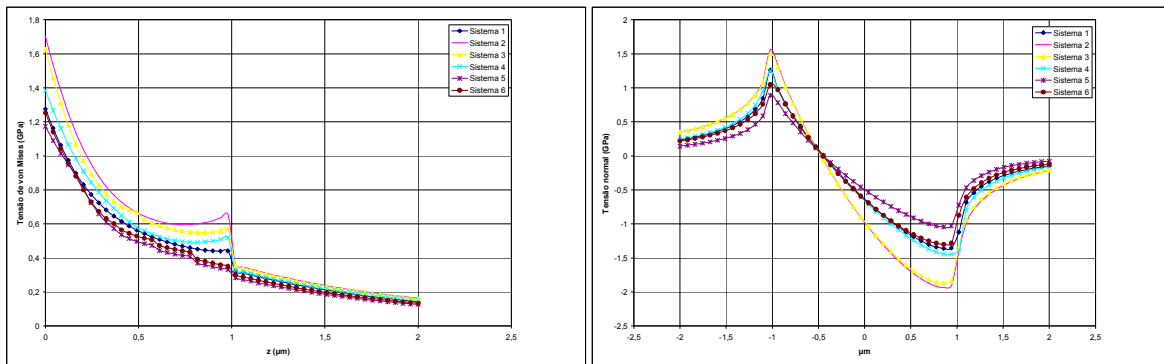


Figura 2: (a) Valores máximos da tensão von Mises ao longo do eixo z para todos os sistemas. (b) Tensão normal na superfície ($z=0$) para todos os sistemas.

Ainda na Fig. 2(a), é mostrado que um revestimento multicamadas com um aumento gradual do módulo de elasticidade em contraste com uma única camada com uma transição abrupta do material, reduz a tensão de von Mises assim como gera menores tensões de tração na interface. Schwarzer (2000) mostrou em seu trabalho que a tensão mecânica no filme pode ser reduzida pela adição de uma camada com um menor módulo de elasticidade, como mostrado no sistema 4, 5 e 6.

Com base nesta análise, o sistema 5 e 6 representam um bom sistema de revestimento, contudo o sistema 6 possui um menor gradiente de tensão na transição da primeira para segunda camada, conforme mostrado na Fig. 3(b), e pode ser representado pela estrutura principal proposta na Fig. 4.

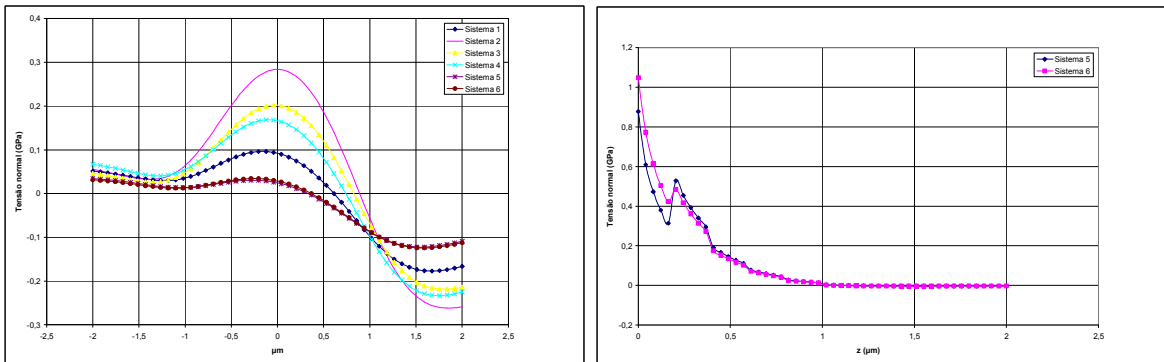


Figura 3: (a) Tensão normal na interface para todos os sistemas. (b) Tensão normal ao longo do eixo z para os sistemas 5 e 6.

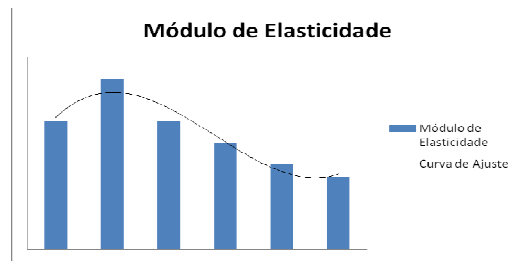


Figura 4: Estrutura proposta para um bom sistema de revestimento.

Considerações finais

Os parâmetros específicos que determinam essa forma devem ser ajustados para conhecida propriedades do substrato e dos materiais de revestimento, bem como a aplicação em questão. Outro fator importante é a maior possibilidade de ajuste da curva que representa a forma do sistema ideal em função do número de camadas, quanto maior é esse número, mais preciso é o ajuste e conseqüentemente menor é a diferença de tensão nas interfaces. Contudo, devido ao alto custo de obtenção dessas camadas às vezes se torna necessário trabalhar com um menor número de camadas e limites aceitáveis de tensões geradas no sistema.

Referências

BORESI, A. P. et al. **Advanced mechanics of materials**, 5ª Edition, John Wiley & Sons, New York, USA, 1993.

FilmDoctor®, SIO, Saxonian Institute of Surface Mechanics www.siomec.de.

SCHWARZER, N. Coating design due to analytical modelling of mechanical contact problems on multilayer systems, **Surface and Coatings Technology**, 133-134, p. 397-402, 2000.