

SIMULAÇÃO DOS PROBLEMAS DE CONTATO PARA A OTIMIZAÇÃO DA ESPESSURA DE REVESTIMENTO

Luciano de Oliveira Castro Lara; 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 da espessura de revestimento atuando sobre 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.

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, as quais, 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 duas camadas, com base em trabalhos anteriores, onde, através da simulação dos problemas de contato para a otimização das propriedades elásticas do revestimento sob um substrato macio, um sistema com uma estrutura ideal é apresentado (LARA e DE MELLO, 2010).

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 uma tensão de von Mises média na interface de contato de 300 MPa. Aqui, é utilizada uma espessura total do filme, e, constante, pois estudos preliminares mostram que o comportamento das tensões segue um padrão a medida que se varia espessura total. E com o intuito de analisar espessuras próximas às das encontradas na indústria, a espessura de 8 μm é adotada. Respeitando para que a tensão de von Mises na interface com o substrato não ultrapasse o valor limite aqui estipulado.

Primeiramente uma análise do comportamento das tensões geradas no sistema filme-substrato em função da espessura desse filme é feita, tanto para uma espessura variável quanto para uma espessura constante.

Para o caso de uma espessura variável foi montado um conjunto de 16 sistemas de duas camadas de filme (conforme Tab. 1) com espessuras variando de 2 a 8 μm .

Tabela 1 – Representação dos sistemas hipotéticos de espessura variável.

Sistemas	Camada 1 E (GPa) / ν / e (μm)	Camada 2 E (GPa) / ν / e (μm)	Espessura total (μm)	Substrato E(GPa) / ν
Sistema 1	250/0,3/1	350/0,28/1	2	170/0,3
Sistema 2	250/0,3/1	350/0,28/2	3	170/0,3
Sistema 3	250/0,3/1	350/0,28/3	4	170/0,3
Sistema 4	250/0,3/1	350/0,28/4	5	170/0,3
Sistema 5	250/0,3/2	350/0,28/1	3	170/0,3
Sistema 6	250/0,3/2	350/0,28/2	4	170/0,3
Sistema 7	250/0,3/2	350/0,28/3	5	170/0,3
Sistema 8	250/0,3/2	350/0,28/4	6	170/0,3
Sistema 9	250/0,3/3	350/0,28/1	4	170/0,3
Sistema 10	250/0,3/3	350/0,28/2	5	170/0,3
Sistema 11	250/0,3/3	350/0,28/3	6	170/0,3
Sistema 12	250/0,3/3	350/0,28/4	7	170/0,3
Sistema 13	250/0,3/4	350/0,28/1	5	170/0,3
Sistema 14	250/0,3/4	350/0,28/2	6	170/0,3
Sistema 15	250/0,3/4	350/0,28/3	7	170/0,3
Sistema 16	250/0,3/4	350/0,28/4	8	170/0,3

Enquanto para o caso de uma espessura constante, um novo conjunto de sistemas é montado (conforme Tab. 2) com espessura constante de 8 μm .

Tabela 2 - Representação dos sistemas hipotéticos de espessura constante.

Sistemas	Camada 1 E (GPa) / ν / e (μm)	Camada 2 E (GPa) / ν / e (μm)	Espessura total (μm)	Substrato E (GPa) / ν
Sistema 1	250/0,3/1	350/0,28/7	8	170/0,3
Sistema 2	250/0,3/2	350/0,28/6	8	170/0,3
Sistema 3	250/0,3/3	350/0,28/5	8	170/0,3
Sistema 4	250/0,3/4	350/0,28/4	8	170/0,3
Sistema 5	250/0,3/5	350/0,28/3	8	170/0,3
Sistema 6	250/0,3/6	350/0,28/2	8	170/0,3
Sistema 7	250/0,3/7	350/0,28/1	8	170/0,3

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

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

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 freqüentemente 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 com coeficientes de atrito de 1, 0,5 e 0,1.

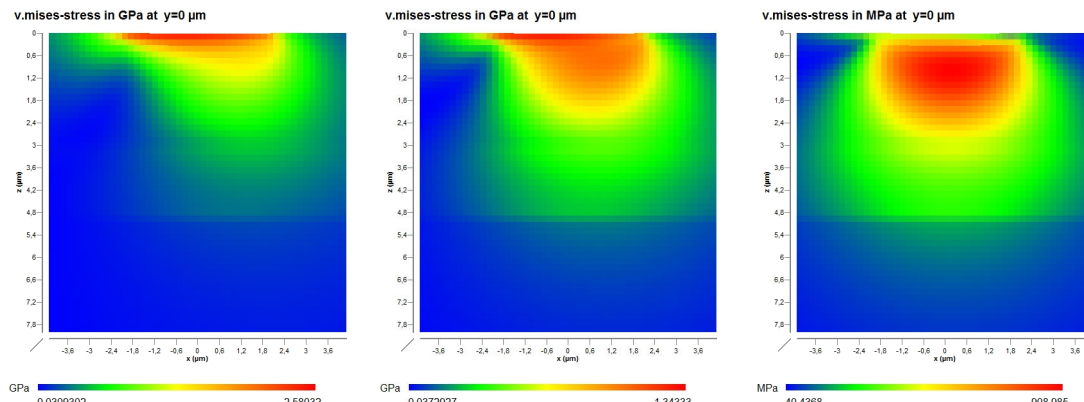


Figura 1: Tensão von Mises ao longo das coordenadas x e z para o sistema 10 com coeficientes de atrito de 1, 0,5 e 0,1.

Além 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. 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 proposta neste trabalho é avaliar o caso extremo de tensão cisalhante atuando na superfície de contato.

RESULTADOS

Para o caso de uma espessura variável, para cada sistema, através do FilmDoctor®, obtém-se as tensões máximas de von Mises na superfície e as tensões máximas normais também na superfície. Respeitando sempre o valor limite da tensão na interface com o substrato é possível trabalhar com cargas cada vez mais altas a medida que se aumenta a espessura do revestimento (Fig. 2).

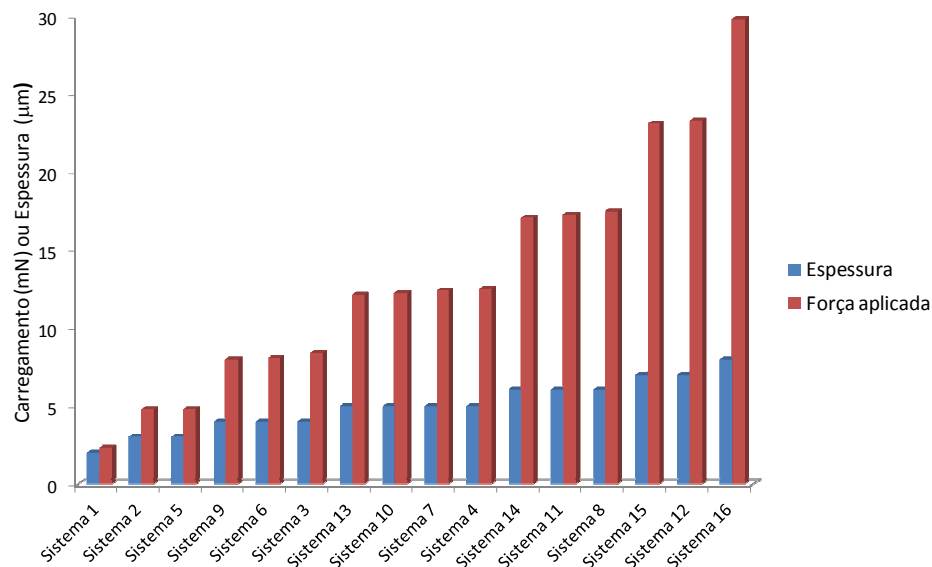


Figura 2 – Variação da carga aplicada em função da espessura do revestimento.

Contudo, fica evidenciado na Fig. 3 que as tensões máximas atuantes nesse revestimento também são maiores, fazendo com que o revestimento necessite de tensões limite maiores para suportar as cargas atuantes.

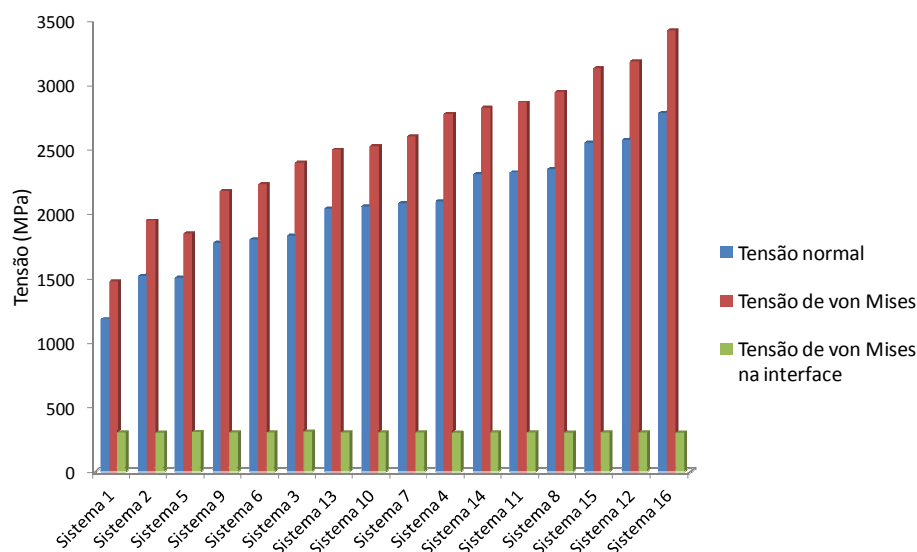


Figura 3 – Variação das tensões em função da espessura do revestimento.

Um outro fato importante, que pode ser notado ainda na Fig. 2 é que para espessuras constantes, independente da distribuição dessas entre os filmes, o carregamento é praticamente constante.

Para melhor compreensão do que acontece às tensões geradas no sistema filme-substrato para essa condição, o novo conjunto de sistemas foi montado (conforme Tab. 2) com espessura constante.

Nesse novo conjunto de sistemas, o comportamento das tensões máximas, a tensão de von Mises e a tensão normal, na superfície do revestimento, demonstram uma pequena variação em função da distribuição da espessura entre os filmes. Para que esse comportamento possa ser melhor compreendido, a Fig. 4 é apresentada abaixo.

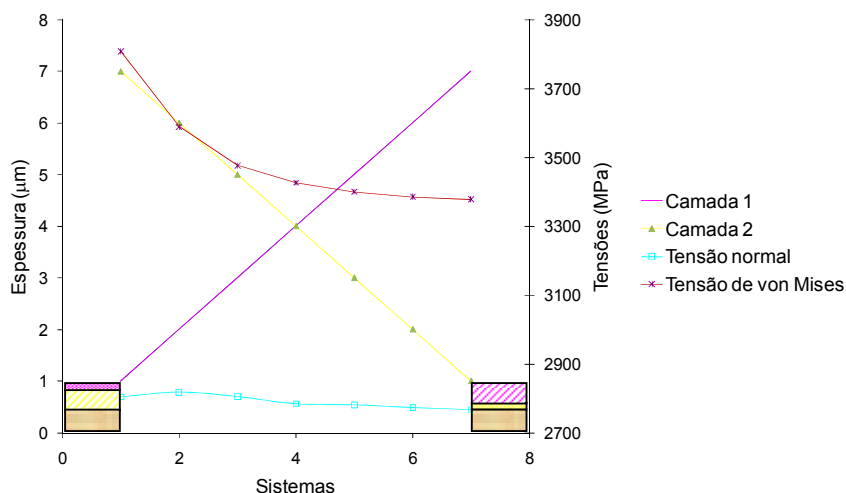


Figura 4 – Comportamento das tensões máximas em função da distribuição da espessura entre os filmes.

Conforme mostrado na Fig. 4, tanto a tensão máxima de von Mises quanto a tensão normal máxima tem a tendência de aumentar com o aumento da espessura da segunda camada. Contudo, a tensão máxima de von Mises é a que apresenta o maior percentual de variação.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Respeitando sempre o valor limite da tensão na interface com o substrato é possível trabalhar com cargas cada vez mais altas a medida que se aumenta a espessura do revestimento, desde que, o revestimento possua a resistência necessária para suportar essas cargas. Contudo, devido ao alto custo de obtenção dessas camadas às vezes se torna necessário trabalhar com camadas menos espessas e limites aceitáveis de tensões geradas no sistema. É notado que para espessuras constantes, independente da distribuição dessas entre os filmes, o carregamento é praticamente constante. E as tensões máximas, a tensão de von Mises e a tensão normal, na superfície do revestimento, demonstram uma pequena variação em função da distribuição da espessura entre os filmes. Contudo, a tensão máxima de von Mises é a que apresenta o maior percentual de variação.

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.
- LARA, L. O. C.; DE MELLO, J. D. B. Simulação dos Problemas de Contato para a Otimização das propriedades Elásticas de Revestimento, 20º POSMEC, Uberlândia – MG. 2010.