

TENSÕES RESIDUAIS EM REVESTIMENTO DE STELLITE 1 DEPOSITADO POR PTA

C. R. F. Silva (1), A. L. Vieira Jr. (2)

1, 2 - Laboratório de Materiais e Tratamentos Superficiais – LaMaTS, Departamento de Engenharia Mecânica - DEMEC, Universidade Federal do Paraná, Centro Politécnico, Bloco IV, Curitiba PR, CEP: 81.531-990

Palavras-chave: Tensões residuais, revestimentos duros

RESUMO

As tensões residuais (TRs) em camadas depositadas que envolvem ligação metalúrgica com o material base (MB), são significativas e, portanto, influem no desempenho da utilização da peça. Em revestimentos duros, são especialmente importantes por poderem provocar falta de adesão, corrosão-sob-tensão, diminuição da resistência a cavitação, etc.

As tensões em um cordão resultam basicamente da contração de volume na solidificação. Seus valores são influenciados pelas deformações do MB. Assim, podem ser diferentes na direção longitudinal e transversal do cordão, dependendo da geometria da peça. As TRs em camadas depositadas dependem de muitas variáveis inerentes ao processo: tipo de processo de deposição, aporte de calor, material depositado, espessura do MB, geometria da peça, etc.

Nesse trabalho foi empregado o Método do furo, método semidestrutivo, em duas alternativas: Furo cego (FC) (*blind hole*), onde se utiliza relações da teoria da elasticidade e coeficientes empíricos determinados por Schajer (1988); Furo passante (FP) (*through hole*), em que apenas relações da teoria da elasticidade são utilizadas. Nas duas situações a redução dos dados foi feita seguindo a ASTM E837, nos furos cegos para máxima profundidade do furo (*full depth holes*). Os cálculos também foram feitos para diversos incrementos de profundidade, a fim de avaliar a uniformidade das TRs e a “tensão uniforme equivalente”.

Uma placa de aço inoxidável austenítico - AISI-304, com 10mm de espessura foi revestido com uma liga à base de cobalto rica em carbono – *stellite 1* – pelo método de Plasma com arco transferido (*Plasma Transferred Arc – PTA*), com uma corrente de 99A e uma velocidade de deposição de 200mm/min. Foram depositados 5 cordões paralelos e sobrepostos. Desta foi retirada um corpo de prova (CP) com 56,6mm de comprimento no qual se avaliou as TRs em 5 posições diferentes. O furo 1 foi usinado na superfície revestida, fig. 1, o furo 2 na face oposta, fig. 2, sobre o MB. Em seguida foram feitos dois cortes na peça no sentido transversal ao cordão conforme mostra a fig. 4. Na parte 2 usinaram-se os furos 3 e 4, um em cada face cortada, fig. 3. Note-se nessa figura o empenamento da peça devido à deposição do revestimento. As medidas dos cortes e de cada furo em relação aos limites do CP são mostradas na fig. 5.



figura 1 – furo 1 figura 2 – furo 2 figura 3 – furo 3 figura 4 – corte

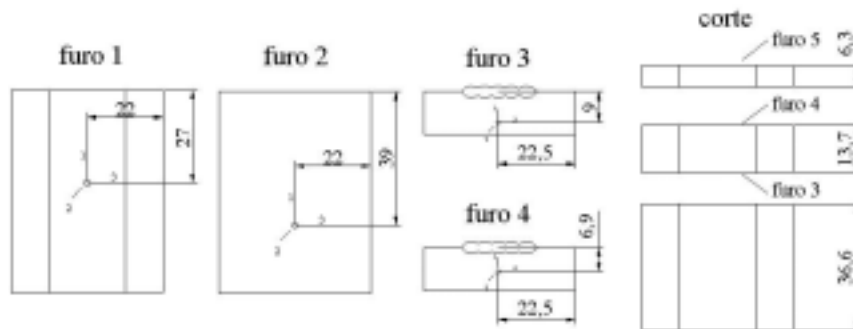


figura 5 – posição dos furos

Cumprir notar que no terceiro furo, os três extensômetros (*straingauges*) da roseta utilizada estavam no MB e no quarto furo um dos extensômetros estava colado no revestimento, enquanto os outros dois mediam deformação do MB. O último furo foi usinado na parte 3 do CP foi passante, na mesma posição do furo 3. Com as medidas de deformação aliviada por esse furo, através das equações descritas pela técnica do FP, foram calculadas as tensões aliviadas nesse furo. As medidas de TR realizadas estão apresentadas na tabela 1.

Furo	Tensão max. (MPa)	Tensão min. (MPa)	Âng.
1	176,65	-242,06	3,71
2	38,84	-526,67	20,86
3	99,36	-50,42	27,35
4	278,61	141,98	-37,28
5	48,90	-77,30	26,05

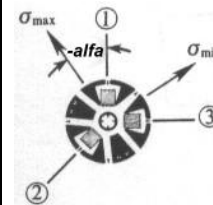


Tabela 1 – TRs máxima e mínima dos furos de 1 até 5

As medições feitas pela técnica do FC, antes de chegar ao alívio total de tensões, permitem construir uma curva. Esses gráficos mostram como as tensões evoluem até o alívio total (a uma profundidade de 0,4 vezes o diâmetro do *gage*, 0,4D) e permitem dizer se as tensões tendem a ser constantes ou não. Os resultados obtidos são coerentes com os esperados e o valor calculado tende a se estabilizar após uma profundidade de 0,3D, indicando o alívio total das TRs, como mostra o gráfico do furo 1, gráfico 1. Esses valores são os normalmente adotados como valor médio no local e profundidade examinada.

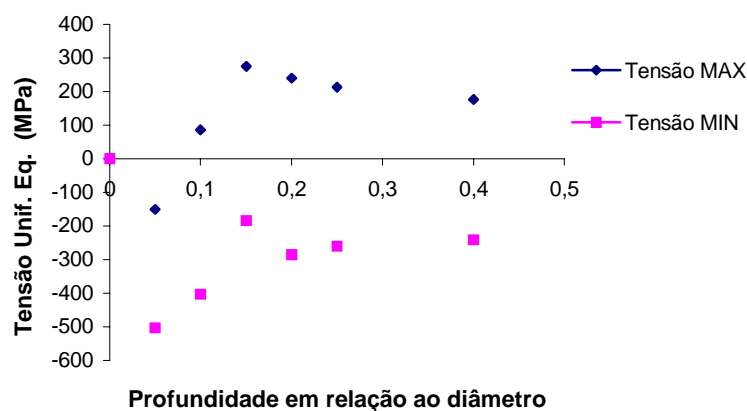


Gráfico 1 – tensão uniforme equivalente aliviada durante a usinagem do furo 1 até a profundidade de 0,4D.

No FP não se traça uma curva através dos incrementos de profundidade, pois, nesse método, não são utilizados coeficientes empíricos. E o valor de tensão a ser considerado é a medida final.

Como se esperava, após o processamento a peça empenou, confirmando a presença de TRs. A fig. 3 mostra, de forma qualitativa, esse empenamento.

As TRs são resultantes basicamente de dois efeitos: contração de solidificação; e alteração dessas tensões devido ao empenamento.

Na direção longitudinal, a tendência do cordão ao solidificar é contrair. Como esta contração está restrita pelo MB, o cordão vai provocar uma deformação na peça no sentido longitudinal, entretanto, devido à geometria da peça, essa deformação vai ser imperceptível. Como resultado temos a camada depositada “puxando” o MB, sem, contudo, conseguir provocar deformação mensurável no material. Conclui-se, portanto, que as TRs na superfície do material depositado são trativas, sendo pouco influenciadas pela deformação do substrato. Isso é confirmado analisando os dados de tensão máxima do furo 1 e do furo 2. O primeiro mostra TR trativa na superfície do *stellite* e o segundo mostra TR quase nula na face oposta. Por outro lado, analisando a direção transversal à camada depositada, teremos, durante a solidificação, também a contração da camada depositada que tenderá a “puxar” o MB. Agora, porém, a geometria da peça nessa direção permite que o MB deforme, isso o que se comprova pelo empenamento. Conclui-se, portanto, que há nessa direção TR compressiva. De acordo com a tabela 1, a tensão mínima nos furos 1 e 2 realmente foi compressiva. Comparando os resultados dos furos 5 e 4, observa-se a discrepância entre os valores de tensão máxima. Por outro lado, comparando os valores de tensão máxima dos furos 5 e 3, observa-se que estão bastante próximos. Isso se deve ao fato de que, no furo 4 um dos extensômetros estava sobre o revestimento, ao passo que no furo 3, os três extensômetros estavam no MB. Como o cálculo das tensões é feito a partir de relações entre os três extensômetros e o módulo de elasticidade do material, era esperado que os valores apresentados no furo 4 fossem discrepantes. Confirma-se ainda a veracidade das medidas do furo 3 e 5, uma vez que foram utilizados dois métodos de cálculo diferentes e obteve-se o mesmo resultado.

Conclui-se, portanto, que a contração de solidificação da camada de revestimento deforma plasticamente a peça, provocando um empenamento considerável na mesma. A análise tanto pelo método do furo cego quanto pelo do furo passante produzem resultados comparáveis. As TRs no MB, na face oposta a que recebeu o revestimento, apresentam valores reduzidos no sentido longitudinal e são compressivas no sentido transversal. No revestimento, as tensões residuais no sentido longitudinal a peça são trativas, enquanto que as tensões residuais no sentido transversal à peça são compressivas. O que mostra a influencia da geometria da peça nas TRs resultantes no revestimento.

AGRADECIMENTOS

A nossa Orientadora Prof. Ana Sofia M. C. d'Oliveira, PhD, e ao Prof. Paulo Sergio P. C. da Silva, PhD.

REFERENCIAS

- American Society for Testing and Materials. Determining residual stresses by the hole-drilling method. – *ASTM E837*, 1987.
- Measurements Group Tech. Note. Measurement of residual stresses by the hole-drilling strain-gauge method. *TN-503-5*, 1993.
- Schajer, G. S. Measurements of non-uniform residual stresses using the hole drilling method. *J. of engineering Materials and Technology*. Vol. 110, n.4, 338-49, 1988.