

# Estatísticas de taxas de propagação de trinca de fadiga em materiais estruturais

As propriedades das curvas de propagação de trinca por fadiga, medidas na temperatura ambiente de 250 materiais, incluindo 94 aços, 98 ligas de alumínio, 39 ligas de titânio e 19 superligas de níquel coletadas de diversas fontes na literatura, são estudadas estatisticamente. A partir destes dados, novas estimativas para as taxas  $da/dN$  são propostas para cada família de ligas e comparadas com regrãs clássicas. Efeitos da temperatura em  $da/dN$  são também estudados a partir de 20 corpos-de-prova de aços inoxidáveis austeníticos, 14 de ligas de alumínio da série 2000, 25 de Ti 6Al 4V e 22 de Inconel 718, em temperaturas entre - 269 e 538°C.

J. T. P. de Castro e M. A. Meggiolaro

Fig. 1 – Curva de propagação de trinca por fadiga típica

O primeiro a fazer uma demonstração convincente que o fator de intensidade de tensões  $\Delta K$  é o parâmetro que controla a taxa de propagação de trincas por fadiga  $da/dN$ , e não a gama das tensões  $\Delta\sigma$ , foi Paris<sup>[14]</sup>. Ele testou duas placas trincadas idênticas, de mesma largura  $w$ , espessura  $t$  e material (Al 2024T3), sob uma mes-

ma carga  $\Delta P$ . Só que, em uma delas, aplicou a carga na borda da trinca (via um pino bipartido), enquanto na outra a carga foi aplicada na borda da placa. Nesta última, o  $da/dN$  cresceu com o comprimento  $a$  da trinca e, na outra, decresceu com  $a$ , apesar de ambas estarem submetidas à mesma gama de tensões  $\Delta\sigma = \Delta P/wt$  que, assim, não podia controlar a propagação das trincas por fadiga.

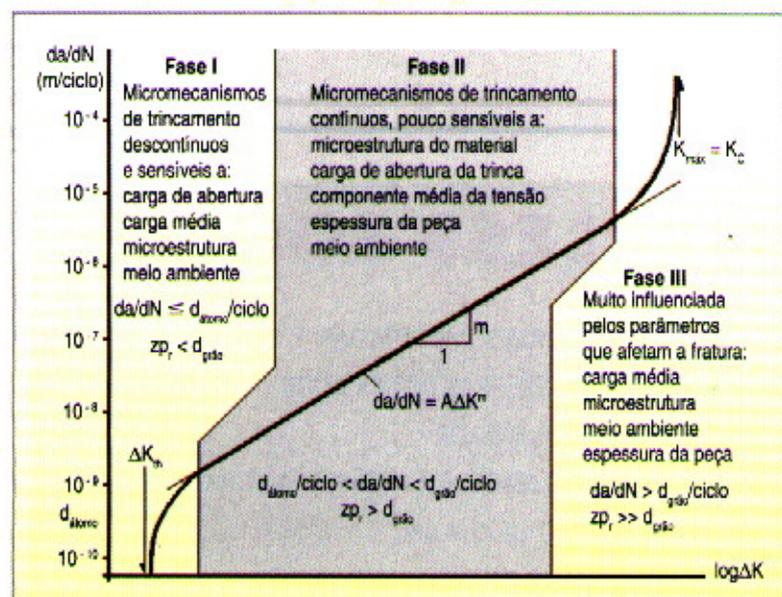
As duas placas, no entanto, geraram curvas  $da/dN \times \Delta K$  idênticas (pois na carregada pelas bordas  $\Delta K = \Delta\sigma\sqrt{\pi a}$  crescia com  $a$ , enquanto na carregada pelas faces da trinca  $\Delta K = \Delta\sigma \times w/\sqrt{\pi a}$  diminuía quando a trinca crescia), provando que  $\Delta K$  controlava  $da/dN$ . A partir destes testes, Paris propôs sua clássica regra que prevê uma relação parabólica entre  $da/dN$  e  $\Delta K$ :

$$\frac{da}{dN} = A \cdot \Delta K^m \quad (1)$$

Onde:

$A$  e  $m$  = propriedades do material, que devem ser medidas em testes de propagação de trincas por fadiga, e

$m$  = um número tipicamente entre 2 e 5.



A regra de Paris, porém, só descreve bem a fase II das curvas  $da/dN \times \Delta K$  e só pode ser usada para prever vidas à fadiga nesta fase pois, em geral, a carga média, a microestrutura, a carga de abertura da trinca, a espessura da peça e o meio ambiente também influem em  $da/dN$  (figura 1, pág. 176).

Usar a regra de Paris para prever a vida residual à fadiga de estruturas trincadas reais pode ser antieconômico ou até perigoso, pois ela não reconhece parâmetros importantes, como o limiar de propagação de trinca  $\Delta K_{th}$ , a tenacidade à fratura  $K_{Ic}$ , ou efeitos da carga média.

Desse modo, a lei de Paris gera previsões não-conservativas na fase III ( $\Delta K$  grandes), fato inadmissível na prática, e previsões excessivamente conservativas na fase I (sob  $\Delta K$  pequenos). Nestes casos, as previsões por Paris podem ser imprecisas demais, pois a maior parte da vida à fadiga das estruturas trincadas em geral é gasta quando  $\Delta K$  é próximo de  $\Delta K_{th}$  (o que pode ocorrer quando as trincas são pequenas ou, então, nem sempre é devidamente reconhecido após a aplicação de sobrecargas que podem retardar as taxas  $da/dN$  ou mesmo parar a trinca).

Por isso, várias outras regras foram propostas para descrever melhor a curva  $da/dN$  e os efeitos de  $\Delta K_{th}$ , da tenacidade  $K_{Ic}$ , da carga de abertura  $K_{Ic}$  e da carga média, em geral

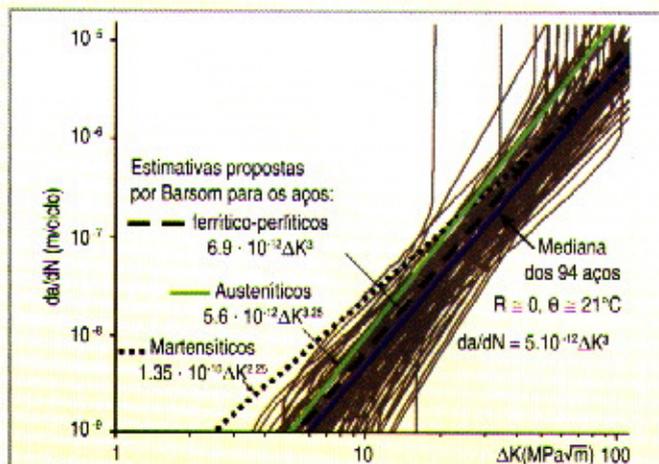


Fig. 2 – Estimativa das medianas para as curvas  $da/dN$  de 94 aços

quantificada pela razão  $R = K_{min}/K_{max}$  ou por  $K_{max} = \Delta K/(1-R)$ . A regra mais simples adaptada à ideia do  $\Delta K$  efetivo de Elber<sup>[5]</sup>,  $\Delta K_{ef} = (K_{max} - K_{ab})$ , para modelar a cauda da fase I, e supõe que como  $da/dN = 0$  se  $\Delta K \leq \Delta K_{th}$ , então a taxa  $da/dN$  deve variar com  $(\Delta K - \Delta K_{th})$  para atingir o limiar corretamente:

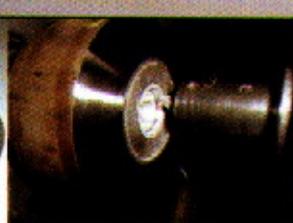
$$\frac{da}{dN} = A \cdot (\Delta K - \Delta K_{th})^m \quad (2)$$

Onde:

A e m = propriedades do material, diferentes das constantes de Paris.

Outras regras usadas na prática incluem as propostas por Forman<sup>[4]</sup>, Priddle<sup>[15]</sup>, Walker<sup>[16]</sup>,

**Facas novas ou recuperadas ,  
Inteiriças ou calçadas com metal duro.**



(11) 4330-9011  
usidur@usidur.com.br

usinagem de material endurecido  
aplicações especiais em metal duro  
serviço de usinagem em torno CNC

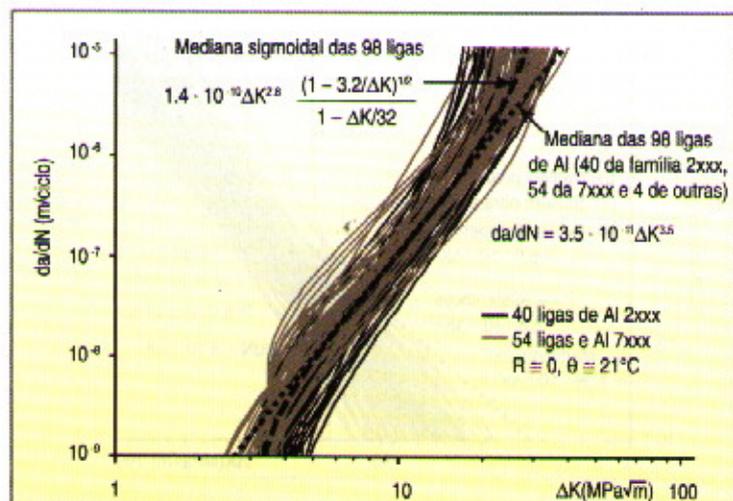


Fig. 3 – Estimativa das medianas para as curvas da/dN de 98 ligas de alumínio

Hall<sup>[7]</sup> e Collipriest<sup>[2]</sup>, além de várias modificações destas equações propostas em<sup>[11]</sup> para modelar as três fases da curva da/dN. Forman-Newman<sup>[5]</sup>, um modelo mais recente usado pela Nasa para descrever as três fases da curva da/dN, também considera o efeito de  $K_{ab}$  um fator de abertura de trinca  $f = K_{ab}/K_{max}$ :

$$\frac{da}{dN} = A \cdot \left(\frac{1-f}{1-R} \Delta K\right)^m \left(\frac{1 - \Delta K_{th}/\Delta K}{1 - K_{max}/K_C}\right)^p \quad (3)$$

Onde:

A, m, p e q = propriedades do material.

Na ausência de resultados experimentais confiáveis, é importante dispor de regras para estimar tão precisamente quanto possível as curvas da/dN dos principais materiais estruturais. A estimativa de Barsom<sup>[11]</sup> para a regra de Paris dos aços é muito popular e baseia-se na sua microestrutura:

$$da/dN = 6.9 \cdot 10^{-12} \cdot \Delta K^3 \text{ (ferrítico-perlítico)} \quad (4)$$

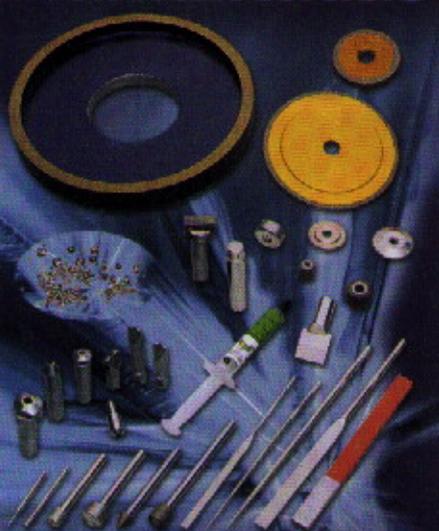
$$da/dN = 1.35 \cdot 10^{-10} \cdot \Delta K^{2.25} \text{ (martensíticos)} \quad (5)$$

$$da/dN = 5.6 \cdot 10^{-12} \cdot \Delta K^{3.25} \text{ (austeníticos)} \quad (6)$$

Onde:

$\Delta K$  é dado em MPa√m e da/dN em m/ciclo.

## Ferramentas Diamantadas



- ✓ Dressadores (naturais / lapidados)
- ✓ Aglomerados ✓ Múltiplos ✓ Rotativos ✓ Apalpadores
- ✓ Penetradores de Dureza ✓ Pontas Montadas
- ✓ Limas (eletrolíticas / resinóides) ✓ Pastas ✓ Rebolos

FACIL Ferramentas Abrasivas Com. Ind. Ltda.  
Rua Tobias Barreto, 1436 - Mooca  
CEP 03176-001 - São Paulo - SP  
Tels.: (11) 6605-1504 / 6605-8733  
Fax: (11) 6606-3752  
facilferramentas@uol.com.br

## SERVIÇO DE ELETRÓEROSÃO A FIO E PENETRAÇÃO COM ORBITAL.



Qualidade na execução com o melhor preço de mercado.

Primarc Ind. e Com. Ltda  
Rua Agostinho de Faria, 333/345  
08280-100 - São Paulo - SP - Brasil  
Fone: (11) 6741.5278  
Fax: (11) 6746.2001  
grampline@grampline.com.br

## FRESADORA FERRAMENTEIRA

ISO 40



Superfície da Mesa: 1200 x 250 mm

Cursos:  
Transversal 350 mm  
Longitudinal 900 mm  
Vertical 480 mm  
Mangote 130 mm  
Torpedo 480 mm

Console e Mesa com guias quadradas temperadas e retificadas

Potência do Motor 5 cv com inversor de frequência vetorial e escalar.

Rotação do eixo Árvore: 90-3600 rpm.

Controle e Leitura Digital de Velocidade do Eixo Árvore.

Peso da Máquina: 1620 Kgs.



CARDOSO INDÚSTRIA E COMÉRCIO DE MÁQUINAS LTDA.  
Rua Paulo Sávio, 75 - Tel. (19) 3451.3253 - Fax. (19) 3441.3709  
CEP. 13480-307 - Cx. Postal 25 - Limeira - SP  
www.cardosomquinas.com.br / cardoso@cardosomquinas.com.br

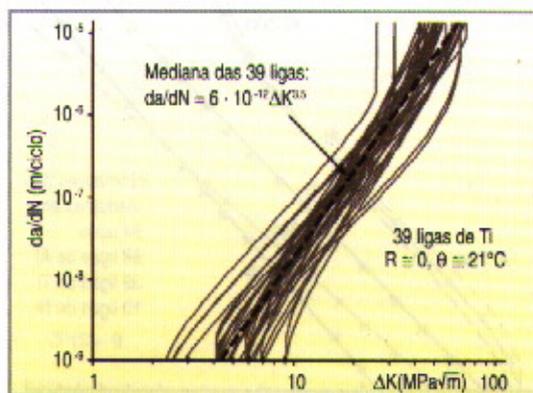


Fig. 4 – Estimativa das medianas para as curvas  $da/dN$  de 39 ligas de titânio

Estas estimativas são muito usadas na prática, mas elas não apenas sofrem todas as limitações da regra de Paris, como também podem diferir muito dos resultados experimentais – por terem sido baseadas em um número bem limitado de materiais, como mostrado a seguir.

### Estimativas das taxas de propagação de trincas

Curvas de propagação de trinca de 250 materiais estruturais, medidas à temperatura ambiente e  $R = 0$ , foram obtidas da literatura<sup>[10,9,6,8]</sup> e incorporadas no banco de dados do programa ViDa, desenvolvido para automatizar os cálculos de iniciação e propagação de trincas<sup>[13]</sup>. A partir das curvas de 94 aços estru-

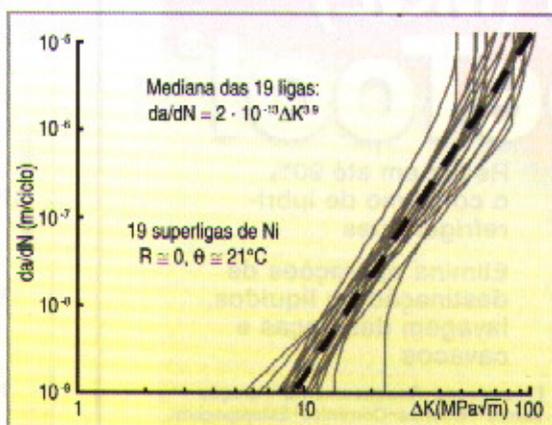


Fig. 5 – Estimativa das medianas para as curvas  $da/dN$  de 19 ligas de níquel

turais (figura 2, pág. 177), foi possível obter uma estimativa que melhor ajustou por Paris a fase II daqueles vários aços (em m/ciclo):

$$da/dN = 5.0 \cdot 10^{-12} \cdot \Delta K^3 \quad (94 \text{ aços}) \quad (7)$$

A estimativa foi obtida considerando-se as medianas individuais de cada um dos parâmetros  $A$  e  $m$  de Paris. Em geral, o uso de parâmetros medianos resulta em estimativas com boas, médias e excelentes medianas<sup>[12]</sup>. Não é aconselhável utilizar as médias dos parâmetros, que podem ser muito influenciadas pelos valores extremos ou pelas caudas das distribuições estatísticas.

Não foi possível ajustar satisfatoriamente uma curva de Forman-Newman universal aos

**RCC**  
AÇOS E METAIS

**FORTE COMO AÇO**

Aço Ferramenta	Alumínio	Oxicorte
Aço Inoxidável	Bronze	Plasma
Aço Carbono	Cobre	Latão

Distribuidor direto da usina  
Fone: (11) 5545-8200  
www.rccmetais.com.br

ALUMÍNIO 7075  
**HARD**  
Super

ALUMÍNIO 5052  
**HARD**  
Premium

aço e alumínio para  
moldes e matrizes

DISTRIBUIDOR  
**GERDAU**

# Lubri-refrigeração Mínima (MQL) LubeTool®

Reduz em até 90%  
o consumo de lubri-  
refrigerantes

Elimina operações de  
destinação de líquidos,  
lavagem das peças e  
cavacos

Fresamento • Rosqueamento • Furação •  
Serras • Recortes • Correntes • Estampagem

Sistema com resultados excepcionais,  
comprovados mundialmente. Uma micro-  
bomba pneumática pulveriza o ponto de  
contato da ferramenta com a peça,  
formando um filme de óleo que reduz  
o atrito do trabalho.

Veja o filme em nosso site!

## SONED®

LUBRIFICAÇÃO CENTRALIZADA

Fone: (19) 3424.2322

www.soned.com.br

Serviço de consulta 7825

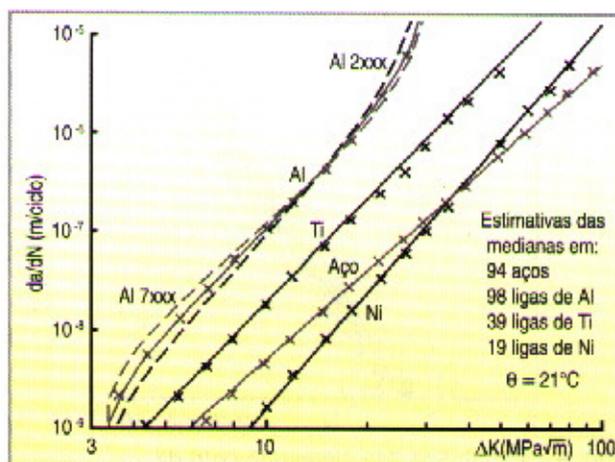


Fig. 6 – Estimativas das medianas para as curvas da/dN dos 250 materiais estudados na temperatura ambiente (21 °C) e R = 0

94 aços, devido à alta dispersão dos  $\Delta K_{th}$  e  $K_C$  e à inclinação provavelmente exagerada das fases I e III das curvas originais.

Pode-se observar na figura 2 que as estimativas de Barsom prevêem que os aços austeníticos têm taxas da/dN maiores que os ferrítico-perlíticos, cujas taxas estimadas são sempre maiores do que a estimativa das medianas. Além disso, quando comparada com os dados da figura, a estimativa de Barsom para as taxas da/dN dos aços martensíticos é muito conservativa para baixos  $\Delta K$ .

O mesmo procedimento de ajuste foi usado com dados de 98 ligas de alumínio em temperatura ambiente, obtendo-se uma estimativa das medianas:

$$da/dN = 3.5 \cdot 10^{-11} \cdot \Delta K^{3.5} \quad (98 \text{ ligas de Al}) \quad (8)$$

Como as transições das fases I e III das 98 ligas de alumínio são mais suaves do que a dos 94 aços, também é possível obter uma estimativa das medianas sigmoideal, a partir das medianas dos parâmetros da equação de Forman-Newman:

$$\frac{da}{dN} = 1.4 \cdot 10^{-10} \cdot \Delta K^{2.8} \frac{\sqrt{(1 - 3.2/\Delta K)}}{1 - \Delta K/32} \quad (98 \text{ ligas de Al}) \quad (9)$$

Devido ao grande volume de dados das ligas de alumínio das séries 2000 e 7000, foi possível também ajustar estimativas das medianas específicas para cada uma delas:

$$da/dN = 1.2 \cdot 10^{-11} \cdot \Delta K^{3.9} \quad (40 \text{ ligas de Al 2xxx}) \quad (10)$$

**EMA**

Soluções Completas em  
Sistemas de Fixação

Mini Grampos **NOVO**

Alta Performance **NOVO**

**DE-STA-CO EMA**  
Indústria e Comércio Ltda.

**NOVO**

**Microtooling**

Fabricado no Brasil

Vendas e Marketing  
Tel.: (11) 5181.6895 - Fax: (11) 5181.6893  
vendas@destaco-ema.com.br - www.destaco-ema.com.br

Serviço de consulta 7825

$$\frac{da}{dN} = 5.9 \cdot 10^{-11} \cdot \Delta K^{3.1} \sqrt{\frac{1-3.2/\Delta K}{1-\Delta K/30}} \quad (11)$$

(40 ligas de Al 2xxx)

$$da/dN = 7.5 \cdot 10^{-11} \cdot \Delta K^{3.2} \quad (54 \text{ ligas de Al 7xxx}) \quad (12)$$

$$\frac{da}{dN} = 4 \cdot 10^{-10} \cdot \Delta K^{2.4} \sqrt{\frac{1-3.2/\Delta K}{1-\Delta K/32}} \quad (13)$$

(54 ligas de Al 7xxx)

A figura 3 (pág. 178) mostra as curvas experimentais e as estimativas das medianas das ligas de alumínio estudadas. Em particular, nota-se que as ligas Al 7xxx apresentam, em média, maiores taxas  $da/dN$  do que os Al 2xxx sob  $\Delta K$  baixos, e menores  $da/dN$  sob  $\Delta K$  altos – apesar das altas dispersões.

Estimativas das medianas foram também obtidas para 39 ligas de titânio e 19 de níquel à temperatura ambiente (figuras 4 e 5, pág. 179):

$$da/dN = 6 \cdot 10^{-12} \cdot \Delta K^{3.5} \quad (39 \text{ ligas de titânio}) \quad (14)$$

$$da/dN = 2 \cdot 10^{-13} \cdot \Delta K^{3.9} \quad (19 \text{ superligas de níquel}) \quad (15)$$

A partir deste estudo, pode-se concluir que, entre os 250 materiais estudados, para um dado  $\Delta K$  as taxas  $da/dN$  são em média menores para as superligas de níquel, seguidas pelos aços, titânios e alumínio (exceto sob altos  $\Delta K$ , nos

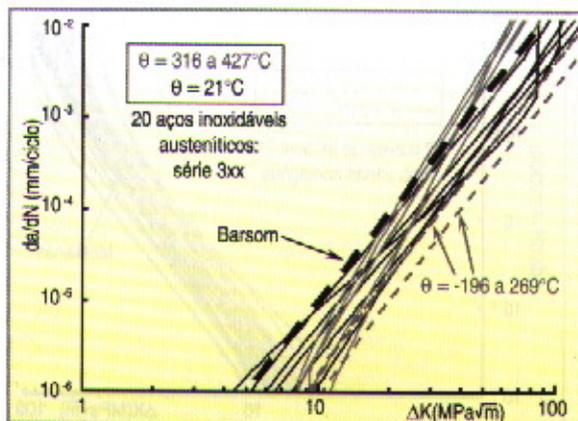


Fig. 7 – Efeito da temperatura nas curvas  $da/dN$  de aços inox da série 300

quais os aços apresentam as menores taxas). Na figura 6 (pág. 180) é possível notar que, como os expoentes de Paris obtidos pelas estimativas das medianas das ligas de alumínio e de titânio são iguais, pode-se concluir que, em média, as taxas  $da/dN$  do alumínio são quase seis vezes maiores do que as do titânio para qualquer  $\Delta K$ . No próximo item, são feitos estudos limitados sobre a influência da temperatura nas taxas de propagação de trinca.

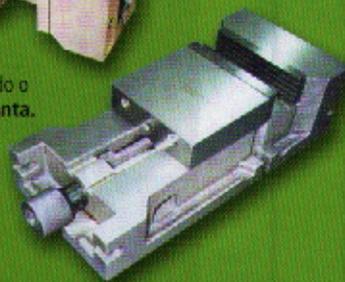
### Efeitos da temperatura na taxa $da/dN$

As taxas  $da/dN$  medidas sob altas temperaturas são geralmente mais altas, pois as deformações plásticas ocorrem mais facilmente à medida

## MORSA DE PRECISÃO SUPERLOCK®

FIXAÇÕES PELAS LATERAIS, FACILITAM USINAGEM DE ESQUADREJAMENTO.

- Morsas utilizadas principalmente em Centros de Usinagens, Retificas planas, fresadoras e outras máquinas que necessitem **segurança e precisão**.
- Sistema de fixação exclusivo por **semi-esfera**, permitindo o travamento total na fixação da peça - a **peça não levanta**.
- Duas faixas de abertura: normal por **mordentes internos** e opcional: por **mordentes externos**.
- Estrutura em Ferro Fundido Nodular (GGG60) Normalizado, que não deforma, garantindo **precisão e vida útil prolongada**.
- De fácil **limpeza, ajustes e manutenção**.



## CHAVETEIRA INTERNA

Chaveteira Interna (para chavetas de 3 a 20 mm) para a produção de grandes e médios lotes ou para manutenção. O tempo de preparação e usinagem são rápidos, garantindo excelência no prazo de entrega e uma relação custo/benefício vantajosa com qualidade.

TCI 400®



Brochas de todas as medidas

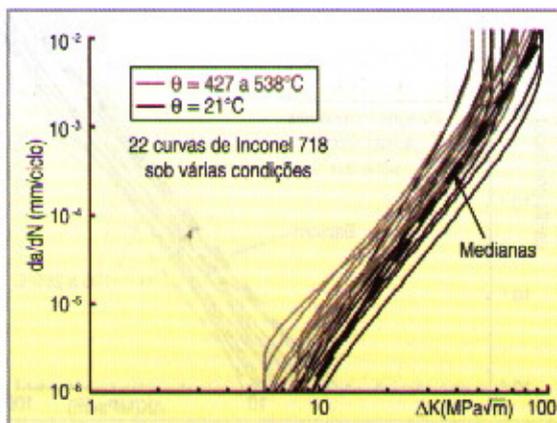


TAKAI PEÇAS MECÂNICAS LTDA.

Tel.: (012) 3951-3800 / 9966 - Fax: (012) 3951-2693 - E-mail: takaimec@uol.com.br - http: www.takaimec.com.br

**TAKAI MEC**

Fig. 8 – Efeito da temperatura nas curvas da/dN da superliga Inconel 718



que a temperatura aumenta. Além disso, sob temperaturas altas, os contornos de grão podem tornar-se menos resistentes do que a matriz, fazendo com que a propagação passe a ser intergranular ao invés de transgranular.

Já sob temperaturas muito baixas, da/dN tende a ser menor pois a resistência ao escoamento SE cresce, em geral, diminuindo as deformações plásticas à frente da trinca e, portanto, dificultando sua propagação. Além

disso, há menos umidade (menor pressão de vapor de água), diminuindo efeitos de corrosão em meios gasosos. Porém, quando a tenacidade decresce sob baixa temperatura (como nos aços ferríticos, por exemplo), a taxa da/dN pode aumentar (e até mesmo ultrapassar as taxas sob temperatura ambiente) quando  $K_{max}$  se aproxima de  $K_C$ .

A figura 7 (pág. 181) ilustra o efeito da temperatura  $\theta$  na taxa da/dN dos aços inoxidáveis austeníticos da série 300. Há uma significativa variação da inclinação da curva da/dN sob altas temperaturas. Além disso, a estimativa de Barsom para os aços austeníticos é conservativa para os inoxidáveis da série 300, superada apenas sob altas temperaturas sob  $\Delta K$  também alto. O aumento de da/dN com a temperatura também é evidente na superliga de níquel Inconel 718, especialmente para baixos  $\Delta K$  (figura 8).

A figura 9 (pág. 183) mostra que as ligas Al 2xxx apresentam claramente uma redução nas taxas da/dN sob temperaturas muito

CILÍNDRICAS / ESTRIADAS **BROCHAS**  
 PLANAS  
 SERVIÇO DE AFLAÇÃO **PARA**  
 BROCHAMENTO **USINAGEM**  
 STANDARD PARA CHAVETA

[www.brochas.com.br](http://www.brochas.com.br)


**DALMASO**  
 EQUIPAMENTOS INDUSTRIAIS LTDA.

DALMASO EQUIPAMENTOS INDUSTRIAIS LTDA.  
 Rua Itajubá, 525 - Cumbica - Guarulhos - São Paulo  
 CEP: 07222-030 e-mail: [dalmaso@brochas.com.br](mailto:dalmaso@brochas.com.br)  
 Fone: (0xx11) 6412 1398 Fax: (0xx11) 6412 7462

**FUSOS DE ESFERAS**  
**RETIFICADOS E LAMINADOS**  
 ■ FABRICAÇÃO E MANUTENÇÃO  
 ■ PADRÃO E ESPECIAIS CONFORME DESENHO/AMOSTRA

**100% NACIONAL**

**GARANTIA TOTAL**

**BRESSANE - Indústria Mecânica Ltda.**  
 Rua Jofecá, 224 - 02333-050 - Freguesia do C - São Paulo - SP  
 Tronco: (11) 3975-3013  
 e-mail: [bressane@bressane.com.br](mailto:bressane@bressane.com.br)

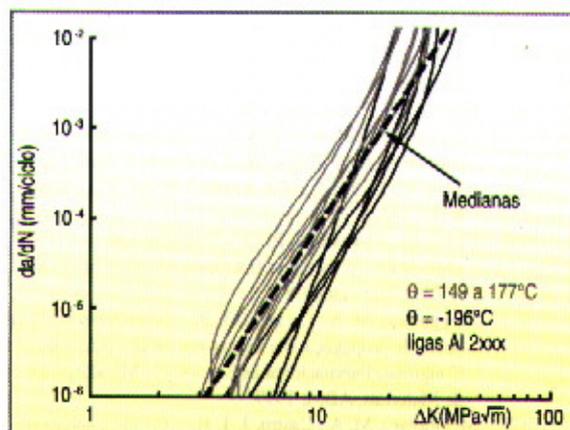


Fig. 9 – Efeito da temperatura nas curvas da/dN de ligas de alumínio série 2000

baixas. Essa tendência de redução de da/dN sob baixas temperaturas também é observada em corpos-de-prova de Ti 6Al 4V, apesar das dispersões (figura 10).

Qualitativamente, em todos os casos citados, a tendência da taxa da/dN é diminuir sob temperaturas muito baixas (exceto quando próximo de  $K_{IC}$ ) e aumentar sob temperaturas altas, como esperado. No entanto, a alta dispersão dos dados disponíveis não permitiu que se estabelecesse uma correlação quantitativa entre da/dN e a temperatura. Isto deve-se à complexa fenomenologia do problema, que pode envolver crescimento de trinca por

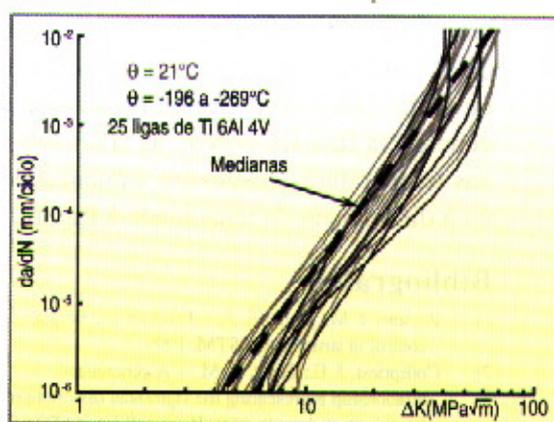


Fig. 10 – Efeito da temperatura nas curvas da/dN da liga Ti 6Al 4V

fluência, criando uma dependência significativa de da/dN na frequência.

### Conclusões

Curvas de propagação de trinca de 250 materiais foram estudadas estatisticamente, e novas estimativas para as taxas da/dN foram propostas para várias famílias de ligas. Concluiu-se que as estimativas de Rolfe-Barsom<sup>[1]</sup> para aços são, em geral, conservativas, em especial para os martensíticos sob  $\Delta K$  baixos, e que os Al da série 7000 apresentam, em média, maiores taxas da/dN que os da série 2000 sob  $\Delta K$  baixos – porém menores taxas sob  $\Delta K$  altos. Dados coletados



	<b>Solda Prata</b>	<b>Super Fluxo</b>
<b>Stellite</b>		
	<b>Ligas de Níquel</b>	<b>Solda Alumínio</b>



Latões e Bronzes Foscooper



**BRASTAK**  
A solda forte!

Av. Industrial 855 CEP 09080 510 Santo André SP  
Fone +11 4993 8111 Fax +11 4993 8118  
www.brastak.com.br

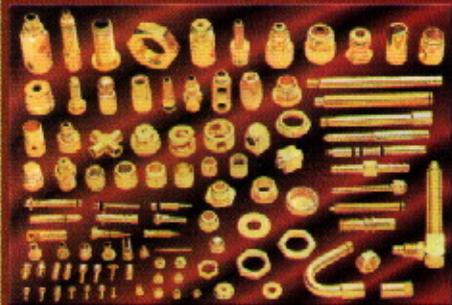
**Brastak, a solda forte.**  
**Cada vez mais, a preferida do Brasil.**

entre 316 e 538°C mostram que as taxas da/dN tendem a aumentar com a temperatura; entre -269 e -196°C confirmam essa tendência. Na fase III, porém, as taxas sob baixas temperaturas costumam aumentar devido à diminuição da tenacidade à fratura.

### Bibliografia

- 1] Barsom, J. M.; Rolfe, S. T.: - Fracture and fatigue control in structures. ASTM, 1999.
- 2] Collipriest, J. E.; Ehret, R. M.: - A generalized relationship representing the sigmoidal distribution of fatigue crack growth rates. Rockwell Int. # SD74-CE-0001, 1974.
- 3] Elber, W.: - The significance of fatigue crack closure, damage tolerance of aircraft structures. ASTM STP 486, p. 230-242, 1971.
- 4] Forman, R. G.; Kearney, V. E.; Engle, R. M.: - Numerical analysis of crack propagation in a cyclic-loaded structure. J. Basic Eng., vol. 89, nº 3, p. 459-464, 1967.
- 5] Forman, R. G.; Methu, S.: - Behavior of surface and corner cracks subjected to tensile and bending loads in Ti 6Al 4V alloy. ASTM STP 1131, p. 519-546, 1992.
- 6] Gallagher, J.: - Damage tolerant design handbook. USAF, 1983.
- 7] Hall, L. R.; Shah, R. C.; Engstrom, W. L.: - Fracture and fatigue crack growth behavior of surface flaws and flaws originating at fastener holes. Air Force Flight Dynamics Lab., AFFDL-TR-74-47, 1974.
- 8] Henkener, J. A.; Forman, R. G.: - Fatigue crack growth and fracture toughness data for selected space systems structural alloys. Nasa, 1991.
- 9] Hudson, M. C.; Seward, S. K.: - Compendium of sources of fracture toughness and fatigue crack growth data for metallic alloys. Int. J. of Fracture, parte 1 in v. 14, p. R151-R184, 1978, e parte 2 in vol. 20, p. R59-R117, 1982.
- 10] Lawrence, V.; Forman, R. G.: - Structure and applications of the Nasa fracture mechanics database. ASTM STP 1140, 1992.
- 11] Meggiolaro, M. A.; Castro, J. T. P.: - Equacionamento da curva de propagação de trincas por fadiga. Anais do 2º Congresso Internacional de Tecnologia Metalúrgica e de Materiais, ABM, 1997.
- 12] Meggiolaro, M. A.; Castro, J. T. P.: - Estudo estatístico das vidas previstas pelas estimativas dos parâmetros de Coffin-Manson. 57º Congresso Anual Internacional da ABM, São Paulo, p. 1029-1038, 2002.
- 13] Meggiolaro, M. A.; Castro, J. T. P.: - ViDa 98 - Dunômetro visual para automatizar o projeto à fadiga sob carregamentos complexos. J. Brazilian Society of Mechanical Sciences (RBCM), vol. 20, nº 4, p. 666-685, 1998.
- 14] Paris, P. C.; Erdogan, F.: - A critical analysis of crack propagation laws. J. Basic Engineering, vol. 85, p. 528-534, 1963.
- 15] Priddle, E. K.; Walker, F. E.: - Effect of grain-size on occurrence of cleavage fatigue failure in 316 stainless-steel. J. Mater. Sci., vol. 11, nº 2, p. 386-388, 1976.
- 16] Walker, K.: - Effects of environment and complex load history on fatigue life. ASTM STP 462, p. 1-14, 1970.

### SERVIÇOS DE USINAGEM LEVE DE PEÇAS TÉCNICAS Latão, Alumínio, Polietec, Fenolite, etc...



Atuando no mercado há mais de 15 anos.  
A Metal-por dispõe de máquinas  
e artefatos para média e alta produção  
oferecendo garantia e qualidade  
nos produtos sob encomendas.

Atendemos todo território Nacional e Mercosul



**METAL-POR**  
Indústria e Comércio Ltda

Rua General Dias, 263

São Paulo - SP - CEP 03638-010

Site: www.metalpor.com.br - E-mail: corraio@metalpor.com.br

Fone: (011) 6641-3942 - 6642-3919  
6642-3920 - 6642-3921

### CENTRÍFUGA CT-3 Com cesto em aço inox para 30 litros e rotor para ar forçado aquecido Equipamento Centrifugo para Secagem de Peças



CHIPS CERÂMICOS SARIÃO DE LÁTEX  
PLASTICIPS CHIPS DE MADEIRA  
ESFERAS DE AÇO CHIPS PORCELANA

- LIMPAR
- REBARBAR
- RAIAR
- NIVELAR
- POLIR
- LUSTRAR
- SECAR



**VIBROCHIPS**  
Acabamento Vibratório Ltda.

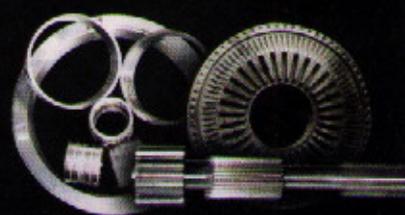
PABX: 11 4399-3535

NOVO ENDEREÇO:

Av. Dom Jaime de Barros Câmara, 760 - 09895-400  
Bairro Planalto - São Bernardo do Campo - SP

Visite nosso Site: www.vibrochips.com.br

### CEMENTAÇÃO E TÊMPERA



- Têmpera de Aço Rápido, Trabalho a Quente, Trabalho a Frio e Inox.
- Cementação • Nitretação
- Oxidação Preta • Fosfatização

RAPIDEZ NA EXECUÇÃO DO SERVIÇO



CERTIFICAÇÃO  
ISO 9001

Tenaz Têmpera Ltda.  
Rua Monteiro Lobato, 86 - Jd. Maravilha  
Diadema - São Paulo - CEP 09940-390  
Tel.: (11) 4075-2388 - Fax: (11) 4076-2844  
www.tenaztempera.com.br  
tenaz@tenaztempera.com.br