

D L 04.ABR.2001*193025

FACULDADE DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA DA UNIVERSIDADE DE COIMBRA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA MECÂNICA

***ANÁLISE DO COMPORTAMENTO
À FADIGA DE JUNTAS SOLDADAS
DA LIGA DE ALUMÍNIO 6082-T6***

Por:

Joaquim Alexandre Mendes de Pinho da Cruz

Dissertação Apresentada para Obtenção do
Grau de Mestre em Engenharia Mecânica



COIMBRA

2000

RESUMO

O comportamento à fadiga de uma junta soldada sobreposta de alumínio 6082 e o efeito do tratamento térmico T6 na sua resistência à fadiga foram investigados. O efeito do tratamento térmico a nível microestrutural da zona afectada termicamente pela operação de soldadura foi caracterizado. Dois tipos de ensaios de fadiga foram realizados: ensaios utilizando solicitações com amplitude constante, efectuados em provetes com e sem tratamento térmico, e ensaios utilizando solicitações com amplitude variável por blocos, efectuados em provetes termicamente tratados. As curvas $S-N$ dos ensaios com amplitude constante foram determinadas e efectuou-se uma análise da importância relativa de cada uma das fases da vida total de fadiga. Os resultados relativos aos ensaios de amplitude variável por blocos foram discutidos com base no conceito da gama de tensão equivalente e na lei de acumulação linear de dano, a regra de Miner. Após a caracterização dos locais de iniciação e de ruptura, o factor de concentração de tensão foi determinado através da utilização do método dos elementos finitos. Posteriormente, procedeu-se à determinação dos valores de tensão e de deformação da zona do pé do cordão de soldadura com base em três métodos distintos: o método dos elementos finitos, o método de Neuber e o método da Densidade da Energia de Deformação Equivalente. Com base nestes valores foi prevista a vida de iniciação de fadiga utilizando a equação modificada por Morrow. Por fim, foram tecidas algumas considerações acerca da aplicabilidade dos métodos utilizados.

ÍNDICE GERAL

Agradecimentos	iii
Resumo	iv
Abstract	v
Índice geral	vi
Índice de figuras	ix
Índice de tabelas	xiii
Nomenclatura	xv
CAPÍTULO 1 - INTRODUÇÃO	1
CAPÍTULO 2 - COMPORTAMENTO À FADIGA DE JUNTAS SOLDADAS	4
2.1 - Aspectos fundamentais da fadiga dos metais	5
2.1.1 - O processo de fadiga	5
2.1.2 - Curvas <i>S-N</i>	6
2.1.3 - Fadiga oligocíclica	8
2.1.3.1 - Comportamento dos metais à deformação plástica cíclica	9
2.1.3.2 - Curvas de deformação-vida	12
2.1.4 - Fadiga em solicitações de amplitude variável	14
2.1.4.1 - Solicitações de amplitude variável por blocos	16
2.1.5 - Principais parâmetros de fadiga	17
2.1.5.1 - A concentração de tensões	17
2.1.5.2 - A tensão média	20
2.1.5.3 - O estado superficial	23
2.2 - Particularidades das juntas soldadas	23

2.3 - Vida de fadiga das juntas soldadas	25
2.3.1 - Períodos de iniciação e de propagação	25
2.3.2 - Curvas <i>S-N</i> total e de propagação	25
2.3.3 - Qualidade das soldaduras	27
2.4 - Previsão da vida de iniciação	27
2.4.1 - O método da Aproximação Local	27
2.4.2 - Determinação das tensões e deformações locais	29
2.4.3 - Análise comparativa dos métodos de Neuber e da Densidade de Energia da Deformação Equivalente	33
2.4.4 - Determinação da tensão média local	35
2.4.5 - Determinação do número de ciclos de iniciação	36
2.4.6 - Estados planos de deformação	36
CAPÍTULO 3 - PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL	39
3.1 - Introdução	40
3.2 - Caracterização do material	40
3.2.1 - Ligas da série 6XXX	40
3.2.2 - Liga 6082	41
3.2.3 - Composição química e propriedades da liga 6082-T6	41
3.3 - Juntas soldadas	43
3.4 - Tratamento térmico dos provetes	44
3.5 - Equipamento utilizado e ensaios realizados	44
3.5.1 - Ensaios de fadiga	44
3.5.2 - Ensaios de dureza	46
3.5.3 - Análise da microestrutura	46
3.5.4 - Caracterização geométrica do pé do cordão	47
3.5.5 - Observação das zonas de iniciação e de ruptura	48
CAPÍTULO 4 - APRESENTAÇÃO E DISCUSSÃO DE RESULTADOS	49
4.1 - Introdução	50

4.2 - Caracterização das juntas soldadas	50
4.2.1 - Análise metalográfica	50
4.2.2 - Perfis de dureza	54
4.3 - Ensaio de fadiga	56
4.3.1 - Ensaio de amplitude constante	56
4.3.1.1 - Resultados experimentais dos ensaios de amplitude constante	56
4.3.1.2 - Determinação das curvas medianas	57
4.3.2 - Ensaio de amplitude variável por blocos	65
4.4 - Caracterização dos locais de iniciação e de ruptura	68
4.5 - Método dos elementos finitos	72
4.5.1 - Introdução	72
4.5.2 - Malha de elementos finitos	73
4.5.3 - Análise elástica	76
4.5.4 - Análise elastoplástica	76
4.5.5 - Carregamento dos provetes	78
4.5.6 - Resultados da análise elástica	79
4.5.7 - Resultados da análise elastoplástica	83
4.6 - Previsões do método da Aproximação Local	85
4.7 - Comparação das previsões	86
CAPÍTULO 5 - CONCLUSÕES E SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS	88
5.1 - Conclusões	89
5.2 - Sugestões para trabalhos futuros	92
BIBLIOGRAFIA	93

BIBLIOGRAFIA

- [1]- Smith R. W., Hirschberg M. H. e Manson S. S., *Fatigue Behavior of Materials Under Strain Cycling in Low and Intermediate Life Range*, NASA TN D-1574, NASA, 1963.
- [2]- Morrow J. D., *Cyclic Plastic Strain Energy and Fatigue of Metals*, Internal Friction, Damping and Cyclic Plasticity, ASTM, STP 378, pgs. 45-87, 1965.
- [3]- Landgraf R. W., Morrow J. D. e Endo T., *Determination of the Cyclic Stress Strain Curve*, Journal of Materials, JMSLA, Vol. 4, N.º 1, pgs. 176-188, 1969.
- [4]- Raske D. T. e Morrow J. D., *Mechanics of Materials in Low Cyclic Fatigue Testing*, Manual on Low Cyclic Fatigue Testing, ASTM, STP 465, pgs. 1-26, 1969.
- [5]- Ramberg W. e Osgood W. R., *Description of Stress-Strain Curves by Three Parameters*, Technical Report 902, NACA, 1943.
- [6]- Bauschinger J., *On the Change of the Position of Elastic Limit of Iron and Steel under Cyclic Variation of Stress*, Mitt. Mech.-Tech. Lab., München, Vol. 13, N.º 1, 1886.
- [7]- Masing G., *Eigenspannungen und Verfestigung beim Messing*, Proceedings of the 2nd International Congress of Applied Mechanics, Zürich, Orell Füssli-Verlag, pgs. 332-335, 1926.
- [8]- Halford G. R. e Morrow J. D., *Low Cycle Fatigue in Torsion*, Proceedings of the ASTM, Vol. 62, pg. 695, 1962.
- [9]- Coffin L. F., *A Study of the Effect of Cyclic Thermal Stresses on a Ductile Metal*, Trans. ASME, Vol. 76, pgs. 931-950, 1954.
- [10]- Manson S. S., *Behaviour of Materials Under Conditions of Thermal Stress*, Heat Transfer Symposium, University of Michigan, Engineering Research Inst., pgs. 9-75, 1953.

-
- [11]- Basquin O. H., *The Exponential Law of Endurance Tests*, Proceedings of ASTM, Vol. 10, pgs. 625-630, 1910
- [12]- Boller C. e Seeger T., *Materials Data for Cyclic Loading*, Vols. 42 A- 42 E, Elsevier Science, 1987.
- [13]- Bannantine J. A., Comer J. J. e Handrock J. L., *Fundamentals of Metal Fatigue Analysis*, Prentice-Hall, 1990.
- [14]- Matsuishi M. e Endo T., *Fatigue of Metals under Varying Stresses*, Japanese Society of Mechanical Engineering, Japan, 1968.
- [15]- Fatemi A. e Yang L., *Cumulative Fatigue Damage and Life Prediction Theories: a Survey of the State of the Art for Homogeneous Materials*, International Journal of Fatigue, Vol. 20, N.º 1, pgs. 9-34, 1998.
- [16]- Palmgren A., *Die Lebensdauer von Kugellagern*, Zeitschrift des Vereins Deutscher Ingenieure, Vol. 68, pgs. 339-341, 1924.
- [17]- Miner M. A., *Cumulative Damage in Fatigue*, Journal of Applied Mechanics, Vol. 12, N.º 3, pgs. A 159-A 164, 1945.
- [18]- Melcon M. A., Crichlow W. J. e McCulloch A. J., *An Engineering Evaluation of Methods for the Prediction of Fatigue Life in Airframe Structures*, Technical Report ASD-TR-61-134, Lockheed California Company, 1962.
- [19]- Schütz W. e Heuler P., *A Review of Fatigue Life Prediction Models for the Crack Initiation and Propagation Phases*, Proc. of the NATO ASI on Advances in Fatigue Science and Technology, Ed. Moura Branco e Guerra Rosa, Portugal, NATO ASI SERIES, Series E, Vol. 159, pgs. 177-219, 1988.
- [20]- O'Neill M. Y., *A Review of some Cumulative Damage Theories*, ARL/SM-Report-326, Aeronautical Research Laboratories, Melbourne, Australia, 1970.
- [21]- Ohta A., Maeda Y. e Suzuki N., *Fatigue Strength of Butt-Welded Joints under Constant Maximum Stress and Random Minimum Stress Conditions*, Fatigue & Fracture of Engineering Materials & Structures, Vol. 19, N.º 2/3, pgs. 265-275, 1996.

- [22]- Peterson R. E., *Stress Concentration Factors - Charts and Relations Useful in Making Strength Calculations for Machine Parts and Structural Elements*, Ed. John Wiley & Sons, New York, 1974.
- [23]- Weixing Y., Kaiquan X. e Yi G., *On the Fatigue Notch Factor, k_f* , International Journal of Fatigue, Vol. 17, N.º 4, pgs. 245-251, 1995.
- [24]- Buch. A., *Fatigue Strength Calculation*, Trans Tech Publications, Switzerland, 1988.
- [25]- Du-yi Y. e De-jun W., *A New Approach to the Prediction of Fatigue Notche Reduction Factor K_f* , International Journal of Fatigue, Vol. 18, N.º 2, pgs. 105-109, 1996.
- [26]- Branco C. M., Fernandes A. A. e Castro P. M., *Fadiga de Estruturas Soldadas*, Fundação Calouste Gulbenkian, Lisboa, 1986.
- [27]- Perrin M. C., Watson P. e Plumtree A., *A Critical Evaluation of Cyclic Mean Stress Effects in a Structural Steel*, in Life Assessment of Dynamically Loaded Materials and Structures, Proc. of the 5th European Conf. on Fracture (ECF5), Ed. L. O. Faria, Lisboa, Portugal, Vol. 1, pgs. 301-316, 1984.
- [28]- Nihei M., Heuler P., Boller Ch. e Seeger T., *Evaluation of Mean Stress Effect on Fatigue Life By Use of Damage Parameters*, International Journal of Fatigue, Vol. 8, N.º 3, pgs. 119-126, 1986.
- [29]- Koh S. K. e Stephens R. I., *Mean Stress Effects on Low Cyclic Fatigue for a High Strength Steel*, Fatigue & Fracture of Engineering Materials & Structures, Vol. 14, N.º 4, pgs. 413-428, 1991.
- [30]- Smith K. N., Watson P. e Topper T., *A Stress Strain Function for the Fatigue of Metals*, Journal of Materials, JMLSA, Vol. 5, N.º 4, pgs. 767-778, 1970.
- [31]- Koh S. K., *Fatigue Life of an Autofrettaged Thick-Walled Pressure Vessel with an External Groove*, Fatigue & Fracture of Engineering Materials & Structures, Vol. 19, N.º 1, pgs. 15-25, 1996.
- [32]- Lawrence F.V., *Estimation of Fatigue Crack Propagation Life in Butt Welds*, Welding J, Res Suppl, Vol. 53, N.º 5, pgs. 212s-220s, 1973.

- [33]- Lawrence F.V. e Munse W. H., *Fatigue Crack Propagation in Butt Welds containing Joint Penetration Defects*, Welding J, Res Suppl, Vol. 52, N.º 5, pgs. 212s-225s, 1973.
- [34]- Dowling N. E., *Fatigue at Notches and the Local Strain and Fracture Mechanics Approaches*, ASTM, STP 677, pgs. 247-273, 1979.
- [35]- Costa J. D. e Ferreira J. M., *Fatigue Crack Initiation in Notched Specimens of 17Mn4 Steel*, International Journal of Fatigue, Vol. 15, N.º 6, pgs. 501-507, 1993.
- [36]- Jakubczak H. e Glinka G., *Fatigue Analysis of Manufacturing Defects in Weldments*, International Journal of Fatigue, Vol. 8, N.º 2, pgs. 51-57, 1986.
- [37]- Ribeiro A. S., Fernandes A. A., Castro P. T. e Oliveira F., *Modelos de Previsão do Comportamento à Fadiga de Juntas Soldadas de Ligas de Alumínio*, Actas das 5.^{as} Jornadas de Fractura, SPM, Comunicação N.º 13, 1994.
- [38]- Ribeiro A. S. e Fernandes A. A., *Modelos Numéricos de Análise de Danos da Fadiga de Juntas Soldadas*, Proc. de Anales de Mecanica de la Fractura, Vol. 13, pgs. 114-118, 1996.
- [39]- Glinka G. e Stephens R. I., *Total Fatigue Life Calculations in Notched SAE 0030 Cast Steel Under Variable Loading Spectra*, ASTM, STP 791, pgs. 427-445, 1983.
- [40]- Branco C. M., *Mecânica dos Materiais*, 2.^a edição, Fundação Calouste Gulbenkian, Lisboa, 1994.
- [41]- Lawrence F.V., Dimitrakis S. D. e Munse W. H., *Factors Influencing Weldment Fatigue*, ASM Handbook, Vol. 19 - Fatigue and Fracture, pgs. 274-286, 1996.
- [42]- Maddox S. J., *Fatigue Design Optimisation in Welded Joints*, Proc. of the NATO ASI on Advances in Fatigue Science and Technology, Ed. Moura Branco e Guerra Rosa, Portugal, NATO ASI SERIES, Series E, Vol. 159, pgs. 551-568, 1988.

- [43]- Burk J.D. e Lawrence F.V., *Influence of Bending Stresses on Fatigue Crack Propagation Life in Butt Joint Welds*, Welding J, Res Suppl, Vol. 56, N.º 2, pgs. 61s-66s, 1977.
- [44]- Tobe Y. e Lawrence F.V., *Effect of Inadequate Joint Penetration on Fatigue Resistance of High-Strength Structural Steel Welds*, Welding J, Res Suppl, Vol. 56, N.º 9, pgs. 259s-266s, 1977.
- [45]- Burk J.D. e Lawrence F.V., *Effects of Lack of Penetration and Lack of Fusion on the Fatigue Properties of 5083 Aluminium Alloy Welds*, WRC Bulletin 234, New York, WCR, Vol. 4, N.º 4, pgs. 1-14, 1979.
- [46]- Branco C. M., Maddox S. J., Infante V. e Gomes E. C., *Fatigue Performance of Tungsten Inert Gas (TIG) and Plasma Welds in Thin Sections*, Actas das 6.^{as} Jornadas de Fractura, SPM, pgs. 73-95, 1998.
- [47]- Branco C. M. e Torcato R.B., *Influência do Processo Tecnológico no Comportamento à Fadiga do Aço Inoxidável Duplex 2205*, Actas das 7.^{as} Jornadas de Fractura, SPM, pgs. 178-186, 2000.
- [48]- Satoh M., Sakamoto N., Morihina M. e Satoh T., *Characteristics of the Narrow Gap TIG-Arc Welded Joints of 10Ni-8Co Steel for the Pressure Hull of Deep Submersible*, Mitsubishi Heavy Industries Technical Review, Vol. 11, N.º 2, pgs. 145-146, 1974.
- [49]- Shtrikman M. M. e Grinin V. V., *The Automatic Narrow Gap Welding of High Strength Steels and Titanium Alloys*, Welding Production 1, pgs. 21-23, 1977.
- [50]- Maddox S. J., *Fatigue Design of Welded Aluminium Structures*, Proc. of the 2nd International Conference on Aluminium Structures, Munich, 1982.
- [51]- Mattos R. J. e Lawrence F.V., *Estimation of the Fatigue Crack Initiation Life in Welds Using Low Cycle Fatigue Concepts*, SAE SP-424, Warrendale Pa, 1977.
- [52]- Lawrence F.V. Jr., Mattos R. J., Higashida Y. e Burk J. D., *Estimating the Fatigue Crack Initiation Life of Welds*, Fatigue Testing of Weldments, ASTM STP 648, ASTM, pgs. 134-158, 1978.

-
- [53]- Higashida Y., Burk J.D. e Lawrence F.V., *Strain-Controlled Fatigue Behaviour of ASTM A36 and A515, Grade F Steels and 5083-O Aluminium Weld Materials*, Welding J, Res Suppl, Vol. 57, pgs. 334s-344s, 1978.
- [54]- Lawrence F.V. e Mazumdar P. K., *Application of Strain-Controlled Fatigue Concepts to the Prediction of Weldment Fatigue Life*, DVM-Berichte, AK Betriebsfestigkeit, DVM, Berlin, pgs. 469-478, 1979.
- [55]- Radaj D., *Review of Fatigue Strength Assessment of Nonwelded and Welded Structures Based on Local Parameters*, International Journal of Fatigue, Vol. 18, N.º 3, pgs. 153-170, 1996.
- [56]- Radaj D. e Sonsino C. M., *Fatigue Assessment of Welded Joints by Local Approaches*, Woodhead Publishing Ltd, Cambridge, UK, 1998.
- [57]- Seeger T., Best A. e Amsutz A., *Elastic-Plastic Stress-Strain Behaviour of Monotonic and Cyclic Loaded Notched Plates*, Proc. of the 4th Int. Conf. on Fracture (ICF4), University of Waterloo Press, Canada, Vol. 4, pgs. 943-951, 1977.
- [58]- Stowell E. Z., *Stress and Strain Concentration at a Circular Hole in an Infinite Plate*, Technical Note 2073, National Advisory Committee for Aeronautics, 1950.
- [59]- Hardrath H. F. e Ohman L., *A Study of Elastic and Plastic Stress Concentration Factors due to Notches and Fillets in Flat Plates*, Technical Note 2566, National Advisory Committee for Aeronautics, 1951.
- [60]- Neuber H., *Theory of Stress Concentration for Shear-Strained Prismatic Bodies With Arbitrary Nonlinear Stress-Strain Law*, Journal of Applied Mechanics, Vol. 28, N.º 4, pgs. 544-550, 1961.
- [61]- Topper T. H., Wetzel R. M. e Morrow J. D., *Neuber's Rule Applied to Fatigue of Notched Specimens*, Journal of Materials, JMLSA, Vol. 4, N.º 1, pgs. 200-209, 1969.
- [62]- Seeger T. e Heuler P., *Generalised Application of Neuber's Rule*, Journal of Testing and Evaluation, Vol. 8, pgs. 199-204, 1980.

- [63]- Molski K. e Glinka G., *A Method of Elastic-Plastic Stress and Strain Calculation at a Notch Root*, Materials Science and Engineering, Vol. 50, pgs. 93-100, 1981.
- [64]- Glinka G., *Calculation of Inelastic Notch-Tip Strain-Stress Histories Under Cyclic Loading*, Engineering Fracture Mechanics, Vol. 22, N.º 5, pgs. 839-854, 1985.
- [65]- Polak J., *Stress and Strain Concentration Factor Evaluation Using the Equivalent Energy Concept*, Materials Science and Engineering, Vol. 61, pgs. 195-200, 1983.
- [66]- Glinka G., *Energy Density Approach to Calculation of Inelastic Strain-Stress Near Notches and Cracks*, Engineering Fracture Mechanics, Vol. 22, N.º 3, pgs. 485-508, 1985.
- [67]- Shatil G., Ellison E. G. e Smith D. J., *Elastic-Plastic Behaviour and Uniaxial Low Cycle Fatigue Life of Notched Specimens*, Fatigue & Fracture of Engineering Materials & Structures, Vol. 18, N.º 2, pgs. 235-245, 1995.
- [68]- Leis B. B., Gowda C. V. e Topper T. H., *Some Studies of the Influence of Localised and Gross Plasticity on the Monotonic and Cyclic Concentration Factors*, Journal of Testing and Evaluation, Vol. 1, pgs. 341-348, 1973.
- [69]- Buch. A., *Prediction of Constant-Amplitude Fatigue Life to Failure Under Pulsating Tension by Use of the Local-Strain Approach*, International Journal of Fatigue, Vol. 12, N.º 6, pgs. 505-512, 1990.
- [70]- Glinka G., *Relations Between the Strain Energy Density Distribution and Elastic-Plastic Stress-Strain Fields Near Cracks and Notches and Fatigue Life Calculation*, ASTM, STP 942, pgs. 1022-1047, 1988.
- [71]- Ferreira J. A. M., Borrego L. F. P. e Costa J. D. M., *Effects of Surface Treatments on the Fatigue of Notched Bend Specimens*, Fatigue & Fracture of Engineering Materials & Structures, Vol. 19, N.º 1, pgs. 111-117, 1996.

-
- [72]- Dowling N.E., *Mechanical Behavior of Materials: Engineering Methods for Deformation, Fracture, and Fatigue*, 2nd ed., Prentice-Hall International Editions, New Jersey, 1998.
- [73]- Dowling N. E., Brose W. R. e Wilson W. K., *Notched Member Fatigue Life Predictions by the Local Strain Approach*, Advances in Engineering, SAE, Vol. 6, pgs. 55-84, 1979.
- [74]- Hong N. e Shaobo L., *Biaxial Stress Fatigue Life Prediction by the Local Strain Method*, International Journal of Fatigue, Vol. 19, N.º 6, pgs. 517-522, 1997.
- [75]- *Aluminum Standards & Data*, The Aluminum Association, 1997.
- [76]- Bray J. W., *Aluminum Mill and Engineered Wrought Products*, ASM Handbook, Vol. 2 - Properties and Selection: Nonferrous Alloys and Special-Purpose Materials, pgs. 29-61, 1990.
- [77]- Smith W. F., *Structure and Properties of Engineering Alloys*, 2nd ed., Materials Science and Engineering Series, McGraw-Hill International Editions, pgs. 203-209, 1993.
- [78]- Cayless R. B. C., *Alloy and Temper Designation Systems for Aluminum and Aluminum Alloys*, ASM Handbook, Vol. 2 - Properties and Selection: Nonferrous Alloys and Special-Purpose Materials, pgs. 15-28, 1990.
- [79]- *Caractéristiques des Semi-Produits en Aluminium*, Aluminium Suisse S.A., 1985.
- [80]- Borrego L. F. P., Costa J. D. M. e Ferreira J. A. M., *Fatigue Crack Propagation in an AlMgSi Alloy*, Proc. de Anales de Mecanica de la Fractura, Vol. 16, pgs. 119-124, 1999.
- [81]- ASTM E 384, *Standard Test Method for Microhardness of Materials*, Annual Book of ASTM Standards, USA, Vol. 03.01, 1993.
- [82]- Borrego L. F. P., Costa J. D. M. e Ferreira J. A. M., *Comportamento à Fadiga da Liga de Alumínio 6082*, Mecânica Experimental - Revista da APAET, Vol. 4, 1999.
-

- [83]- *Soudage à l'Arc sous Protection Gazeuse de l'Aluminium - TIG et MIG*, Notice Technique Alusuisse, Aluminium Suisse S. A., 1971.
- [84]- *Heat Treatment of Aluminium Semis*, Alusuisse Swiss Aluminium Ltd, 1990.
- [85]- ASTM E 3, *Standard Methods of Preparation of Metallographic Specimens*, Annual Book of ASTM Standards, USA, Vol. 03.01, 1993.
- [86]- ASTM E 407, *Standard Methods for Microetching Metals and Alloys*, Annual Book of ASTM Standards, USA, Vol. 03.01, 1993.
- [87]- Loureiro A., Medina P. e Jua G. T., *Propriedades Mecânicas de Soldaduras em Ligas de Alumínio*, Actas de Materiais 97, Sociedade Portuguesa de Materiais, pgs. 2.51-2.58, 1997.
- [88]- Bertini L., Fontanari V. e Straffelini G., *Influence of Post Weld Treatments on the Fatigue Behaviour of Al-Alloy Welded Joints*, International Journal of Fatigue, Vol. 20, N.º 10, pgs. 749-755, 1998.
- [89]- Rice R. C., *Fatigue Data Analysis*, ASM Handbook, Vol. 8 - Mechanical Testing, pgs. 695-720, 1990.
- [90]- Rice R. C., *Statistics and Data Analysis - Introduction*, ASM Handbook, Vol. 8 - Mechanical Testing, pgs. 623-627, 1990.
- [91]- Rust S. W. e Rice R. C., *Statistical Distributions*, ASM Handbook, Vol. 8 - Mechanical Testing, 1990, pgs. 628-638, 1990.
- [92]- Little R. E. e Jebe E. H., *Statistical Design of Fatigue Experiments*, Applied Science Publishers, London, 1975.
- [93]- ASTM E 739, *Standard Practice for Statistical Analysis of Linear or Linearized Stress-Life (S-N) and Strain-Life (ϵ -N) Fatigue Data*, Annual Book of ASTM Standards, USA, Vol. 03.01, 1993.
- [94]- Fernandes A. A. A., *A verificação à Fadiga no Projecto de Estruturas Metálicas Soldadas Sujeitas a Solicitações Variáveis*, Colóquio sobre fadiga em estruturas soldadas, 1979.



-
- [95]- Crompton J. S., *Fatigue Strength of Aluminium Alloy Welds*, ASM Handbook, Vol. 19 - Fatigue and Fracture, pgs. 823-828, 1996.
- [96]- Jutla T., *Fatigue and Fracture Control of Weldments*, ASM Handbook, Vol. 19 - Fatigue and Fracture, pgs. 434-449, 1996.
- [97]- Lieurade H. P., *Fatigue in Welded Constructions. Life Assessment of Dynamically Loaded Materials and Structures*, Proc 5th European Conference on Fracture, ECF 5, Lisboa, Portugal, pgs. 19-48, 1984.
- [98]- Couper M. J., Neeson A. E. e Griffiths J. R., *Casting Defects and the Fatigue Behaviour of an Aluminium Casting Alloy*, Fatigue & Fracture of Engineering Materials & Structures, Vol. 13, N.º 3, pgs. 213-227, 1990.
- [99]- James M. N. e Paterson A. E., *Fatigue Performance of 6261-T6 Aluminium Alloy - Constant and Variable Amplitude Loading of Parent Plate and Welded Specimens*, International Journal of Fatigue, Vol. 19, Supp. (1), pgs. S109-S118, 1997.
- [100]- James M. N., Paterson A. E e Sutcliffe N., *Constant and Variable Amplitude Loading of 6261 Aluminium Alloy I-Beams with Welded Cover Plates - Influence of Weld Quality and Stress Relief*, International Journal of Fatigue, Vol. 19, N.º 2, pgs. 125-133, 1997.
- [101]- BS 8118, *The Structural use of aluminium, Part 1: Code of practice for design*, British Standards Institution, 1991.
- [102]- Buch A., *Verification of Fatigue Crack Initiation Life Prediction Results*, Technion, Israel Institute of Technology, Haifa, TAE, N.º 400, 1980.
- [103]- *Cosmos/M 2.0 - Finite Element Analysis Sistem*, Structural Research & Analysis Corporation, Los Angeles, USA, 1997.
- [104]- Bathe K. J., *Finite Element Procedures*, Prentice-Hall International Editions, New Jersey, USA, 1996.
- [105]- Rizzo A. R., *Estimating Errors in FE Analyses*, Mechanical Engineering, pgs. 61-63, Maio de 1991.

- [106]- Ferreira J. A. M. e Branco C. A. M., *Influence of the Radius of Curvature at the Weld Toe in the Fatigue Strength of Fillet Welded Joints*, International Journal of Fatigue, Vol. 11, N.º 1, pgs. 29-36, 1989.
- [107]- Sorem J. R. e Tipton S. M., *The Use of Finite Element Codes for Cyclic Stress-Strain Analysis*, Fatigue Design, ESIS 16, Mechanical Engineering Publications, London, pgs. 187-200, 1993.
- [108]- Jakubovskii V.V. e Valteris I. I., *Geometrical Parameters of Butt and Fillet Welds and Their Influence on the Welded Joint Fatigue Life*, IIW Doc XIII-1326-89.
- [109]- Tricoteaux A., Fardoun F., Degallaix S. e Sauvage F., *Fatigue Crack Initiation Life Prediction in High Strength Structural Steel Welded Joints*, Fatigue & Fracture of Engineering Materials & Structures, Vol. 18, N.º 2, pgs. 189-200, 1995.

