



18/12/2019

FRICTION STIR WELDING :

Parâmetros de processo e aplicações

A. Loureiro
Altino.loureiro@dem.uc.pt

CEMMPRE, Department of Mechanical Engineering, University of Coimbra
Rua Luís Reis Santos, 3030-788 Coimbra, Portugal

Índice

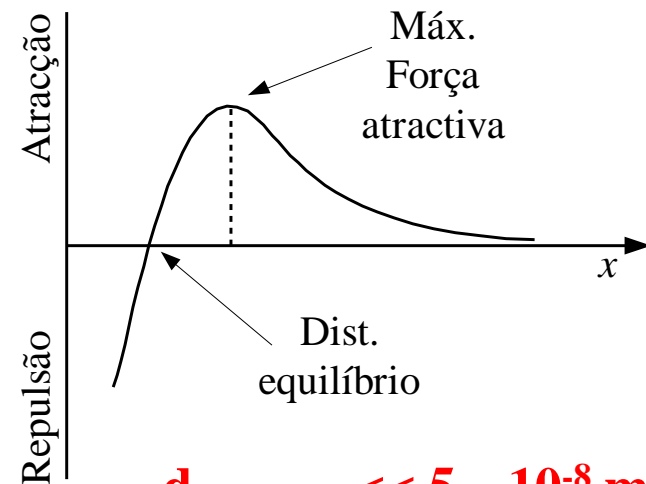
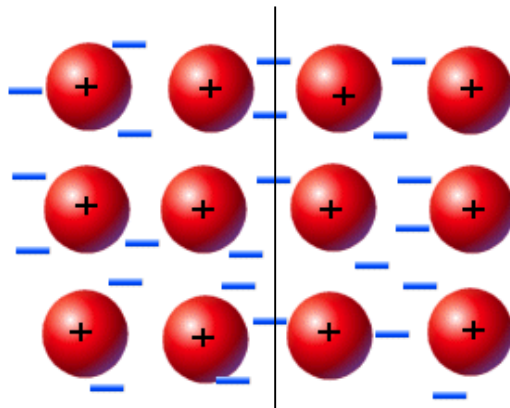
- **Introdução**
- **Princípio do processo**
- ***Vantagens e inconvenientes***
- ***Materiais e aplicações***
- ***Ferramentas***
- ***Soldaduras em ligas de alumínio***
- ***Soldaduras em cobre***
- ***Soldaduras dissimilares***
- ***Soldaduras de polímeros***
- ***Aplicações***

Introdução

Princípio de soldadura

Aproximação atômica

Ligação atômica

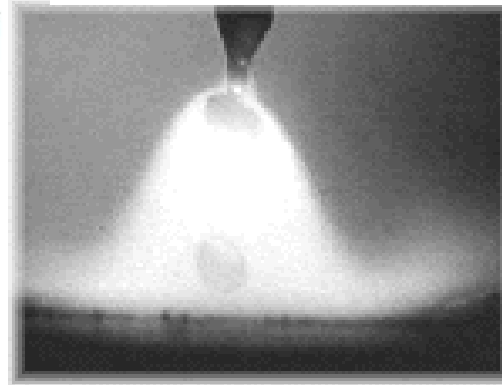
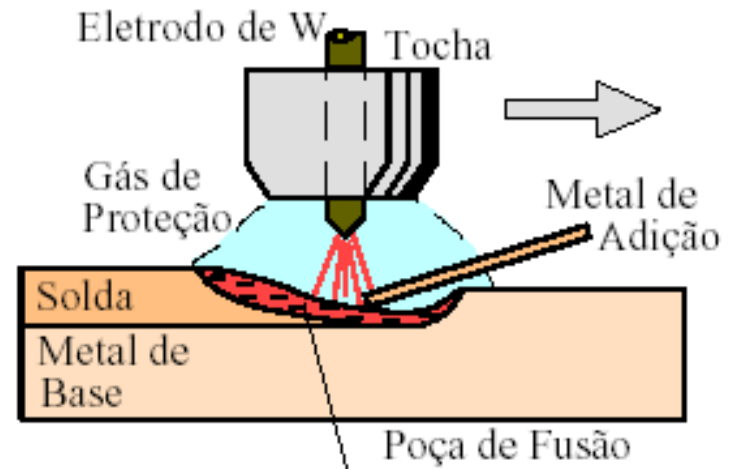
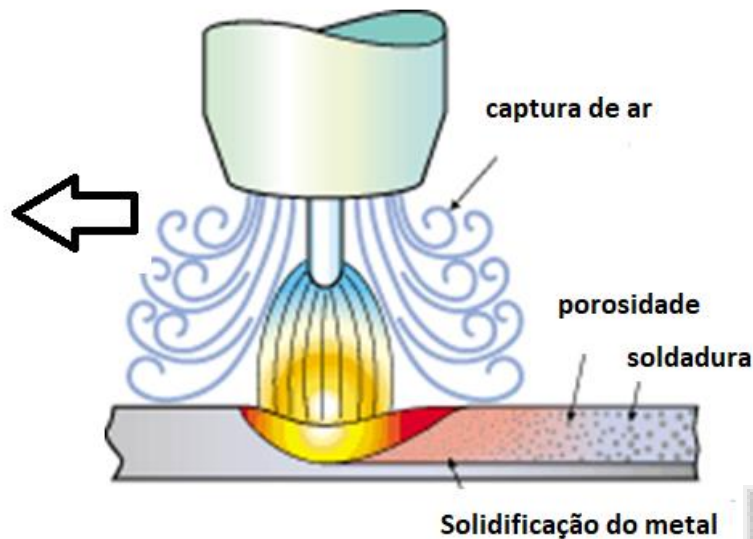


$$d_{\text{equilíbrio}} \ll 5 - 10^{-8} \text{ m}$$

- Ligação atômica
- Ligação permanente e inamovível
- Continuidade da natureza metálica
- Propriedades mecânicas semelhantes às do metal de base

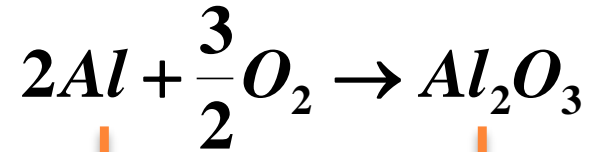
MIG

Como se soldam, p. e., ligas de alumínio?



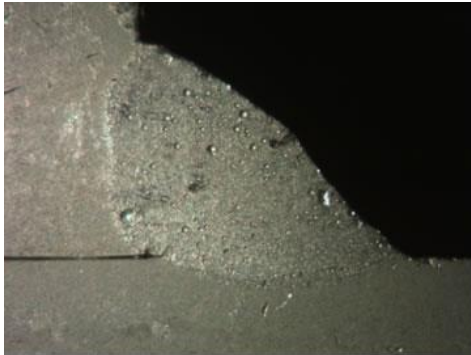
Que problemas apresenta a soldadura por fusão de ligas de alumínio?

Formação de óxidos refractários



↓
 $P_f \approx 660^\circ C$

↓
 $P_f \approx 2100^\circ C$

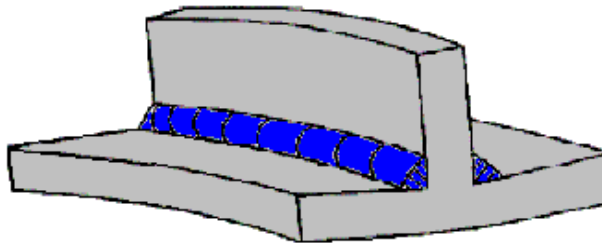


Porosidade



Fissuração na solidificação

Deformações



Perda de resistência mecânica

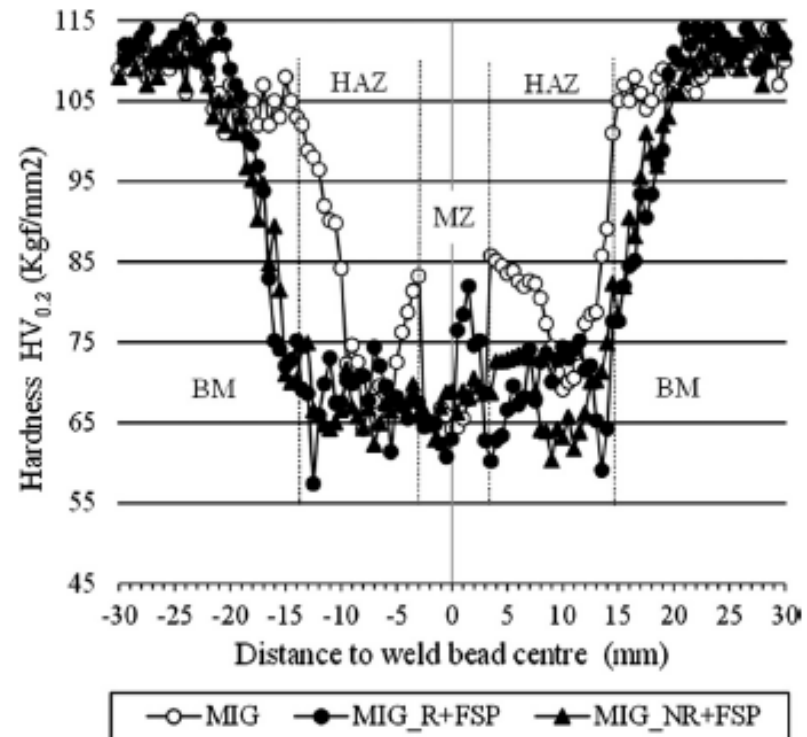
Causas:

Dissolução dos precipitados
na ZF e ZAC ou efeitos de
recozido

Soluções:

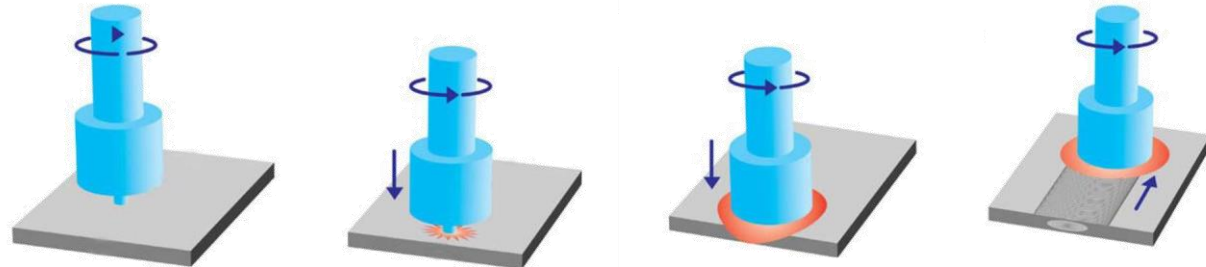
Tratamento térmico nas ligas
tratáveis

Deformação plástica nas ligas
não tratáveis



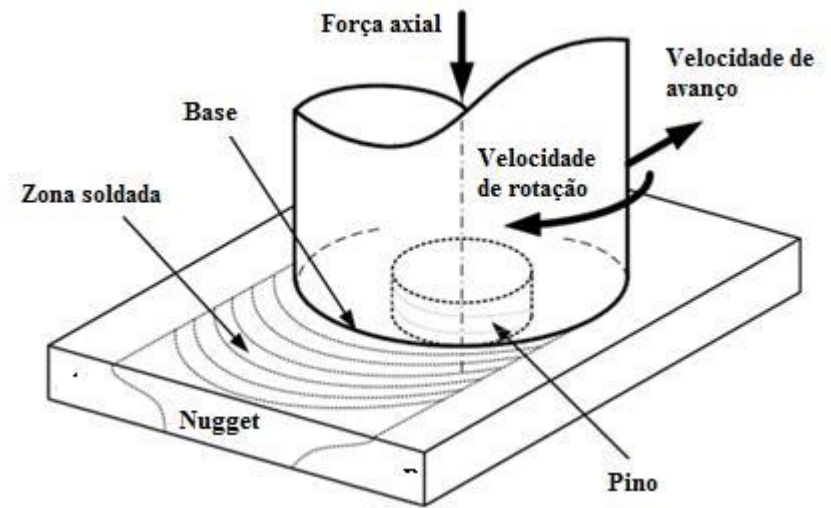
AA 6082-T6

Princípio do processo FSW



Parâmetros do processo

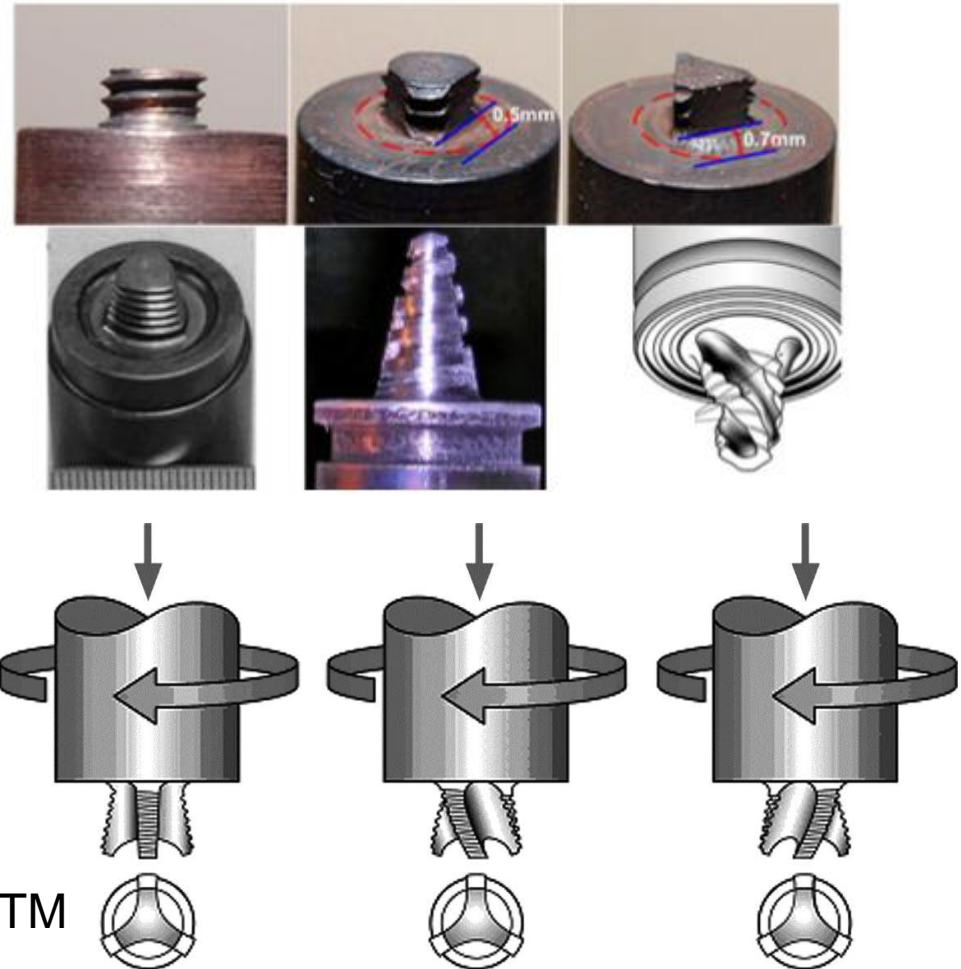
- Geometria da ferramenta
- Força axial
- Velocidade de rotação da ferramenta
- Velocidade de avanço da ferramenta
- O ângulo de ataque da ferramenta
- Sentido de rotação da ferramenta
- Tempo de estabilização



Geometria de ferramentas

Base: Arrasta o material para a zona de influência do pino

Pino: Mistura o material, produzindo intensa deformação plástica, e facilita a sua deslocação na direcção da espessura



R.S. Mishra, Z.Y. Ma, Friction stir welding and processing, Materials Science and Engineering R 50 (2005) 1–78

Flared-Triflute™

Vantagens do processo:

- Processo sem de fumos e radiações nocivas
- Não ocasiona porosidade ou fissuração na solidificação
- Boas propriedades mecânicas das soldaduras
- Baixa distorção e tensões residuais pouco significativas
- Energeticamente eficiente
- Não necessita de material de adição
- Não necessita de mão-de-obra especializada

Desvantagens do processo:

- Baixa flexibilidade
- Necessidade de fixação rígida dos elementos a soldar
- Presença de um orifício no final da soldadura
- Dificuldades associadas à produção de soldaduras e ferramentas para materiais dissimilares

Materiais e aplicações

Materiais soldáveis:

Ligas de alumínio

Ligas de magnésio

Ligas de titânio

Ligas de cobre

Aços

Zinco

Compósitos de matriz metálica

Plásticos

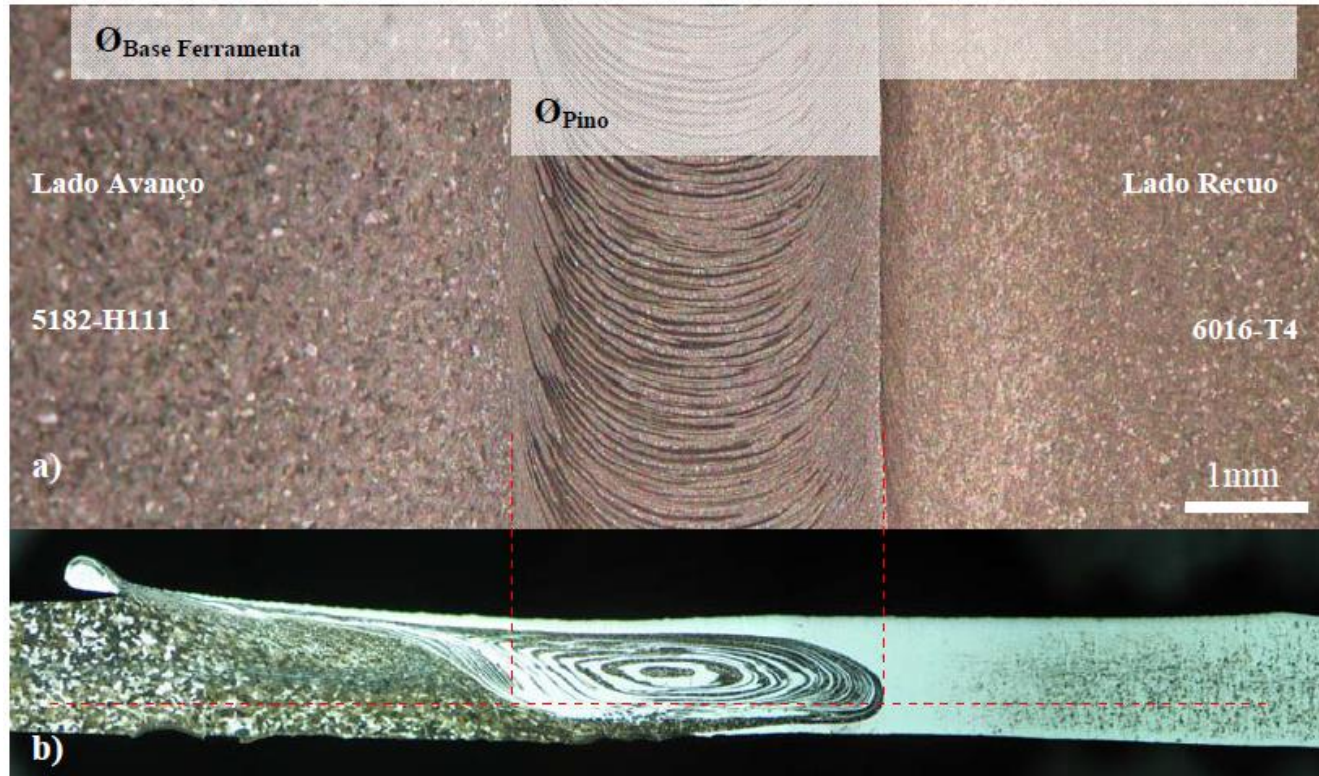
Aplicações



- Indústria naval
- Indústria aeronáutica
- Indústria aeroespacial
- Transportes terrestres
- Construção metálica

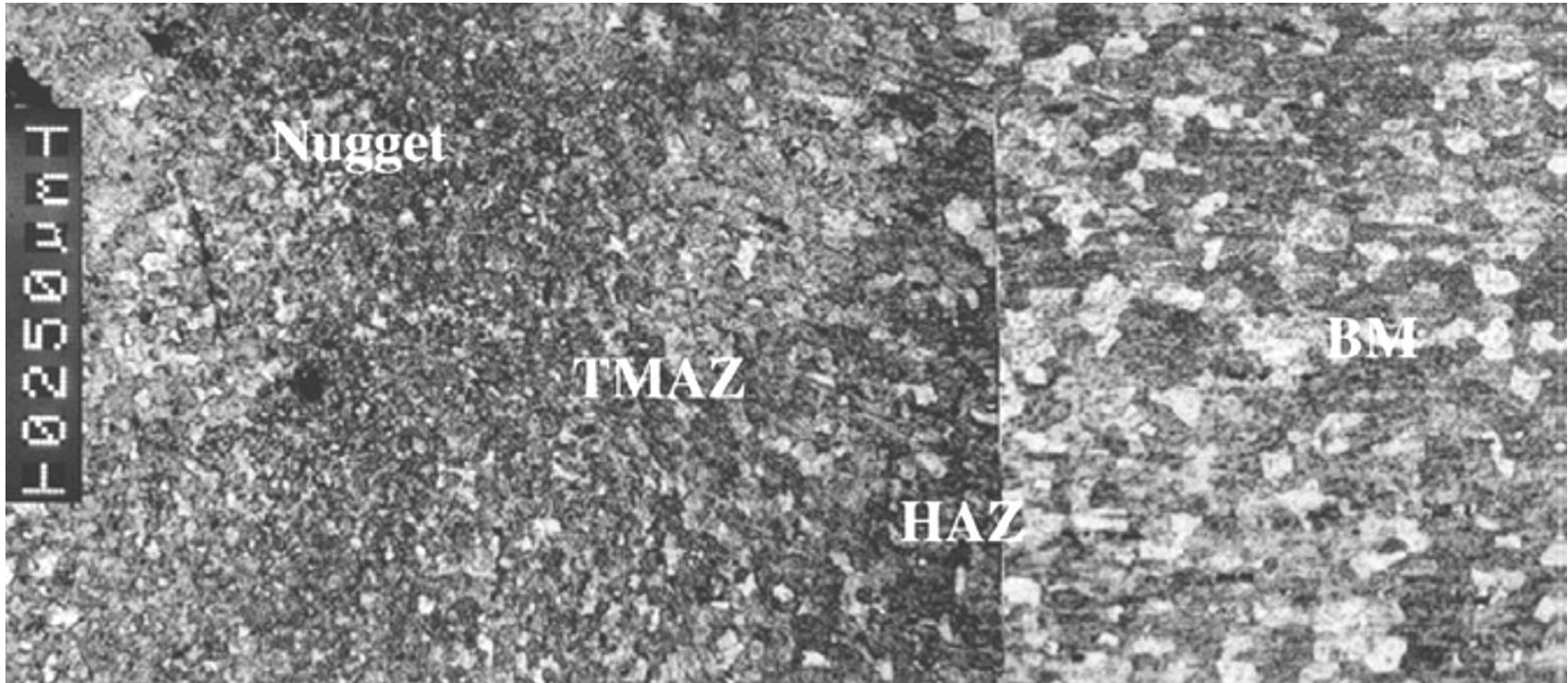
SOLDADURAS EM LIGAS DE ALUMÍNIO

O fluxo de material



R. M. Leal, Soldadura por fricção linear de elementos de baixa espessura, Tese de Doutoramento, Coimbra, 2010

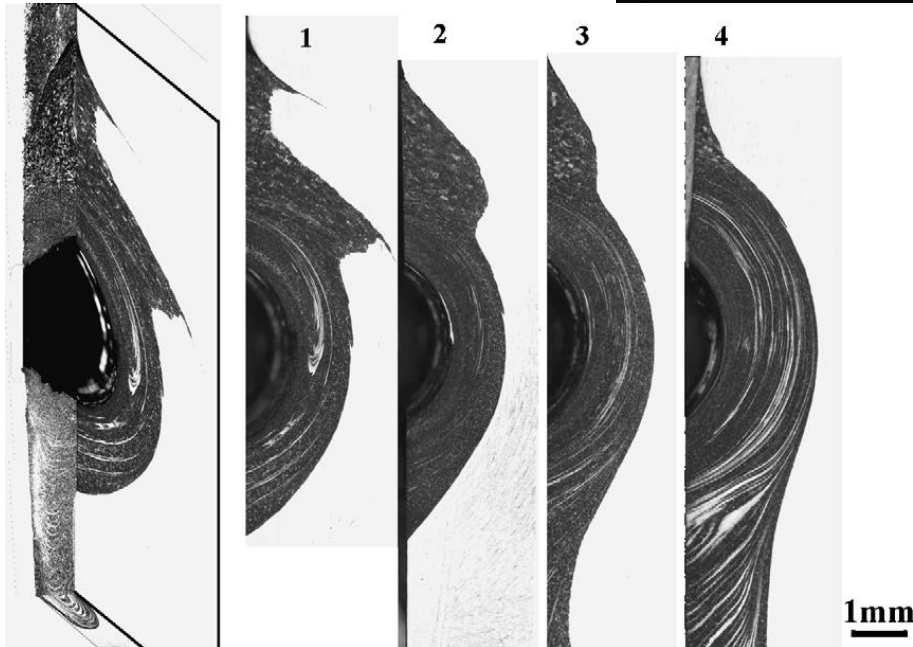
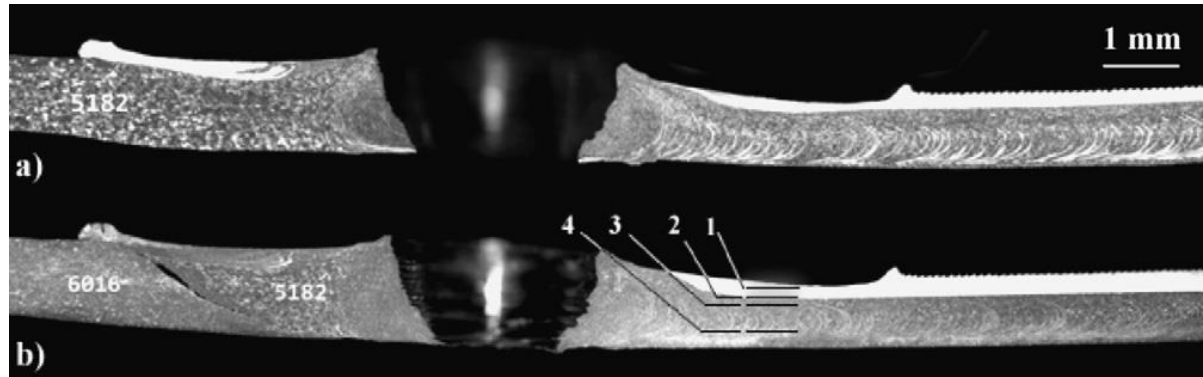
Alterações estruturais



AA 5083-O

R.M. Leal a, A. Loureiro, Effect of overlapping friction stir welding passes in the quality of welds of aluminium alloys, *Materials and Design* 29 (2008) 982–991

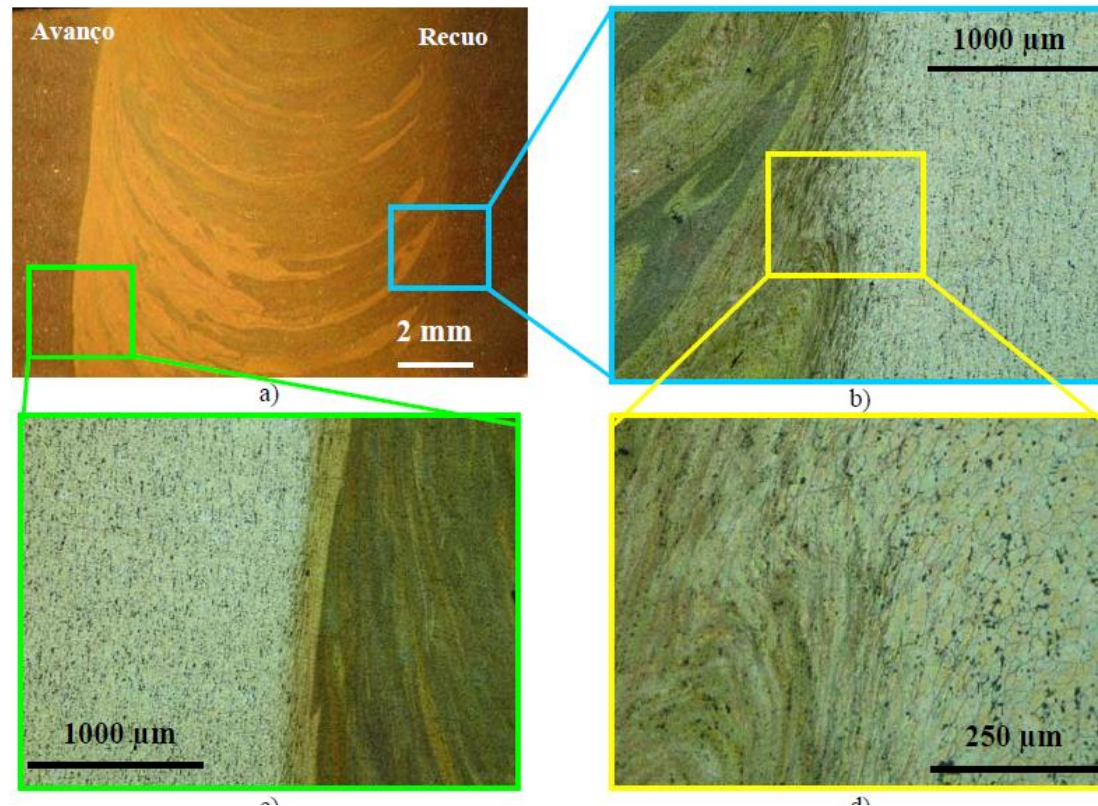
O fluxo de material



R. M. Leal, C Leitão, A. Loureiro, D.M. Rodrigues, P. Vilça.
Material Flow in Heterogeneous Friction Stir Welding of Thin
Aluminium Sheets: Effect of shoulder geometry. Materials
Science and Engineering A 498 (2008) 384-391

Alterações estruturais

AA 6016-T4



R. M. Leal, Soldadura por fricção linear de elementos de baixa espessura, Tese de Doutoramento, Coimbra, 2010

Alterações de dureza

S1

D = 10 mm

W = 1800 rpm

V = 160 mm/min

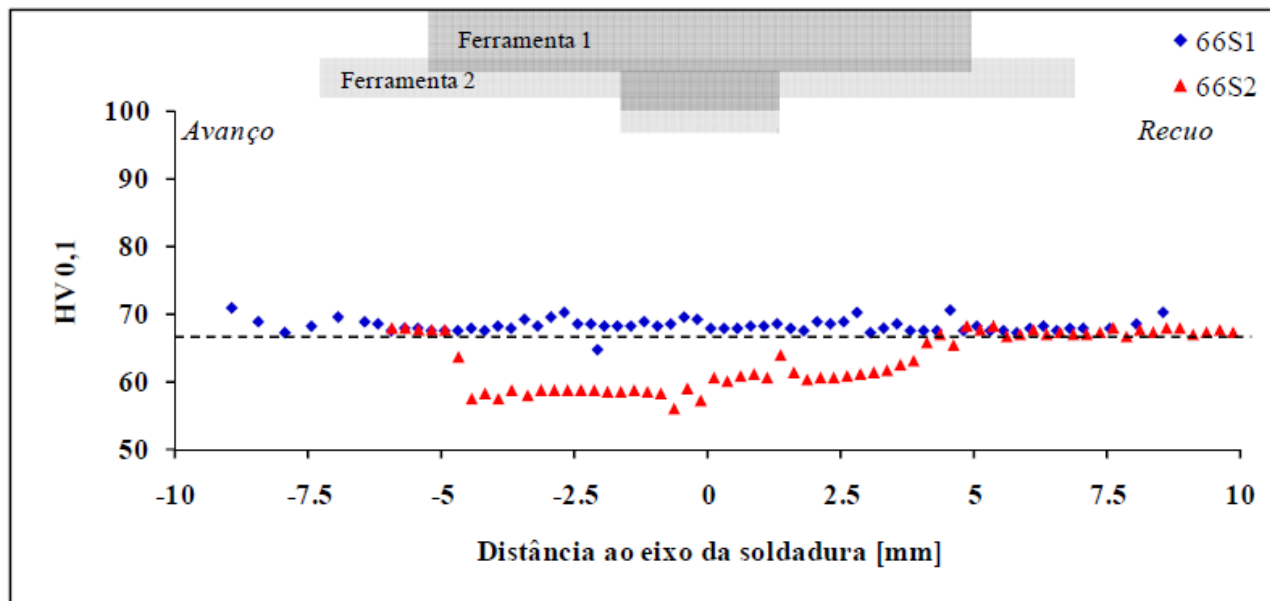


S2

D = 14 mm

W = 1120 rpm

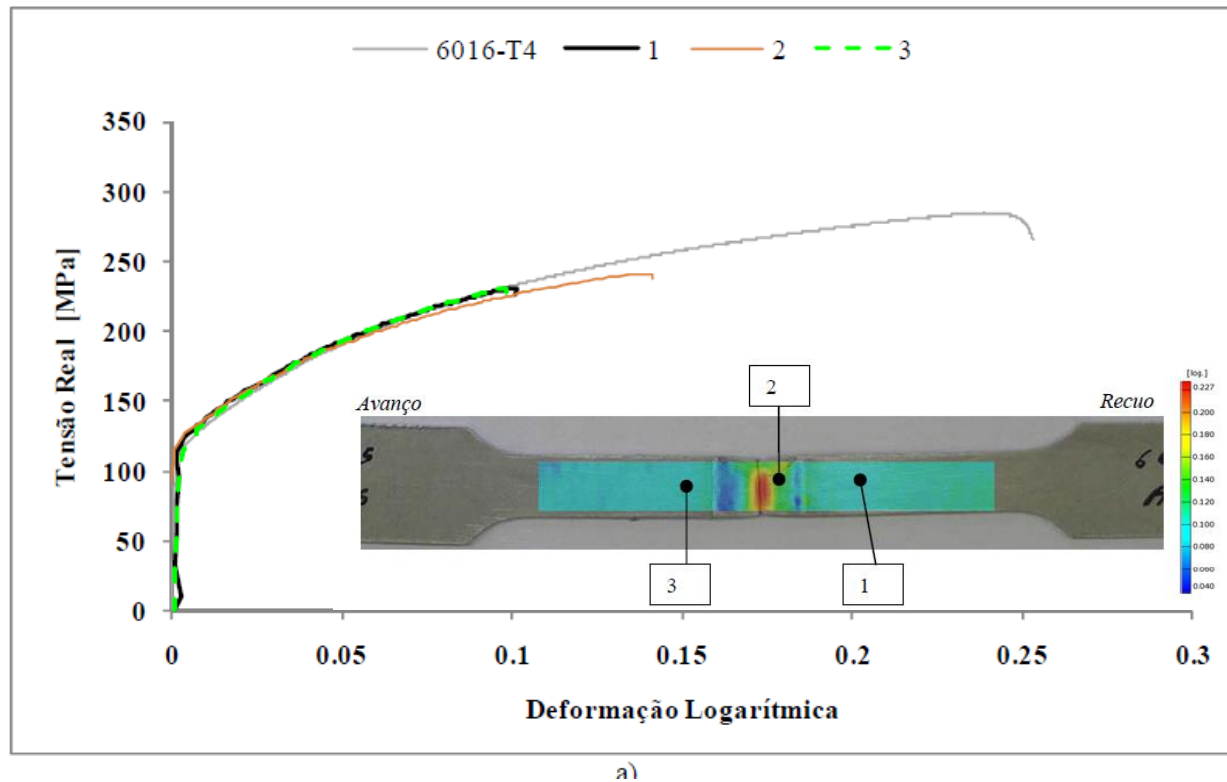
V = 320
mm/min



AA 6016-T4

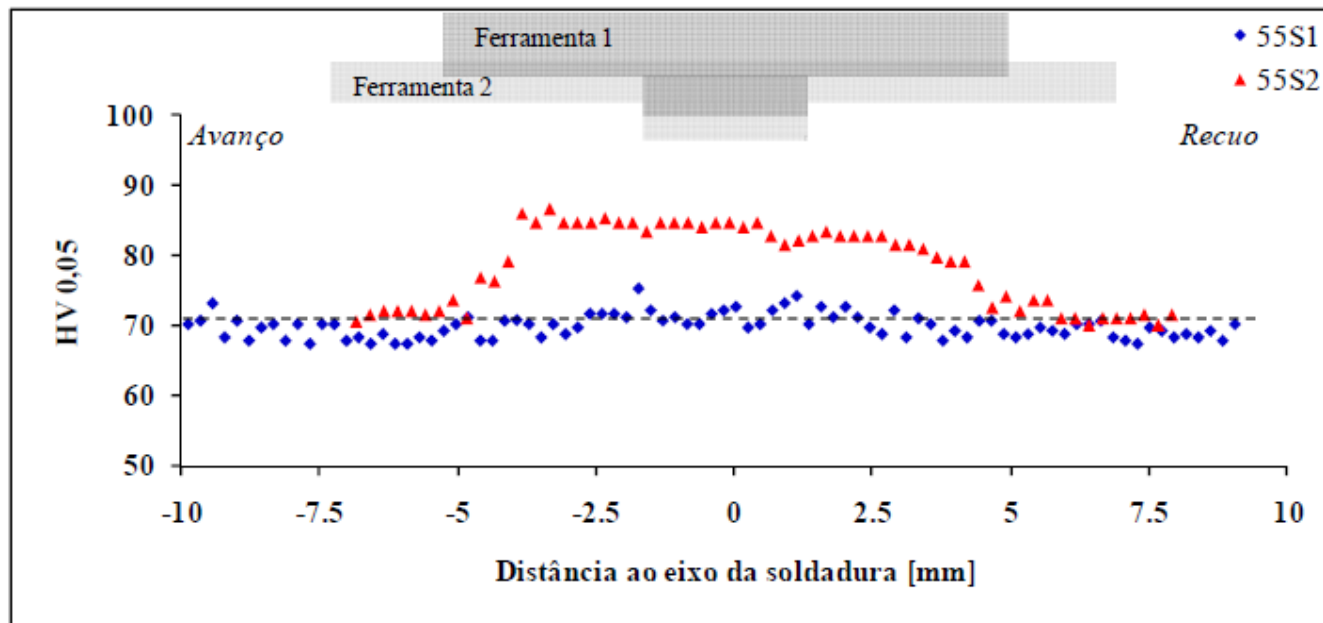
R. M. Leal, Soldadura por fricção linear de elementos de baixa espessura, Tese de Doutoramento, Coimbra, 2010

Comportamento à tracção

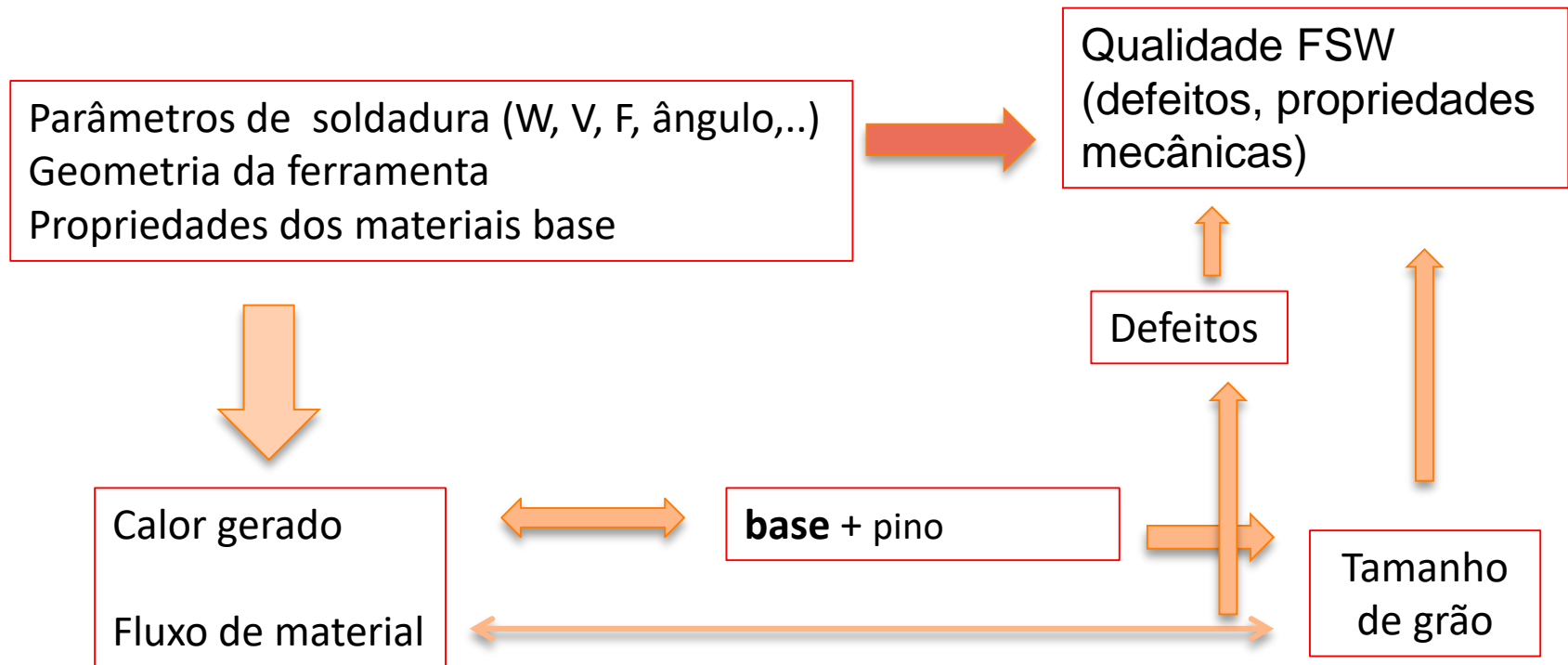


O material e o estado de tratamento influenciam muito

AA 5182-H111

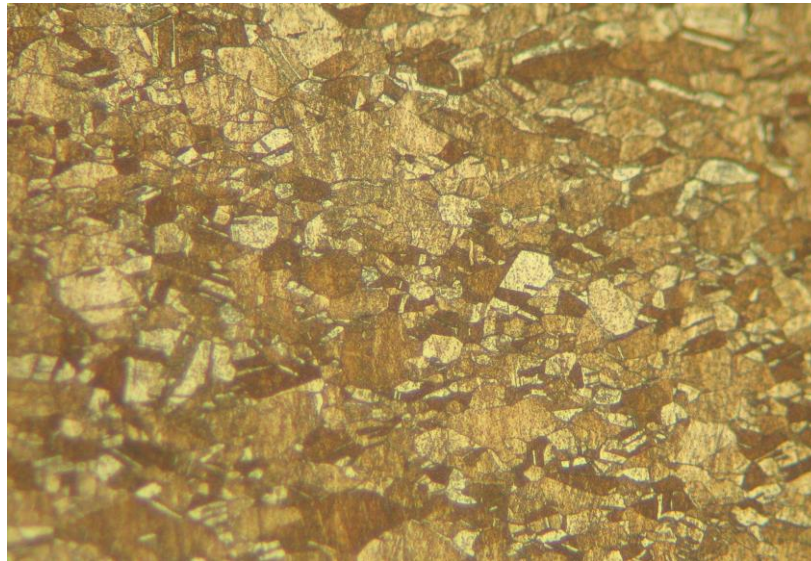


Efeito de parâmetros de soldadura



SOLDADURAS EM COBRE

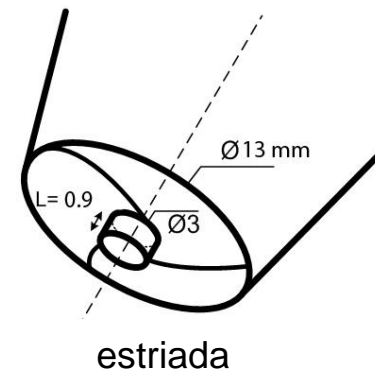
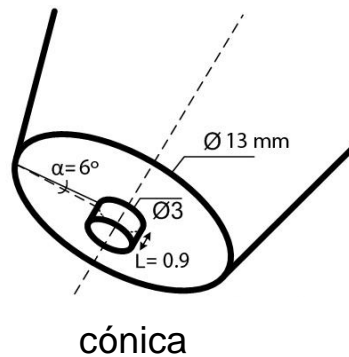
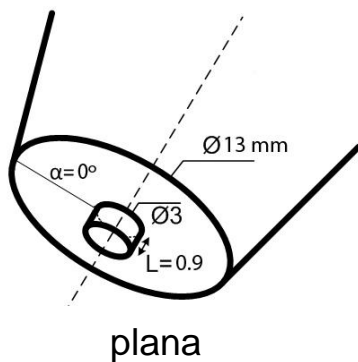
Material base



Cobre	Tamanho grão μm	Dureza HV 0.2
Cu-DHP	18	92

Condições de soldadura

Geometria de ferramentas

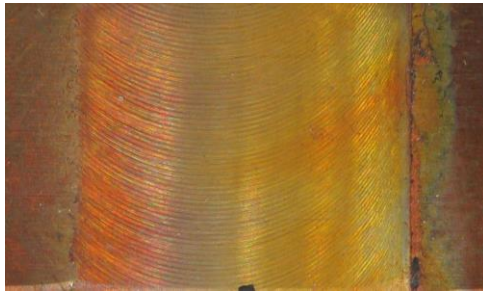


Parâmetros de soldadura

Força (N)	7000	7000	7000
Ângulo(°)	2	2	0
W (rev min ⁻¹)		V (mm min ⁻¹)	
400 – 750 - 1000		160 – 250 - 500	

Aspecto superficial das soldaduras

FW10V16



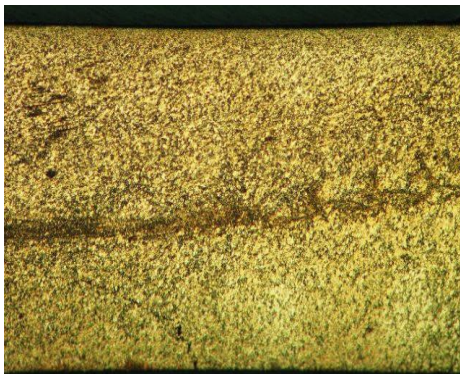
C6W10V16



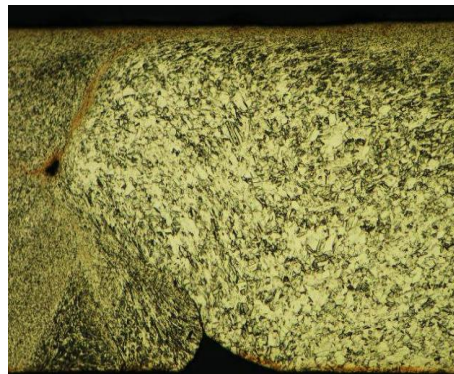
SW10V16



Defeitos internos



FW7.5V16
cavidades



C6W7.5V25
Cavidades + penetração



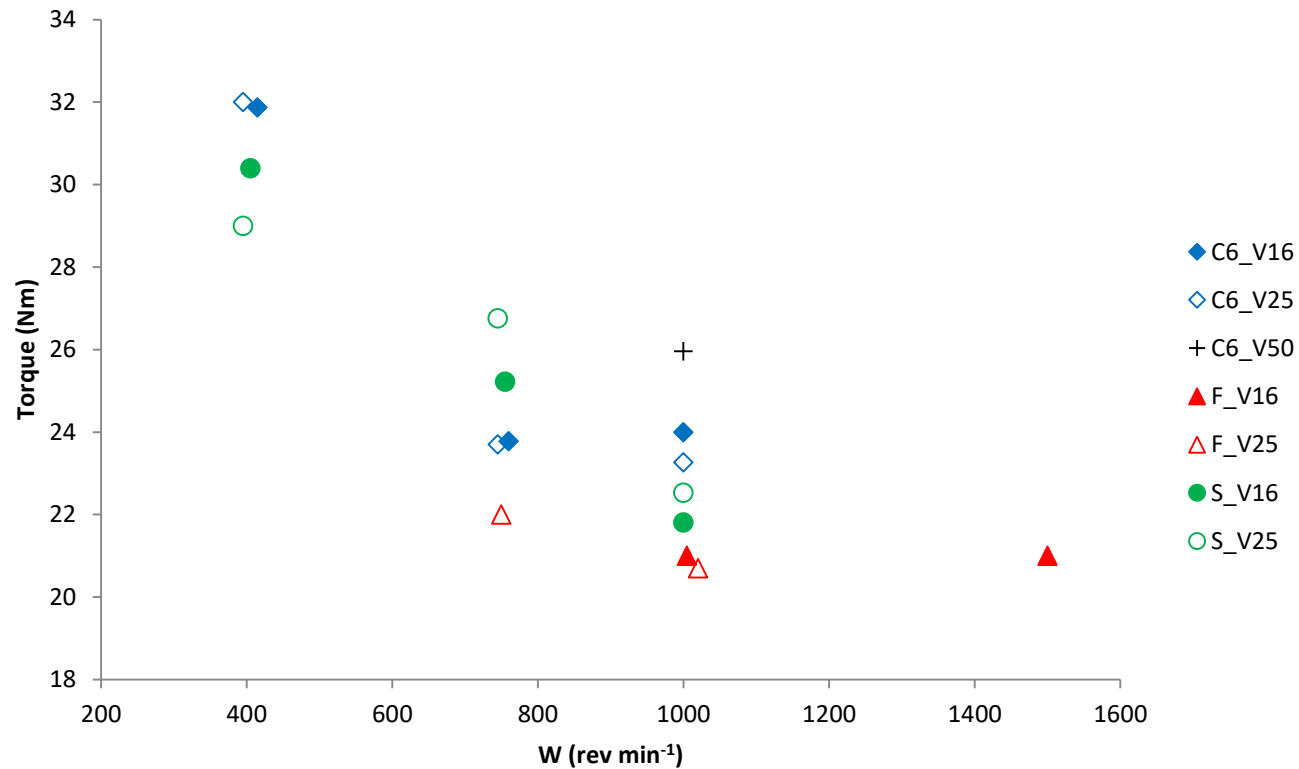
SW4V25
Kissing bond

Tipos de defeitos encontrados nas soldaduras

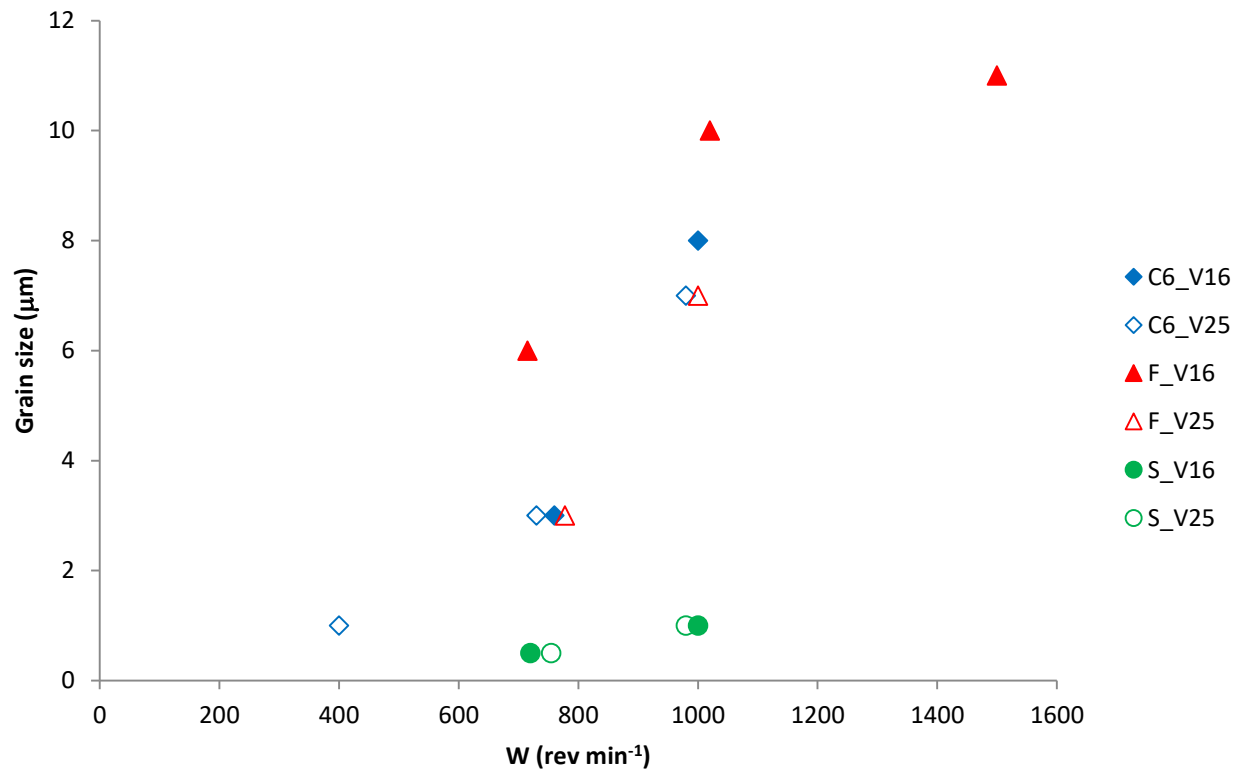
Tool		F	C6	S
W4	V16	-	RD+V	RD+V
	V25	-	RD+V	RD+V
W7.5	V16	RD	RD	WD
	V25	RD	RD+V	WD
W10	V16	RD	WD	WD
	V25	RD	WD	WD

RD – defeito de raiz; V – vazios; WD – sem defeito

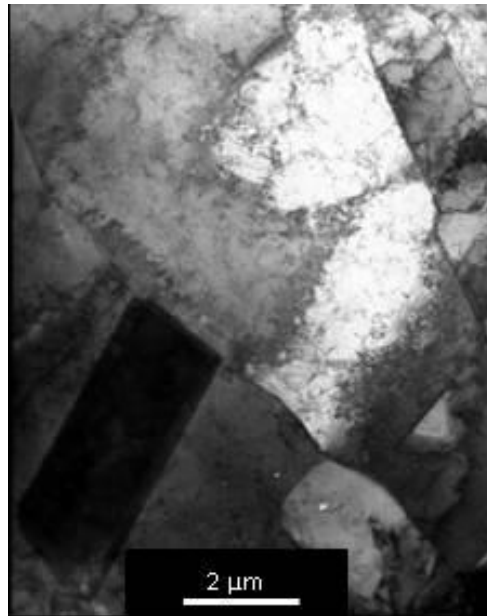
Variação do binário em função da velocidade de rotação e geometria da ferramenta



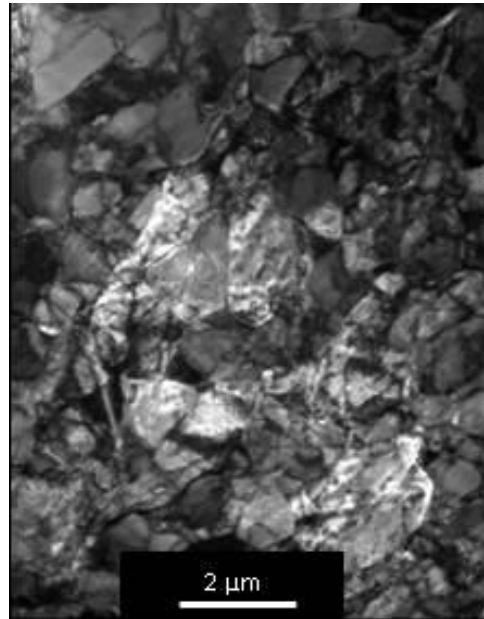
Efeito da velocidade de rotação no tamanho de grão (núcleo)



Tamanho de grão no núcleo

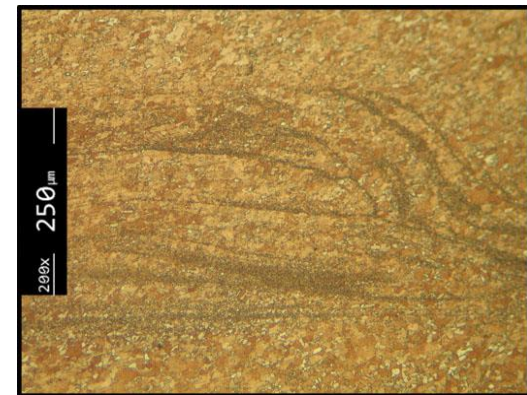


C6W10V16

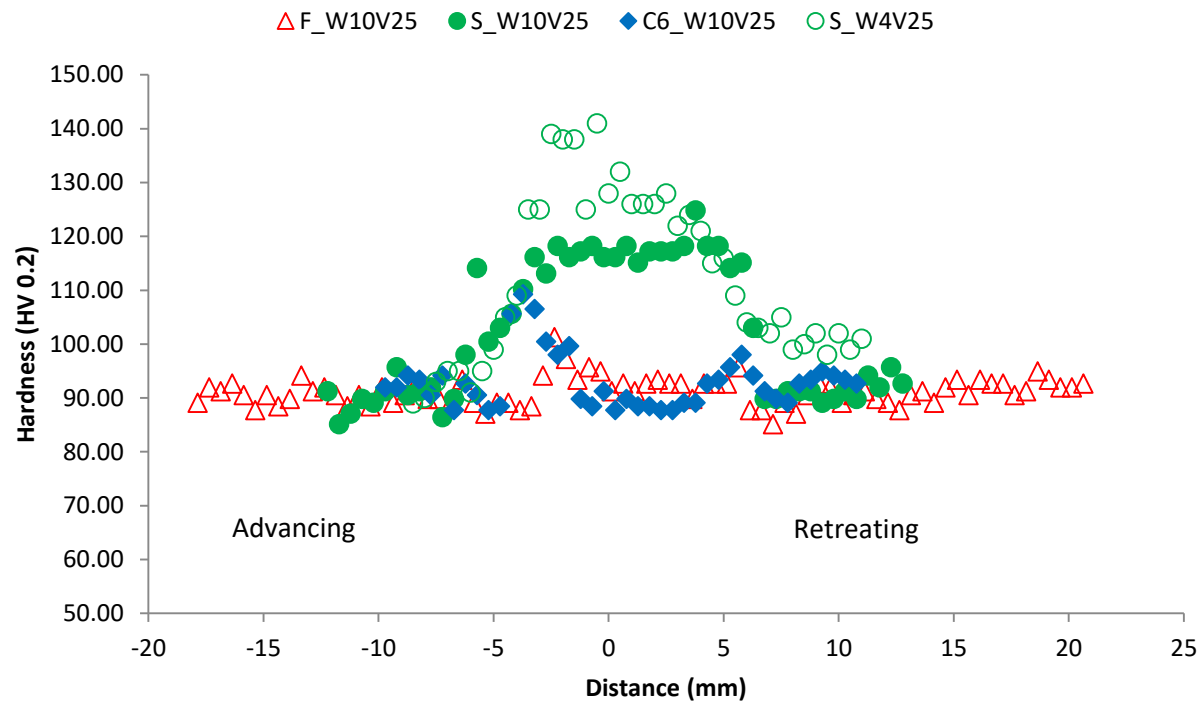


SW10V16

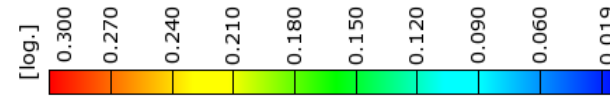
C6W10V25



Dureza na secção transversal das soldaduras



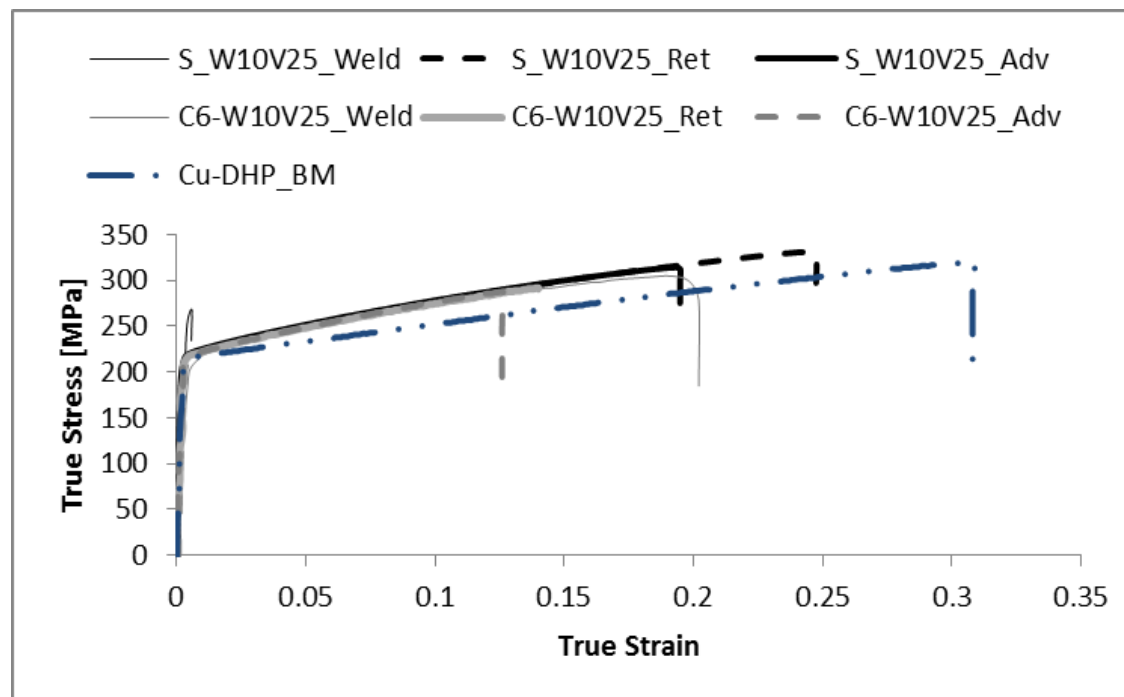
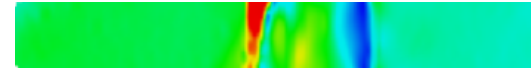
Campos de deformação em provetes de tracção



SW10V25



C6W10V25



Eficiência de soldadura e posição de fractura de provetes de tracção

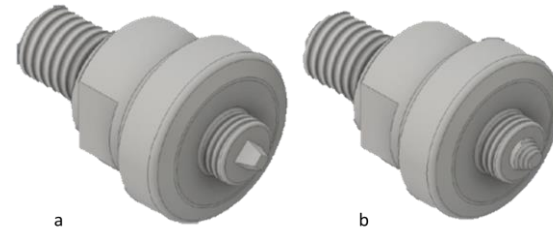
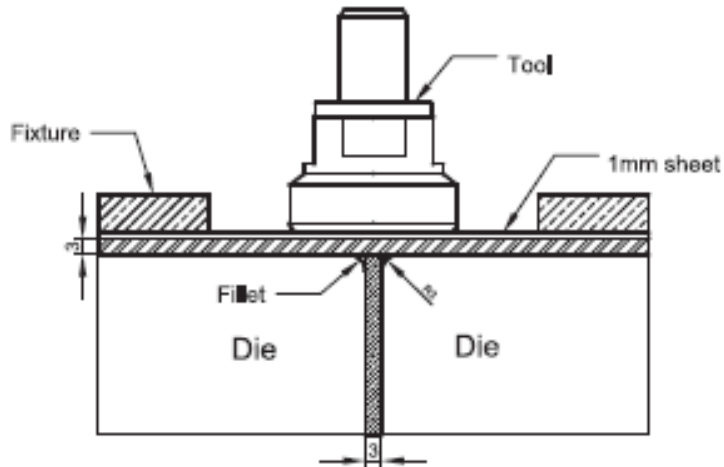
Reference	True Tensile Strength (MPa)	Weld Efficiency	Fracture position
CU-DHP	320	-	-
C6W10V16	287	0.9	TMAZ
C6W10V25	299	0.93	TMAZ
SW10V16	325	1	BM
SW10V25	320	1	BM

Conclusões

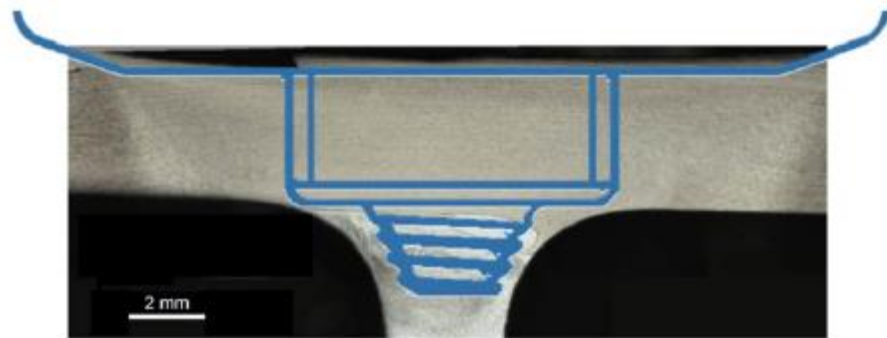
- **A utilização de ferramentas com base estriada previne a formação de defeitos internos;**
- **Mesmo com este tipo de ferramentas é necessário amaciar o material, aumentando a velocidade de rotação da ferramenta, para evitar defeitos;**
- **Ferramentas de base plana produzem defeitos mesmo para velocidade de rotação elevada, devido à incapacidade para arrastar material suficiente, requerendo menor binário que as outras ferramentas;**
- **A ferramenta de base estriada produz soldaduras mais duras e resistentes que a ferramenta de base cónica, devido a refinamento suplementar do grão no núcleo.**

SOLDADURAS DISSIMILARES EM LIGAS DE ALUMÍNIO

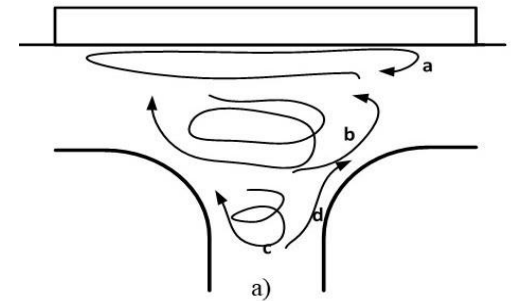
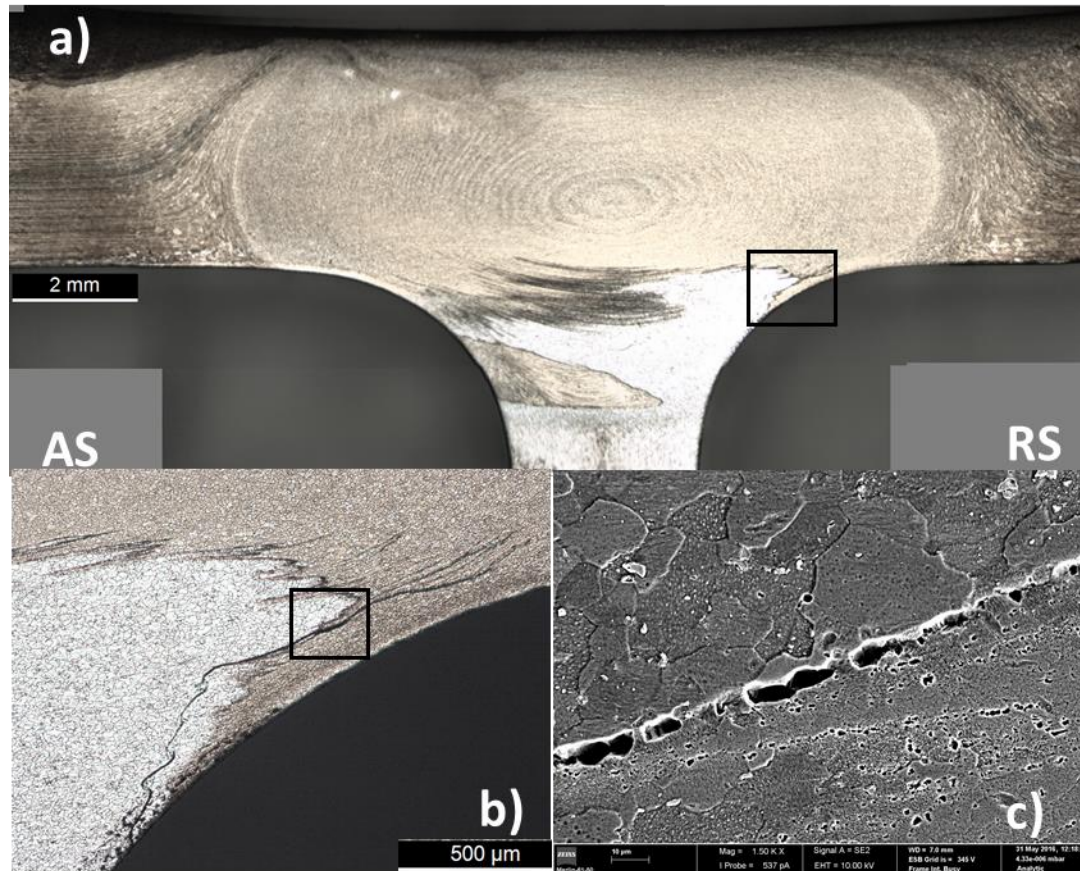
Ligas AA 6082-T6 e AA 5083-H111



Penetração da
ferramenta

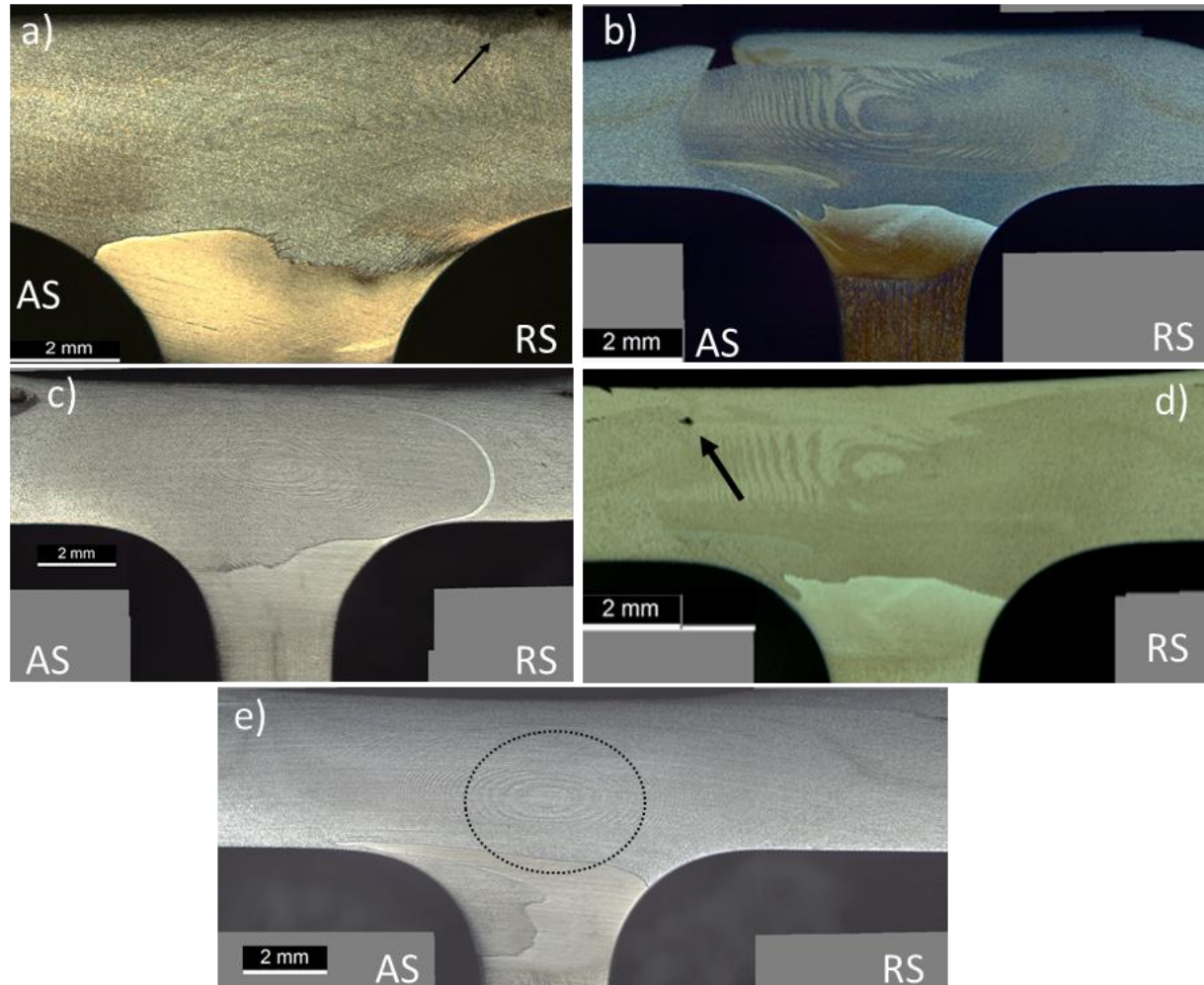


FLUXO DE MATERIAL



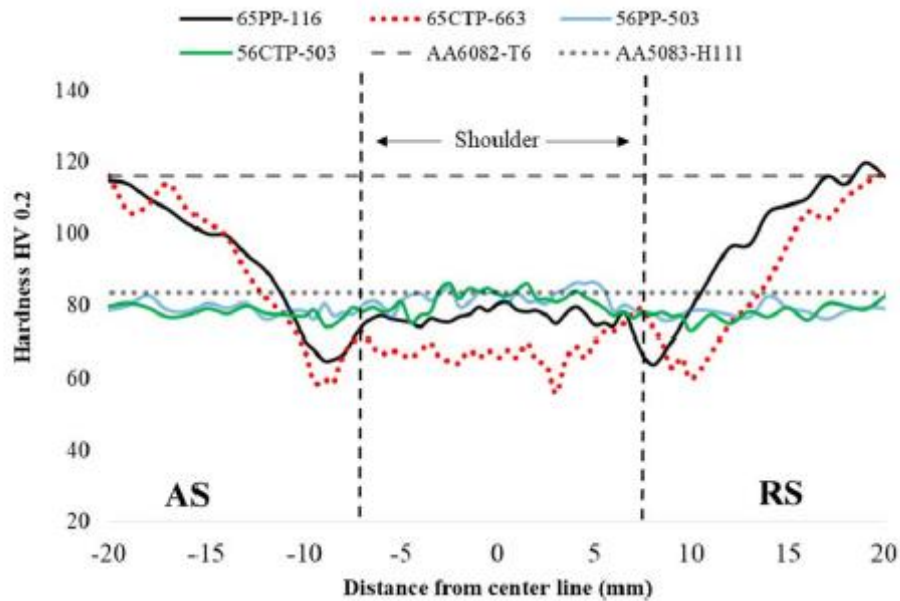
Neves Manuel, Cláudio Silva, José Moreira Domingos da Costa and Altino Loureiro, Friction stir welding of T-joints in dissimilar materials: Influence of tool geometry and materials properties, Mater. Res. Express 6 (2019) 106528

MORFOLOGIA

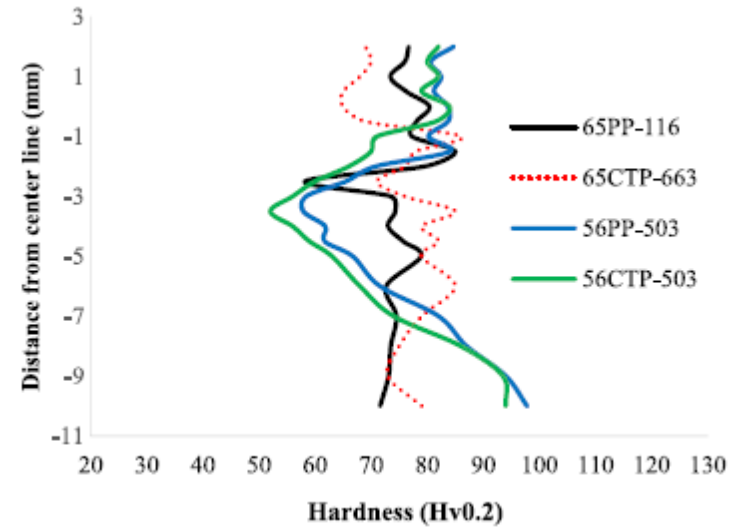


Skin

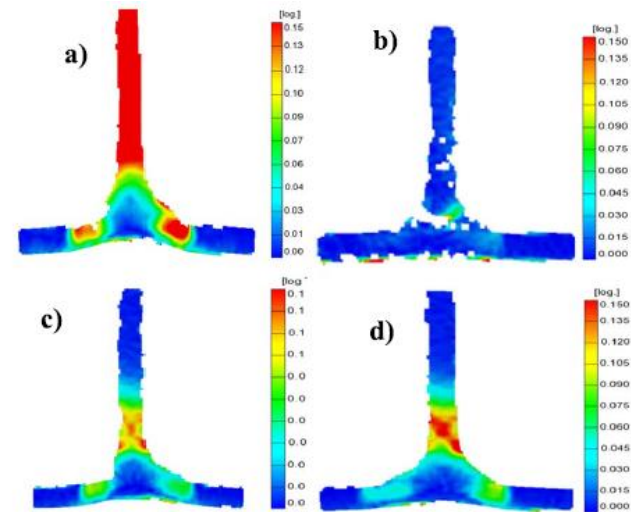
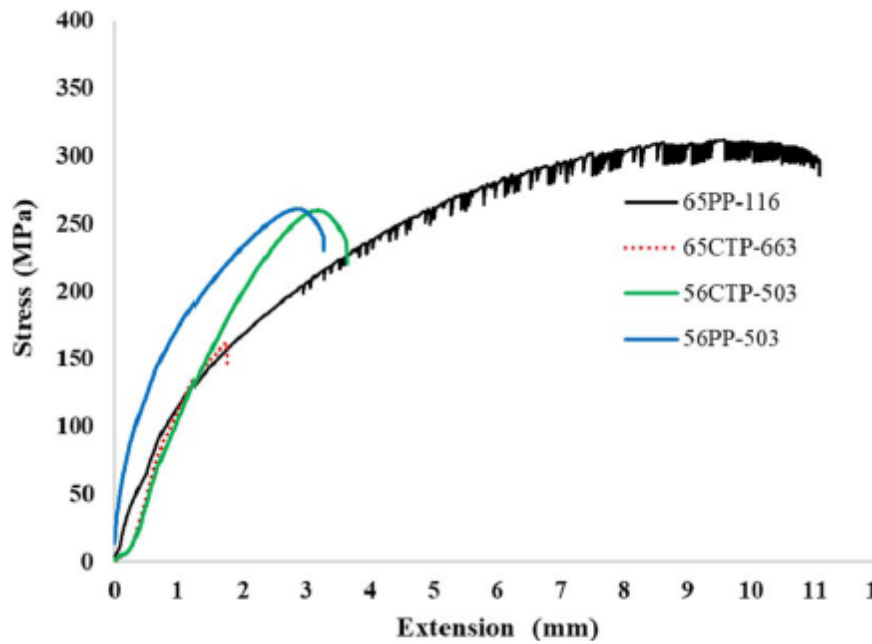
DUREZA



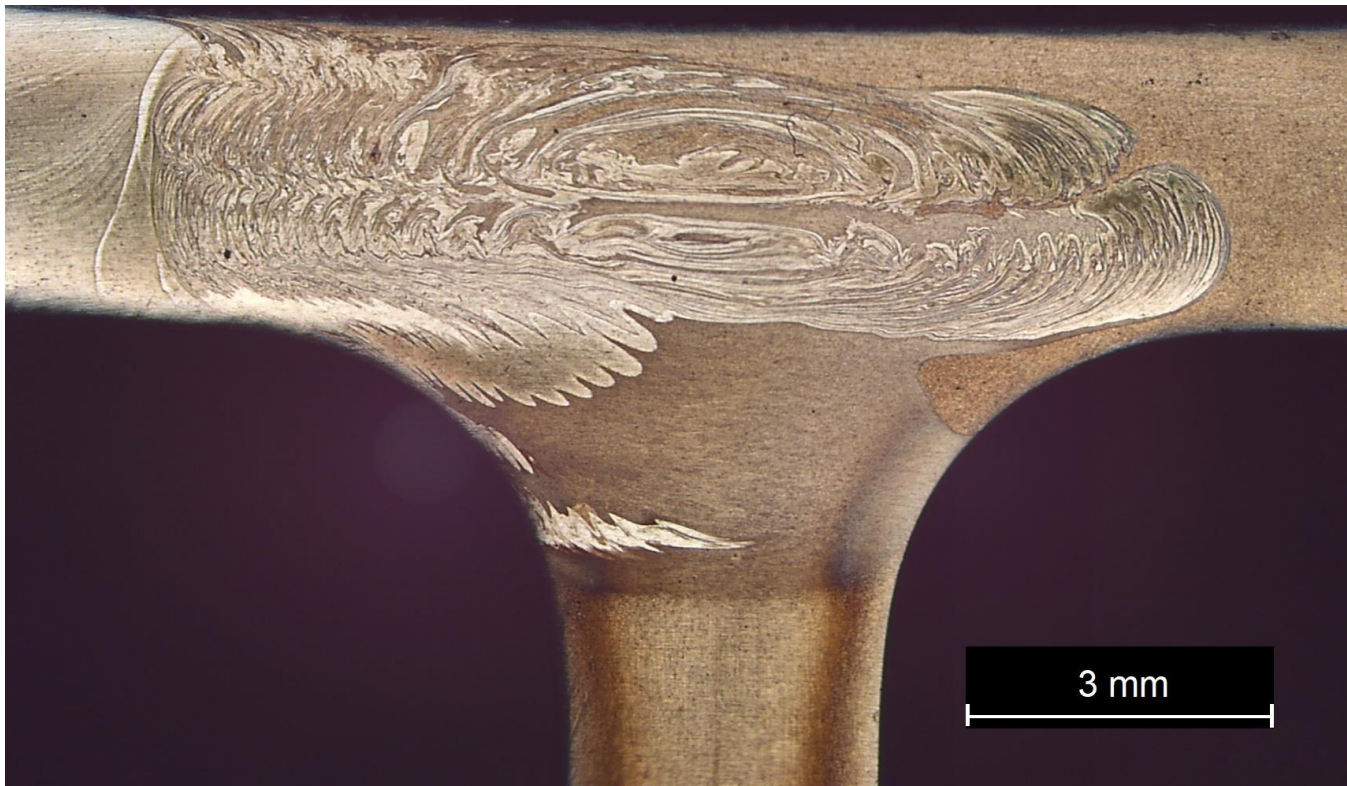
Stringer



Arrancamento



Tridissimilares – AA 6082-T6 + AA 5083-H111 + AA 2017-T4 562-120 (Weck's)



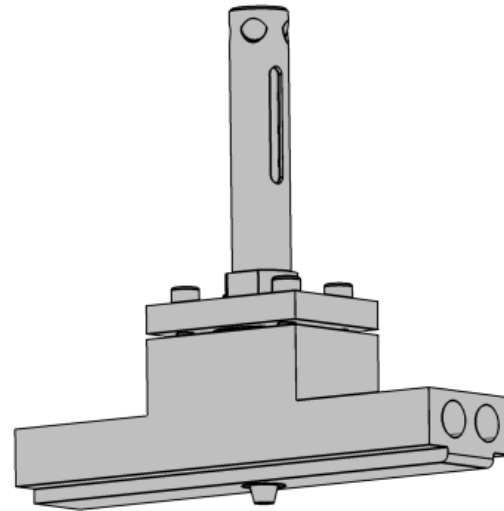


SOLDADURA DE POLÍMEROS

Soldadura de ABS (Acrilonitrilo Butadieno Estireno)

Densidade (g/cm ³)	Resistência (MPa)	Deformação na rotura (%)	Temperatura de transição vítrea (°C)
1.04	40.5	50	105

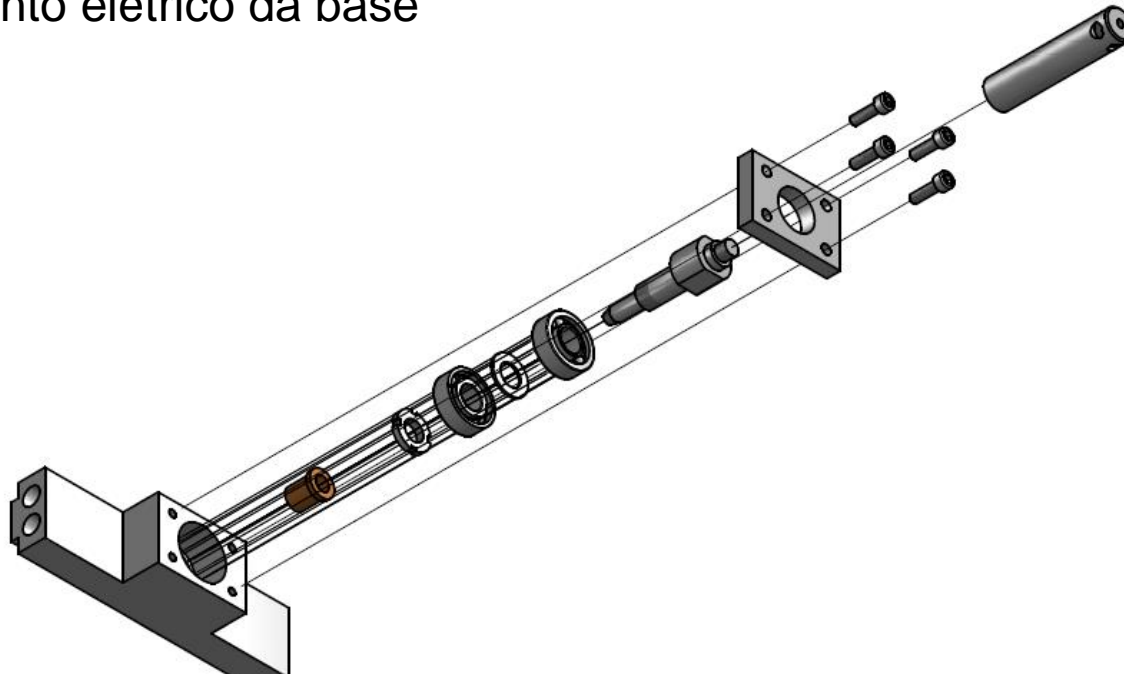
- Ferramenta com base estacionária.
- Com ou sem aquecimento



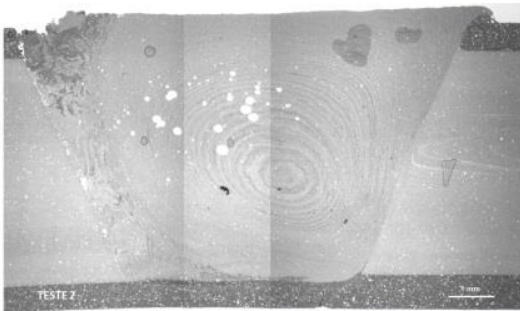
N. Mendes, A. Loureiro, C. Martins, P. Neto, J.N. Pires, Effect of friction stir welding parameters on morphology and strength of acrylonitrile butadiene styrene plate welds, *Materials and Design* 58 (2014), 457–464

Ferramenta

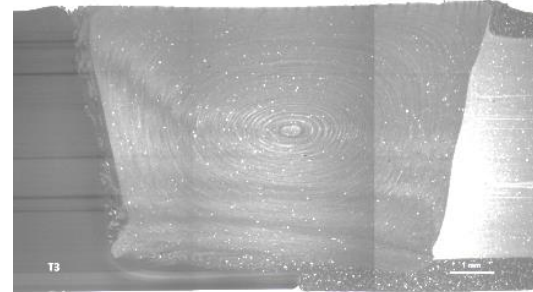
Aquecimento elétrico da base



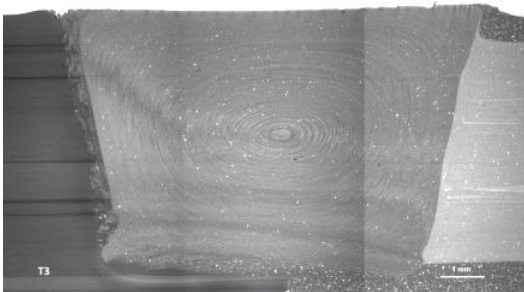
Morfologia de soldadura



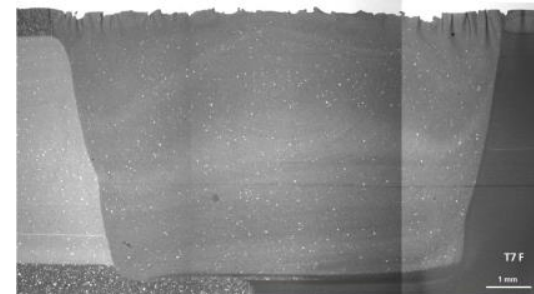
Baixa pressão e veloc. de rotação



Baixa pressão e alta veloc. de rotação

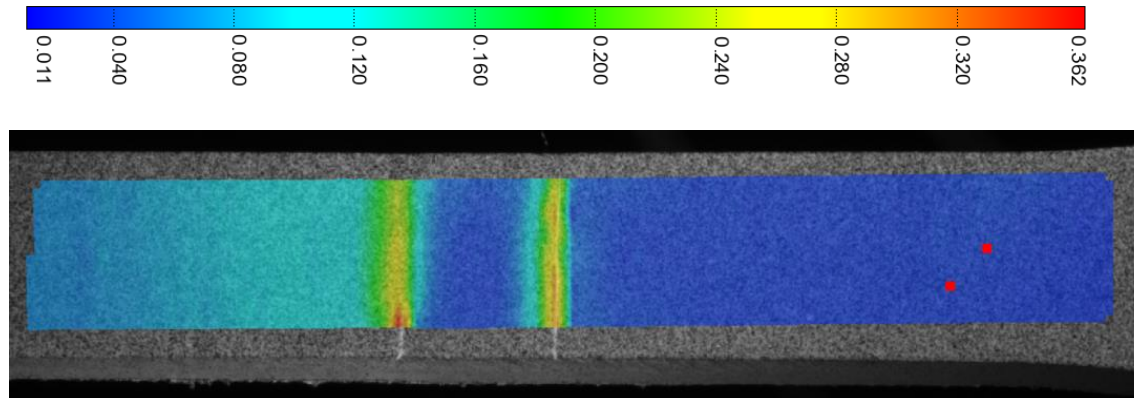


Alta pressão e baixa veloc. de rotação



Alta pressão e alta veloc. de rotação

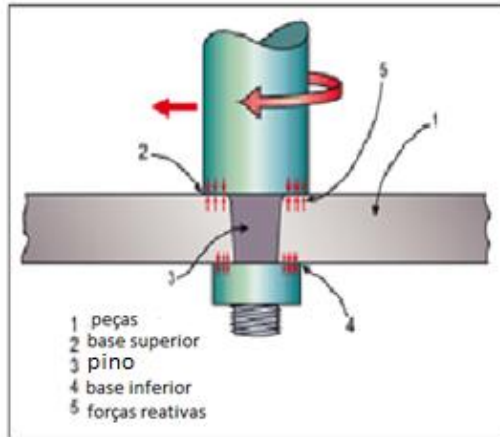
Comportamento à tracção



Eficiências superiores a 60%

Robotização de FSW

Bobbin tool



base superior
diâmetro = 36 mm
base inferior
diâmetro = 30 mm
pino superior
diâmetro = 18 mm
pino inferior
diâmetro = 16 mm
material:
ASTM H13

<https://www.twi-global.com/technical-knowledge/published-papers/the-use-of-bobbin-tools-for-friction-stir-welding-of-aluminium-alloys-august-2009>



<https://www.semanticscholar.org/paper/Simulation-of-friction-stir-welding-using-robots-Bres-Monsarrat/32e272ebfae6d89eb587f4368b3758f628f470f0/figure/7>

APLICAÇÕES



“The World” contém o convés feito por FSW.



<https://www.twi-global.com/technical-knowledge/published-papers/railway-rolling-stock-manufacturers-implement-friction-stir-welding-october-2002>



https://www.google.pt/search?rlz=1C1WPZA_enPT743PT744&biw=1008&bih=615&tbm=isch&q=catamaran+barreiro&sa=X&ved=0ahUKewihu8bV3s7WahVmBcAKHYZWBEYQhyYIKA#imgrc=63pjEEUX2J0U4M



<https://www.twi-global.com/technical-knowledge/published-papers/friction-stir-weld-integrity-and-its-importance-to-the-rolling-stock-industry/>

Aerospace industry

Space Shuttle external tank

https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Space_Shuttle_external_tank_assembly_06.jpg



Orion Spacecraft

<https://www.lockheedmartin.com/us/news/press-releases/2015/september/space-em1-orion.html>



Obrigado pela atenção

altino.loureiro@dem.uc.pt