ESTUDO DA ZAC

TRINCAS DE REAQUECIMENTO
DECOESÃO LAMELAR

***- S. Kou / ***Cap. 17 Transformation-Hardening Materials: Carbon and Alloy Steels
-***Bailey /*** Cap. 4 e 6 Lamellar Tearing e Reheat Cracking

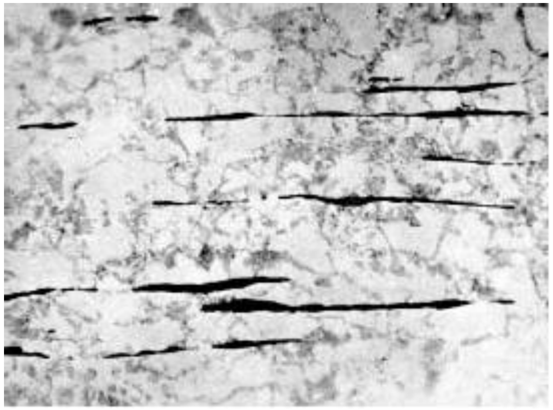
- **Mestrados** de Yasunobu Aihara e Alaor R. Amaral / Posmec
- **Artigos** diversos (Hornbogen e Kreye, Tenckhoff etc)

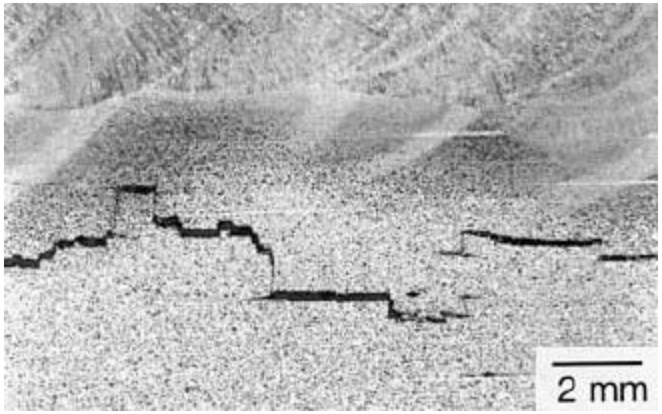
ZAC AÇOS BAIXA LIGA

TABLE 17.1 Typical Welding Problems and Practical Solution in Carbon and Alloy Steels, and Their Locations in the Text

Typical Problems	Alloy Types	Solutions	Locations
Porosity	Carbon and low-alloy steels	Add deoxidizers (Al, Ti, Mn) in filler metal	3.2 3.3
Hydrogen cracking	Steels with high carbon equivalent	Use low-hydrogen or austenitic stainless steel electrodes Preheat and postheat	3.2 17.4
Lamellar tearing	Carbon and low-alloy steels	Use joint designs that minimize transverse restrain Butter with a softer layer	17.6
Reheat cracking	Corrosion and heat-resisting steels	Use low heat input[a] to avoid grain growth Minimize restraint and stress concentrations Heat rapidly through critical temperature range, if possible	17.5
Solidification cracking	Carbon and low-alloy steels	Keep proper Mn/S ration	11.4
Low HAZ toughness due to grain growth	Carbon and low-alloy steels	Use carbide and nitride formers to suppress grain growth Use low heat input[a]	17.2 17.3
Low fusion-zone toughness due to coarse columnar grains	Carbon and low-alloy steels	Grain refining Use multipass welding to refine grains	7.6 17.2

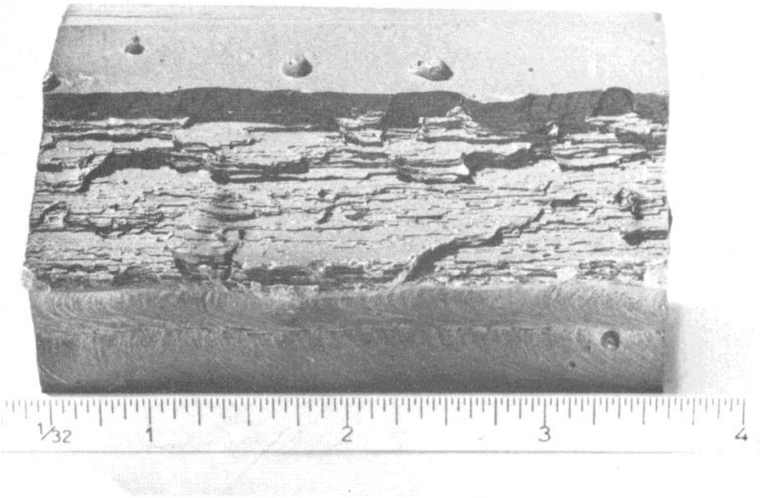
S. Kou



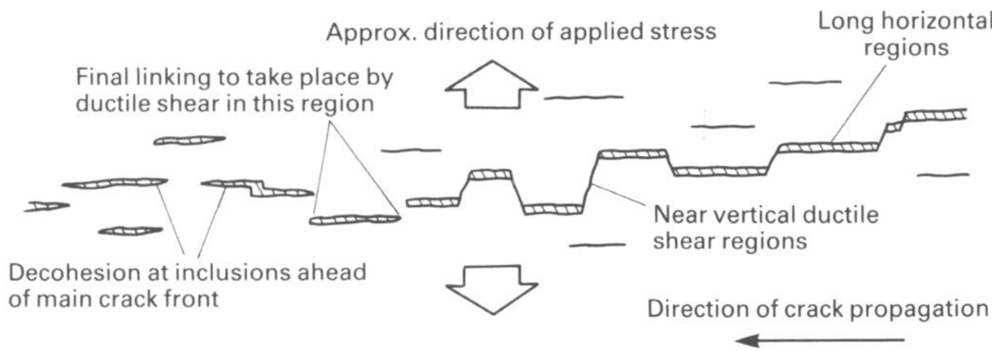


Microstructure of a lamellar-tearing susceptible steel.

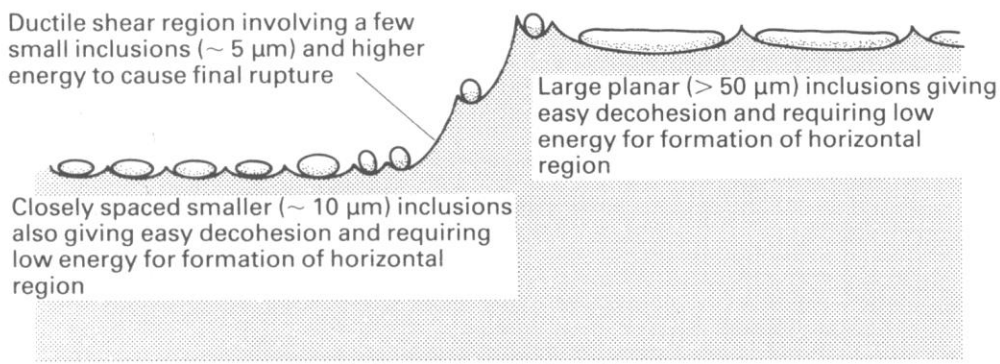
Lamellar tearing near a C–Mn steel weld.



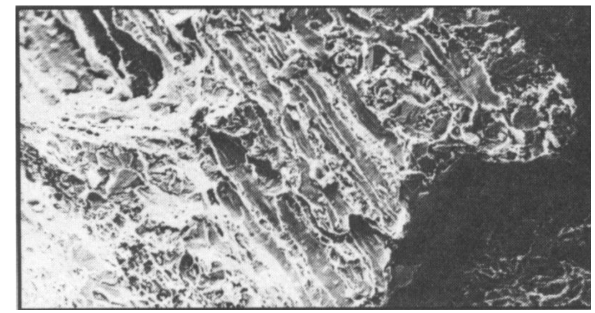
Decoesão Lamelar

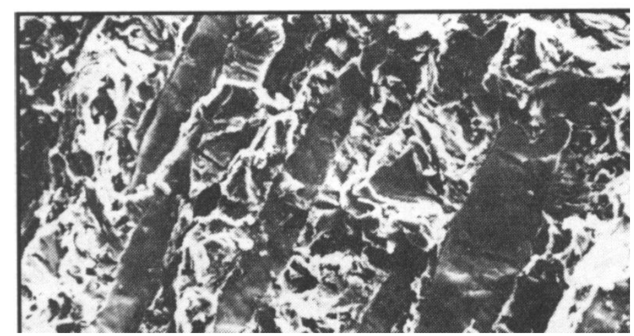


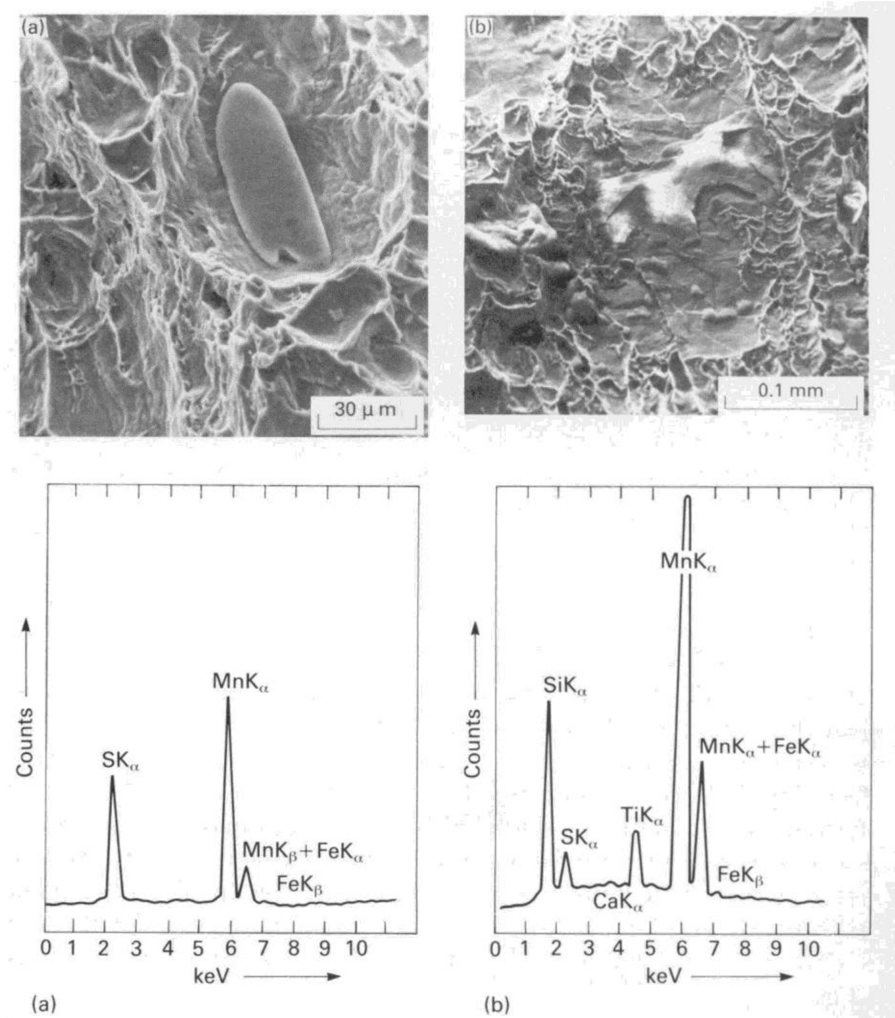
Schematic diagram of a lamellar tear illustrating principal features



Detail of a portion of a lamellar tear







S > 0.01% ....provável

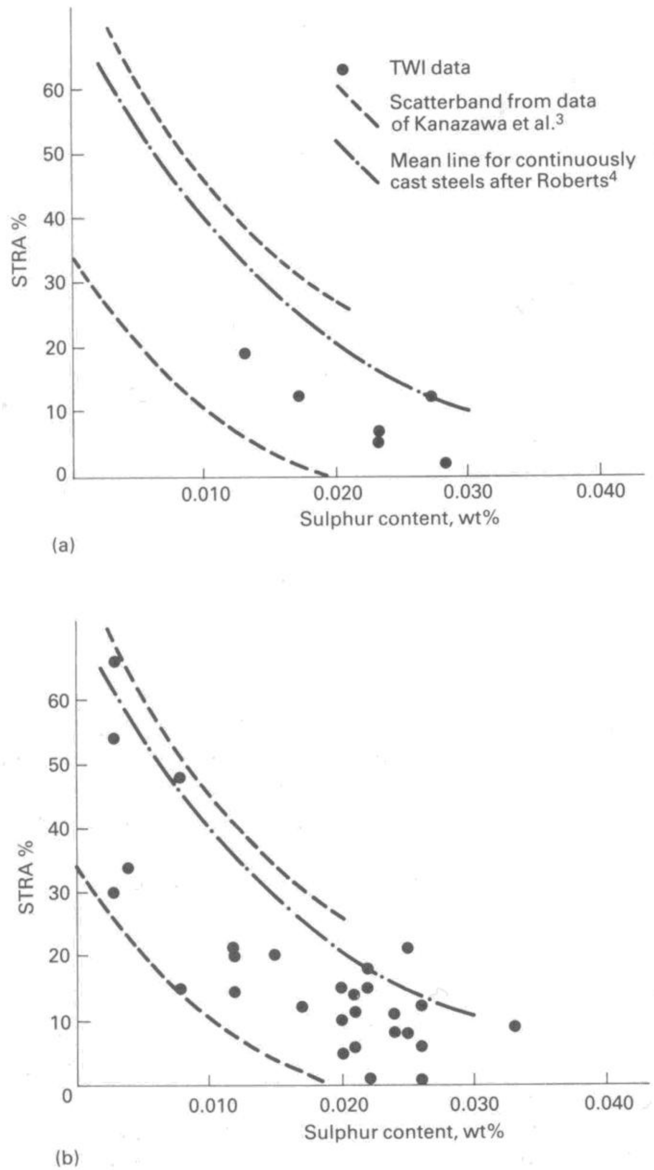
S < 0,01% ...baixo risco

S ~ 0,003% ...sem risco

Inclusões típicas associadas com decoesão lamelar e espectro de EDS

a) Tipo I MnS

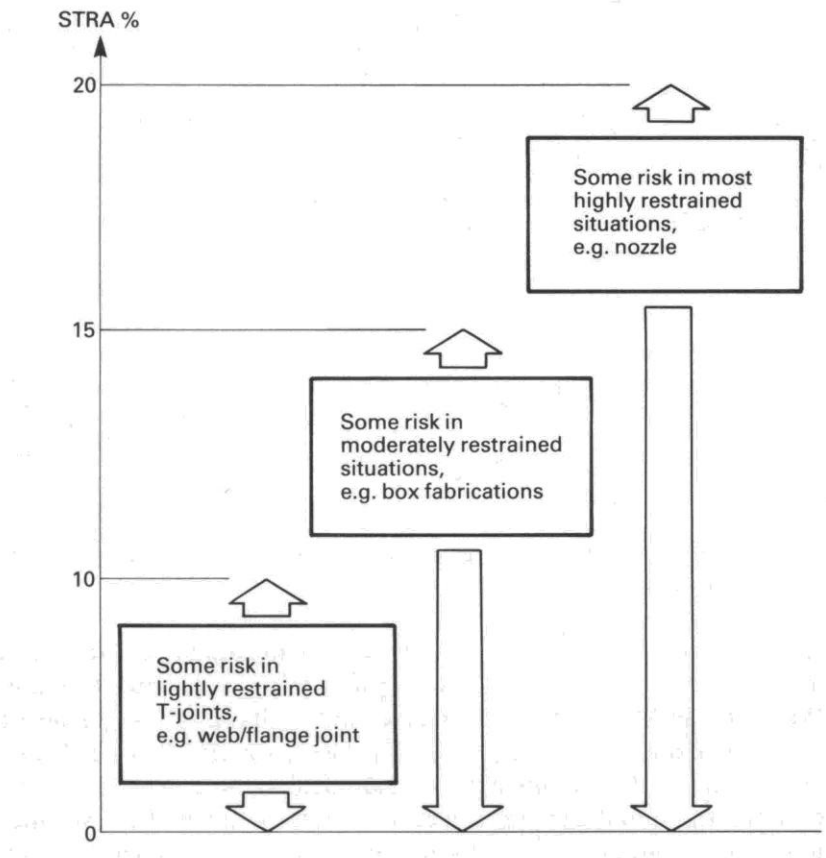
b) silicato complexo



Influência do teor de S no aço base sobre a estricção em z

a) Chapa com espessura < 12,5 mm

b) Espessura 12,5 a 50 mm



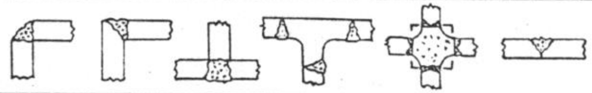
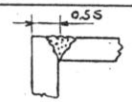
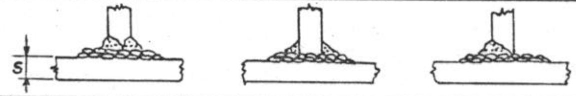
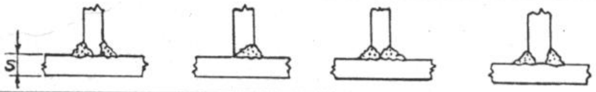
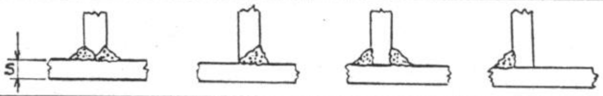
Risco de decoesão lamelar em função da estricção em z

DECOESÃO LAMELAR RECOMENDAÇÕES PARA SELEÇÃO DA CLASSE DE AÇO (SEL096)			
RDL	Grau de Qualidade	Estrição em Z Média	 Mínimo
até 10	-	-	-
11 a 20	1	15	10
21 a 30	2	25	15
>30	3	35	25

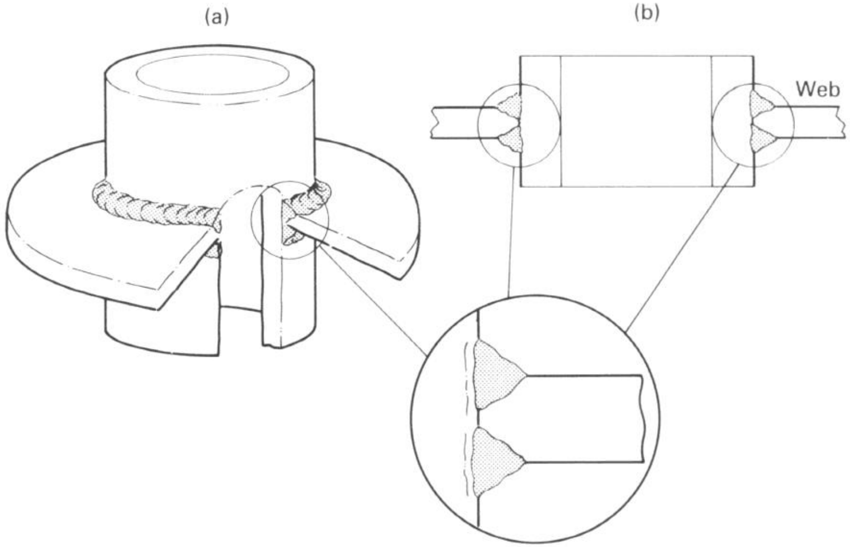
RISCO DE DECOESÃO LAMELAR

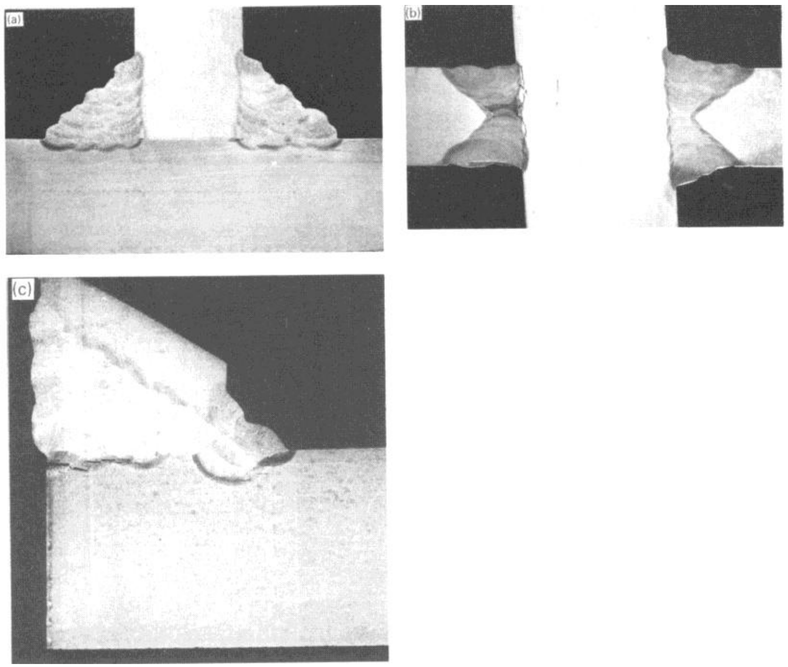
RDL = INF (A) + INF (B) + ...+ INF (E)

Decoesão Lamelar

Fator de influência (INF)				
A	Espessura efetivo do cordão. a_D (1)	$a_D \le 10$ mm	3	
		$10 < a_D \le 20$ mm	6	(2)
		$20 < a_D \le 30$ mm	9	(3)
		$30 < a_D \le 40$ mm	12	
		$40 < a_D \le 50$ mm	15	
B	Configuração da junta.		-25	
			-10	
			-5	
			0	
			3	
			5	
			8	
C	Espessura da chapa solicitada na direção da espessura. - s -	$s \le 10$ mm	2	
		$10 < s \le 20$ mm	4	
		$20 < s \le 30$ mm	6	(3)
		$30 < s \le 40$ mm	8	
		$40 < s \le 50$ mm	10	
		$50 < s \le 60$ mm	12	
D	Condições de restrição.	Baixo: - Possibilidade de livre contração ex: Junta em T.	0	
		Médio: - Restrição parcial à contração ex: Junta cruciforme.	3	
		Alto: - Alta restrição à contração ex: Junta nodal.	5	
E	Préaquecimento.	Sem préaquecimento	0	
		Préaquecimento acima de 100 °C	-8	

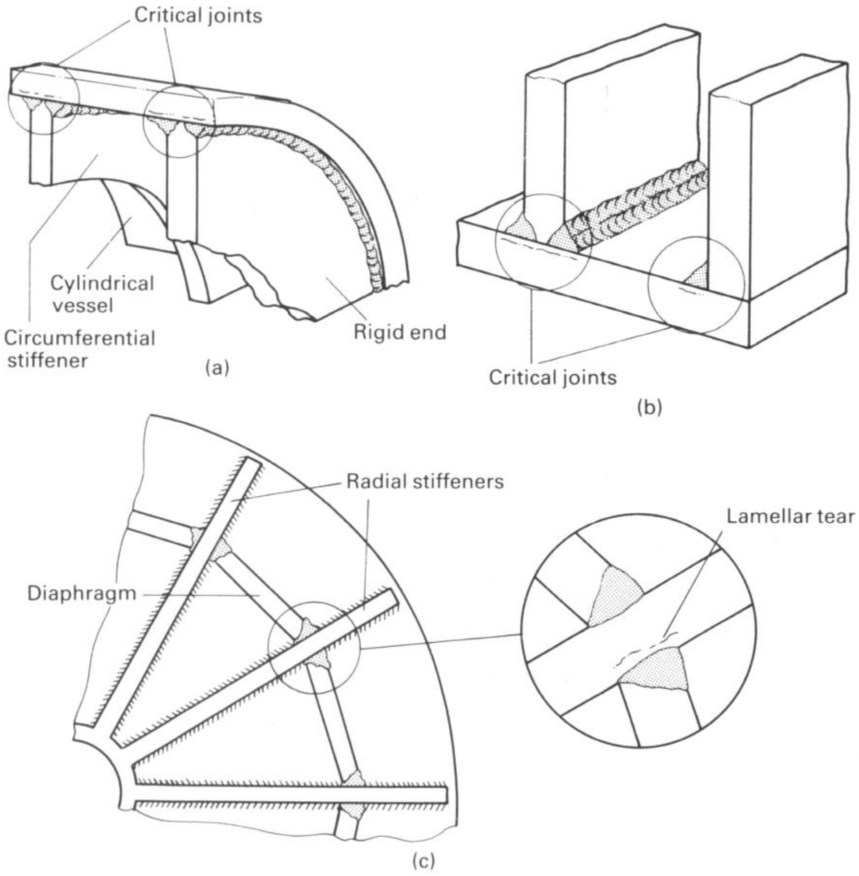
Decoesão Lamelar





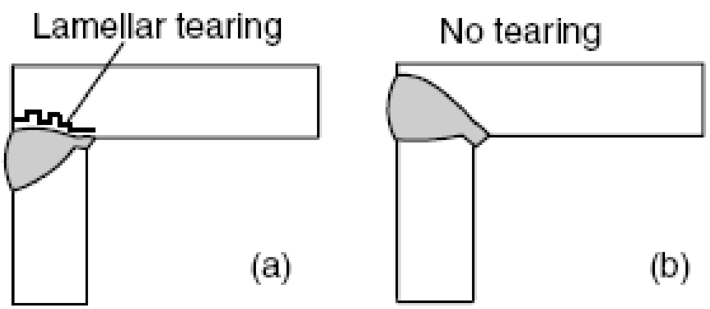
Juntas soldadas susceptíveis

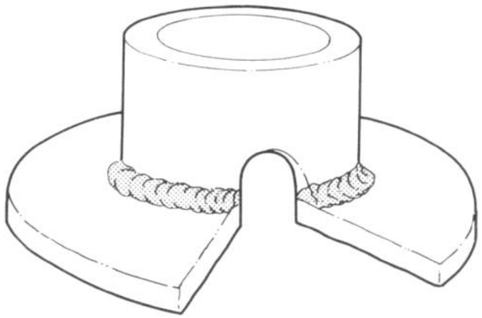
Decoesão Lamelar



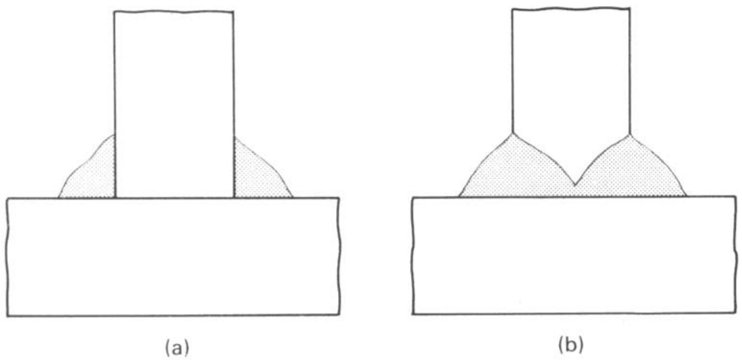
Juntas soldadas susceptíveis

Soluções de Projeto

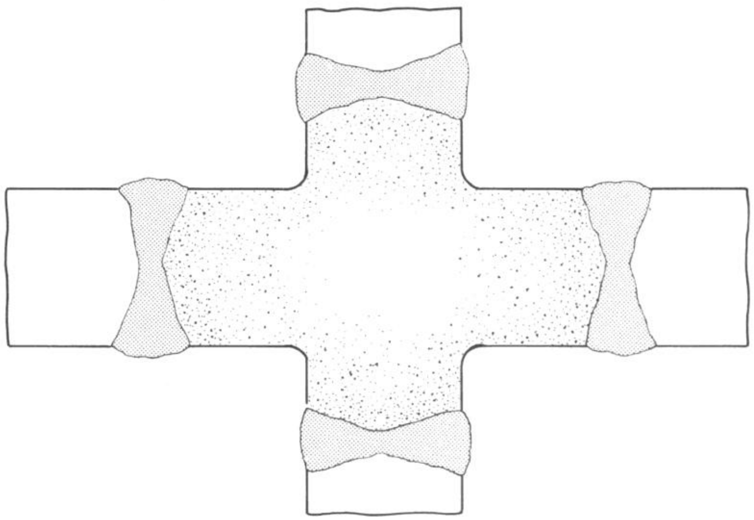




Lamellar tearing of a corner joint:
(a) improper design; (b) improved design.



Juntas em T filete (a) menos susceptíveis que de tôpo (b)



Decoesão Lamelar

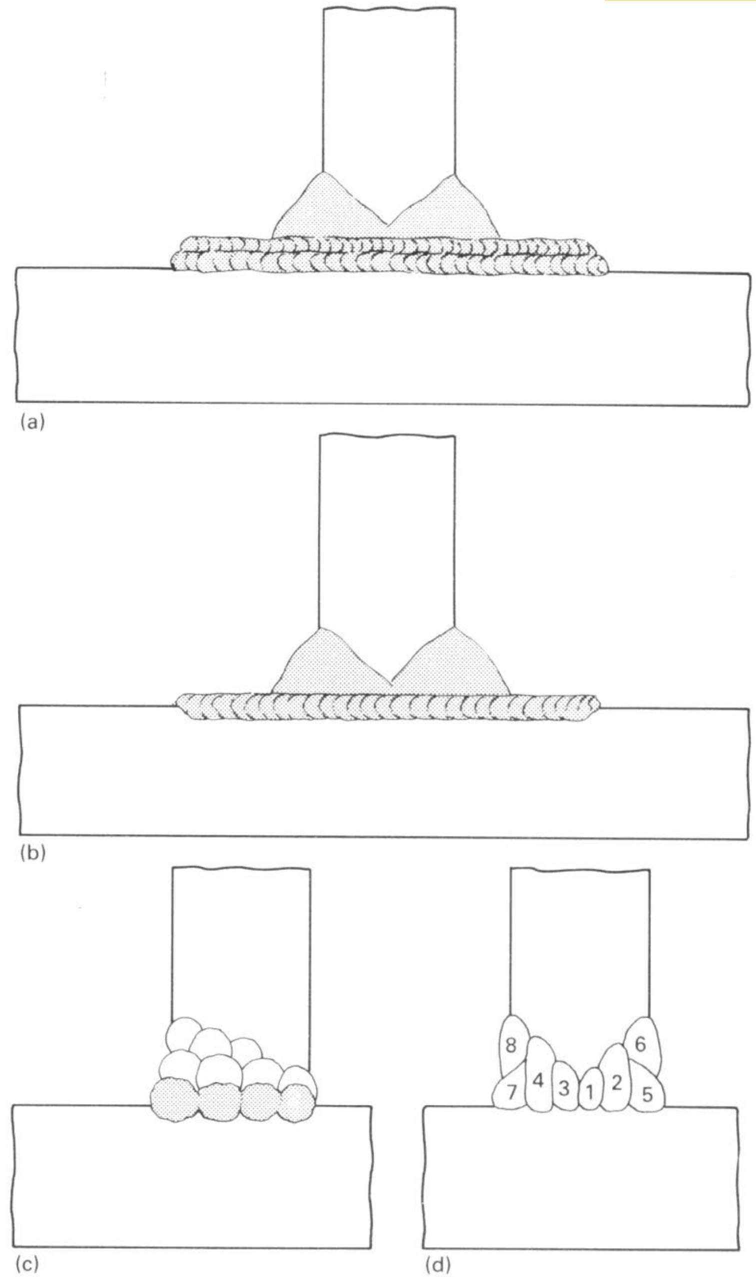
Risco reduzido por:

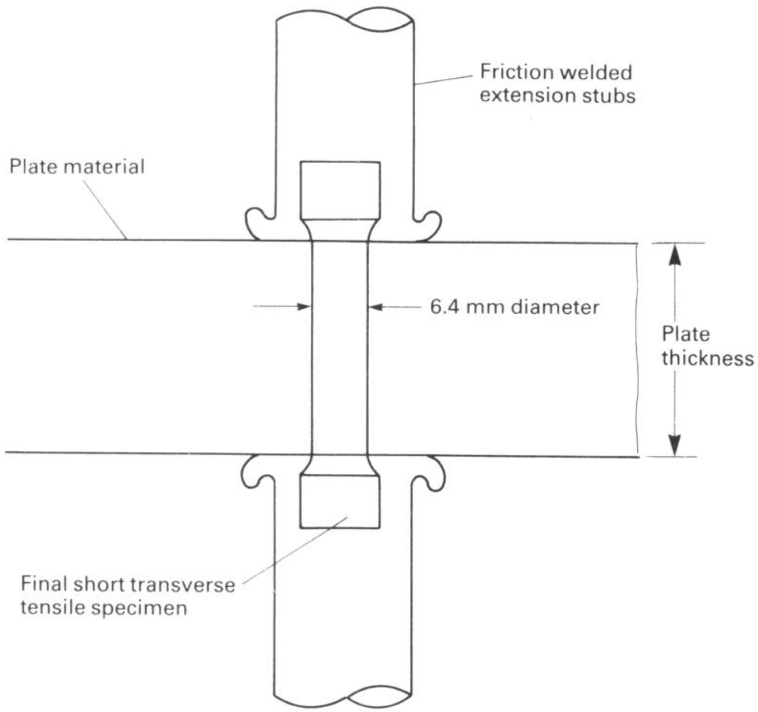
a) Amanteigamento

b) Remoção de material susceptível e amanteigando

c) Amanteigamento *in situ*

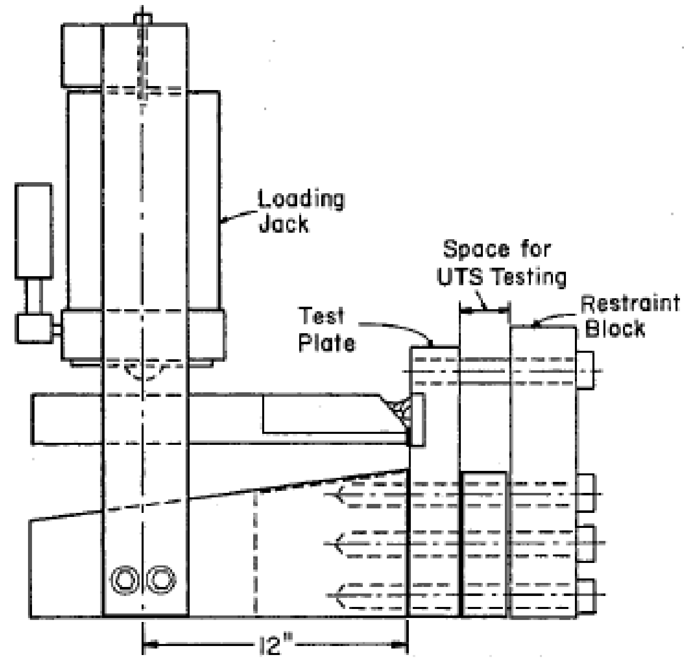
d) Balanceando sequência de soldagem quando decoesão provém de raiz de solda original do tipo (c).





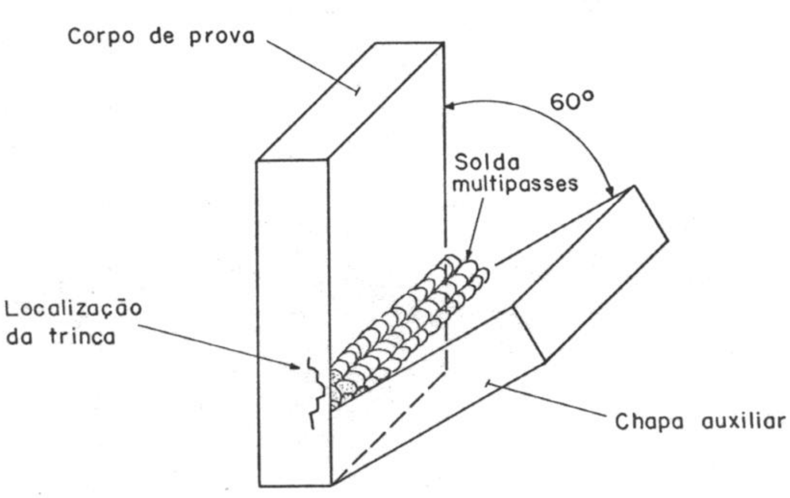
Ensaio Indireto

Tração p/ estricção-z

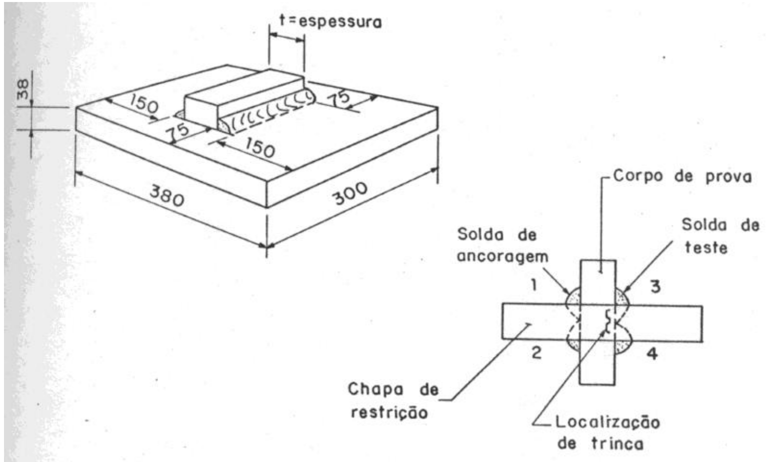


Ensaio Direto Quantitativo

The Lehigh cantilever lamellar tearing test.



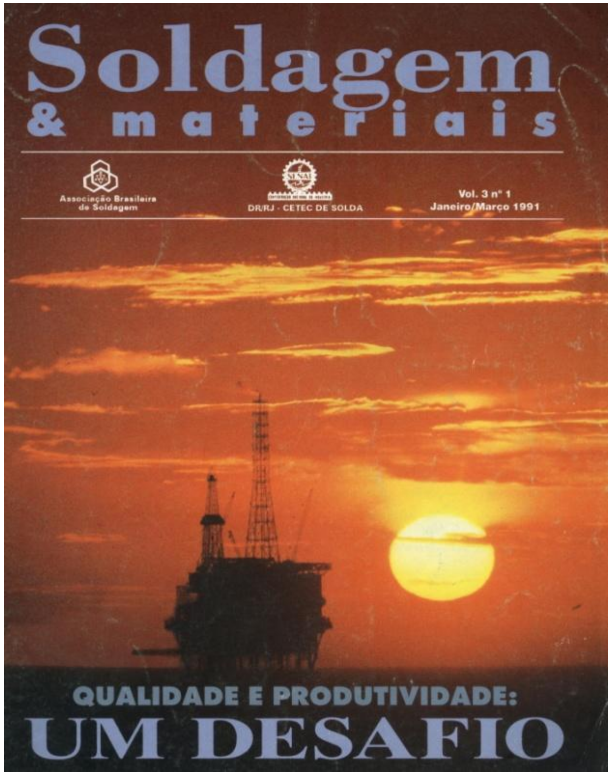
Ensaio de Cranfield



Ensaio da "Janela"

Ensaios Diretos Qualitativos

Decoesão Lamelar

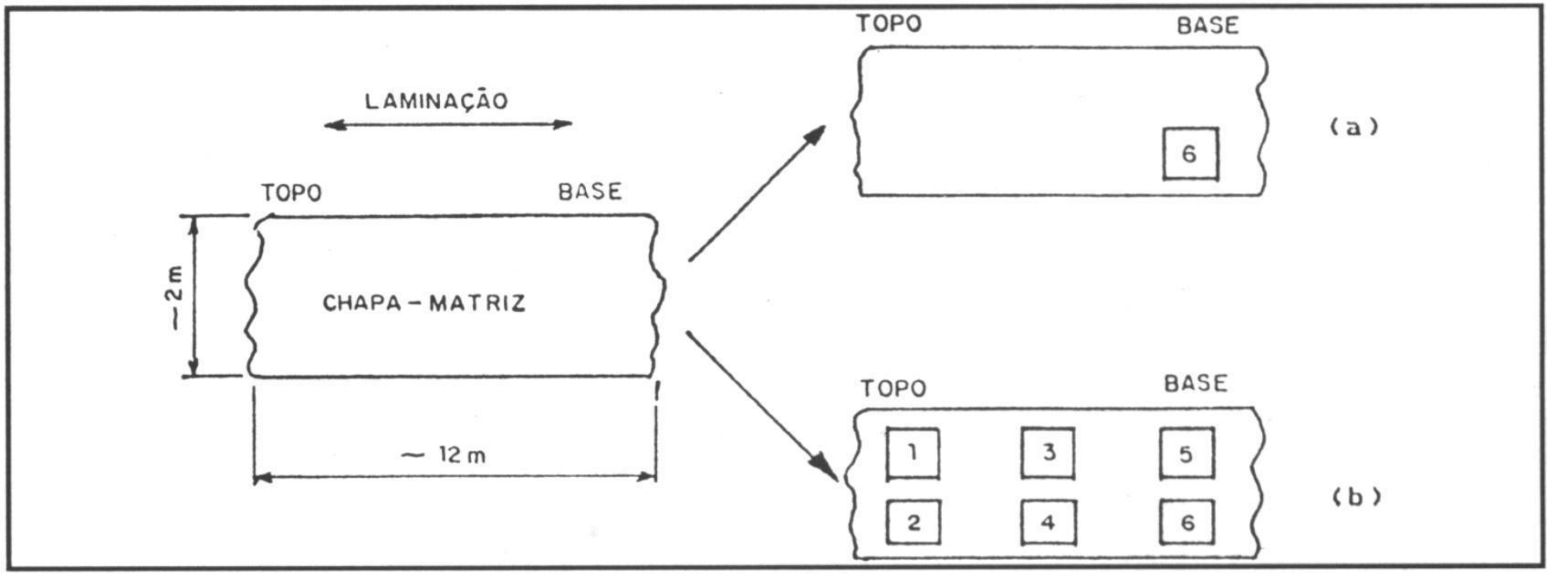


SUPLEMENTO DE PESQUISA

AVALIAÇÃO QUANTITATIVA DA DECOESÃO LAMELAR E CRITÉRIO DE AMOSTRAGEM

Y. AIHARA
A. J. A. BUSCHINELLI

Decoesão Lamelar



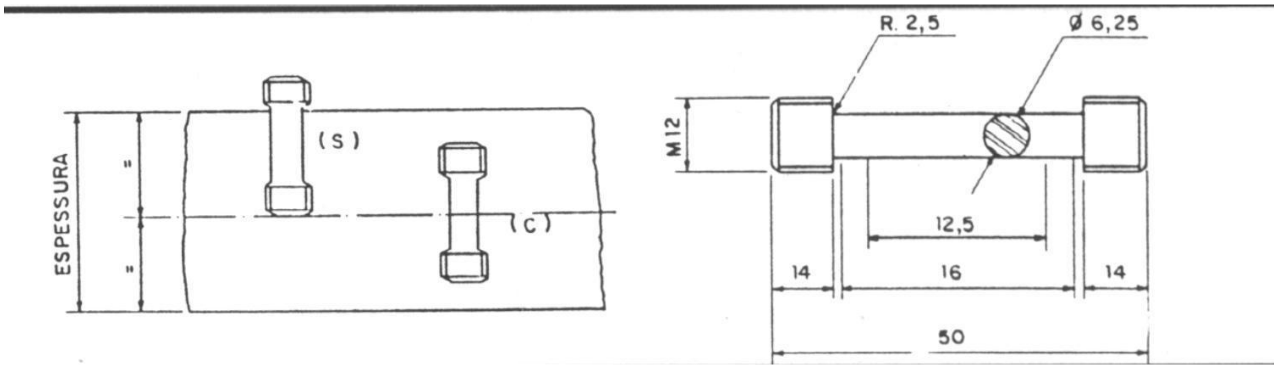
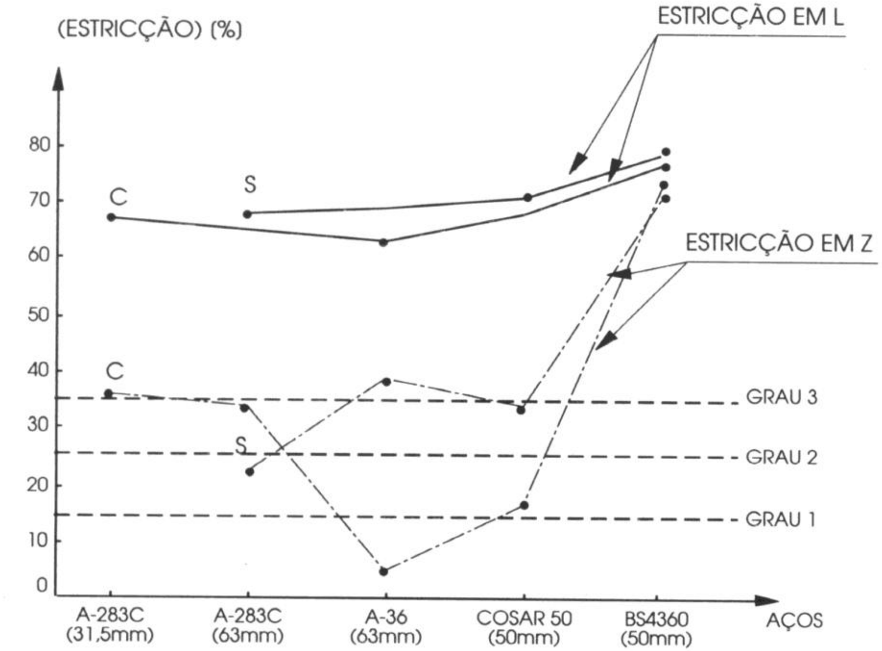
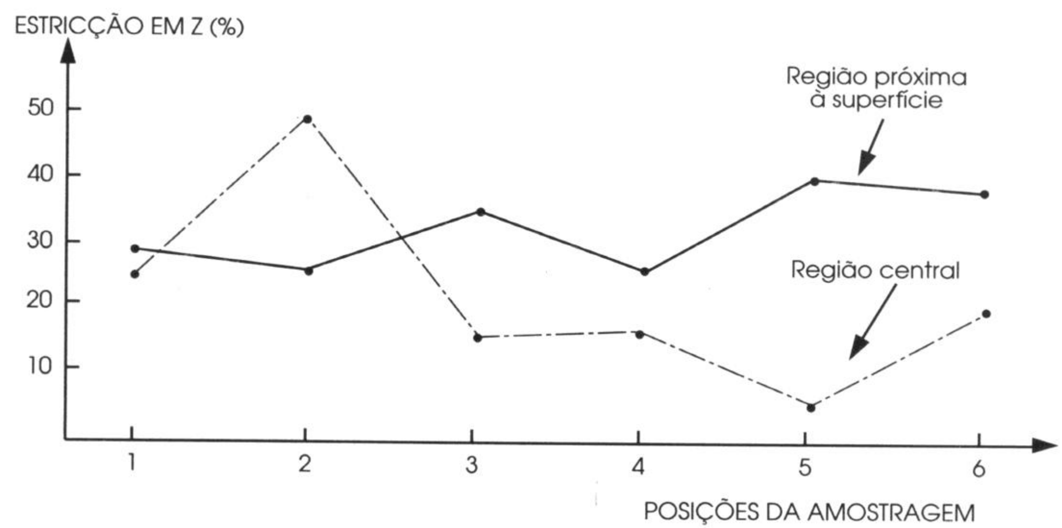


TABELA 1 - Características dos Aços Conforme Fabricante

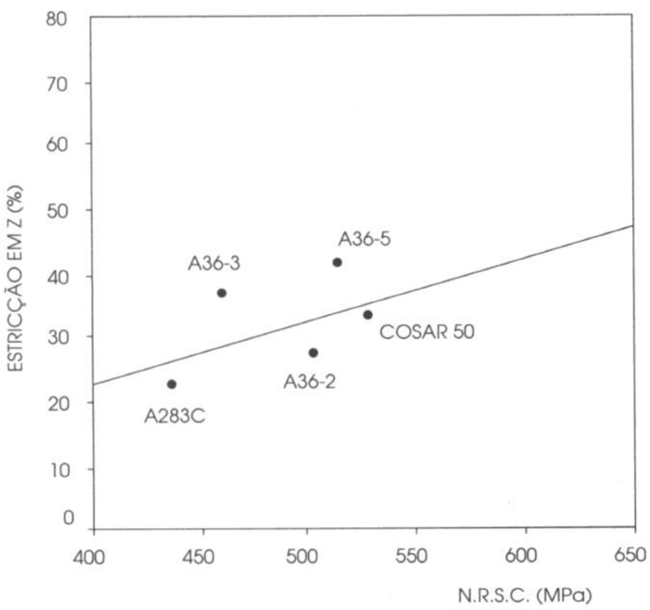
material	A-283C	A-283C	A-36	COSAR50	BS4360
esp. (mm)	31.5	63	63	50	50
L.E. (MPa)	258	—	328	375	405
LR (MPa)	414	—	498	530	516
A (Lo-50mm)	29	—	32	32	30
laminação	conv.	conv.	con.	control.	conv.
t. térmico	—	—	—	—	normal.
deso (AL-SI)	s.acalm.	s.acalm.	acalmado	acalmado	acalmado

Decoesão Lamelar

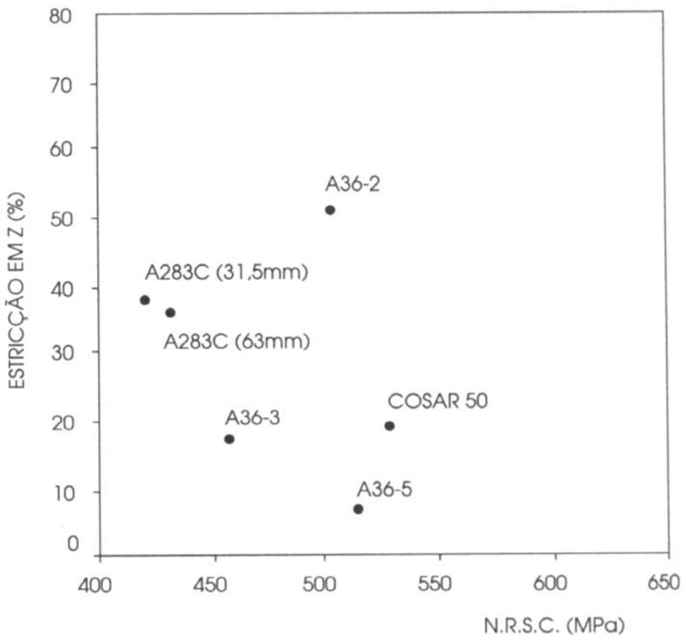




Correlação resultados da **estricção em z** e o **NRSC do ensaio de Lehigh**



a) região próxima à superfície



b) Região central da chapa

CONCLUSÕES

1. Excessiva variação da estricção-z ao longo da espessura exige amostragem seletiva → o método do IIW para espessuras maiores que 25mm pode não ser representativo.
2. Existe boa correlação entre o NRSC do ensaio de Lehigh e a estricção-z medida seletivamente junto à superfície da chapa.
3. O local de amostragem na chapa matriz é relevante → para aço acalmado A-36 foram medidas variações da ordem de 900% na estricção-z da região central da espessura!

TRINCAS DE REAQUECIMENTO OU ALÍVIO DE TENSÕES

Histórico

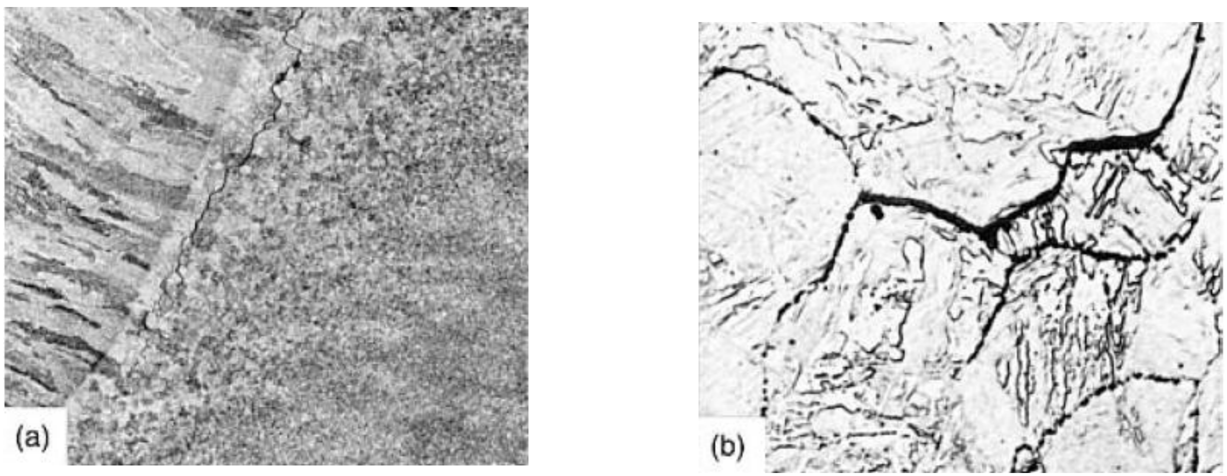
Anos 60 → trincas em tubos de aço AISI 347 em termoelétricas no Canadá

70/80 → trincas sob revestimento inox em vasos de pressão em reatores nucleares PWR

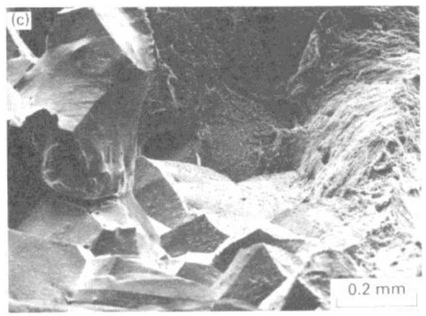
90 → trincas em aços Cr-Mo (<3%Cr)

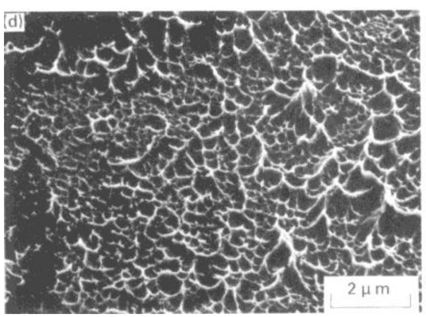
Características

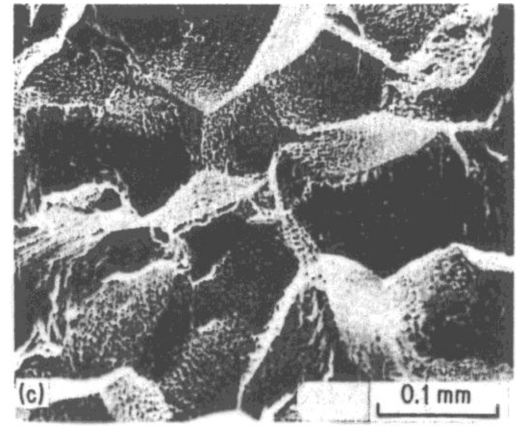
Microtrincas intergranulares na ZAC-GG → risco de fragilização !!!



Trincas de reaquecimento em aço CrMoV: (*a) macroestrutura* (35x); (*b) microestruture (1000x).*







Microdimples indicando **fratura pseudo-intercristalina** *Hornbogen & Kreye*

Aspecto típico das trincas:

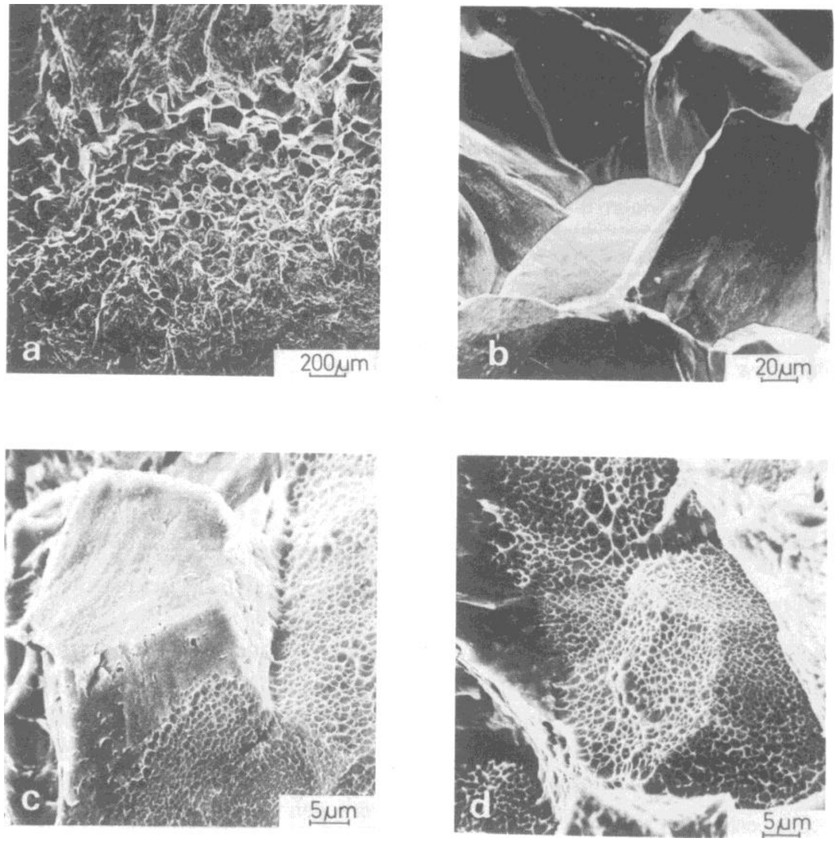
a) macroestrutura mostrando trinca intergranular na ZAC-GG;

b) MO junto a ponta da trinca revelando cavidades em contornos de grãos;

c) MEV mostrando fratura intergranular;

d) microcavidades nas faces dos grãos.

Bailey



Trinca de alívio de tensões, aspecto da fratura (sob revestimento em aço 22NiMoCr37); a) visão macro; b) ZAC-GG: contornos de grão lisos da austenita original; c) região de transição para ZAC-N; d) grãos menos grosseiros: contornos com cavidades. *Tenckhoff 1979*

MECANISMOS DE FRAGILIZAÇÃO

TRINCAS DE REAQUECIMENTO ......T ~ 550 a 680 oC

1) RE-PRECIPITAÇÃO COERENTE NO INTERIOR DOS GRÃOS AUSTENÍTICOS
2) FORMAÇÃO DE ZONA LIVRE DE PRECIPITADO ZLP JUNTO AOS CONTORNOS DE GRÃO DA γ ORIGINAL

FRAGILIDADE DE REVENIDO ....T ~ 500 oC

SEGREGAÇÃO DE IMPUREZAS NOS CONTORNOS DE GRÃO

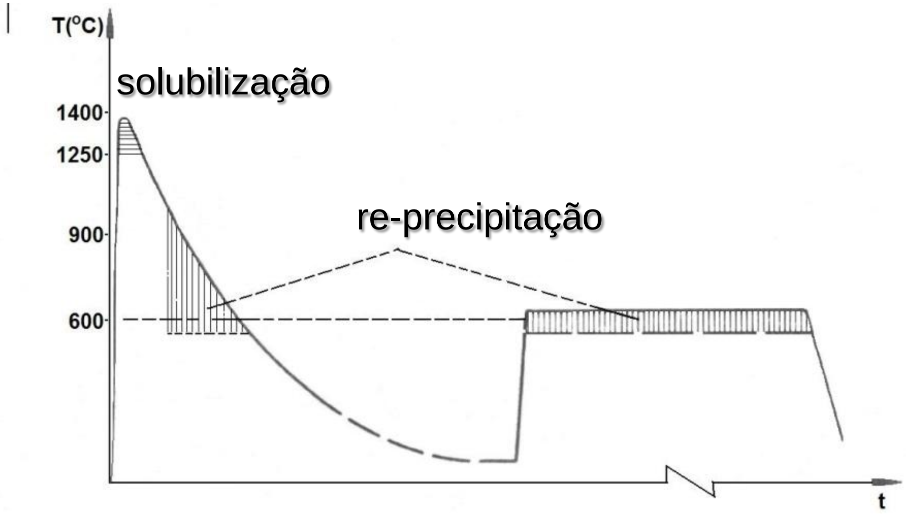
MCF = Si + 2 Cu + 2 P + 10 As + 15 Sn + 20 Sb

Grupo VI a → S, Se e Te

Grupo V a → N, P, As, Sb e Sn

OCORRÊNCIA EXIGE CONJUNÇÃO DE FATORES:

- Reaquecimento na faixa de T ~ 550 a 650 oC
- Tensões trativas elevadas ~ LE
- ZAC grosseira
- Microestrutura susceptível → martensita ou bainita
- Composição susceptível → Mo, V, Nb ...

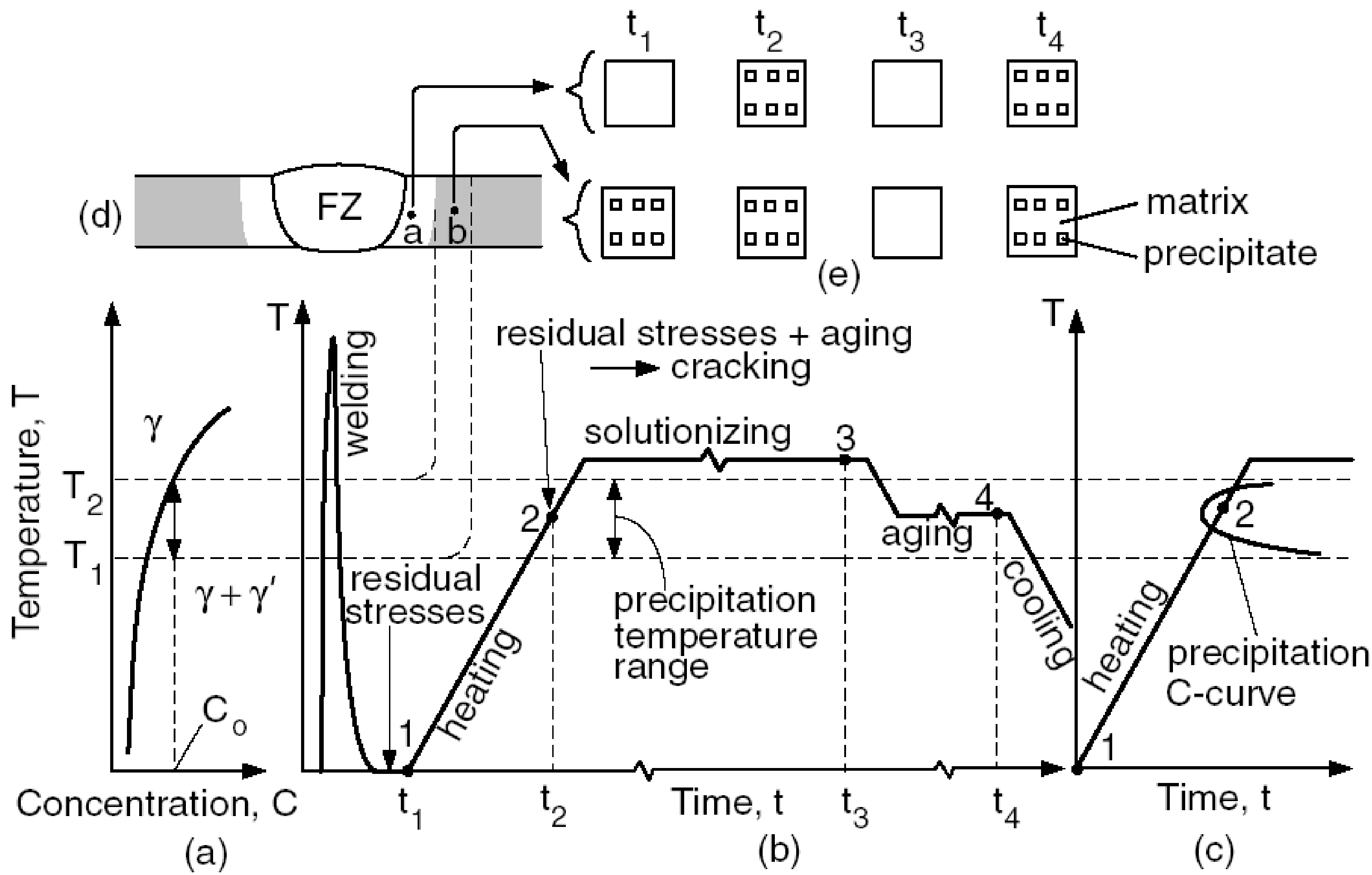


Exemplos de aços sujeitos a trincamento:

0.5Cr–0.5Mo–0.25V
0.5Cr–1Mo–1V
2.25Cr–1Mo

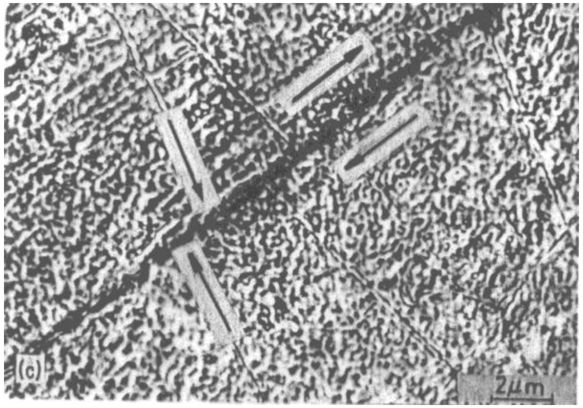
22NiCrV37
AISI 347

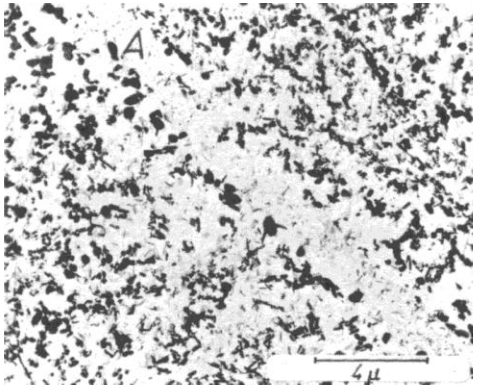
Solubilização e precipitação de carbo-nitretos durante a soldagem e TTAT de aços BLAR microligados.



Postweld heat treatment cracking: (*a*) phase diagram; (*b*) thermal cycles during welding and heat treating; (*c*) precipitation C curve; (*d*) weld cross-section; (*e*) changes in microstructure.

Kou cap. 17

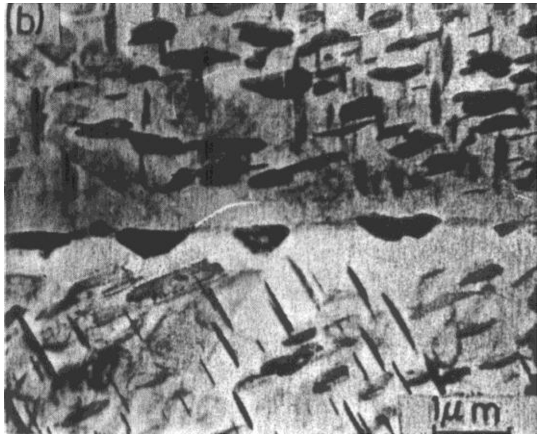




ZLP de carbonitretos em aço StE 36 (1300oC/6' / H2O + 600oC/1h / H2O)

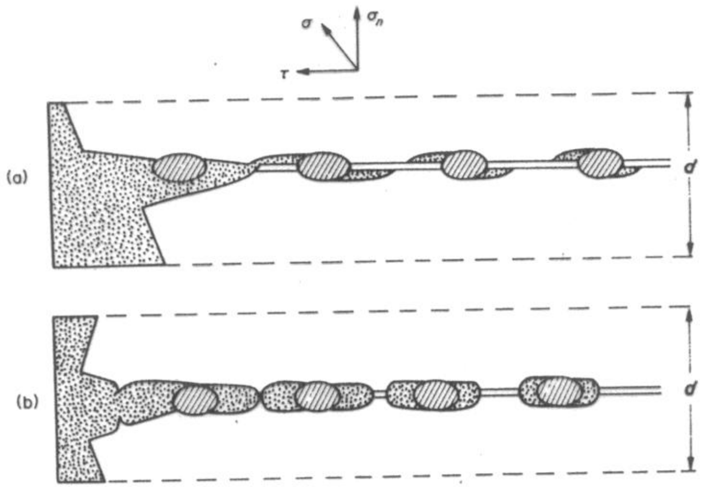
Brenner & Kreye 1977

Deslizamento relativo de grãos austeniticos junto a ponta da trinca.



TEM de ZLP em Al3%Cu,

300 oC / 16 min *Hornbogen & Kreye*

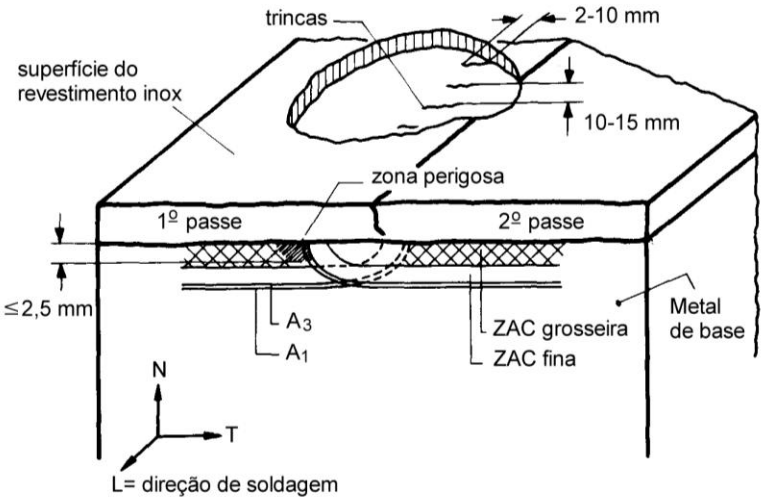


Mecanismo de separação na ZLP por formação de poros junto a precipitados incoerentes causada por (a) tensão cizalhante e (b) tração.

Hornbogen & Kreye

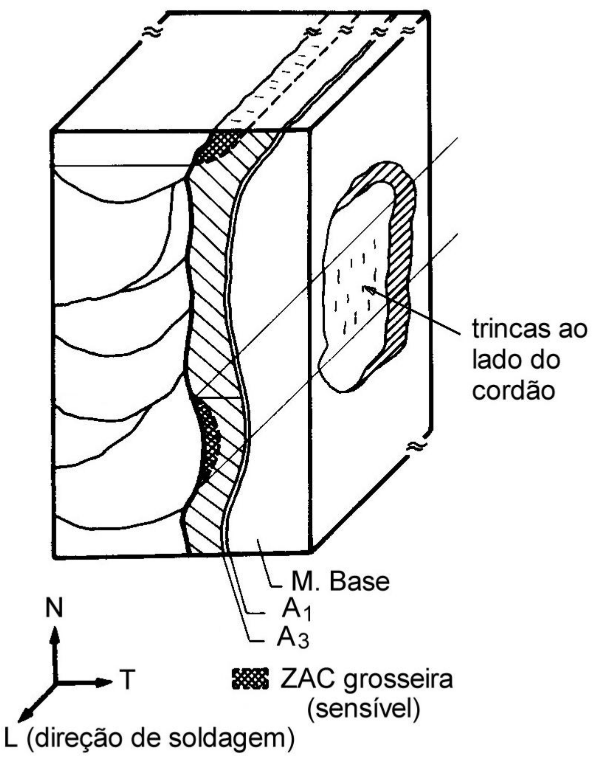
LOCALIZAÇÃO TÍPICA

SOB REVESTIMENTO INOX

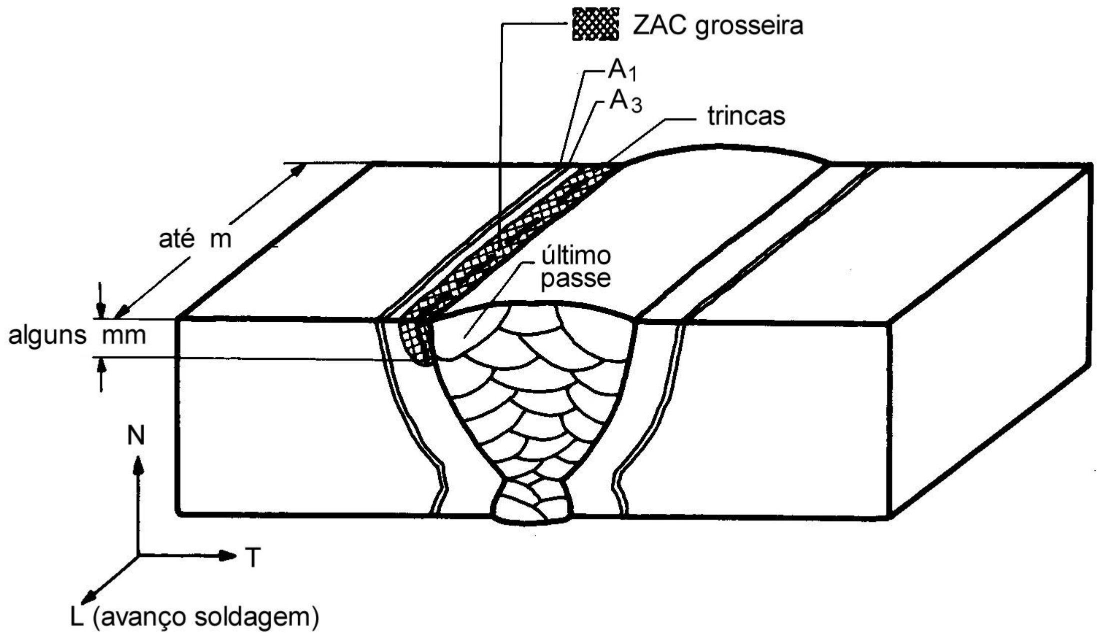


Aço vaso de pressão reatores PWR
22NiCrV37 → 20MnMoNi55

TRINCAS LATERAIS
AO CORDÃO

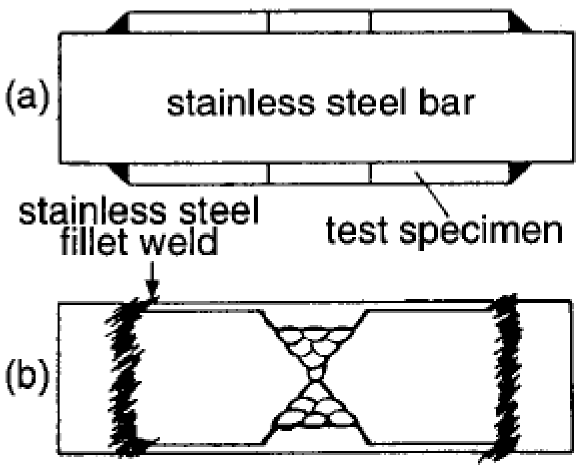


TRINCAS
LONGITUDINAIS AO CORDÃO



Ensaios de Susceptibilidade

Tração a quente, Fluência,
Relaxação, Emissão Acústica etc



Teste de Vinckier

The test specimens are made by welding two pieces of 50-mm-thick plates together. The ends of the test specimens are welded to a stainless steel block. Upon reheating, the test specimens are subjected to tensile loading caused by the higher thermal expansion coefficient of the stainless steel block.

$$\varepsilon_1 = \frac{\sigma_1}{E_1} = \frac{(\alpha_2 - \alpha_1)T}{(E_1 A_1 / E_2 A_2) + 1}$$

where e is the overall strain in the test specimen, a the thermal expansion coefficient, *E Young's modulus, T the reheat temperature, and A the crosssectional* area. Subscripts 1 and 2 refer to the test specimen and the stainless steel block, respectively.

Kou cap. 17

MEDIDAS PREVENTIVAS:

a. Quanto ao material

Fórmulas empíricas:

$$CS = \%Cr + 3.3 \times (\%Mo) + 8.1 \times (\%V) - 2$$

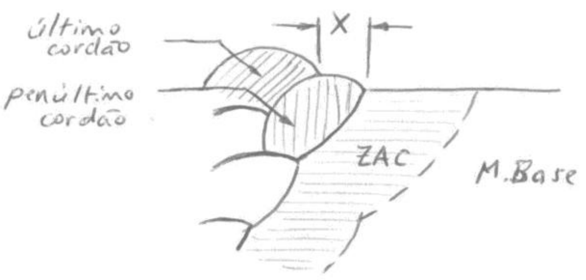
Nakamura et al. → aço livre de trincas para CS < zero.

Psr = Cr + Cu + 2 Mo + 10 V + 7 Nb + 5 Ti

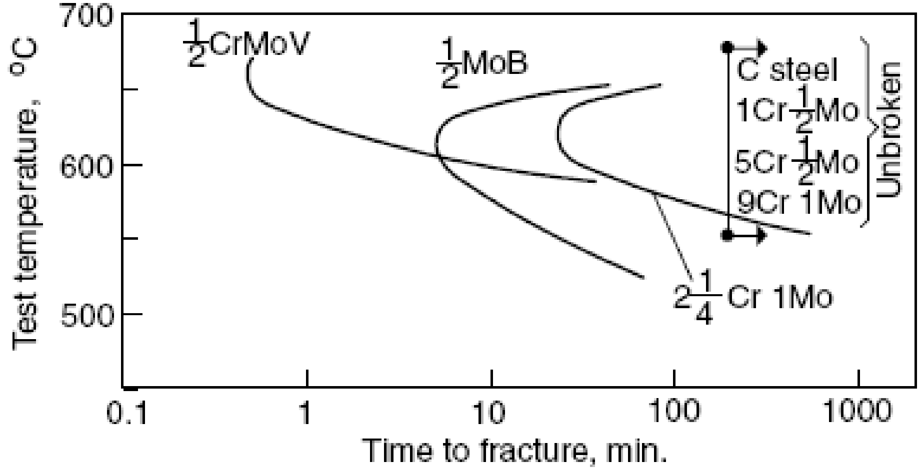
Ito et al. → Psr < 0 aço livre de trincas.

22NiMoCr37	→	20 MnMoNi 55
A508	→	A 533
WStE 51	→	15 MnNi 63

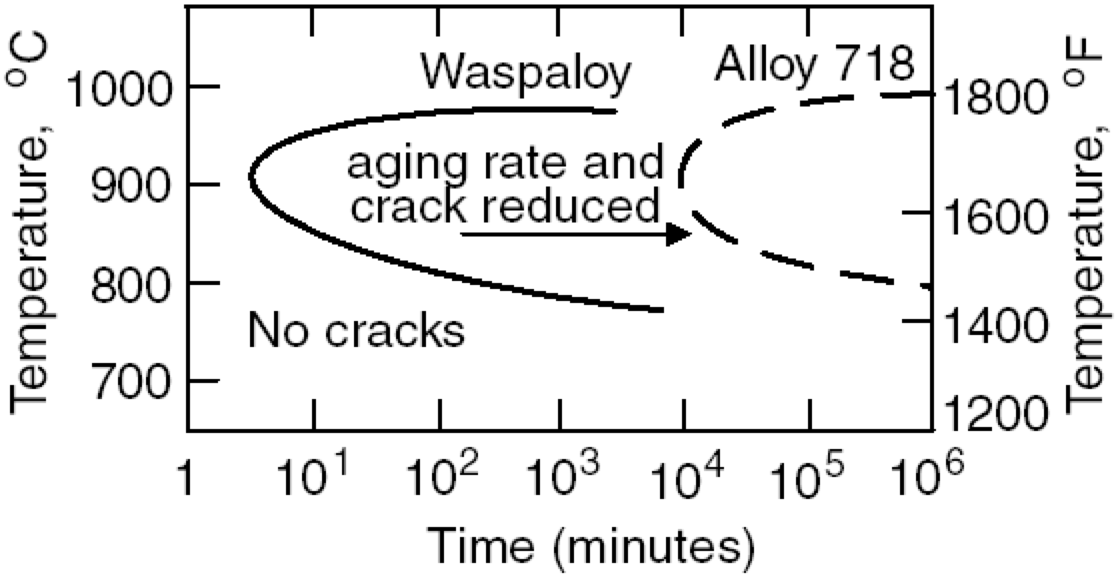
b. Quanto a variáveis de soldagem e ciclo térmico



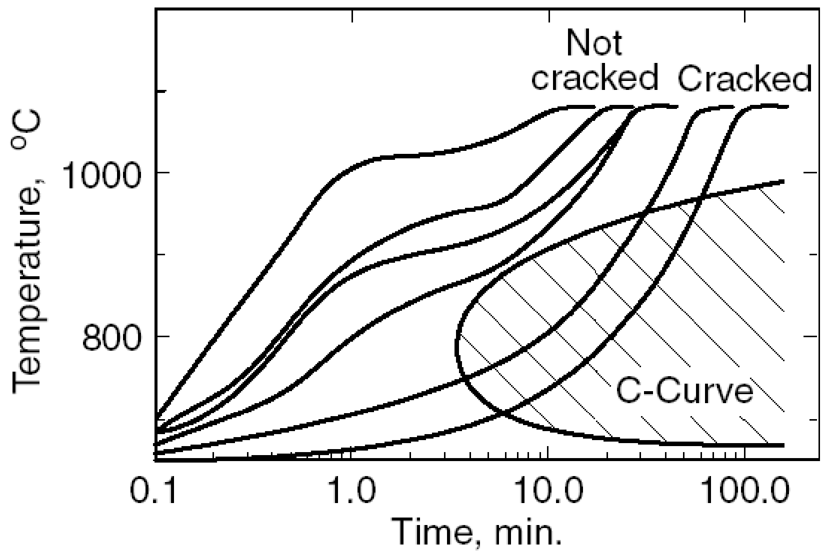
1 . Passe de “revenido” (solução clássica de Vinckier)
2 . Soldagem multipasses (visando refino da ZAC-GG)
3. Alivío de tensão (TTPS) por patamares



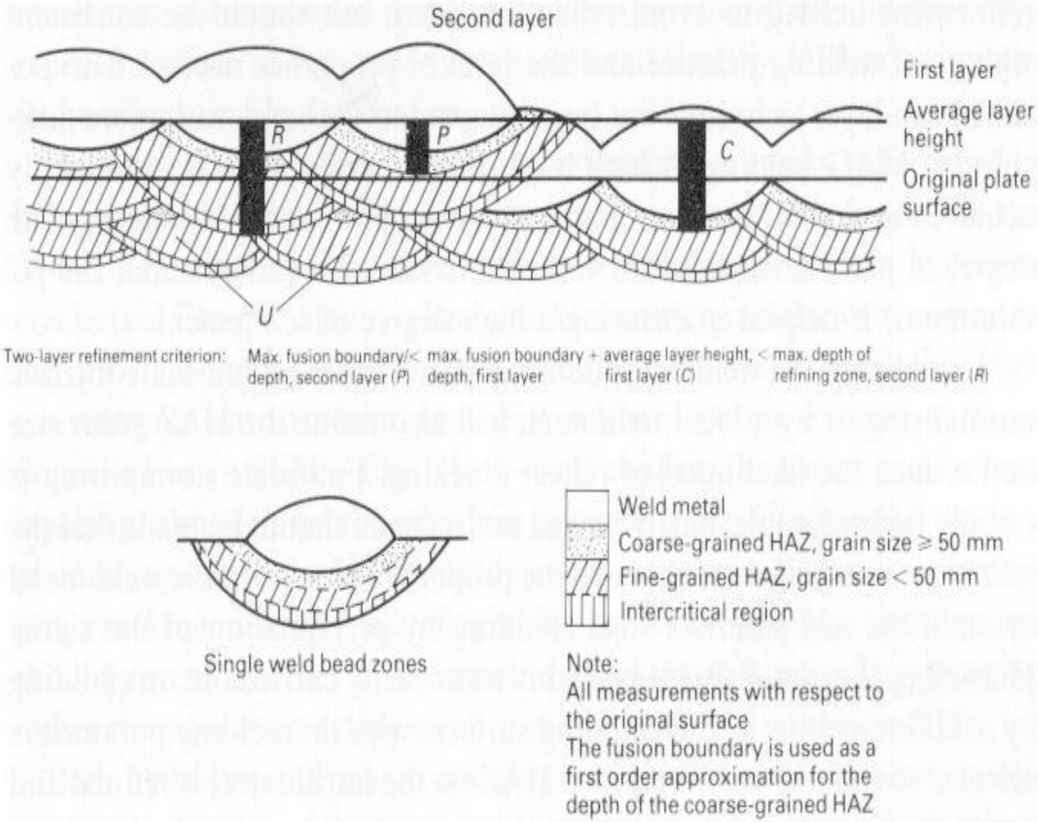
Temperature vs. time to fracture in ferritic steels



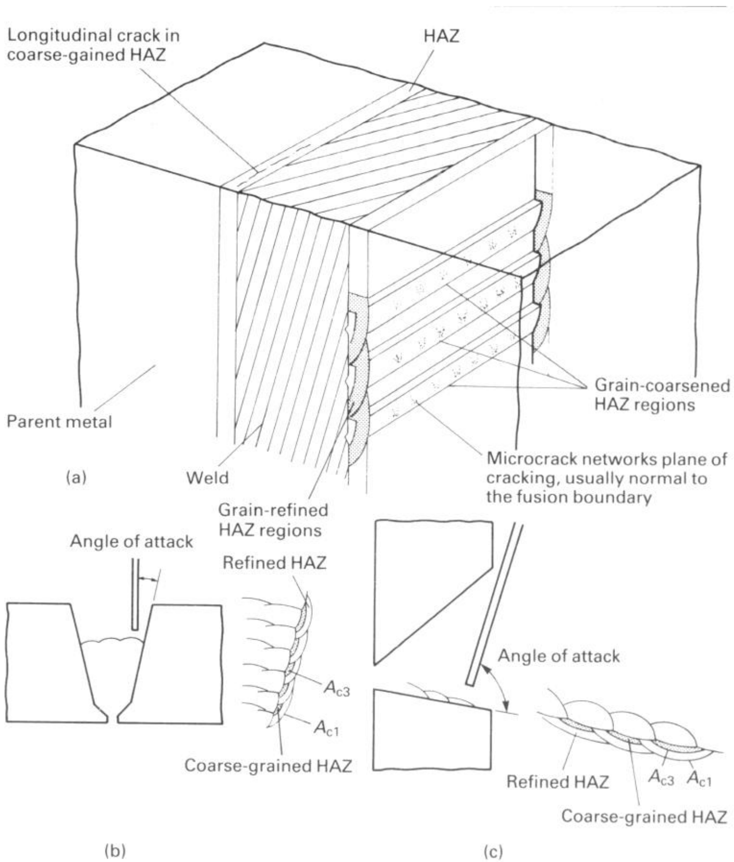
Crack susceptibility C curves for Waspaloy and Inconel 718 welds.

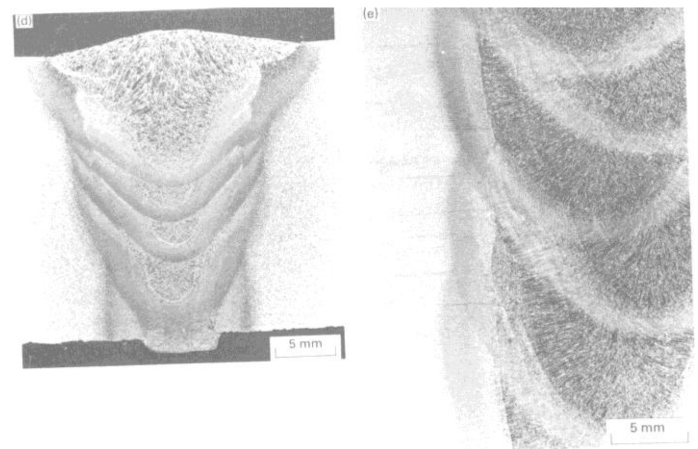


Effect of heating rate on postweld heat treatment cracking of a Rene 41 solution annealed before welding.

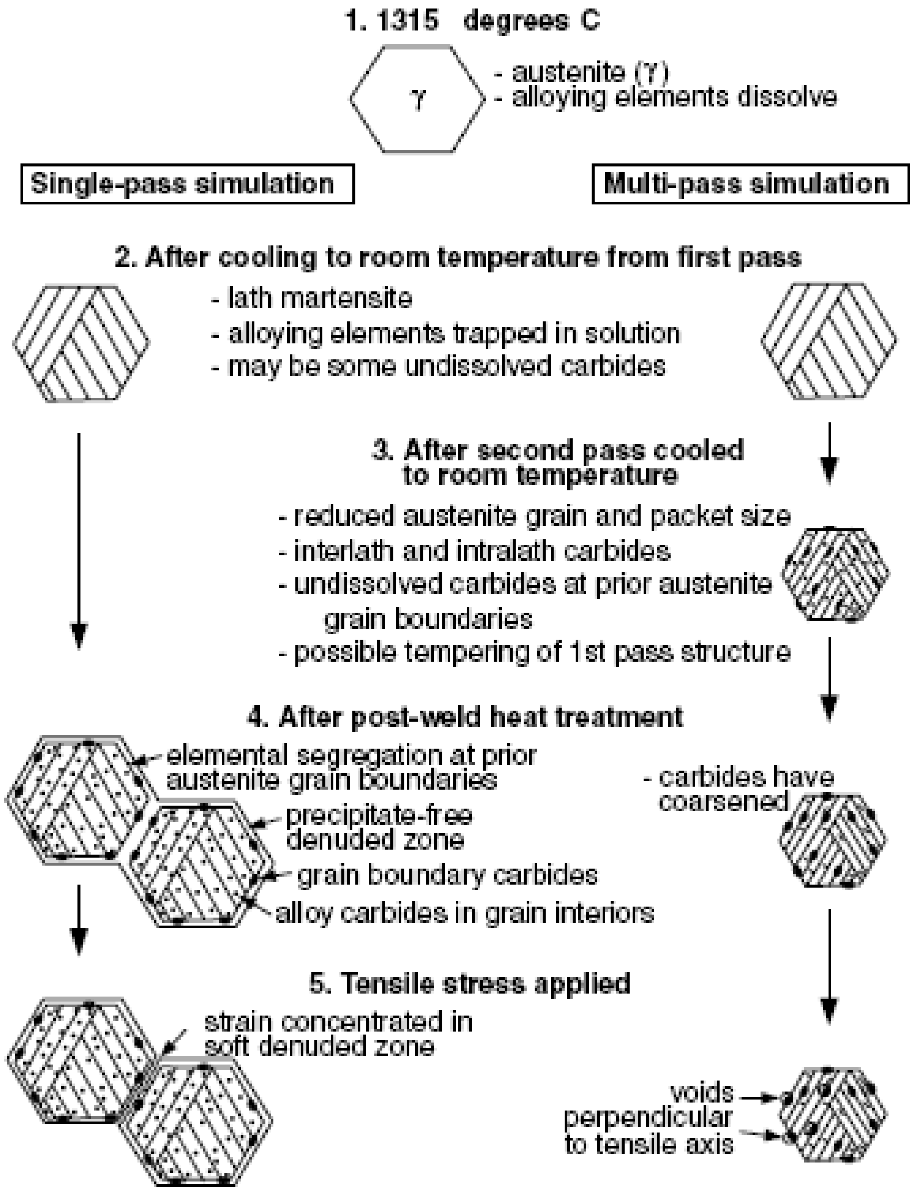


6.3 Sketch showing two-layer technique. Note that the degree of overlap is less than ideal (i.e. ~50% overlap obtained by aiming arc at toe of previous weld bead). 'U' indicates unrefined HAZ regions.



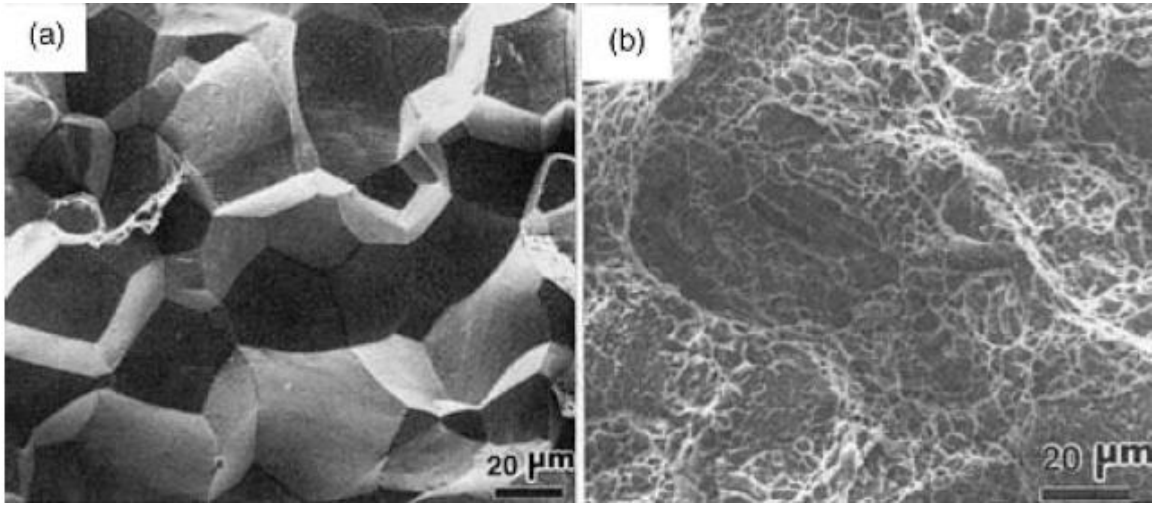


Ângulo de ataque e refino da ZAC: a) local de trincas na ZAC-GG; b) baixo ângulo de ataque e e elevada superposição aumentam o refino da ZAC; c) alto ângulo de ataque e baixa superposição diminuem o refino da ZAC; (d) e (e) macroestruturas de soldas com com alto e baixo grau de refino da ZAC e superposição, respectivamente.



Microstructural changes and failure mode of single- and multiple-pass samples of a 2.4Cr–1.5W–0.2V ferritic steel.

Kou cap. 17



SEM micrographs of fracture surfaces of a 2.4Cr–1.5W–0.2V ferritic steel: (*a) single-pass sample;* *(b) multiple-pass sample*