

CORROSÃO INTERGRANULAR
(*INTERGRANULAR CORROSION – IGC*)

CARACTERÍSTICAS

- ✓ Associada à **natureza mais reativa dos contornos de grãos** sob condições particulares;
- ✓ O **ataque** se restringe às regiões do **contorno de grão e às suas adjacências**, em uma faixa relativamente estreita, que pode ser de apenas alguns nanômetros;
- ✓ Relação $A_{cat.}/A_{an.} \gg 1$ – alimenta fortemente o processo;
- ✓ Profundidade de ataque relativamente uniforme e homogênea;
- ✓ **Fatores** que mais contribuem para este tipo de ataque:
 - Acúmulo de impurezas;
 - Enriquecimento ou empobrecimento em um determinado elemento de liga;
 - Precipitação de fases com diferentes atividades eletroquímicas.
- ✓ **Depende fortemente:**
 - Da fração volumétrica e da distribuição das fases eletroquimicamente ativas;
 - Da distribuição dos elementos de liga e das impurezas;
 - Do tamanho dos grãos.
- ✓ Pode haver **perda de massa considerável** do metal devido ao destacamento dos grãos;

A corrosão ocorre devido à diferença de potencial entre os precipitados presentes no contorno de grão, a zona fina alterada presente ao longo dos contornos e o centro do grão.

FATORES IMPORTANTES

- ✓ **Cinética de difusão** das espécies para ou da região anódica (front de dissolução) – tanto os precipitados como a zona empobrecida ou enriquecida são formados pela **difusão de impurezas ou de elementos de liga para os contornos de grãos**;
- ✓ **Distribuição espacial e conectividade dos constituintes microestruturais** responsáveis pela IGC:
 - ✓ As regiões suscetíveis devem se apresentar sob forma de redes para que a corrosão possa progredir.
- ✓ **História metalúrgica** – aplicação de tratamentos térmicos e trabalhos a frio que afetam o tamanho e a forma dos grãos, e, principalmente a **composição, tamanho e distribuição dos microconstituintes**.
- ✓ **Tamanho de grãos** – suscetibilidade depende do mecanismo de dissolução:
 - ✓ **Aumenta com a diminuição do tamanho de grão** se o fator predominante for o **empobrecimento ou enriquecimento em elemento de liga**;
 - ✓ **Diminui com a diminuição do tamanho de grão** se o fator predominante for a **precipitação de fase com atividade eletroquímica diferente**.

Quando o material está propenso à corrosão intergranular diz-se que o mesmo se encontra
SENSITIZADO

Em estágios avançados da corrosão intergranular o material pode se desintegrar (os grãos se desprendem) e/ou perder a sua resistência mecânica.

MATERIAIS MAIS SUSCETÍVEIS À ICG: Alumínio, Níquel, Latão, Aços Inoxidáveis

MECANISMOS

i. Teoria da depleção de elementos:

- Empobrecimento local em um elemento de liga.

ii. Teoria eletroquímica ou da microcélula:

- Formação de uma célula eletroquímica local entre a matriz e o precipitado;
- Dissolução da fase ou elemento menos nobre;
- A dissolução do elemento mais suscetível pode ocorrer tanto a partir da solução sólida como a partir de fases intermetálicas mais complexas.

iii. Teoria da segregação:

- Presença de concentrações mais elevadas de elementos de liga ou impurezas nos contornos de grão;
- Modificação da atividade química ou eletroquímica da região específica.

TEORIA ADICIONAL – concentração de tensões devido à nucleação dos precipitados de fases secundárias:

- i. O ataque local ocorre no reticulado distorcido nas proximidades dos precipitados;
- ii. Aumenta o grau de desordem atômica, resultando em força motriz mais intensa para a dissolução anódica;
- iii. Pode aumentar a difusividade.

MECANISMOS

- ✓ Quando os **precipitados** formados nos contornos de grão são **anódicos**:
 - São preferencialmente corroídos;
 - Funcionam como **anodo tanto em relação à matriz** como, eventualmente, **em relação a uma zona empobrecida nos elementos de liga** que propiciaram a formação do precipitado;
 - Como resultado da corrosão – forma-se um **canal fino que poderá causar a desagregação do grão**, se os precipitados formarem uma rede contínua.
- ✓ Quando os **precipitados** são **catódicos**:
 - **Receberão os elétrons** provenientes da região anódica e que **alimentam a reação de redução**;
 - A **região anódica** será a **zona fina empobrecida em um elemento de liga** que, na maioria das vezes, participa da composição do precipitado catódico;
 - O **centro do grão** também pode funcionar como **catodo** em relação à zona empobrecida;
 - Ocorrendo a formação de uma **zona empobrecida contínua** poderá ocasionar a **desagregação dos grãos**.

Precipitados finamente divididos e uniformemente distribuídos na matriz não influem na suscetibilidade à IGC.

Se os constituintes formados nos contornos de grão tiverem atividade eletroquímica semelhantes à da matriz também não se constituirão em problemas sob o ponto de vista de resistência à IGC.

IGC DE LIGAS DE Al

- ✓ Mais comum nas ligas endurecíveis por precipitação (**2XXX e 7XXX**) ou por deformação (**5XXX**), ligas endurecíveis por precipitação da série **6XXX** são suscetíveis quando apresentam impurezas.
- ✓ **Ligas cujas resistências mecânicas são resultantes de microestruturas complexas** provenientes de tratamentos térmicos e mecânicos.
- ✓ Geralmente associada a **ciclos térmicos e/ou tratamentos mecânicos inadequados** que provocam a precipitação de fases secundárias nos contornos de grãos.
- ✓ **2XXX (Al-Cu-Mg e Al-Cu-Li):**
 - Formação de **precipitados ricos em cobre**;
 - Formação de **zonas empobrecidas em cobre**;
 - A **região empobrecida em cobre é anódica** em relação ao precipitado e à matriz;
 - Ocorre em meios nos quais a **região empobrecida não se encontra passivada**;
 - **Causas** – resfriamento inadequado a partir da temperatura de solubilização ou aquecimento (envelhecimento) em temperaturas acima de 120° C;
 - **Mecanismo predominante:** teoria eletroquímica ou da microcélula.

IGC DE LIGAS DE Al

✓ 5XXX (Al->3%Mg):

- Dissolução da **fase anódica β -Al₃Mg₂** precipitada intergranularmente;
- **Causas principais** – deformação mecânica severa seguida de longo tempo de armazenamento à temperatura ambiente ou exposições a temperaturas elevadas;
- Adição de Zn à composição da liga evita a precipitação desta fase;
- **Mecanismo**: teoria eletroquímica ou da microcélula.

✓ 6XXX (Al-Mg-Si):

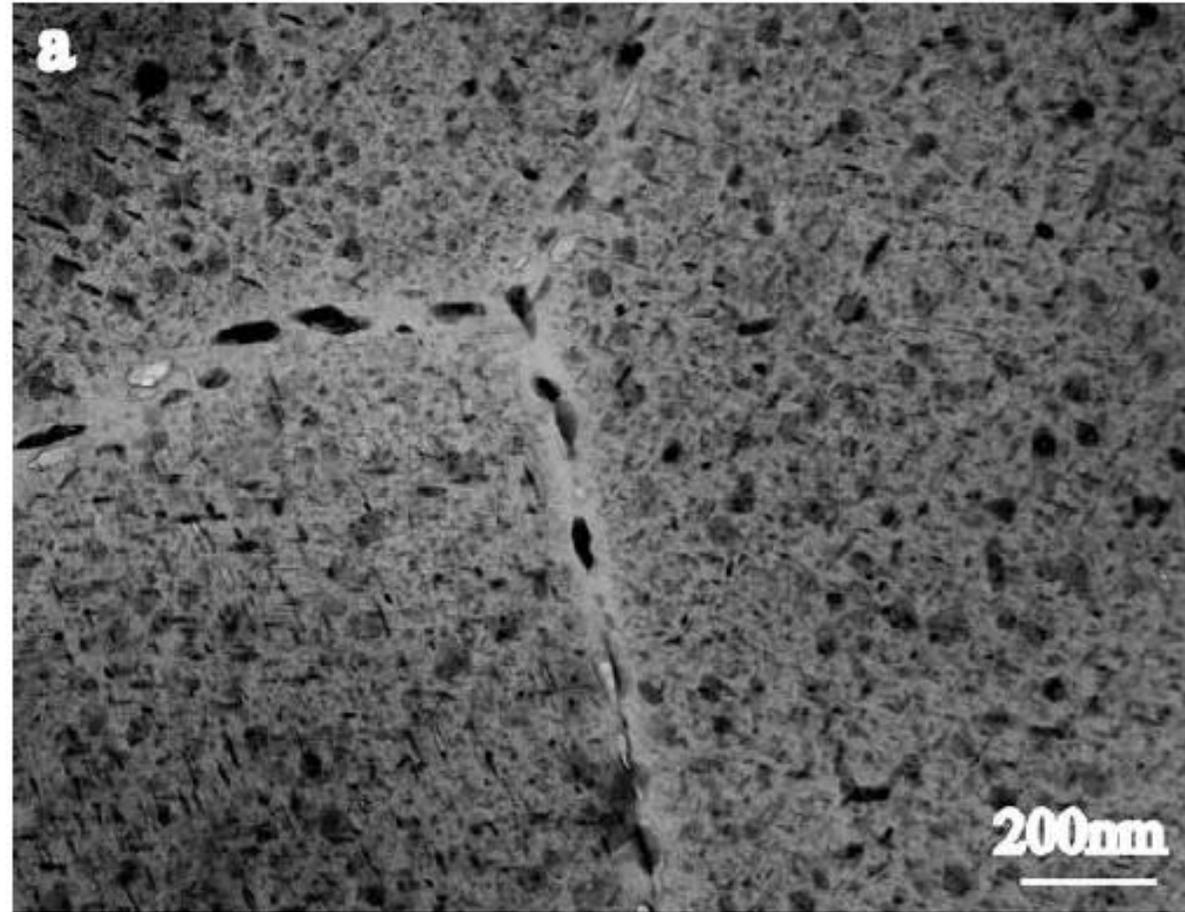
- ✓ Quando **não apresentam impurezas** em sua composição **não são suscetíveis à IGC**;
- ✓ Na presença de **impurezas de Cu e Fe** pode haver formação de precipitados catódicos nos contornos de grão;
- ✓ Suscetibilidade à IGC **aumenta** quando submetida a **envelhecimento artificial**;
- **Mecanismo predominante**: teoria eletroquímica ou da microcélula.

✓ 7XXX:

- ✓ **Al-Mg-Zn** – precipitados ricos em Mg ou enriquecimento dos contornos de grão em Zn e Mg;
- ✓ **Al-Mg-Zn-Cu** – formação de zonas empobrecidas em Cu nos contornos de grão e precipitação de fases mais nobres ricas em Cu.

Microstructural investigation of friction stir welded 7050-T651 aluminium

Su *et al.* Acta Materialia 51 (2003) 713–729



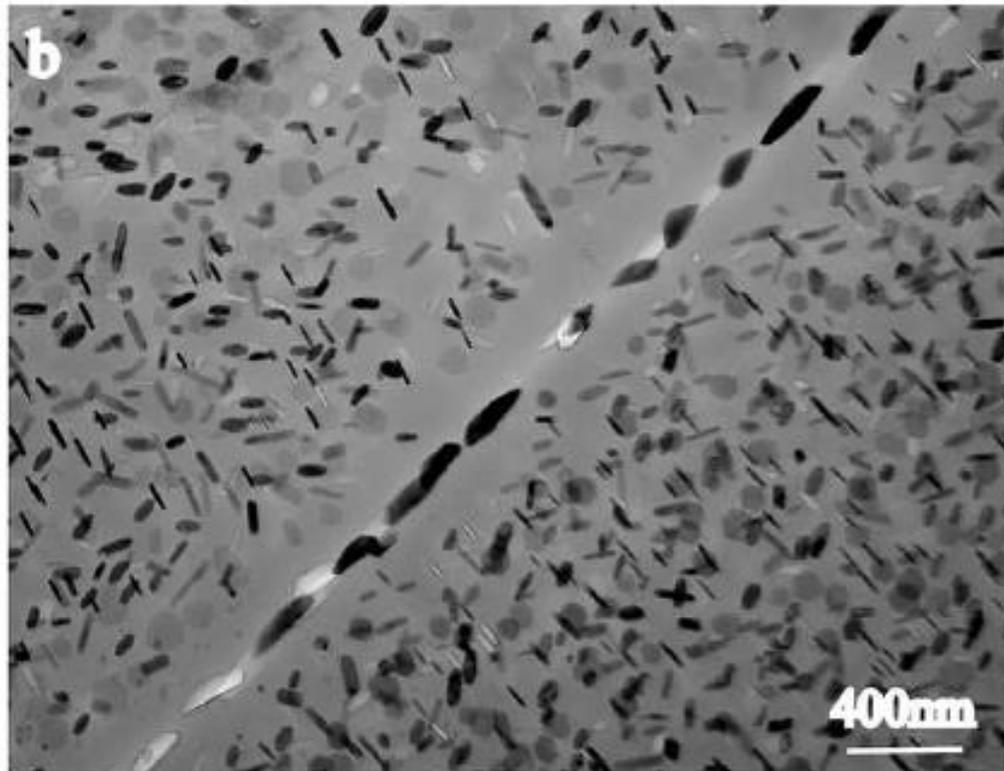
Distribuição homogênea de precipitados na microestrutura da matriz.

Formação de uma pequena zona livre de precipitados (PFZ) nas proximidades dos contornos de grão.

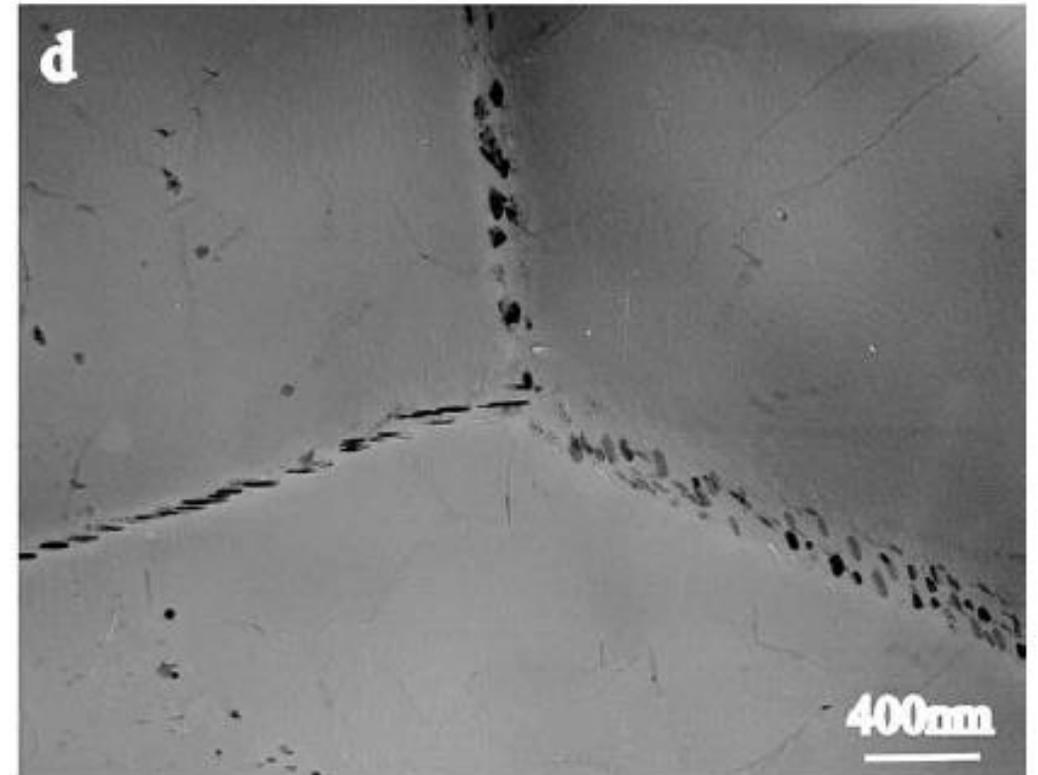
Precipitados grosseiros nos contornos de grão.

Microstructural investigation of friction stir welded 7050-T651 aluminium

Su *et al.* Acta Materialia 51 (2003) 713–729



Formação de uma zona livre de precipitados e evidência de engrossamento de precipitados ao longo do contorno de grão em zona afetada pelo calor para a liga AA7050 soldada por fricção



Formação de rede contínua de precipitados ao longo do contorno de grão em zona afetada pelo calor para a liga AA7050 soldada por fricção

AVALIAÇÃO DA IGC EM LIGAS DE Al

- ✓ **ASTM G 34** – Teste EXCO ($\text{NaCl} + \text{KNO}_3 + \text{HNO}_3$) – **2XXX e 7XXX** - $\leq 48-96\text{h}$ (25°C);
- ✓ **ASTM G 66** – ASSET ($(\text{NH}_4)\text{Cl} + (\text{NH}_4)\text{NO}_3 + (\text{NH}_4)_2\text{C}_4\text{H}_4\text{O}_6 + \text{H}_2\text{O}_2$) – **5XXX** ($> 2\%$ Mg) – 24h (65°C);
- ✓ **ASTM G 67** – HNO_3 – **5XXX** (Al-Mg e Al-Mg-Mn) – precipitação de Al_3Mg – 24h (30°C);
- ✓ **ASTM G 110** – $\text{NaCl} + \text{H}_2\text{O}_2$ – **2XXX, 6XXX, 7XXX** - $> 6\text{h}$ (30°C);
- ✓ **ISO 11846** (precipitação nos contornos de grão):
 - ✓ **Método A** – $\text{NaCl} + \text{H}_2\text{O}_2$ – **2XXX, 6XXX, 7XXX** – 6h (30°C);
 - ✓ **Método B** – $\text{NaCl} + \text{HCl}$ – **ligas de alumínio passíveis de tratamento de solubilização** – 24h (TA);
 - ✓ **Método C** – Pol. Anódica em NaCl – **Ligas Al-Li-Cu**.
- ✓ **ISO 15329** – NaCl – ligas de alumínio passíveis de tratamento de solubilização: **2XXX, 6XXX, 7XXX** – Polarização (NaCl).

IGC DE LIGAS DE Níquel

✓ Ni-Cr-Fe:

- Sensitização depende da **presença de C** – baixa solubilidade no Ni;
- Formação de **carbonetos** do tipo $M_{23}C_6$ ou M_7C_6 .

✓ Ni-Cr-Mo:

- ✓ Sensitização depende da **presença de C**;
- ✓ **Presença de Mo**: fases intermetálicas e carbonetos mais complexos;
- ✓ São criadas **zonas com depleção de Cr e Mo**;
- ✓ Tratamento de **solubilização a 1220° C** pode evitar o problema.

✓ Ni-Mo:

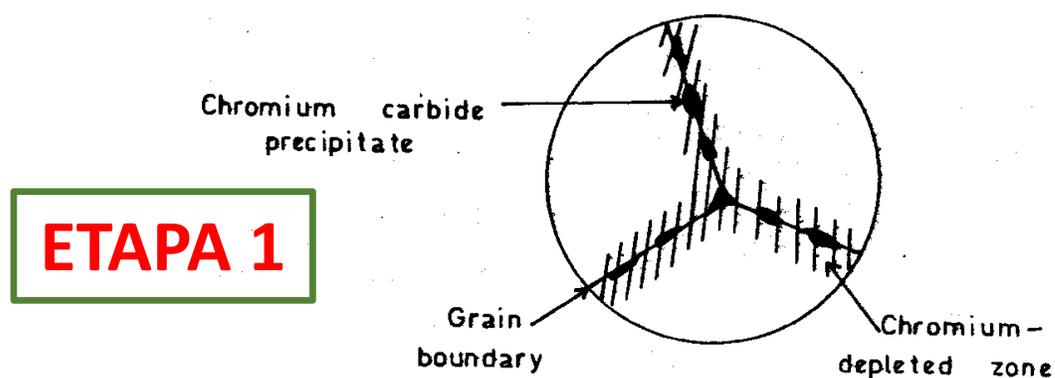
- ✓ Formam-se **carbonetos** do tipo M_2C , M_6C , $M_{12}C$;
- ✓ IGC ocorre em regiões com **depleção de Mo**;
- ✓ Para evitar a sensitização deve-se usar teores de C < 0,005%.

AVALIAÇÃO DA IGC EM LIGAS DE Ni

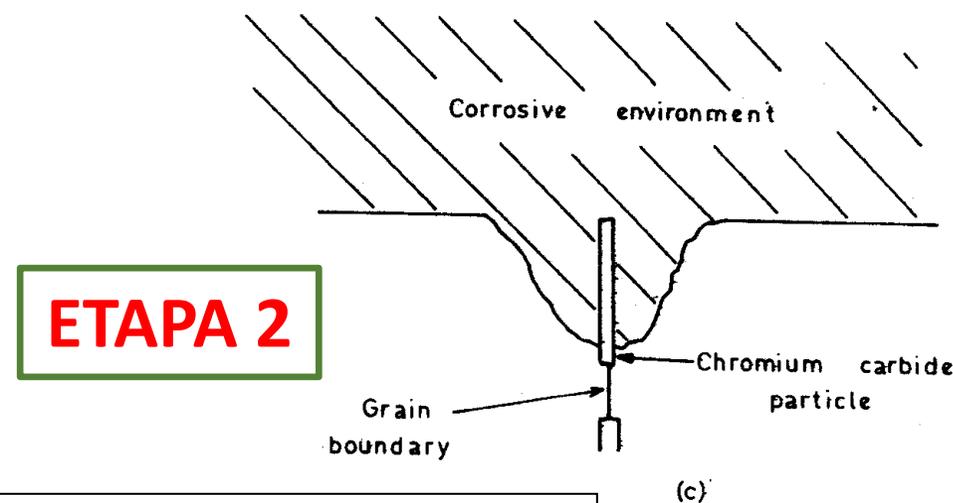
- ✓ **ASTM G28** (precipitação nos contornos de grão):
 - ✓ **Método A** – $\text{FeSO}_4 + \text{H}_2\text{SO}_4$ 50% – ligas forjadas + soldagens; ligas a base de Ni contendo Cr – 24-120 h (em ebulição);
 - ✓ **Método B** – $\text{H}_2\text{SO}_4 + \text{HCl} + \text{FeCl}_3 + \text{CuCl}_2$ – ligas forjadas, ligas a base de Ni contendo Cr – 24h (em ebulição);
- ✓ **ISO 9400:**
 - ✓ **Método A** – $\text{FeSO}_4 + \text{H}_2\text{SO}_4$ 50% – ligas a base de Ni contendo Cr – 24-120 h (ebulição) – precipitados em contornos de grão;
 - ✓ **Método B** – cobre + $\text{CuSO}_4 + \text{H}_2\text{SO}_4$ - ligas forjadas + soldagens; ligas a base de Ni contendo Cr - ≥ 24 h – precipitados em contornos de grão, não detecta TiC + TiN (ebulição);
 - ✓ **Método C** – HCl – ligas de Ni com altos teores de Mo, e ligas base Ni-Cr – 168 h (ebulição) – precipitação em contornos de grão e depleção em Mo;
 - ✓ **Método D** – HNO_3 - ligas forjadas, ligas a base de Ni contendo Cr - ≥ 48 (ebulição) – precipitados em contornos de grão, incluindo TiC + TiN

SENSITIZAÇÃO DOS AÇOS INOXIDÁVEIS AUSTENÍTICOS

- Ocorre quando o **aço** é **aquecido** durante certo intervalo de tempo **entre 450° e 850° C**;
- **Difusão do Carbono** para os **contornos de grão** durante o aquecimento, com **enriquecimento desta região neste elemento**;
- **Difusão do Cr** para o contorno de grão é **muito mais lenta**;
- Na faixa de temperatura indicada o **Cr₂₃C₆** é virtualmente insolúvel e **precipita da solução sólida** (C > 0,02%) (**ETAPA 1**);
- **O Cr é removido da solução sólida**, e seu teor fica abaixo dos 10% necessários para a passivação na região adjacente aos contornos de grãos;
- **Ataque na fina faixa empobrecida em Cr**, que se torna **anódica** em relação ao grão e também aos carbonetos – **relação desfavorável de área** (**ETAPA 2**).



SHREIR, p.1:39 (Fig 1.8).



Esquema da corrosão intergranular em aço 18-8. SHREIR, p.1:39 (Fig 1.8).

EVITANDO A CORROSÃO INTERGRANULAR DOS AÇOS AUSTENÍTICOS

- Três metodologias:

- **Tratamento térmico entre 1050-1100° C** - solubilização, para dissolução dos carbonetos de cromo seguido de têmpera rápida (a velocidade de resfriamento varia de acordo com a liga específica – curvas TTT) – os carbonetos são dissolvidos e o Cr permanece em solução sólida;
- **Aços com teores de C < 0,03%** (Grau L);
- Adição de **elementos formadores de Carbonetos**, denominados estabilizadores – Nb (Nb+Ta) (**SS 347 – Nb > 8 x C**) ou Ti (**SS 327 – Ti > 5 vezes (C+N)**):
 - Os carbonetos destes elementos precipitam na faixa de temperatura da solubilização;
 - Durante o resfriamento não tem C para difusão e precipitação de carboneto de cromo;
 - O Cr permanece em solução sólida garantindo as boas propriedades de corrosão.

Quadro esquemático com as reações de dissolução e precipitação em aços inoxidáveis tipo 304 e 347

T °F		T °C
2250	Dissolução de todos os Carbonetos	1230
1450	Dissolução dos carbonetos de Cr Precipitação dos carbonetos de Nb	790
950	Precipitação de carbonetos de Cromo	510
70	Nenhuma reação	20

SENSITIZAÇÃO DOS AÇOS INOXIDÁVEIS FERRÍTICOS COMERCIAIS

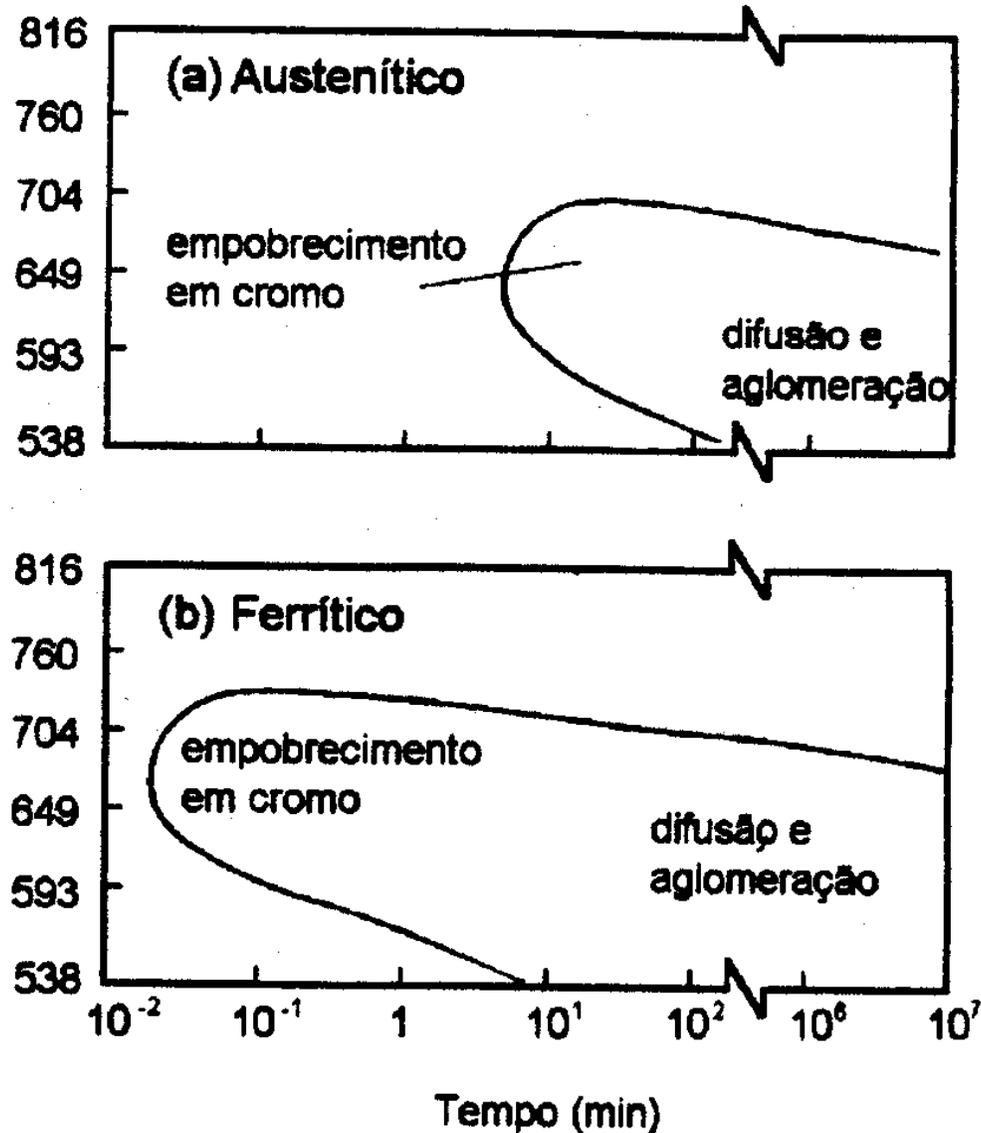
- Têm como características – **solubilidade muito baixas de C e N, e maior velocidade de difusão do Cr;**
- Sensitização – precipitação de **carbonetos e nitretos de Cr;**
- **Particularidades:**
 - Devido à rápida difusão do C e do N o **tratamento de solubilização geralmente não é efetivo;**
 - Ocorre **precipitação nos contornos de grão durante o resfriamento.**
- Evitando a corrosão intergranular dos aços inoxidáveis Ferríticos:
 - Manter **baixo os teores** dos elementos intersticiais **C e N;**
 - **Tratamento de recuperação** – este tratamento requer um tempo relativamente curto devido à elevada velocidade de difusão do Cr na ferrita;
 - Adição de **elementos estabilizadores:**
 - Ti - 6 a 10 vezes C + N;
 - Nb – 8 a 11 vezes C + N.

SENSITIZAÇÃO DOS AÇOS INOXIDÁVEIS DUPLEX

- Zona mais sensível – **interface ferrita-austenita:**
 - Região com **depleção de Cr fica do lado da austenita** (baixa difusão do Cr);
- Também é possível ocorrer **sensitização** nos contornos de grão **austenita-austenita;**
- **Precipitação das fases χ e σ** (ricas em Cr e Mo) – também pode favorecer à sensitização.

SENSITIZAÇÃO EM AÇOS INOXIDÁVEIS

Temperatura (°C)

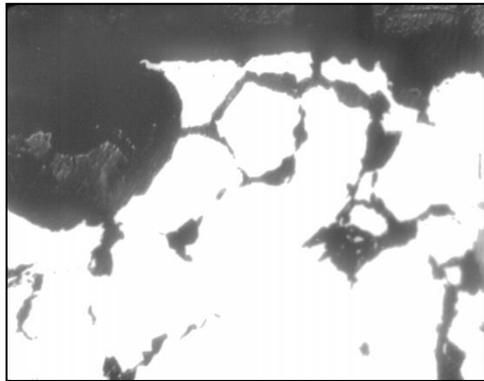


- O coeficiente de difusão do Cr é ~ 100 vezes maior na ferrita.
- Todos os fenômenos controlados pela difusão do Cr ocorrem em menor tempo:
 - precipitação,
 - sensitização e
 - recuperação.

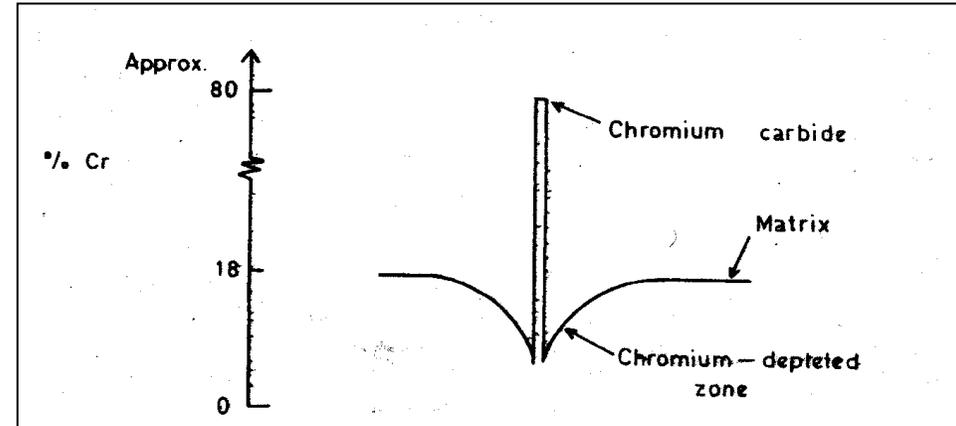
Aços Inoxidáveis Austeníticos (Morfologia – Sensitização)

Aspecto Macro e Micrográfico

Corrosão intergranular
num **vaso de pressão** de
aço inoxidável AISI 304



Microestrutura

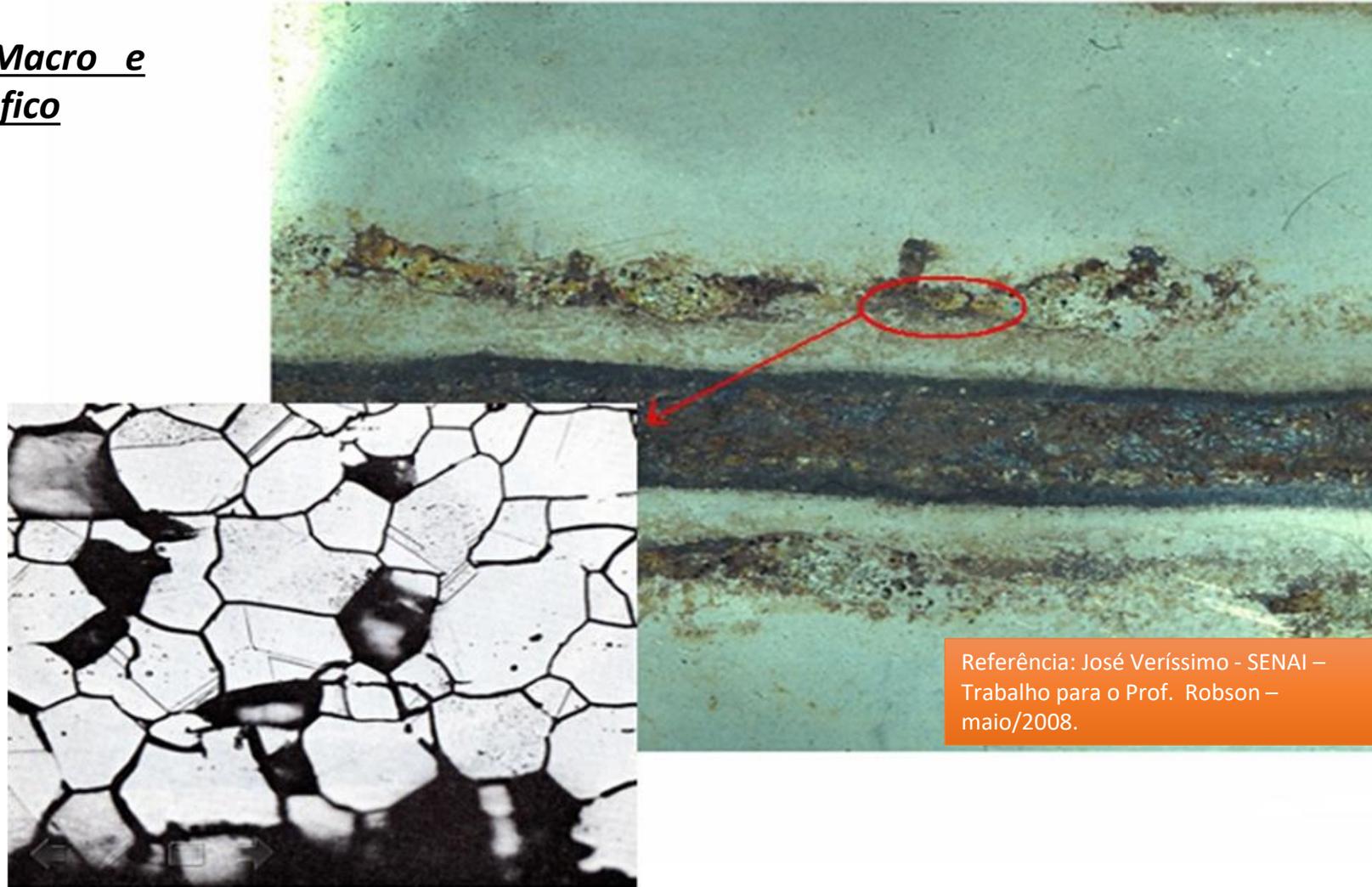


*Varição do teor de Cr através do
contorno de grão de aço 18-8. SHREIR
, p.1:39 (Fig 1.8).*

Fonte: Aula Prof. Stephn Wolyneec

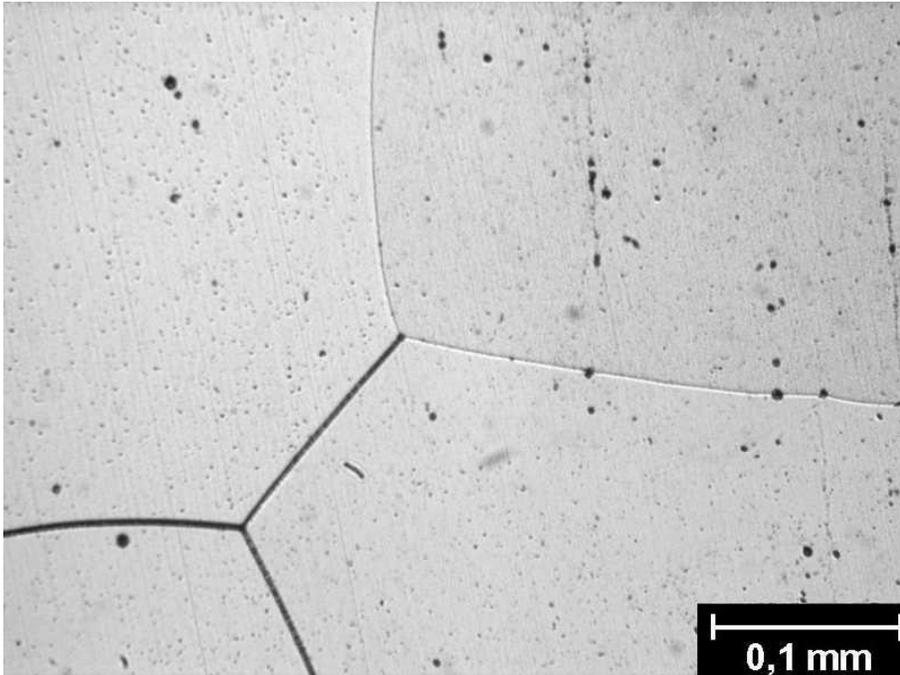
Aços Inoxidáveis Austeníticos (Morfologia – Sensitização)

Aspecto Macro e
Micrográfico

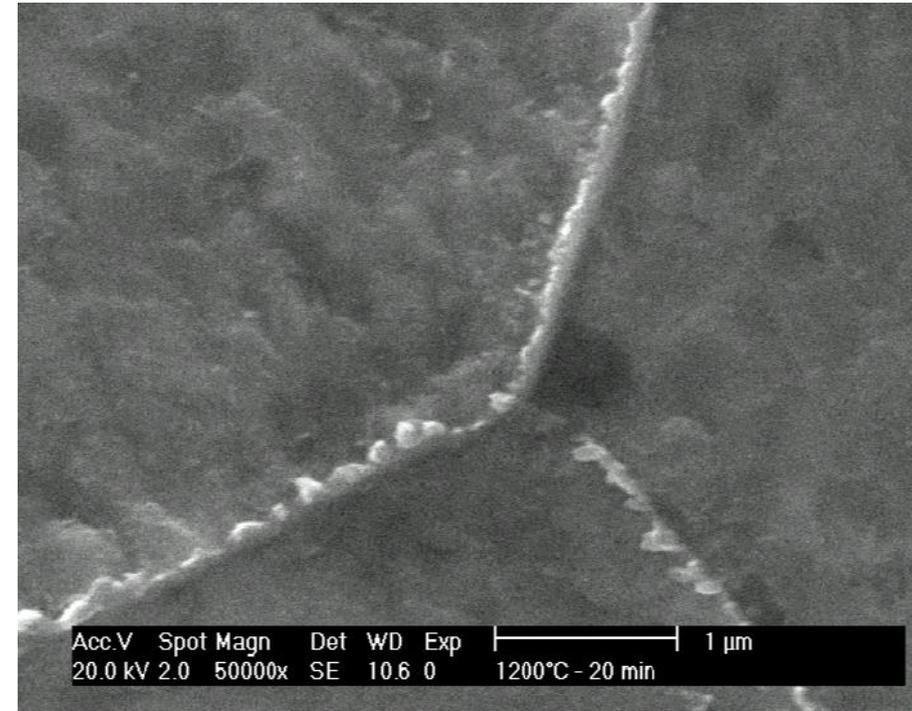


Referência: José Veríssimo - SENAI –
Trabalho para o Prof. Robson –
maio/2008.

Aços Inoxidáveis Ferríticos (Morfologia – Sensitização)



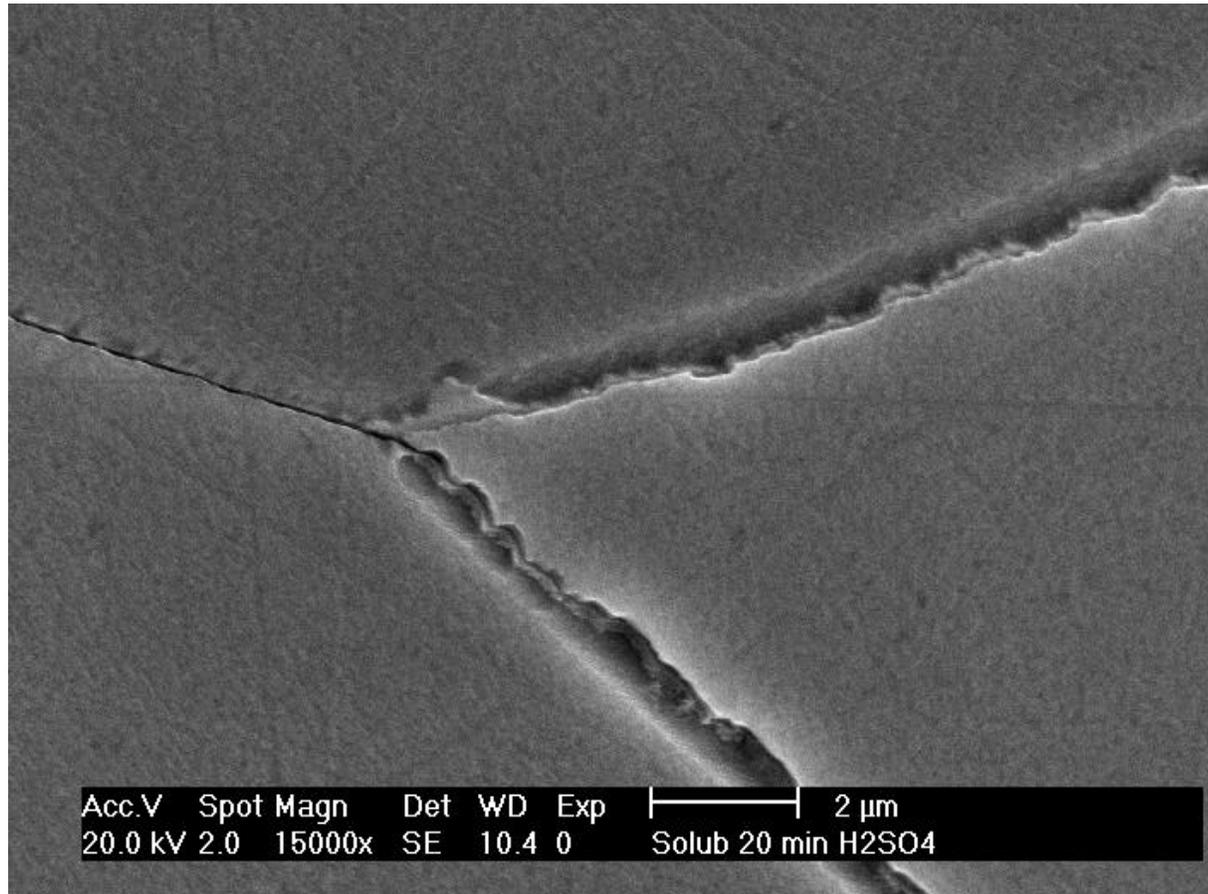
UNS S43000 solubilizado a 1200°C e resfriado em água em MO após Prática W.



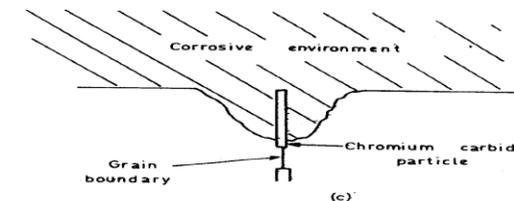
Idem, em MEV após ataque com reagente Vilella (ácido pícrico + clorídrico + etanol).

Carlos Augusto Serna Giraldo, ABM 2004

Aços Inoxidáveis Ferríticos (Morfologia – Sensitização)



Microstructure of UNS S43000 after solution treatment at 1,160°C for 20 min. SEM. The precipitation of intergranular chromium carbides can be noted. Etchant: 0.5M H₂SO₄.



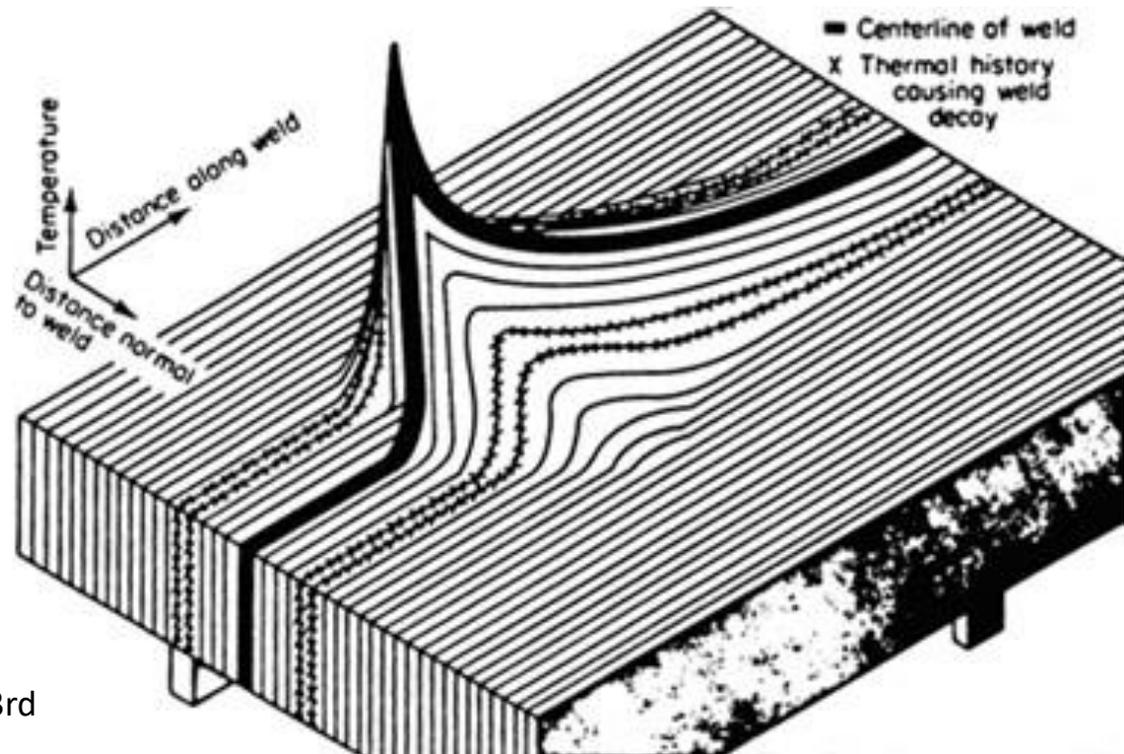
Esquema da corrosão intergranular em aço 18-8. SHREIR, p.1:39 (Fig 1.8).

PARONI, Alexandra Silvia Matheisen *Sensitization and pitting corrosion resistance of ferritic stainless steel aged at 800°C.* *Corrosion, NACE*, vol. 62, n. 11, p. 1039-1046, November, 2006. ISSN 0010-9312

CORROSÃO INTERGRANULAR EM TORNO DE CORDÃO DE SOLDA

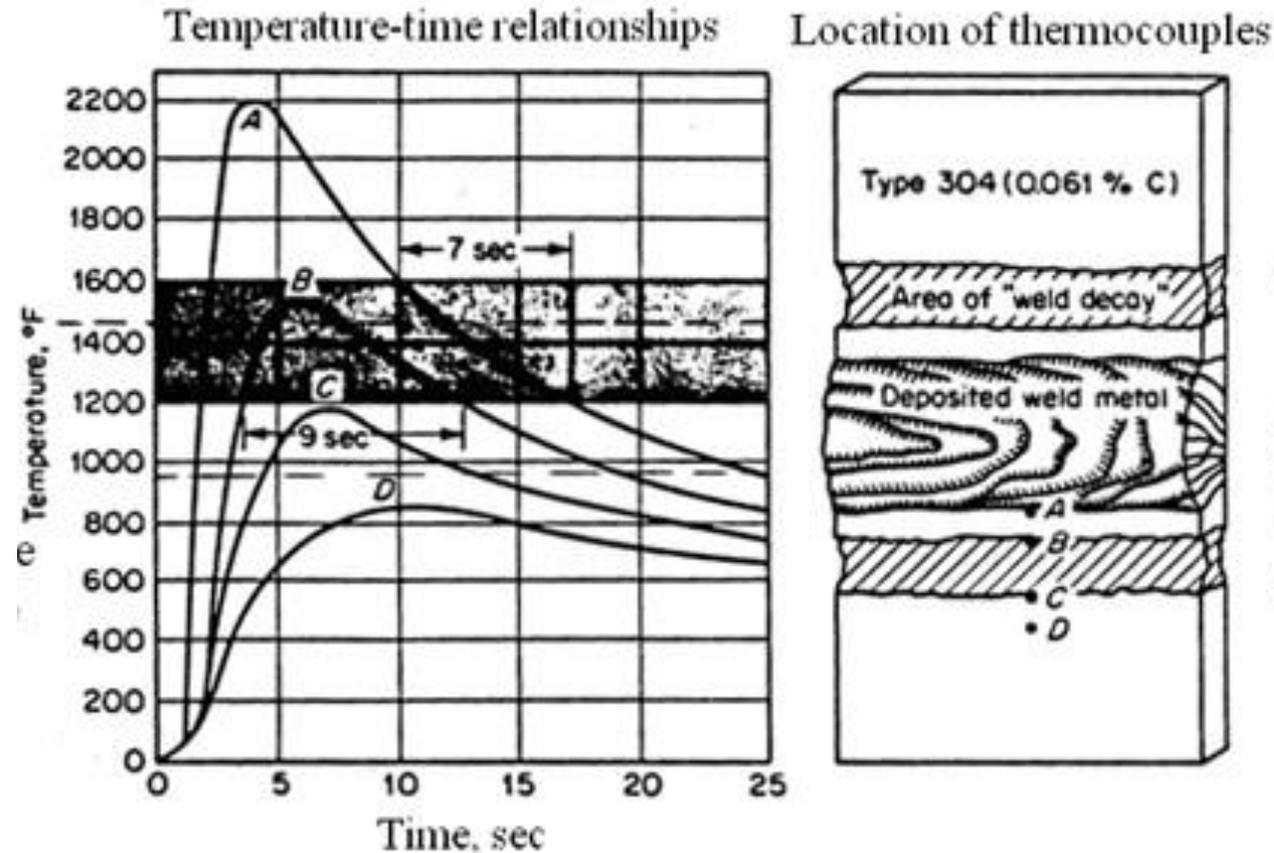
- Ataque intergranular de equipamento **de aço inoxidável solubilizado** e que passou por processo de **soldagem**;
- Durante a soldagem regiões próximas ao cordão de solda passam por **ciclos térmicos acima ou na temperatura de sensitização**;
- **Precipitação** de carbonetos de cromo **durante a soldagem ou durante o resfriamento** (curvas TTT);
- **Corrosão intergranular da região sensitizada** quando o aço é exposto a condições que favorecem este tipo de corrosão.

Analogia com uma toalha de mesa para o fluxo de calor e temperatura durante soldagem. Visualizar um bloco pontiagudo sendo movido sob uma toalha de mesa presa por um elástico.



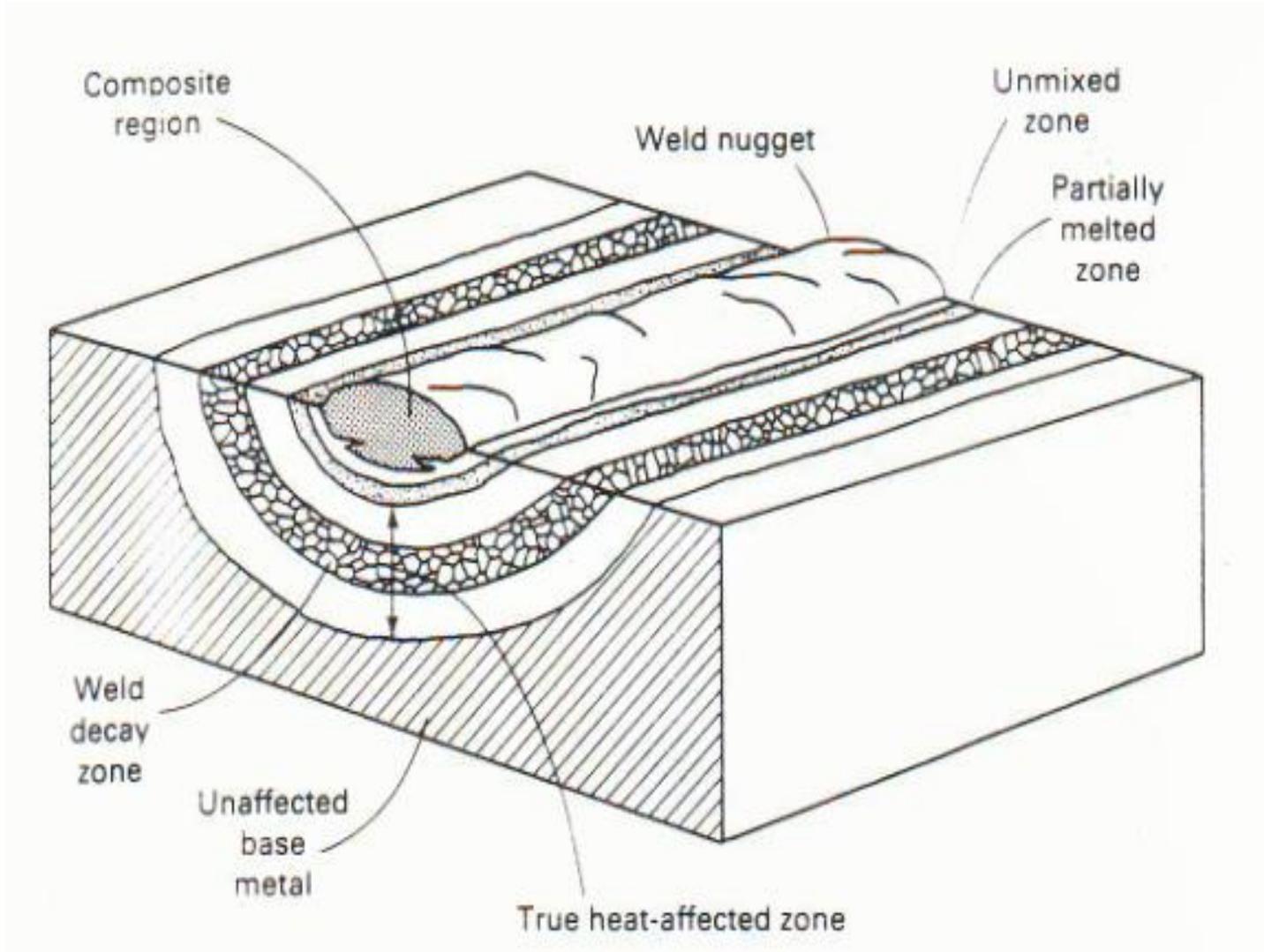
CORROSÃO INTERGRANULAR EM TORNO DE CORDÃO DE SOLDA

Perfil de temperatura durante soldagem a arco elétrico de um aço inoxidável 304



- **Termopares** colocados nos pontos A, B, C e D;
- **Ponto A** – 7 segundos na zona de sensitização durante o resfriamento;
- **Ponto B** – 9 segundos na zona de sensitização durante a soldagem e resfriamento.

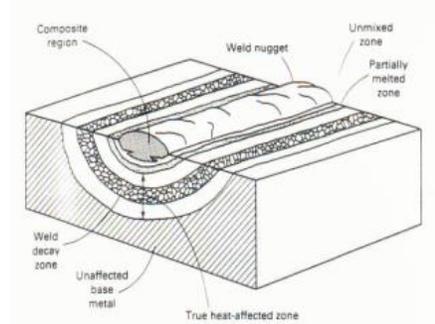
Aços Inoxidáveis Austeníticos (Morfologia – Sensitização)



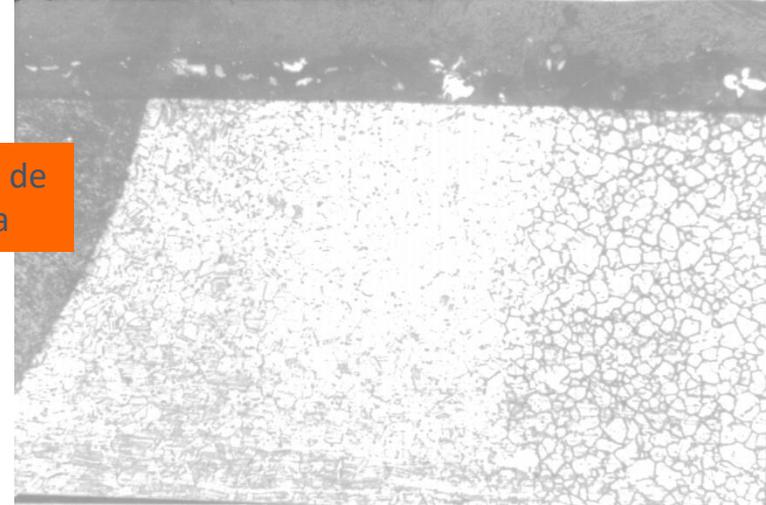
Para os aços inoxidáveis Ferríticos a zona sensitizada se encontra mais próxima do cordão de solda.

Aços Inoxidáveis Austeníticos (Morfologia – Sensitização)

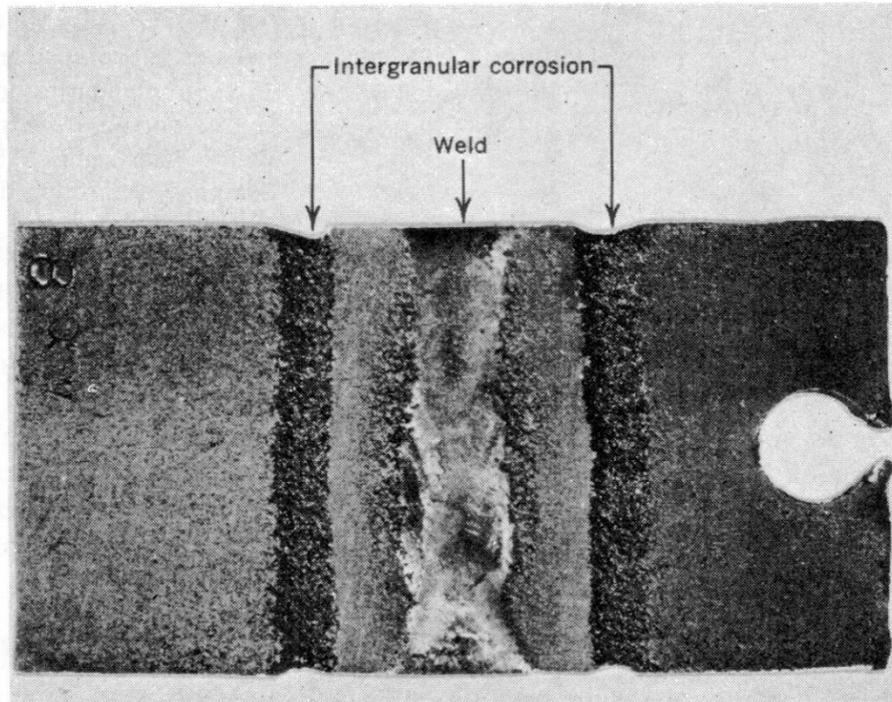
Aspecto Macro e Micrográfico



Cordão de solda



↑
↑
Região sensibilizada

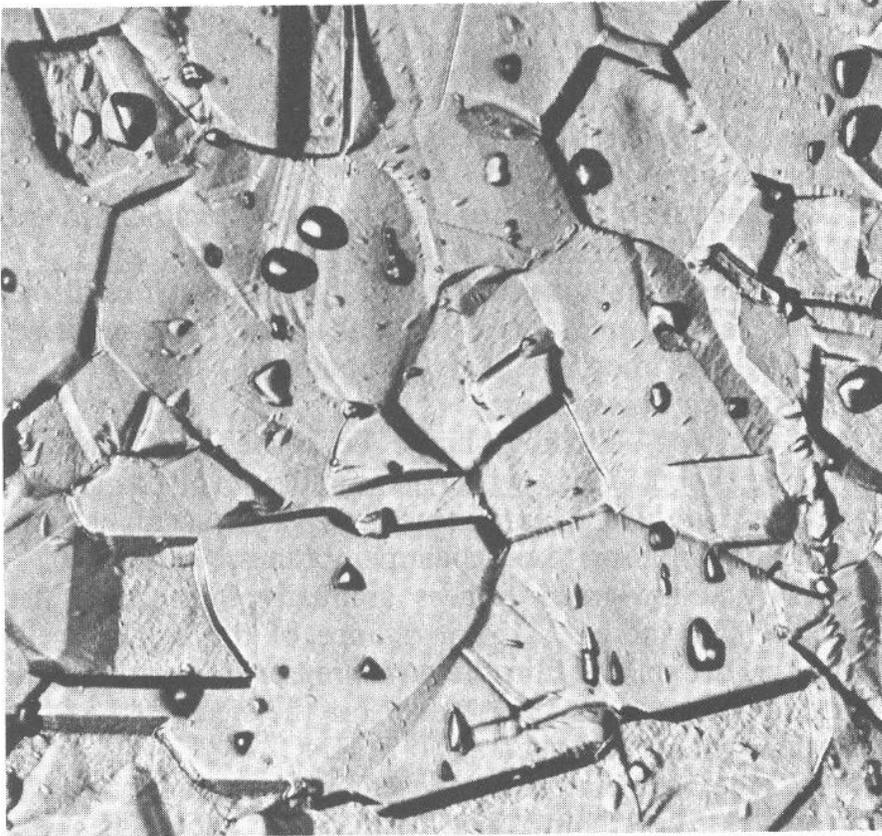


Fonte: Aula Prof. Stephann Wolyneç

Avaliação da Corrosão Intergranular

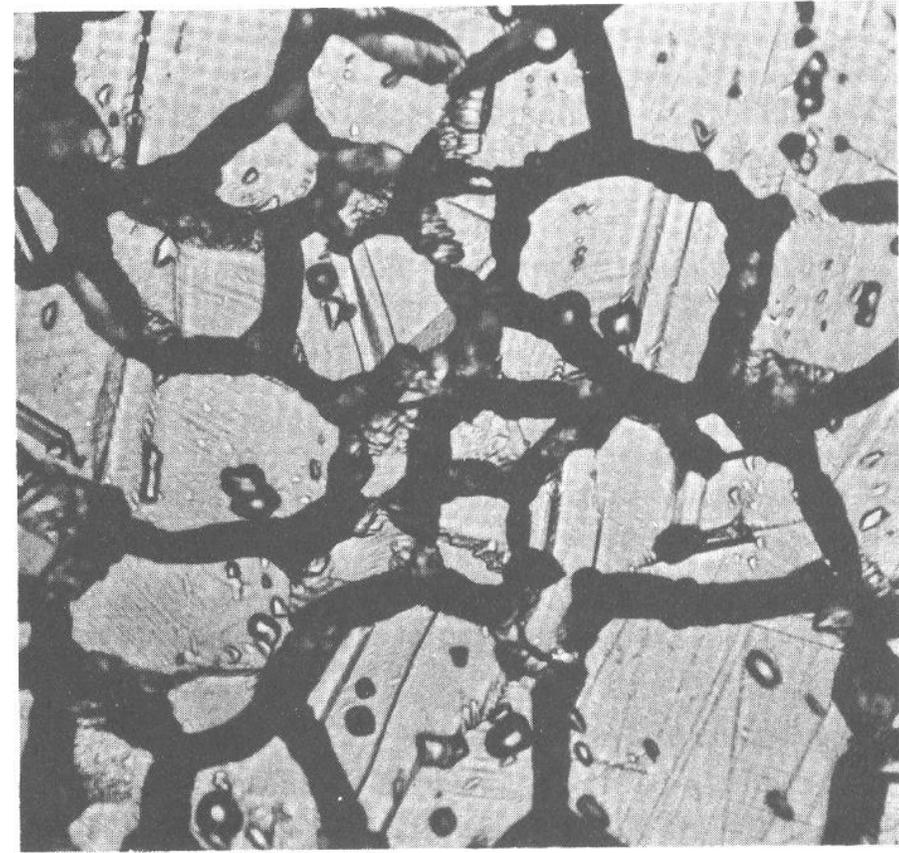
- **Austeníticos: ASTM A262 (Standard Practices for Detecting Susceptibility to Intergranular Attack in Austenitic Stainless Steels)** (envolve 5 práticas diferentes)
 - Prática A - lixamento da amostra seguido de ataque eletrolítico em solução de 10% de ácido oxálico (resultados dependem da distância entre os eletrodos, do potencial aplicado e do tempo) – observação por microscopia óptica.
 - Ensaios de imersão – demais práticas (geralmente em soluções em ebulição).
- **Ferríticos: ASTM A763 (Standard Practices for Detecting Susceptibility to Intergranular Attack in Ferritic Stainless Steels)** (envolve quatro práticas: W, X, Y, Z)
 - Prática W – lixamento da amostra seguido de ataque eletrolítico em solução de 10% de ácido oxálico – observação por microscopia óptica.
 - Ensaios de imersão – demais práticas (geralmente em soluções em ebulição).
- **EPR: Método Eletroquímico de Reativação Potenciodinâmica**
 - DL-EPR : trata-se de um ensaio potenciodinâmico com ciclo duplo.

Micrografias de Aços Inoxidáveis Austeníticos (ASTM A262 – Prática A)



“Step” - Degraus

Não sensitizado



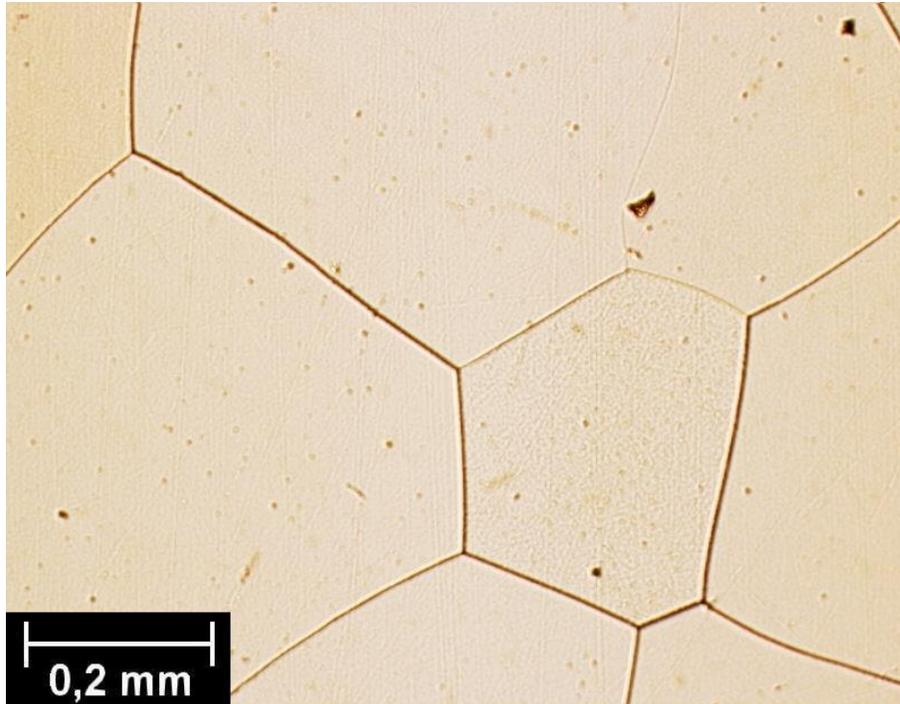
“Ditch” - Vala

Sensitizado

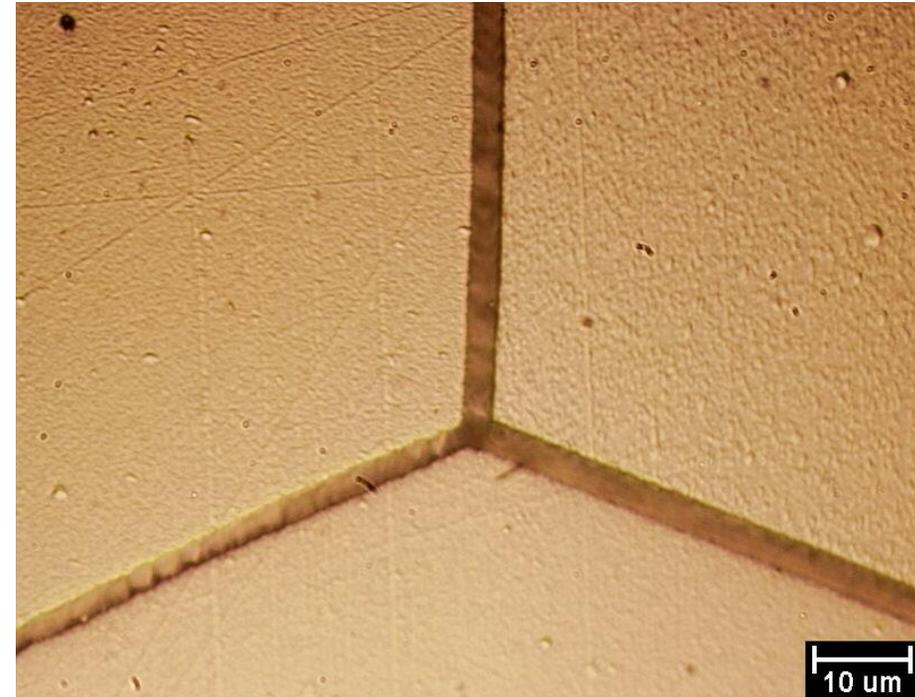
Avaliação da Corrosão Intergranular

- **Austeníticos: ASTM A262 (Standard Practices for Detecting Susceptibility to Intergranular Attack in Austenitic Stainless Steels)** (envolve 5 práticas diferentes)
 - Prática A - lixamento da amostra seguido de ataque eletrolítico em solução de 10% de ácido oxálico (resultados dependem do da distância entre os eletrodos, do potencial aplicado e do tempo) – observação por microscopia óptica.
 - Ensaios de imersão – demais práticas (geralmente em soluções em ebulição)
- **Ferríticos: ASTM A763 (Standard Practices for Detecting Susceptibility to Intergranular Attack in Ferritic Stainless Steels)** (envolve quatro práticas: W, X, Y, Z)
 - Prática W – lixamento da amostra seguido de ataque eletrolítico em solução de 10% de ácido oxálico – observação por microscopia óptica.
 - Ensaios de imersão – demais práticas (geralmente em soluções em ebulição)
- **EPR: Método Eletroquímico de Reativação Potenciodinâmica**
 - DL-EPR : trata-se de um ensaio potenciodinâmico com ciclo duplo.

Aços Inoxidáveis Ferríticos (Morfologia – Sensitização)



UNS S43000 aquecido a 1200°C e resfriado em óleo após Prática W.
Aumento: 100x.

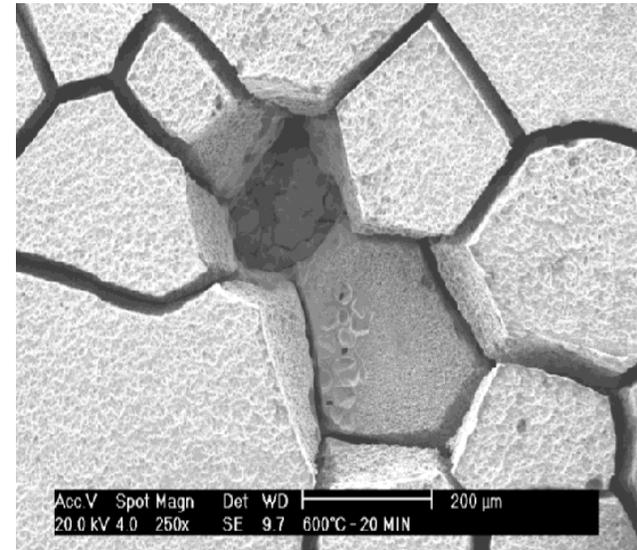
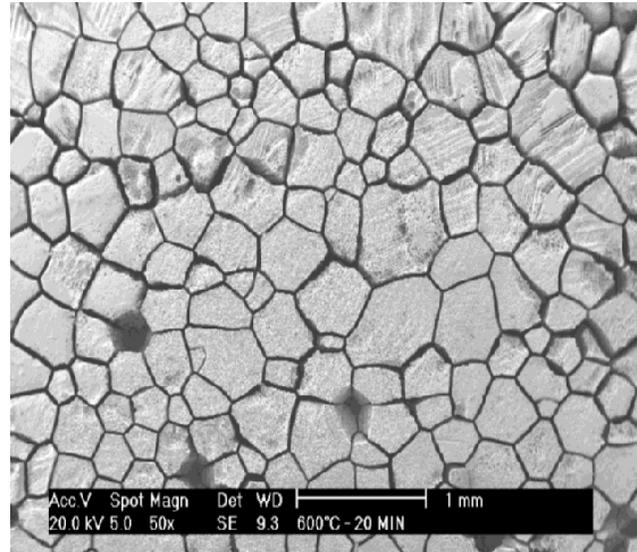


Idem. Aumento: 1000x.

Rogério Felipe Pires – ABM 2004

Prática X da norma ASTM A763 - Ferríticos

Ensaio de imersão em solução de ácido sulfúrico-sulfato férrico em ebulição.



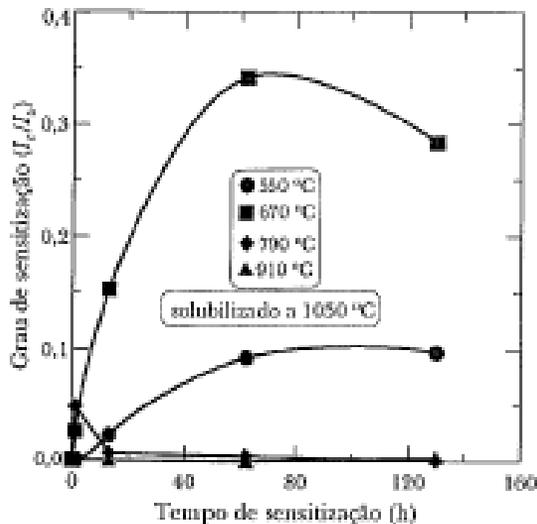
Aço UNS S43000 após Prática X. Tratamento térmico: 600°C – 20 min. Observa-se a amplitude e profundidade das valas nos contornos de grão e ausência de grãos o que proporciona uma maior perda de massa e, conseqüentemente, maior taxa de corrosão. [Carlos Augusto Serna Giraldo, Doutorado, 2006.]

Avaliação da Corrosão Intergranular

- **Austeníticos: ASTM A262 (Standard Practices for Detecting Susceptibility to Intergranular Attack in Austenitic Stainless Steels) (envolve 5 práticas diferentes)**
 - Prática A - lixamento da amostra seguido de ataque eletrolítico em solução de 10% de ácido oxálico (resultados dependem do da distância entre os eletrodos, do potencial aplicado e do tempo) – observação por microscopia óptica.
 - Ensaio de imersão
- **Ferríticos: ASTM A763 (Standard Practices for Detecting Susceptibility to Intergranular Attack in Ferritic Stainless Steels) (envolve quatro práticas: W, X, Y, Z)**
 - Prática W – lixamento da amostra seguido de ataque eletrolítico em solução de 10% de ácido oxálico – observação por microscopia óptica.
 - Ensaio de imersão – demais práticas (geralmente em soluções em ebulição)
- **EPR: Método Eletroquímico de Reativação Potenciodinâmica**
 - DL-EPR : trata-se de um ensaio potenciodinâmico com ciclo duplo.

REATIVAÇÃO POTENCIOCINÉTICA EM CICLO DUPLO (DL-EPR)

- ✓ Ensaio realizado em 0,5 M H₂SO₄ + 0,01 M KSCN a 30 ± 1 °C;
- ✓ Varredura 6 V/h;
- ✓ Amostras lixadas até grana 100;
- ✓ Curva de polarização anódica obtida partindo do potencial de corrosão até o potencial de passivação (+300 mV ECS);
- ✓ Varredura na direção reversa até o potencial de corrosão;
- ✓ Grau de sensitização avaliado pela relação i_r/i_a ;
- ✓ DOS (*degree of sensitization*) aumenta com a razão i_r/i_a .



Variação do DOS, determinado por DL-EPR, para o aço inoxidável Austenítico AISI 304 submetido a diferentes tratamentos de sensitização

Curva esquemática para um ensaio de **reativação potenciocinética de ciclo duplo (DL-EPR)** para o aço inoxidável do tipo AISI 304 sensitizado.

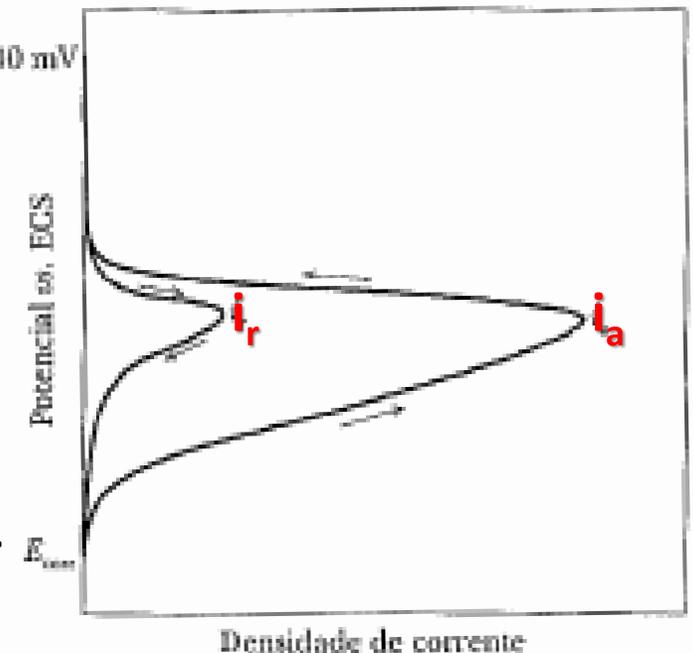
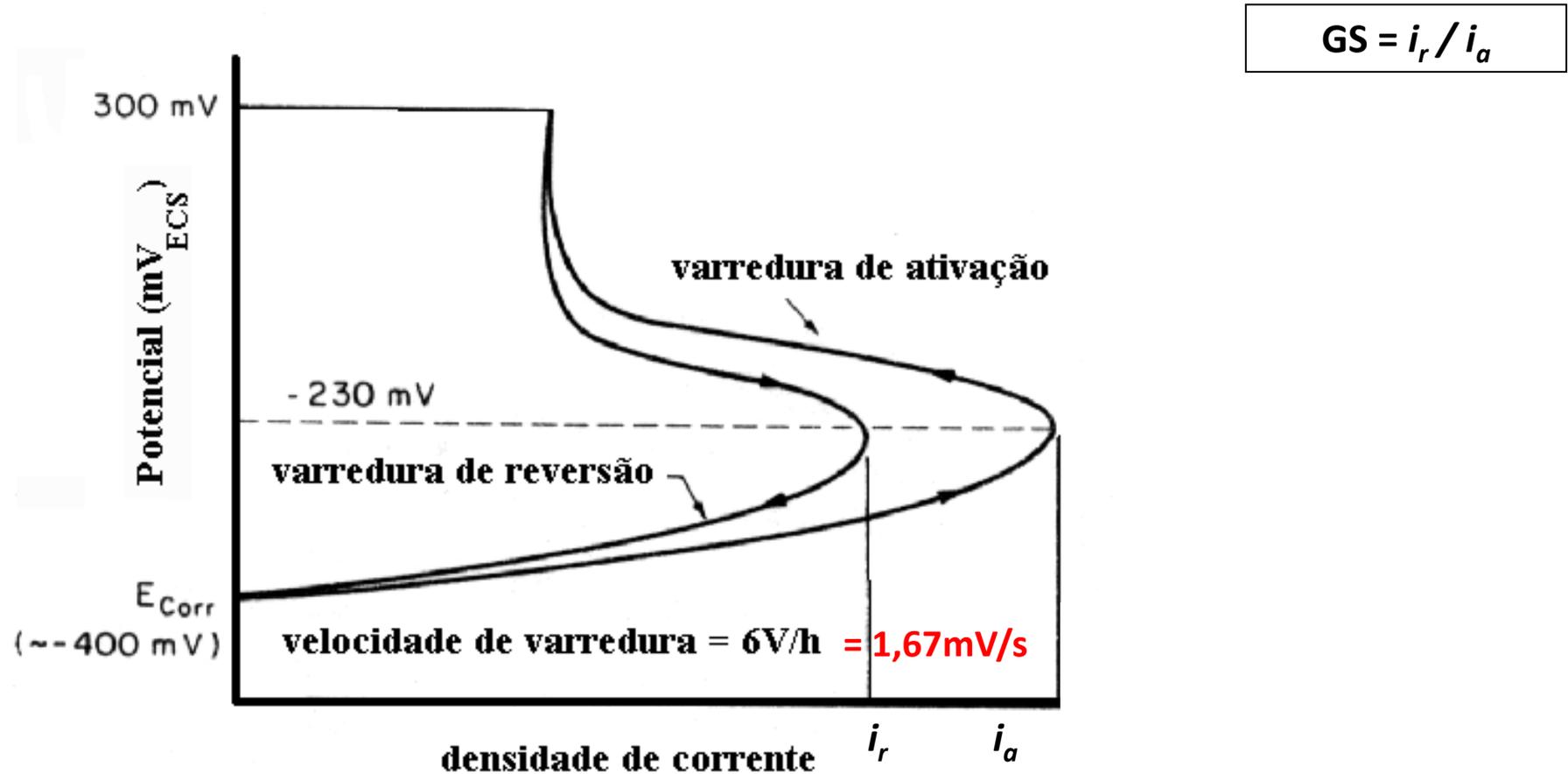


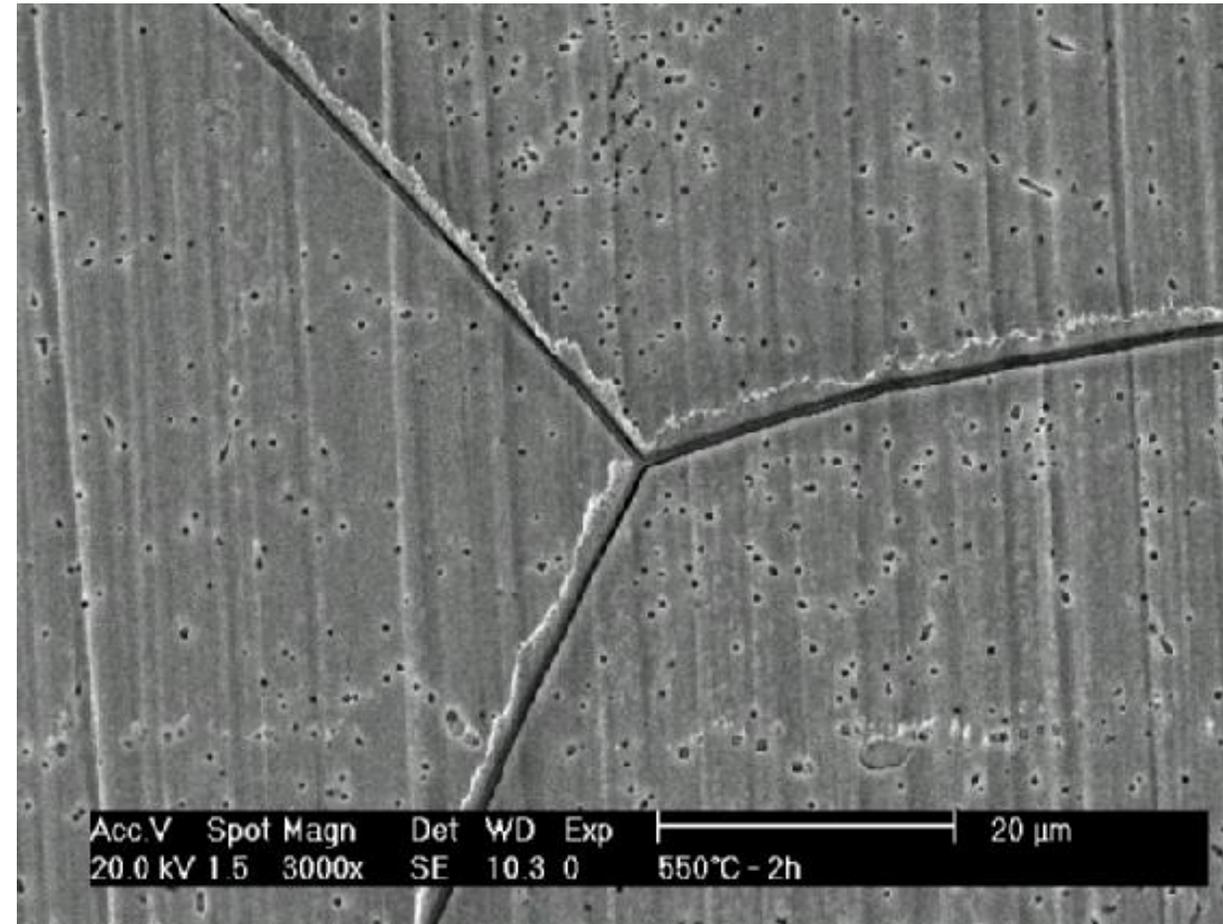
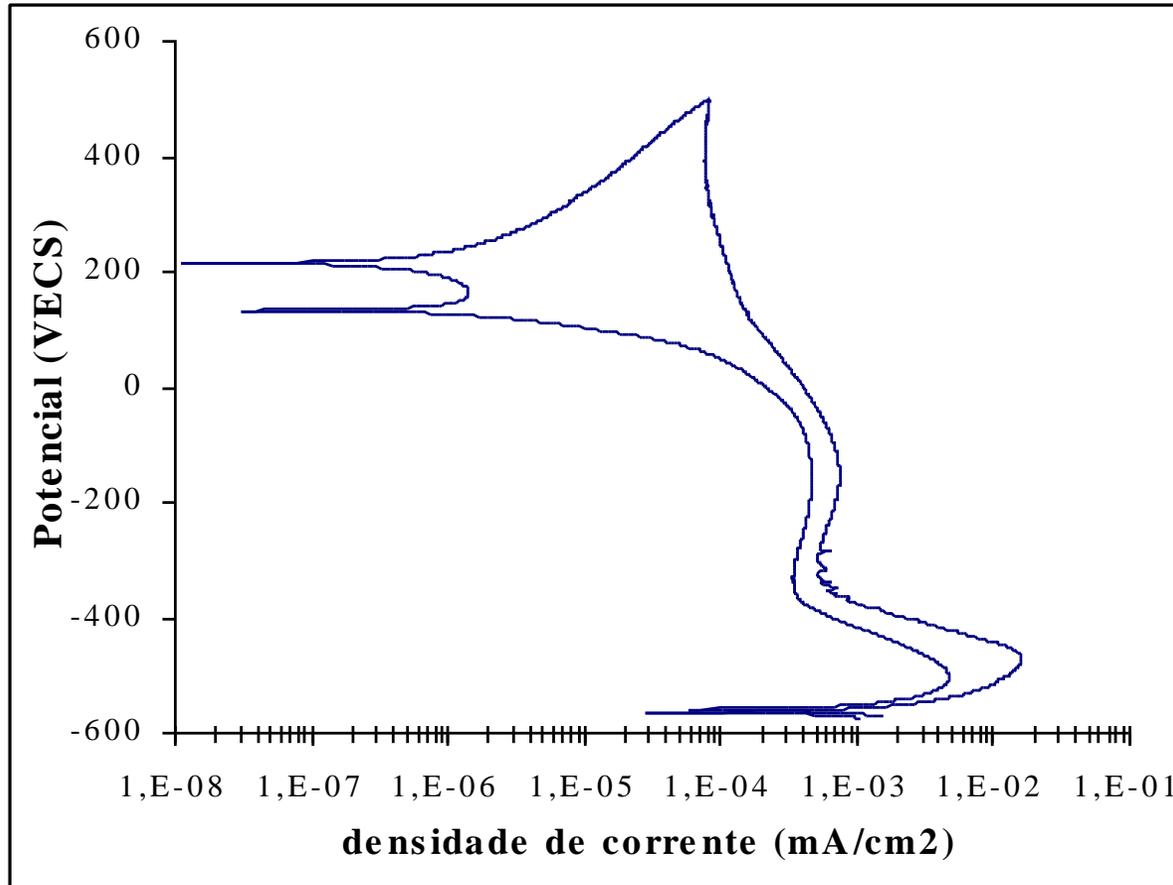
Diagrama esquemático do ensaio DL-EPR

(Carlos A. Serna Giraldo, Doutorado, 2006 - MAJIDI, STREICHER, 1986).



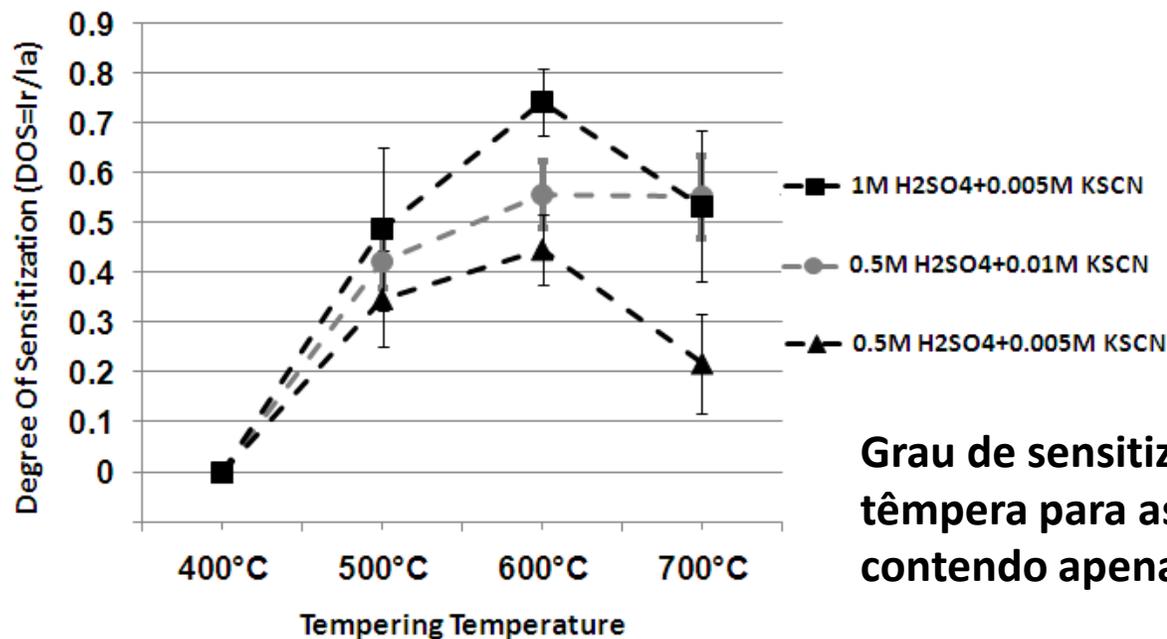
DL-EPR em 0,5M H₂SO₄ para o aço UNS S43000 tratado a 550°C por 2 horas e morfologia após polarização.

Observa-se ataque das regiões pobres em cromo. [Carlos Augusto Serna Giraldo, Doutorado, 2006.]



Intergranular Corrosion in a Super-Martensitic Stainless Steel Containing 0.06N-0.025Nb-0.1V

- ✓ Não existe norma para aplicar a DL-EPR a este tipo de aço;
- ✓ Determinar o melhor eletrólito para avaliar a sensitização do aço em questão;
- ✓ Tratamento de austenitização (1.050° C) seguido de têmpera a 400, 500, 600 e 700° C;
- ✓ Eletrólitos utilizados: (XM H₂SO₄ + YM KSCN);
- ✓ **Ciclo:** velocidade de varredura 1,67 mV/s; E_{corr} → E = 500 mV → E_{corr}; T = 22 ± 2° C;



Eletrólito 0.5M H₂SO₄+0.005M KSCN considerado o mais adequado por permitir diferenciar melhor o grau de sensitização e apresentar o menor desvio padrão.

Grau de sensitização (**DOS**) em função da temperatura de têmpera para as três soluções contendo KSCN. Soluções contendo apenas H₂SO₄ se revelaram muito pouco agressivas.