

MÉTODOS ALTERNATIVOS PARA DETERMINAÇÃO DA TENACIDADE À FRATURA

Claudio Antonio Guzansky Rocha
Danilo Almirón Pereira
Fernando Souza de Almeida
Ronaldo Bonometti Vallesi
Tiago Machado Salvador

Orientadores:
Prof. M.Sc. Willy Ank de Moraes
Prof. Dr. José Carlos Morilla

Santos/SP

INTRODUÇÃO

- Tenacidade à fratura

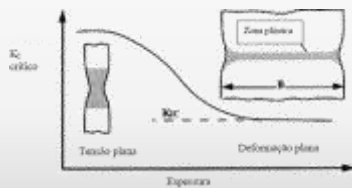
“Capacidade de um material resistir à propagação de uma trinca”



Universidade Santa Cecília – Santos/SP

INTRODUÇÃO

- K_{Ic}
Tenacidade à fratura em deformação plana
Regime Linear elástico
Unidade: MPa $\sqrt{m}$

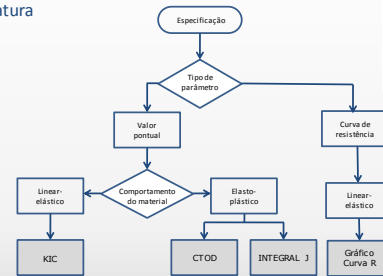


Fatores que influenciam:
Temperatura
Taxa de deformação
Micro estrutura

Universidade Santa Cecília – Santos/SP

INTRODUÇÃO

- Ensaio de tenacidade à fratura



Universidade Santa Cecília – Santos/SP

INTRODUÇÃO

- Ensaio de tenacidade à fratura
CTOD

- Flexão por três pontos
- Pré-trinca por fadiga
- Medição da abertura de trinca

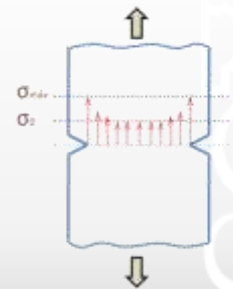


Universidade Santa Cecília – Santos/SP

INTRODUÇÃO

- Fator de concentração de tensões

$$k_t = \frac{\sigma_{máx}}{\sigma_0}$$



Universidade Santa Cecília – Santos/SP

engenharia mecânica MÉTODOS ALTERNATIVOS PARA DETERMINAÇÃO DE TENACIDADE À FRATURA

OBJETIVO

Tração Charpy Tração com entalhe CTOD

$K_t = 0$

Concentração de tensões

Universidade Santa Cecília – Santos/SP

engenharia mecânica MÉTODOS ALTERNATIVOS PARA DETERMINAÇÃO DE TENACIDADE À FRATURA

OBJETIVO

- Ensaio de tração com corpo de prova entalhado.

Sem entalhe Com entalhe

Universidade Santa Cecília – Santos/SP

engenharia mecânica MÉTODOS ALTERNATIVOS PARA DETERMINAÇÃO DE TENACIDADE À FRATURA

OBJETIVO

- NSR (Notch Strength Ratio)

$$NSR = \frac{LR_{CE}}{LR}$$

→ Limite de Resistência do CP com entalhe

→ Limite de Resistência do material

Universidade Santa Cecília – Santos/SP

engenharia mecânica MÉTODOS ALTERNATIVOS PARA DETERMINAÇÃO DE TENACIDADE À FRATURA

OBJETIVO

- NYR (Notch Yield Ratio)

$$NYR = \frac{LR_{CE}}{LE}$$

→ Limite de Resistência do CP com entalhe

→ Limite de Escoamento do material

Universidade Santa Cecília – Santos/SP

engenharia mecânica MÉTODOS ALTERNATIVOS PARA DETERMINAÇÃO DE TENACIDADE À FRATURA

OBJETIVO

- NER (Notch Energy Ratio)

$$NER = \frac{E_{SE}^{Plast}}{E_{SE}^{Total}} \times \frac{E_{CE}^{Total}}{E_{SE}^{Total}}$$

$$NER = D \times EE$$

↓ Índice de ductilidade do material

↓ Índice de efetividade do entalhe

Universidade Santa Cecília – Santos/SP

engenharia mecânica MÉTODOS ALTERNATIVOS PARA DETERMINAÇÃO DE TENACIDADE À FRATURA

MATERIAIS

Material: Aço API 5L X56M PSL2

- Aplicação: indústria petroquímica
- Baixa liga (0,08% C)
- Alta resistência (LR = 500 MPa)

Quantidade de corpos de prova utilizados:

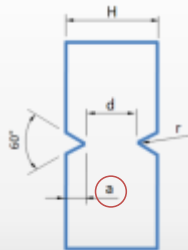
- 5 sem entalhe
- 5 com entalhe

(Fornecidos pela Usiminas – Cubatão)

Universidade Santa Cecília – Santos/SP

MATERIAIS

- Dimensões do CP recomendado pela ASTM E 338-91

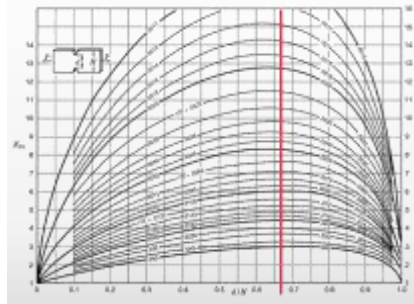


CP recomendado	
Dimensões	
H =	75 mm
d =	50 mm
r =	0,018 mm
a =	12,5 mm

Universidade Santa Cecília – Santos/SP

MATERIAIS

- Dimensionamento do entalhe - Através do Kt recomendado



Relações para o ábaco	
d/H =	0,667
r/H =	0,00024*
2a/H =	0,333
H/d =	1,500

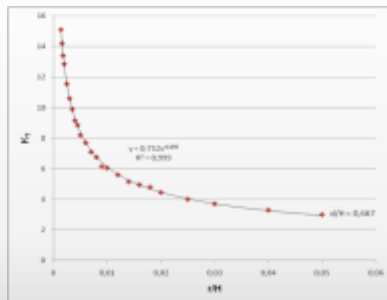
(*) Relação r/H ultrapassa limite do ábaco

PETERSON'S STRESS CONCENTRATION FACTORS (PILKEY, 1997)

Universidade Santa Cecília – Santos/SP

MATERIAIS

- Extrapolação da curva

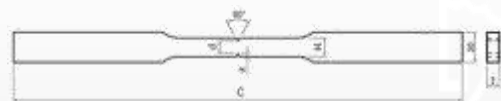


Encontrado
Kt = 33

Universidade Santa Cecília – Santos/SP

MATERIAIS

- Dimensões dos corpos de prova entalhados



CP	H (mm)	d (mm)	t (mm)	C (mm)
CP 468078-T E	12,7	8,4	6,4	300
CP 468116-T E	12,7	8,4	6,4	300
CP 468117-T E	12,7	8,4	6,4	300
CP 823870-T E	12,7	9,0	2,6	300
CP 823871-T E	12,7	9,0	2,6	300

Universidade Santa Cecília – Santos/SP

MATERIAIS

- Usinagem do entalhe
1º processo – desbaste
Utilizado nos CPs 823870-TE e 823871-TE (2,6 mm de espessura)



Universidade Santa Cecília – Santos/SP

MATERIAIS

- Usinagem do entalhe
2º processo – desbaste com fresa rotativa
Broca centrada de aço rápido IZAR 3.15x8, usinada com cone de 60º



Universidade Santa Cecília – Santos/SP

MATERIAIS

- Usinagem do entalhe - 2º processo (CPs de 6,4 mm de espessura)
- Fresadora de topo Sanches Blanes modelo FU-1



Universidade Santa Cecília – Santos/SP

ENSAIO

- Máquina Eletro-Mecânica modelo EMIC – Linha DL – Capacidade de 100 kN.



Universidade Santa Cecília – Santos/SP

ENSAIO

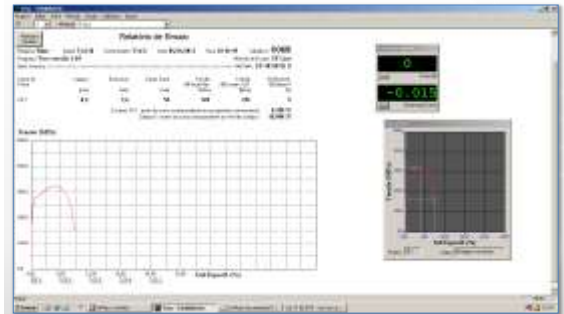
- Ensaio de tração com corpo de prova entalhado



Universidade Santa Cecília – Santos/SP

ENSAIO

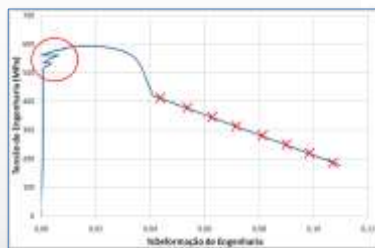
- Interface do software



Universidade Santa Cecília – Santos/SP

ENSAIO

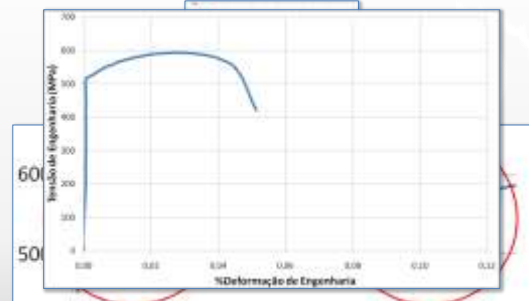
- Correção das curvas



Universidade Santa Cecília – Santos/SP

ENSAIO

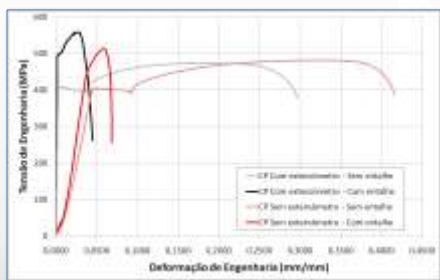
- Correção das curvas



Universidade Santa Cecília – Santos/SP

ANÁLISE DOS RESULTADOS

- Comparativo com e sem extensômetro/entalhe



Universidade Santa Cecília – Santos/SP

ANÁLISE DOS RESULTADOS

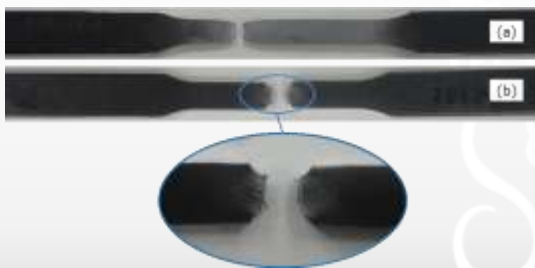
- Comparativo com e sem extensômetro/entalhe

Material	Condição	NYR	NSR	NER	D	EE
823870-T	com extensômetro	1,365	1,178	0,128	0,992	0,129
823871-T	sem extensômetro	1,283	1,075	0,114	0,955	0,120
Diferença (%)		6,06	8,67	10,63	3,70	7,19

Universidade Santa Cecília – Santos/SP

ANÁLISE DOS RESULTADOS

- Deformação plástica - com entalhe x sem entalhe



Universidade Santa Cecília – Santos/SP

ANÁLISE DOS RESULTADOS

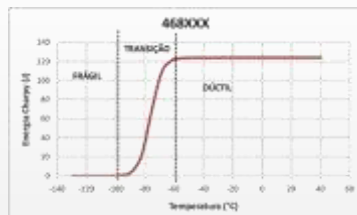
- Energia de ruptura - com entalhe x sem entalhe

Energia para ruptura (N mm/mm²)					
	468078-T	468116-T	468117-T	823870-T	823871-T
Liso	141,19	159,84	174,46	133,07	176,73
Entalhado	28,69	30	32,53	17,19	21,18

Universidade Santa Cecília – Santos/SP

ANÁLISE DOS RESULTADOS

- Energia de Charpy



	LE (MPa)	LR (MPa)	E (GPa)	Ec (J)*
468XXX	446	485	371	124

(*) Em temperatura ambiente (25°C)

Universidade Santa Cecília – Santos/SP

ANÁLISE DOS RESULTADOS

- K_{IC} em função da energia de Charpy

$$K_{IC} = LE \times \sqrt{0,646 \left(\frac{E_C}{LE} - 0,01 \right)} \quad (\text{Eq. I})$$

$$K_{IC} = LE \times \sqrt{\left[0,177 \cdot \left(\frac{E_C}{LE} \right) - 0,0011 \right]} \quad (\text{Eq. II})$$

$$K_{IC} = 0,300 \times \sqrt{E \cdot (E_C)^{1,5}} \quad (\text{Eq. III})$$

$$K_{IC} = 0,342 \times \sqrt{E \cdot (E_C)} \quad (\text{Eq. IV})$$

$$K_{IC} = 19 \times \sqrt{E_C} \quad (\text{Eq. V})$$

$$K_{IC} = 0,025 \times \sqrt{LE \times E_C} \quad (\text{Eq. VI})$$

Universidade Santa Cecília – Santos/SP

ANÁLISE DOS RESULTADOS

- K_{IC} em função da energia de Charpy

$K_{IC} = f(E_C) \text{ [MPa} \cdot \sqrt{\text{m}}] - T=25^\circ\text{C}$						
	Eq. I	Eq. II	Eq. III	Eq. IV	Eq. V	Eq. VI
468XXX	185,44	97,75	278,96	180,53	211,45	146,87



Universidade Santa Cecília – Santos/SP

CONCLUSÃO

- Usinagem do entalhe;
- Preferência à utilização de extensômetro;
- Grande dispersão nos resultados de K_{IC} em função de energia Charpy;
- Aprofundamento no conhecimento da área de materiais / mecânica da fratura

Universidade Santa Cecília – Santos/SP

AGRADECIMENTOS

- Professor Willy Ank de Moraes, orientador do grupo;
- Professor José Carlos Morilla, co-orientador do grupo;
- Professor Carlos Alberto Amaral Moino, coordenador do curso;
- Aos familiares e amigos que tornaram isso possível.

Universidade Santa Cecília – Santos/SP



Santos/SP