CONGRESSO TECNICO ASSOFOND – 2020

ASSOFOND TECHNICAL CONGRESS - 2020

Franco Zanardi – Honorary President

16th November 2020

Riclassificazione dei gradi delle ghise a grafite sferoidale sulla base delle esigenze progettuali

Reclassification of Spheroidal Graphite Ductile Cast Irons Grades According to Design Needs

Avvertenza

Disclaimer

Questa presentazione e i dati presentati non rappresentano una pratica consolidata di progettazione della Zanardi Fonderie per tutti gli elementi descritti.

I dati numerici devono intendersi come esemplificativi e non come una consolidata capacità di processo.

Questa presentazione rappresenta una personale proposta per la progettazione e la formulazione degli standard dei materiali da parte dell'autore Franco Zanardi e non coinvolge in alcun modo la responsabilità di Zanardi Fonderie.

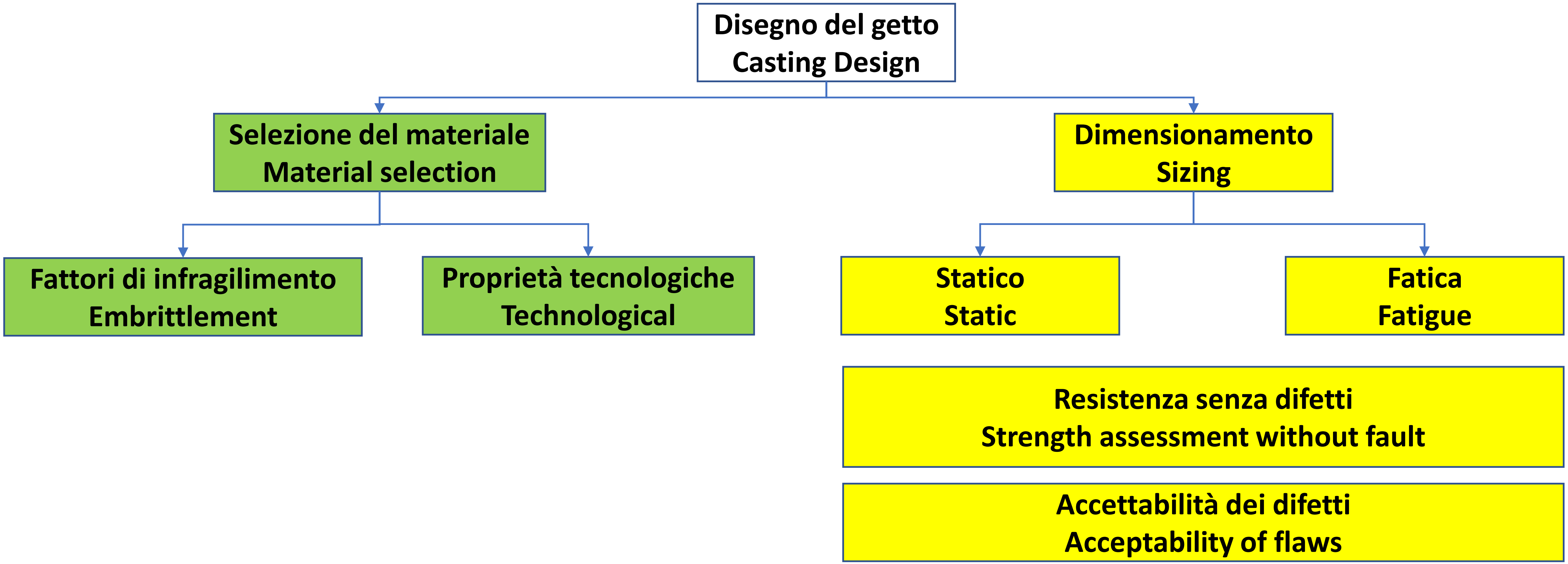
This presentation and the displayed data do not represent a consolidated design practice at Zanardi Fonderie for every described item.

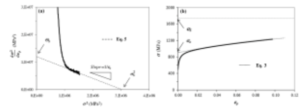
The numerical data are to be intended as examples and not a consolidated process capability.

This presentation represents merely a personal idea for design and material standard approach of the author Franco Zanardi and does not lead to any responsibility to Zanardi Fonderie organization.

Proprietà delle ghise sferoidali in accordo con le esigenze progettuali dei Costruttori

DIs properties according to the End Users Design Needs



Selezione del materiale **Material selection** — **Infragilimento** **Embrittlement**	Metriche Metrics
Lunghezza caratteristica del materiale Material characteristic length	$MCL = (K_{IC}/R_{p0.2})^2$
Durezza Brinell Brinell hardness range	ΔHBW
Stabilità austenite nelle ADI Austenite stability in ADI	VOCE 
Rapporto di resistenza Strength ratio	$SR = R_m/R_{p0.2}$
Velocità di applicazione del carico Strain rate	Charpy J Hopkinson bar
Temperatura Temperature	
Triassialità nella frattura duttile Triaxiality under ductile fracture	A_5
Perdonanza Forgivability	K_Q K_{EE}

Selezione del materiale
Material selection

Proprietà tecnologiche
Technological

Durezza Brinell
Brinell hardness

Stabilità austenite nelle ADI
Austenite stability in ADI

Lavorabilità
Machinability

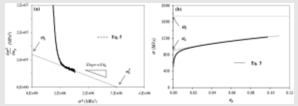
Resistenza all'usura
Wear Resistance

Indurimento superficiale
Surface Hardening

Saldabilità
Weldability

Metriche Metrics

HBW ΔHBW

VOCE 

Informazioni destrutturate

BOK

Dimensionamento
Sizing

Statico
Static

Resistenza senza difetti
Strength assessment without fault

	Metriche Metrics
Resistenza allo snervamento Yield strength	$R_{p0.2}$
Rapporto di resistenza Strength ratio	$SR = R_m/R_{p0.2}$
Velocità di applicazione del carico Strain rate	Hopkinson bar flow curve
Temperatura Temperature	
Triassialità nella frattura duttile Triaxiality under ductile fracture	A_5

Dimensionamento Sizing	Statico Static	Accettabilità dei difetti Acceptability of flaws

Metriche Metrics

Resistenza allo snervamento Yield strength	$R_{p0.2}$
Rapporto di resistenza Strength ratio	$SR = R_m/R_{p0.2}$
Velocità di applicazione del carico Strain rate	Hopkinson bar flow curve
Temperatura Temperature	
Lunghezza caratteristica del materiale Material characteristic length	$MCL = (K_{IC}/R_{p0.2})^2$

Dimensionamento **Sizing**	**Fatica** **Fatigue**	**Resistenza senza difetti** **Strength assessment without fault**

	Metriche Metrics
Resistenza allo snervamento Yield strength	$R_{p0.2}$
Resistenza a fatica sul liscio controllata in tensione Smooth stress controlled fatigue strength	$\Delta\sigma$ vs N
Resistenza a fatica sul liscio controllata in deformazione Smooth strain controlled fatigue strength	$\Delta\varepsilon$ vs N

Dimensionamento Sizing	Fatica Fatigue	Accettabilità dei difetti Acceptability of flaws

	Metriche Metrics
Resistenza allo snervamento Yield strength	$R_{p0.2}$
Valore di soglia per il fattore di intensificazione degli sforzi d alto numero di cicli Threshold value for the stress intensity factor at high cycles	ΔK_{th}

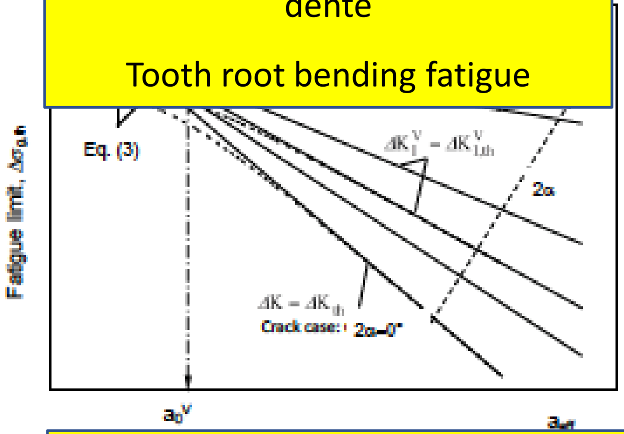
Dimensionamento Sizing	Fatica Fatigue	Resistenza senza difetti Strength assessment without fault	Accettabilità dei difetti Acceptability of flaws

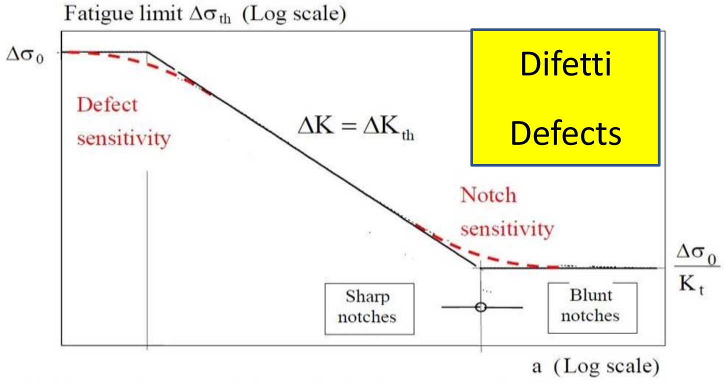
Metriche Metrics

Resistenza allo snervamento Yield strength	$R_{p0.2}$
Resistenza a fatica sul liscio controllata in tensione ad alto numero di cicli Smooth stress controlled fatigue strength at high cycles	$\Delta\sigma$
Valore di soglia per il fattore di intensificazione degli sforzi ad alto numero di cicli Threshold value for the stress intensity factor at high cycles	ΔK_{th}

Fatica flessionale alla radice del dente

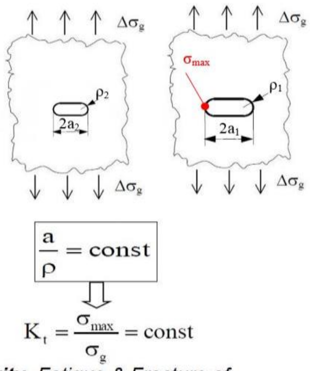
Tooth root bending fatigue





Difetti

Defects



B. Atzori, P. Lazzarin, G. Meneghetti, ***Fracture mechanics and notch sensitivity***, *Fatigue & Fracture of Engineering Materials & Structures*, 2003.

B. Atzori, P. Lazzarin, G. Meneghetti, ***A unified treatment of the mode I fatigue limit of components containing notches or defects,*** *International Journal of Fracture*, 2005.

Diagramma di Kitagawa generalizzato

Generalized Kitagawa diagram

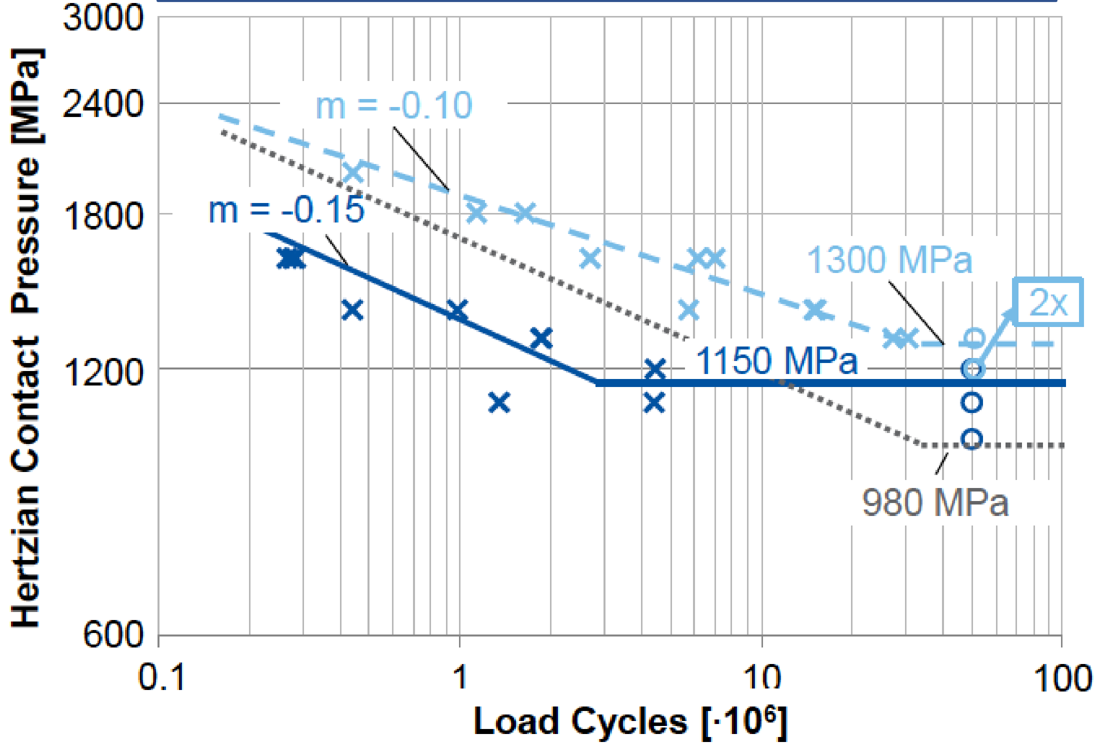
Dimensionamento Sizing	Fatica Fatigue	Resistenza senza difetti Strength assessment without fault	Fatica di contatto Contact fatigue

Metriche Metrics

Pressione hertziana di contatto Hertzian contact pressure	p_H vs N

Test Disc-on-Disc

Disk-on-Disk test



Размеры Sizing	Усталость Fatigue	Оценка прочности без ошибок Strength assessment without fault	Усталость сварных швов Fatigue in welding joints

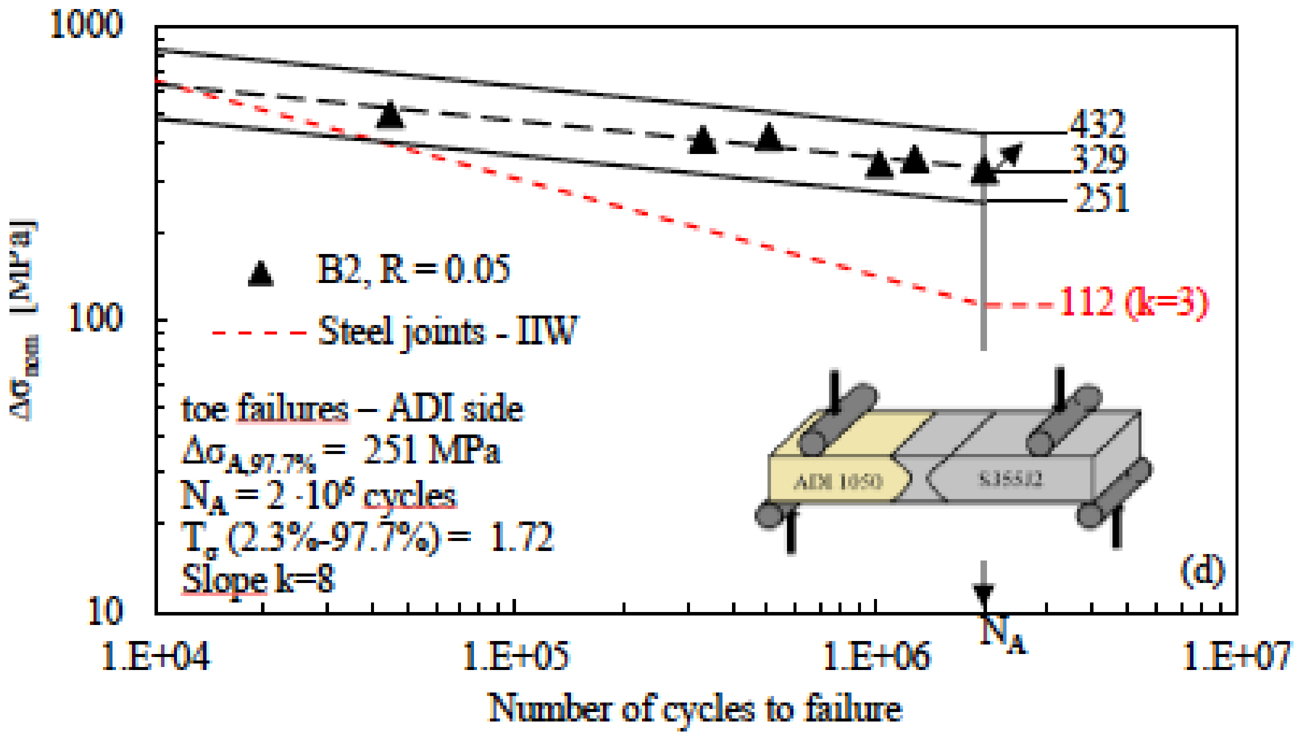
Metriche Metrics

Resistenza a fatica controllata in tensione
Stress controlled fatigue strength

$\Delta\sigma$ vs N

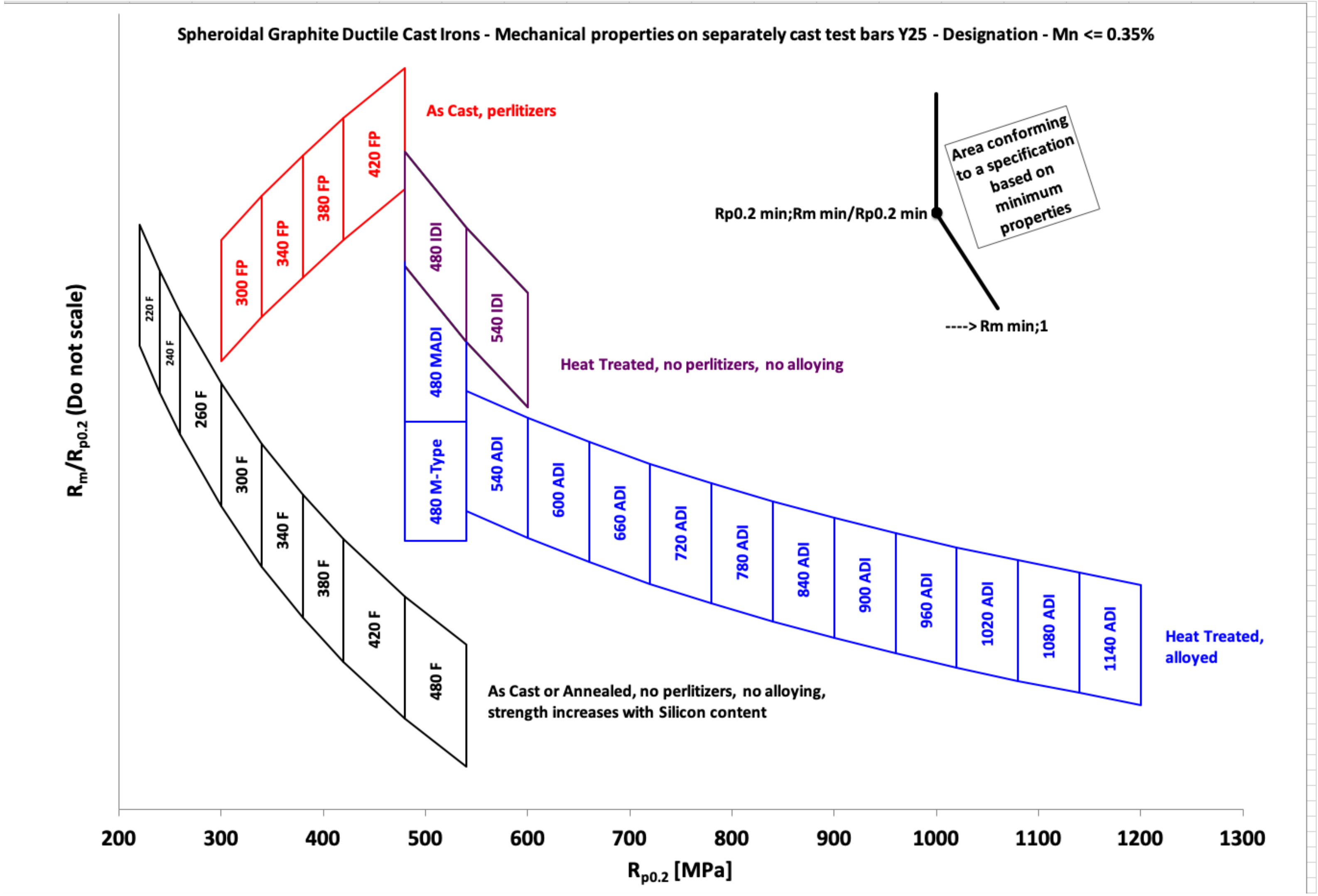
Metodo della tensione di picco e della densità di energia di deformazione

Peak Stress Method and Strain Energy Density



Dalle metriche al database From metrics to database

RICLASSIFICAZIONE RECLASSIFICATION



LIVELLO DI RESISTENZA → Lunghezza caratteristica del materiale
STRENGTH LEVEL → Material characteristic length

$$MCL = (K_{IC}/R_{p0.2})^2$$

			V-NOTCHED CHARPY [J] - TREND VALUES						
Label	RT Y25	RT Y50	RT Y75	-20 °C Y25	-20 °C Y50	-20 °C Y75	-40 °C Y25	-40 °C Y50	-40 °C Y75
220 F									
240 F									
260 F	22,0	19,5	20,5	5,7	11,3	12,2	5,7	6,6	7,1
300 F	15,0	14,4	14,2	5,0	7,5	8,7	4,6	5,3	5,9
340 F	10,2	10,8	9,9	4,3	5,2	6,0	3,7	4,2	4,8
380 F	6,0	7,7	6,8	3,6	3,8	3,9	3,0	3,4	4,0
420 F	4,2	4,6	4,3	2,7	2,6	2,4	2,3	2,5	3,2
480 F	2,4	2,0	2,5	1,6	1,8	1,9	1,7	1,8	2,6
300 FP	9,4	5,8	3,9	5,1	2,0	1,8	4,9	2,3	1,8
340 FP	6,7	4,1	3,5	3,7	2,0	1,8	3,5	2,3	1,8
380 FP	4,6	3,2	2,9	2,7	2,0	1,8	2,5	2,3	1,8
420 FP	2,5	2,4	1,7	1,9	2,0	1,8	1,7	2,3	1,8
480 IDI	5,4	6,6	5,7	4,8	4,0	4,1	4,4	3,6	3,1
540 IDI	4,7	4,0	4,1	3,5	3,2	2,8	3,6	2,5	2,6
480 M-Type									
480 MADI									
540 ADI	10,9	12,3	11,2	7,7	8,1	7,7	6,4	6,0	6,2
600 ADI	10,4	11,7	10,4	7,7	7,9	7,7	6,4	6,0	6,1
660 ADI	9,9	11,1	9,6	7,7	7,7	7,7	6,4	6,0	6,0
720 ADI	9,4	10,5	9,0	7,7	7,5	7,7	6,4	6,0	6,0
780 ADI	9,0	9,9	8,4	7,7	7,3	7,7	6,4	6,0	5,9
840 ADI	8,5	9,3	7,9	7,7	7,1	7,6	6,4	6,0	5,9
900 ADI	8,1	8,7	7,5	7,7	6,9	7,4	6,4	6,0	5,9
960 ADI	7,8	8,1	7,1	7,5	6,7	7,2	6,4	6,0	5,9
1020 ADI	7,4	7,5	6,9	7,3	6,5	7,0	6,3	6,0	5,9
1080 ADI	7,0	6,9	6,8	7,0	6,3	6,7	6,2	6,0	5,9
1140 ADI	6,7	6,3	6,7	6,6	6,3	6,3	6,1	6,0	5,9

			TENTATIVE MATERIAL CHARACTERISTIC LENGTH [KIC/Rp0.2]^2 [mm]						
Label	RT Y25	RT Y50	RT Y75	-20 °C Y25	-20 °C Y50	-20 °C Y75	-40 °C Y25	-40 °C Y50	-40 °C Y75
220 F									
240 F									
260 F	27	27	27	27	27	27	27	27	27
300 F	24	24	24	24	24	24	24	24	24
340 F	21	21	21	20	21	21	18	20	21
380 F	19	19	19	14	15	15	12	13	15
420 F	13	14	13	9	9	8	8	8	10
480 F	6	5	7	5	5	5	5	5	7
300 FP	24	24	24	24	14	13	24	15	13
340 FP	21	20	17	18	11	10	17	12	10
380 FP	17	13	12	11	9	8	11	10	8
420 FP	9	8	6	7	7	6	6	8	6
480 IDI	12	14	13	11	9	10	10	9	8
540 IDI	9	8	8	7	6	5	7	5	5
480 M-Type									
480 MADI									
540 ADI	13	18	13	13	13	13	11	11	11
600 ADI	12	12	12	10	11	10	9	9	9
660 ADI	11	11	10	9	9	9	8	7	7
720 ADI	9	9	8	7	7	7	6	6	6
780 ADI	7	8	7	6	6	6	5	5	5
840 ADI	6	6	6	6	5	5	5	5	4
900 ADI	5	5	5	5	4	5	4	4	4
960 ADI	4	4	4	4	4	4	4	3	3
1020 ADI	4	4	3	4	3	3	3	3	3
1080 ADI	3	3	3	3	3	3	3	3	3
1140 ADI	3	3	3	3	3	3	3	2	2

K_{IC} max [MPa m0.5] = (0.045 E[GPa] Rp0.2[MPa])0.5   E = 170 GPa

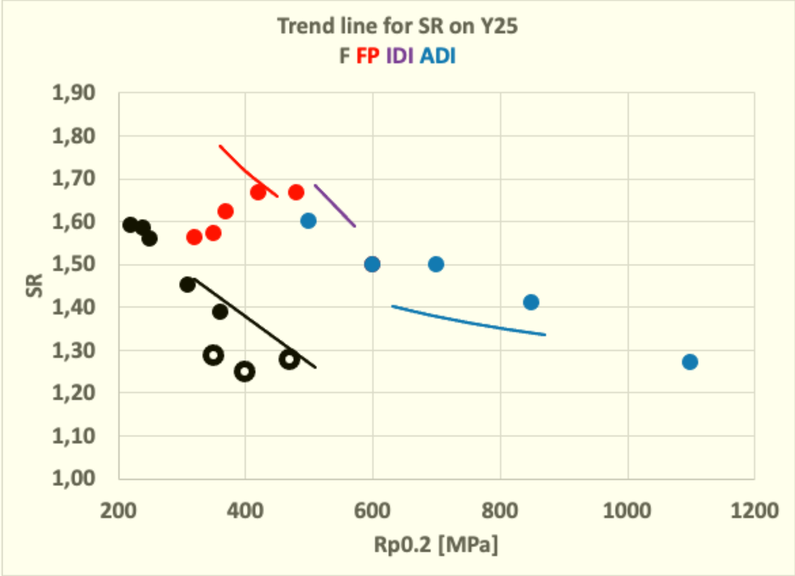
$$K_{JIC} \approx 180[MPa\sqrt{m}]\left(\frac{C_V[J]}{100[J]}\right)^{0.4}$$ Wallin   Tentative $K_{IC} = \min(K_{IC}\ max\ ; K_{JIC})$

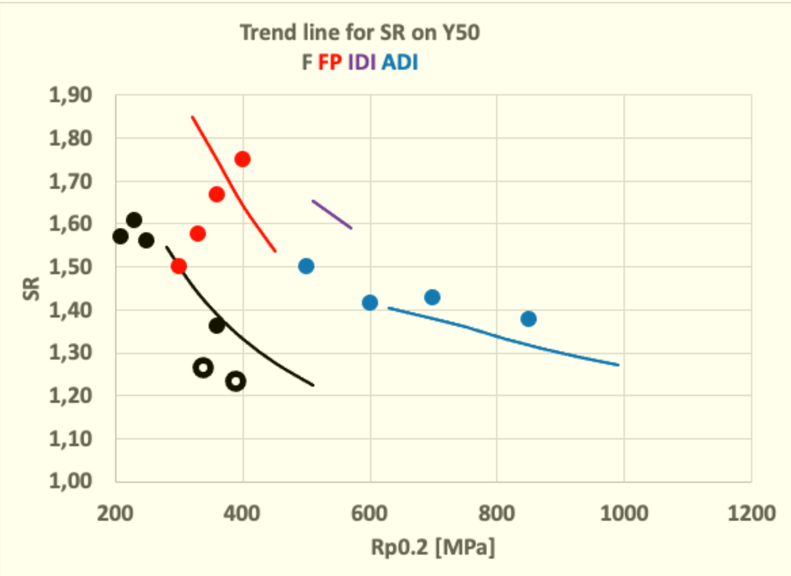
Rapporto di resistenza
Strength ratio

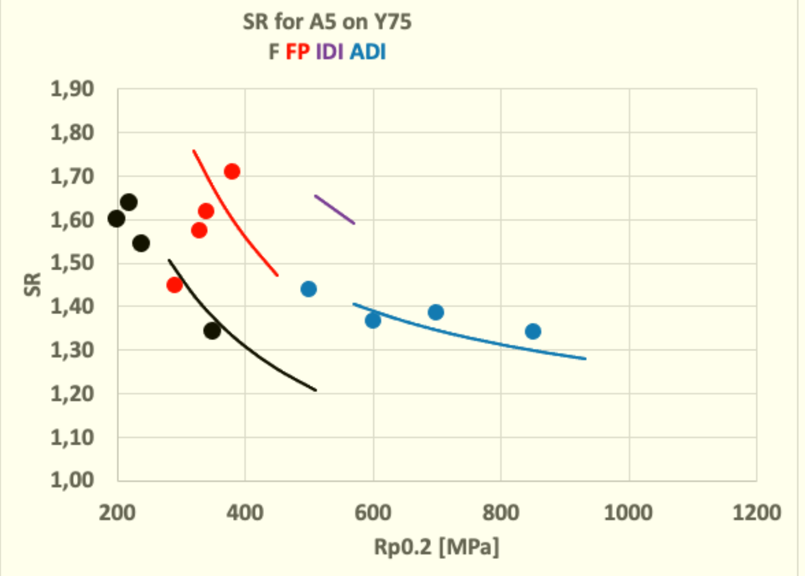
$SR = R_m/R_{p0.2}$ at RT

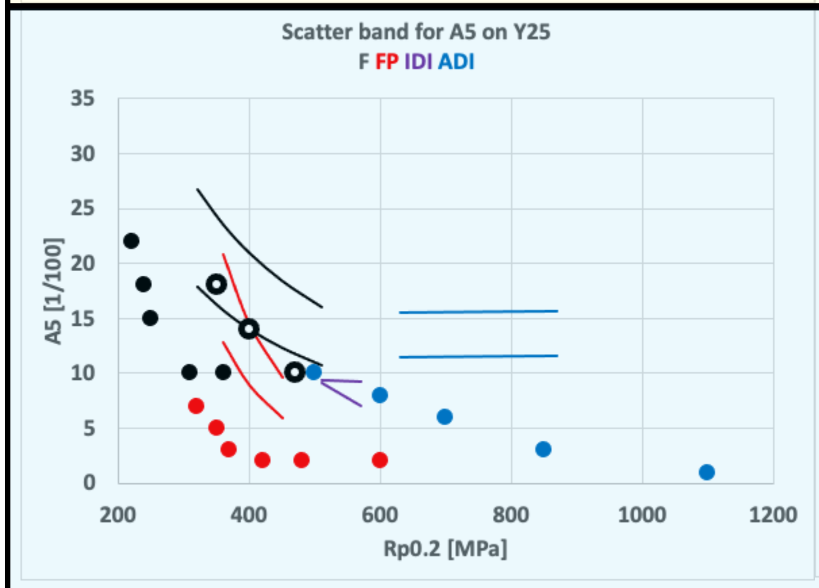
Triassialità in frattura duttile
Triaxiality under ductile fracture

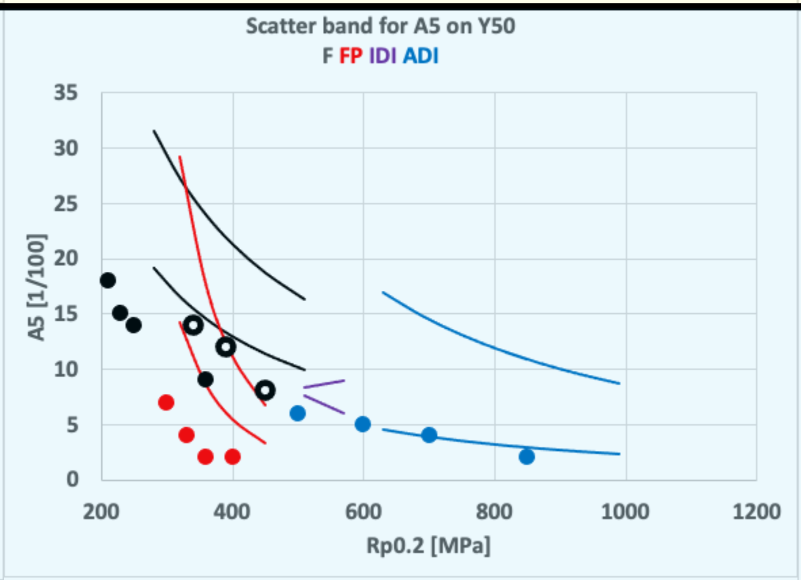
A_5 at RT

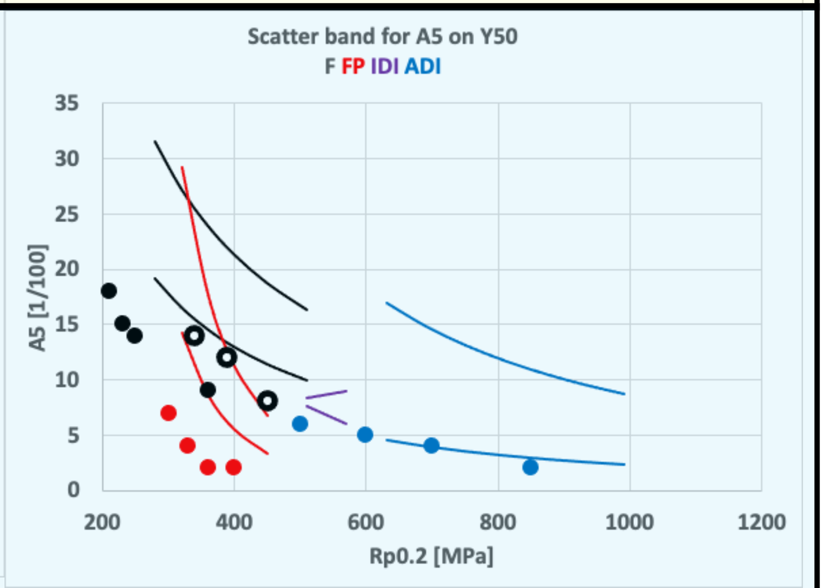












TYPICAL VALUES

Rapporto di resistenza
Strength ratio

$SR = R_m/R_{p0.2}$ at RT

Triassialità in frattura duttile
Triaxiality under ductile fracture

A_5 at RT

	ELONGATION AT FRACTURE A5									STRENGTH RATIO		
	TREND LINE			UPPER BOUND			LOWER BOUND			TREND LINE		
Label	Y25	Y50	Y75	Y25	Y50	Y75	Y25	Y50	Y75	Y25	Y50	Y75
220 F												
240 F												
260 F	25	25	25	31	32	31	21	19	19	1,51	1,55	1,51
300 F	22	21	21	27	27	27	18	17	17	1,47	1,46	1,42
340 F	19	19	17	23	24	22	16	15	14	1,42	1,39	1,36
380 F	17	17	14	21	21	18	14	13	11	1,38	1,33	1,31
420 F	15	15	11	18	19	15	12	11	9	1,33	1,28	1,26
480 F	13	13	9	16	16	12	11	10	7	1,26	1,22	1,21
300 FP		20	20		29	28		14	15		1,85	1,76
340 FP	16	12	10	21	18	14	13	9	8	1,78	1,75	1,65
380 FP	11	8	5	14	11	7	9	5	4	1,72	1,64	1,56
420 FP	8	5	3	10	7	3	6	3	2	1,66	1,54	1,47
480 IDI LT	9	8	8	9	8	9	9	8	7	1,69	1,65	1,65
540 IDI RT	8	7	7	9	9	8	7	6	7	1,59	1,59	1,59
480 M-Type												
480 MADI												
540 ADI			10			18			5			1,40
600 ADI	13	9	8	16	17	14	12	5	4	1,40	1,40	1,37
660 ADI	13	8	6	16	15	12	12	4	4	1,38	1,38	1,35
720 ADI	13	7	5	16	13	10	12	4	3	1,36	1,36	1,33
780 ADI	13	6	5	16	12	8	12	3	3	1,35	1,33	1,31
840 ADI	14	5	4	16	10	7	12	3	2	1,34	1,31	1,29
900 ADI		5	3		10	6		3	2		1,29	1,28
960 ADI		4			9			2			1,27	
1020 ADI												
1080 ADI												
1140 ADI												

TYPICAL VALUES

Velocità di carico Strain rate	Temperatura Temperature	Charpy J Non intagliato Un-notched

ITALICS INTERPOLATIONS/EXTRAPOLATIONS

UNNOTCHED CHARPY [J] - TYPICAL VALUES

Label	RT Y25	RT Y50	RT Y75	-20 °C Y25	-20 °C Y50	-20 °C Y75	-40 °C Y25	-40 °C Y50	-40 °C Y75
220 F									
240 F									
260 F	125	128	127	121	130	118	114	113	110
300 F	108	101	120	94	110	96	88	90	84
340 F	91	73	112	67	89	75	63	67	58
380 F	74	46	105	40	69	53	37	44	32
420 F	57	18	16	13	9	9	11	8	7
480 F	17	18	16	13	9	9	11	8	7
300 FP	86	79	73	67	31	24	33	21	18
340 FP	71	46	28	53	25	15	30	17	12
380 FP	59	36	15	24	19	8	23	12	6
420 FP	16	9	8	10	6	5	4	5	4
480 IDI	70	60	64	66	60	53	57	50	47
540 IDI	62	60	64	43	39	35	25	33	29
480 M-Type									
480 MADI									
540 ADI		152	126		104	87		89	67
600 ADI		105	121		99	87		82	63
660 ADI		105	115		99	81		74	59
720 ADI	166	105	110	131	99	75	121	74	54
780 ADI	151	105	95	120	99	73	109	74	54
840 ADI	135	105	80	110	99	72	97	74	54
900 ADI	120	95	76	99	89	68	84	69	52
960 ADI	104	85	72	88	79	64	72	64	51
1020 ADI	89	74	69	88	70	61	72	60	49
1080 ADI	81	64	65	88	60	57	72	55	48
1140 ADI	74	54	61	88	50	53	72	50	46

Tenacità alla frattura in deformazione piana e piccolo raggio plastico
Plane strain small scale yielding fracture toughness

K_{IC}

	TENTATIVE KIC [MPa m^0.5] = min (Wallin Cv based trend; plane strain small-scale yielding E = 170 [GPa])								
Label	RT Y25	RT Y50	RT Y75	-20 °C Y25	-20 °C Y50	-20 °C Y75	-40 °C Y25	-40 °C Y50	-40 °C Y75
220 F									
240 F									
260 F	46	46	46	46	46	46	46	46	46
300 F	49	49	49	49	49	49	49	49	49
340 F	52	52	52	51	52	52	48	51	52
380 F	55	55	55	47	48	49	44	46	50
420 F	51	53	51	42	42	40	40	41	45
480 F	40	38	41	35	36	37	35	36	42
300 FP	49	49	49	49	38	36	49	40	36
340 FP	52	50	47	48	38	36	47	40	36
380 FP	53	46	44	42	38	36	41	40	36
420 FP	43	40	36	37	38	36	35	40	36
480 IDI	56	61	57	53	50	50	52	48	45
540 IDI	53	50	50	47	45	43	48	41	42
480 M-Type									
480 MADI									
540 ADI	66	66	66	65	66	65	60	58	59
600 ADI	69	69	69	65	65	65	60	58	59
660 ADI	71	73	71	65	65	65	60	58	59
720 ADI	70	73	69	65	64	65	60	58	58
780 ADI	69	71	67	65	63	65	60	58	58
840 ADI	67	70	65	65	63	64	60	58	58
900 ADI	66	68	64	64	62	64	60	58	58
960 ADI	65	66	63	64	61	63	60	58	58
1020 ADI	63	64	62	63	60	62	59	58	58
1080 ADI	62	62	61	62	60	61	59	58	58
1140 ADI	61	60	61	61	60	60	59	58	58

	VALID ASTM E399 KIC [MPa m^0.5] at RT		
Label	Y50 WBB_N 90 45 40	Y50 WBB_N 90 23 18	Y50 WBB_N 60 20 15
220 F			
240 F			
260 F			
300 F			
340 F			
380 F			
420 F			
480 F			
300 FP			
340 FP			
380 FP			
420 FP			
480 IDI			
540 IDI			
480 M-Type			
480 MADI			
540 ADI			
600 ADI			
660 ADI			
720 ADI			
780 ADI			
840 ADI			
900 ADI			
960 ADI			
1020 ADI	81 81 79	74	65 69
1080 ADI			
1140 ADI			

Resistenza a fatica sul liscio controllata in tensione | Smooth stress controlled fatigue strength

$\Delta\sigma$ vs N

Valore di soglia per il fattore di intensificazione degli sforzi
Threshold value for the stress intensity factor at high cycles

ΔK_{th}

	SINGLE WOEHLER CURVE					
	σAg50% [MPa]			ΔKth [MPa·√m]		
Label	Y25	Y50	Y75	Y25	Y50	Y75
220 F						
240 F						
260 F						
300 F	279	278	265	12,7	14,3	16,5
340 F						
380 F						
420 F						
480 F						
300 FP						
340 FP						
380 FP						
420 FP	350	315	327	17,7	20,1	19,8
480 IDI	390	321	314	16,0	18,8	19,5
540 IDI						
480 M-Type						
480 MADI						
540 ADI						
600 ADI						
660 ADI						
720 ADI						
780 ADI	441	362	356	20,3	24,7	23,1
840 ADI						
900 ADI						
960 ADI						
1020 ADI						
1080 ADI						
1140 ADI						

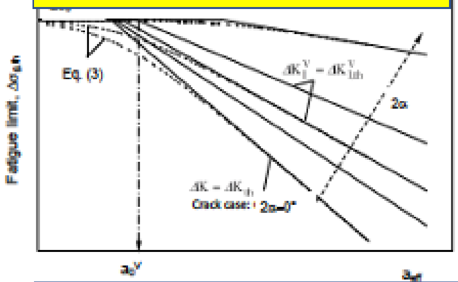
The Influence of wall thickness on the fatigue limit of V-notched bars made of as-cast or heat treated ductile iron

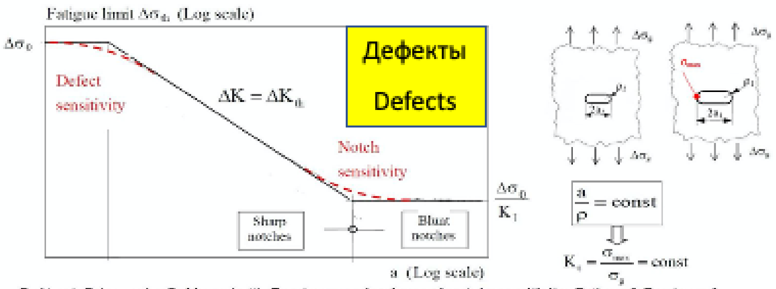
S. Masaggia, F. Zanardi

Zanardi Fonderie S.p.A., Minerbe (VR), Italy

Усталость от изгиба корня зуба

Tooth root bending fatigue





Дефекты

Defects

B. Atzori, P. Lazzarin, G. Meneghetti, *Fracture mechanics and notch sensitivity*, *Fatigue & Fracture of Engineering Materials & Structures*, 2003.
B. Atzori, P. Lazzarin, G. Meneghetti, *A unified treatment of the mode I fatigue limit of components containing notches or defects*, *International Journal of Fracture*, 2005.

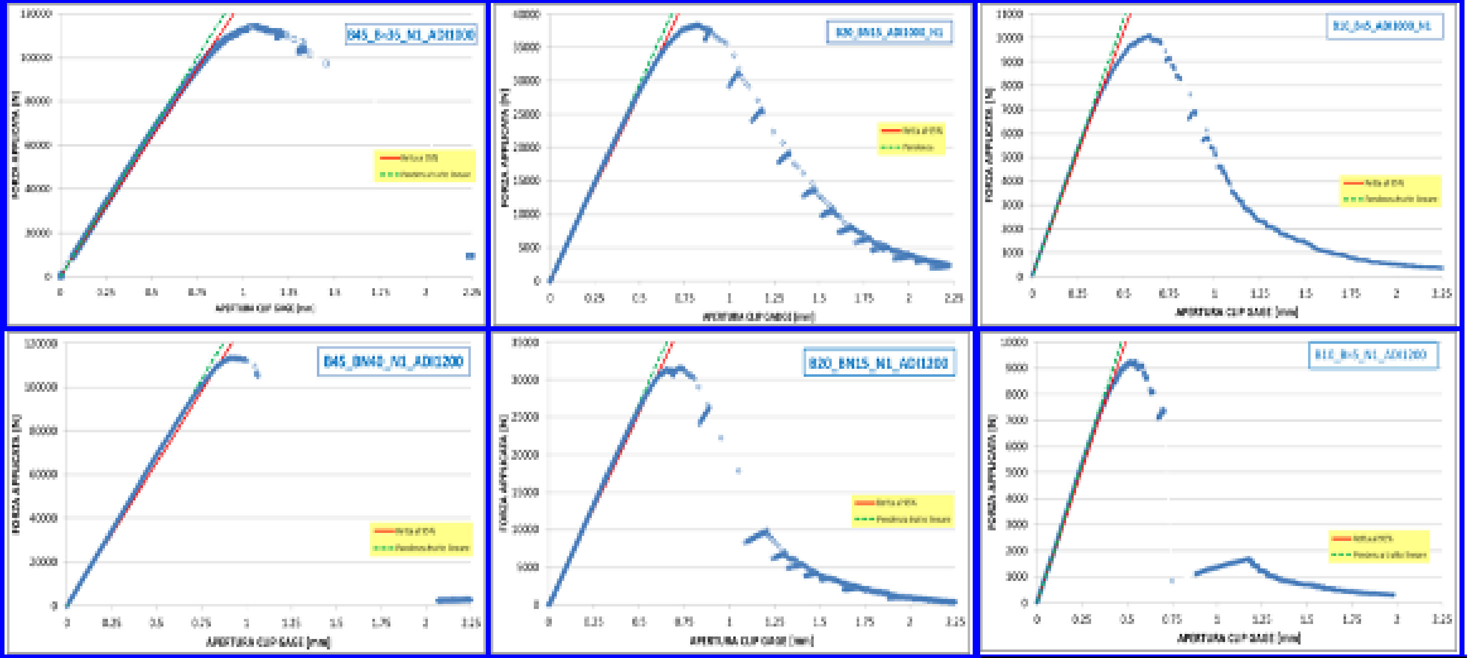
Обобщенная диаграмма Китагавы

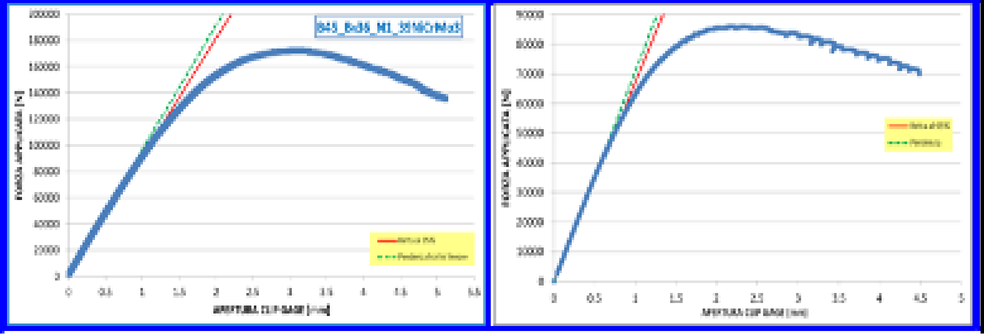
Generalized Kitagawa diagram

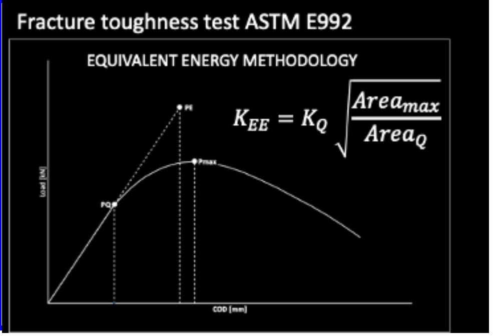
Perdonanza Forgivability

K_Q K_{EE}

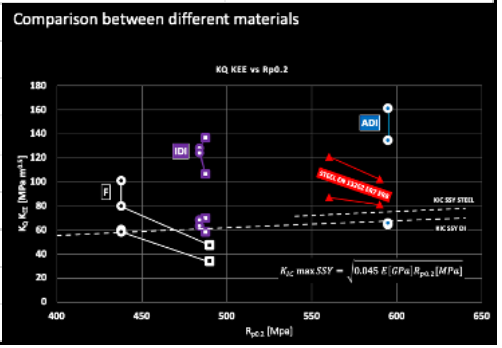
	B45	B20	B10
ADI1000			
ADI1200			
39NiCrMo3			





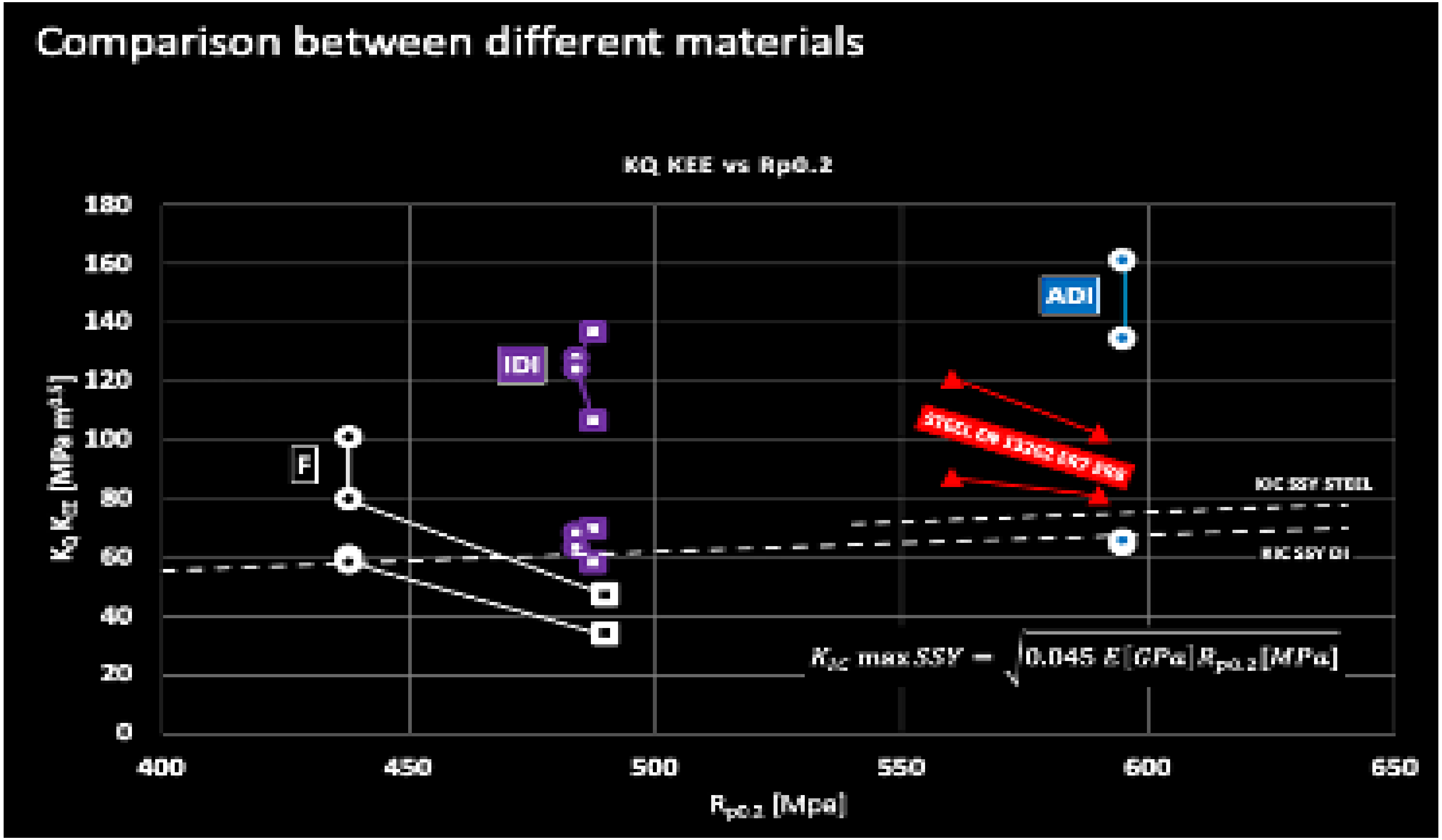


ROOM TEMPERATURE FORGIVABILITY Y50 ASTM E399 CT B=30 mm		
Reference curve KIC max [MPa m^0.5] = (0.045 * 170 * Rp0.2 [MPa])		
Label	KQ*	KEE*
220 F		
240 F		
260 F		
300 F		
340 F		
380 F		
420 F	1,02	1,56
480 F	0,55	0,77
300 FP		
340 FP		
380 FP		
420 FP		
480 IDI	1,06	2,03
540 IDI		
480 M-Type		
480 MADI		
540 ADI	0,96	2,19
600 ADI		
660 ADI		
720 ADI		
780 ADI		
840 ADI		
900 ADI		
960 ADI		
1020 ADI		
1080 ADI		
1140 ADI		



Perdonanza Forgivability

K_Q K_{EE}



GRAZIE PER LA VOSTRA ATTENZIONE

THANK YOU FOR YOUR ATTENTION