



DIMA

STATO della RICERCA ITALIANA sui SISTEMI di GIUNZIONE

GRUPPO di LAVORO AIAS – TECNICHE di GIUNZIONE

COMPORTAMENTO a FATICA di GIUNTI FRICTION STIR WELDING

DIPARTIMENTO DI MECCANICA

UNIVERSITA' DI PALERMO

Presenta: *Ing. S. Pasta*

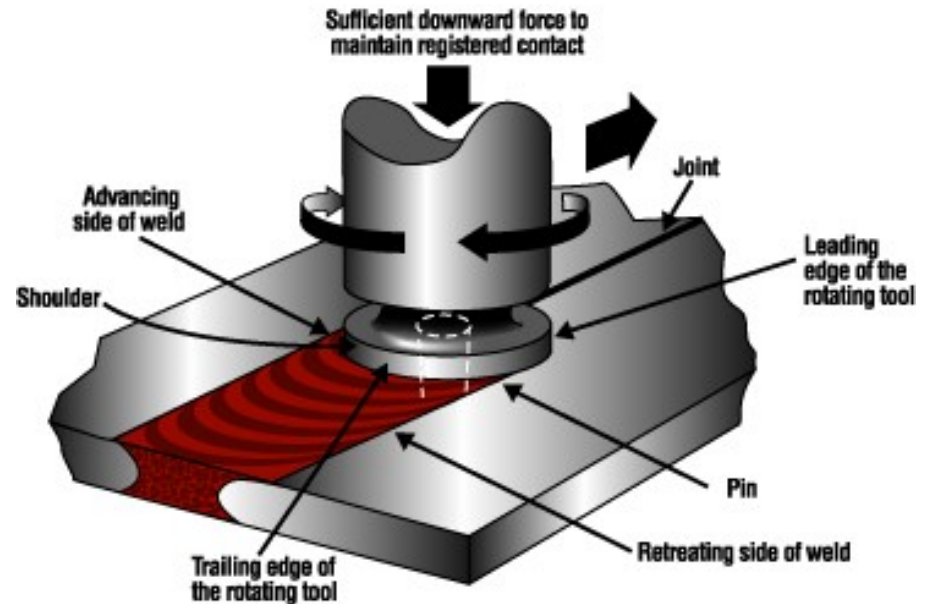


DIMA

Gruppo TdG, Vicenza, 27-28 Marzo, 2008

Il processo Friction Stir Welding (FSW)

- Un utensile “friziona” i lembi del giunto e li salda grazie ad un rimpasto plastico del materiale “frizionato”.
- L’utensile ruota a forte velocità e viene affondato progressivamente su due lembi dei pannelli da saldare, quindi avanzato.





DIMA

Gruppo TdG, Vicenza, 27-28 Marzo, 2008

Caratteristiche del processo FSW

- Il processo FSW è una saldatura in solid-state.
 - Assenza di difetti spesso correlati alle tradizionali saldature per fusione.
 - Non necessità di materiale di apporto ed è un processo veloce.
 - Elevate proprietà di resistenza a fatica e statica mostrata da diverse serie di leghe di alluminio.
-



DIMA

Gruppo TdG, Vicenza, 27-28 Marzo, 2008

Applicazioni del processo FSW

E' una tecnologia relativamente nuova.

- In campo navale nel saldare grandi pannelli di alluminio.
 - In campo aeronautico nell'uso di leghe ad alta resistenza quali le serie 2XXX e 7XXX, difficilmente saldabili mediante i processi per fusione.
 - In campo aerospaziale per saldare il contenitore del carburante.
 - In campo automobilistico per unire lembi di diversi spessori (tailor welded blanks).
-



DIMA

Gruppo TdG, Vicenza, 27-28 Marzo, 2008

Difetti del processo FSW

- La presenza di un foro d'uscita dell'utensile alla fine del cordone di saldatura.
 - Presenza di difetti tipo "kiss bond" e "tunnel defect" dovuti a errati parametri di saldatura.
 - Necessità di fissare molto rigidamente i pezzi da unire
 - Necessità di precisione nel controllo della forza che si sviluppa durante la saldatura.
 - Non è semplice saldare leghe di acciaio e di titanio (scarsa duttilità e utensile ad alta resistenza).
-



DIMA

Gruppo TdG, Vicenza, 27-28 Marzo, 2008

Stato dell'arte nel processo FSW

- Numerosi lavori dimostrano per le leghe di alluminio che le proprietà meccaniche dipendono dalla lega impiegata.
- Molte pubblicazioni si sono focalizzate sul comportamento di giunti di testa.
- Poche informazioni sui giunti a sovrapposizione e nessuna sul comportamento a fatica di giunti a T.

Pertanto, il processo FSW necessita di ulteriori sviluppi su:

- tipi di giunzione
 - materiali impiegati.
-



DIMA

Gruppo TdG, Vicenza, 27-28 Marzo, 2008

Studi effettuati sui giunti FSW

- i. E' stato analizzato il comportamento di resistenza a fatica di giunti di testa FSW in lega di alluminio 6082-T6 e 2024-T3 realizzati con diversi parametri di processo.
 - i. E' stato studiato l'effetto delle tensioni residue sul comportamento di crescita di cricche di fatica in giunti di titanio e lega di alluminio.
 - i. E' stato sviluppato un modello di previsione delle tensioni residue che si sviluppano durante il processo di saldatura.
-



DIMA

Fatica nei giunti FSW

Il comportamento a fatica è influenzato dai parametri di processo:

- Velocità di rotazione, V_r
 - Velocità di avanzamento, V_f
 - Affondamento dell'utensili, Δh
-
- Questi parametri controllano il calore fornito per unità di lunghezza al giunto durante il processo di saldatura.
 - Il calore fornito può essere correlato alla vita a fatica

Si è notato che la vita a fatica può essere descritto attraverso un solo parametro il revolutionary pitch, $p=V_f/V_r$

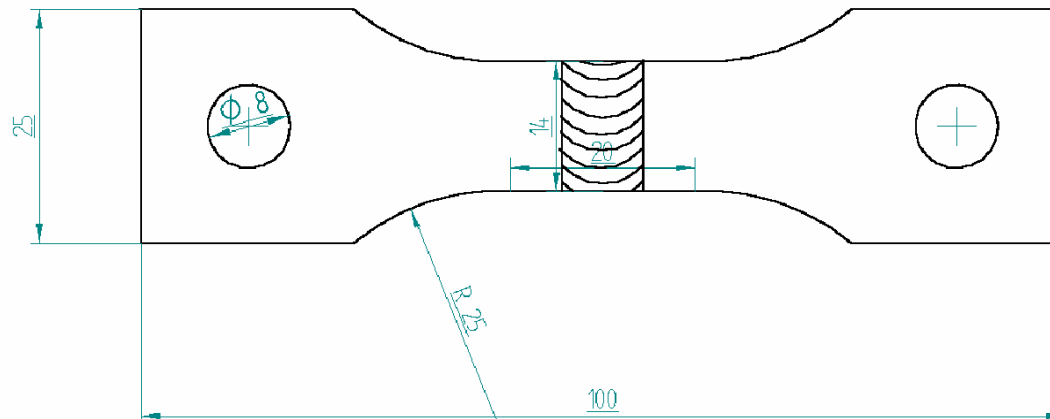


DIMA

Gruppo TdG, Vicenza, 27-28 Marzo, 2008

Prove di Fatica

- Prove effettuate sul materiale di base e sui giunti di testa FSW con un Instron a risonanza dotata di cella di carico da 20 kN
- Curve S-N e limiti di fatica ottenuti in accordo con la norma ASTM E 468
- Rapporto di carico $R=0.1$ e frequenza di caricamento tra 77-90 Hz





DIMA

Parametri di Processo e Test di Trazione

Tensione a rottura della lega 6082-T6 di 313 MPa

p [mm/rev]	σ_r [MPa]	Δh [mm]	V_r [rpm]	V_f [mm/min]	ID
0.2	172.2	2.9	715	143	A
0.1	125	2.9	715	71	B
0.14	167.5	2.9	715	100	C
0.3	128.3	2.9	715	215	D
0.2	138	2.85	715	143	E
0.2	/	2.95	715	143	F
0.3	88	2.9	490	143	G
0.14	188	2.9	1040	143	H
0.14	194	2.9	1500	143	I

Tensioni a rottura pari al 62% di quella della 6082-T6 per la serie I con $p=0.14$ mm/rev



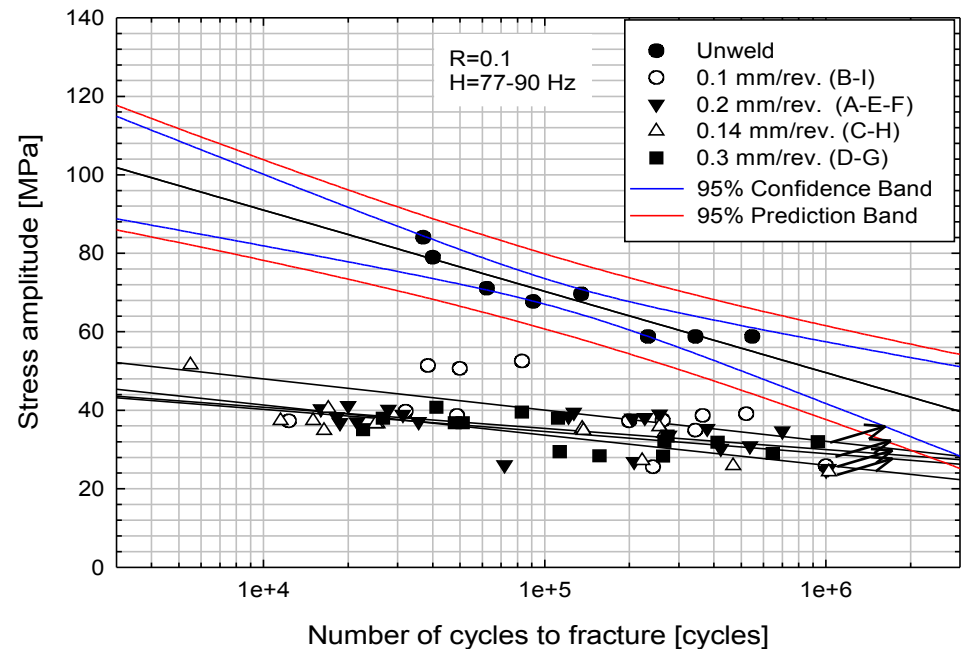
DIMA

Gruppo TdG, Vicenza, 27-28 Marzo, 2008

Prove di Fatica: 6082-T6 FSW

Raggruppando le serie in funzione del revolutionary pritch, p

- Tutte le serie convergono verso un comune limite di fatica
- Migliore limite per $p = 0.1$ mm/rev (63% della 6082-T6)



Pertanto, la vita a fatica di un giunto FSW è:

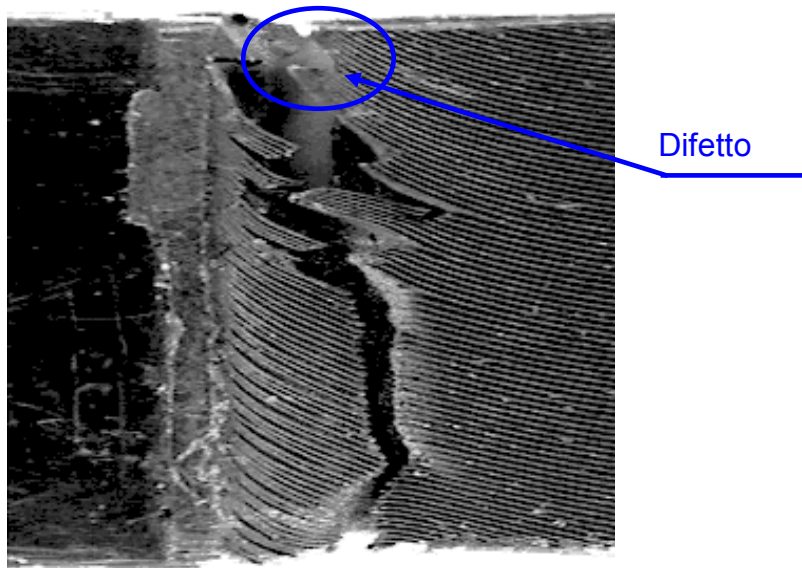
- poco influenzata dai parametri di processo
- molto dal calore fornito e non dall'affondamento dell'utensile.



DIMA

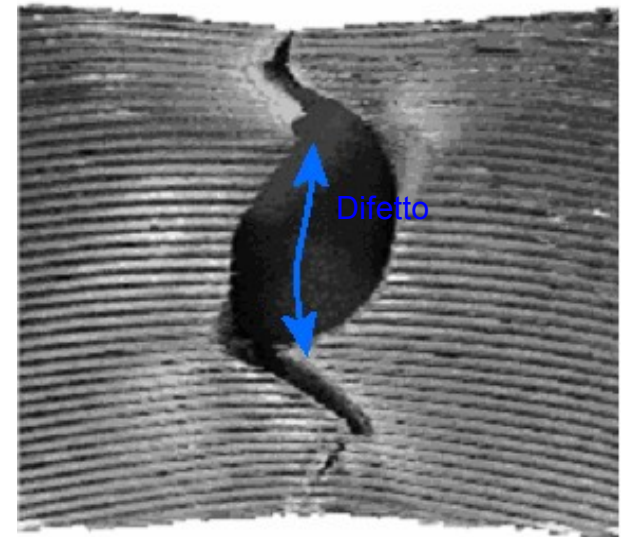
Superfici di frattura a fatica

HAZ:



Difetto causato maggiormente dalla scarsa finitura superficiale che dalla concentrazione di tensione

Nugget:



Fratture causate dalla presenza del "worm defect"



DIMA

Gruppo TdG, Vicenza, 27-28 Marzo, 2008

Parametri di Processo e Test di Trazione

Tensione a rottura della lega 2024-T4 di 470 MPa

p [mm/rev]	σ_r [MPa]	Δh [mm]	V_r [rpm]	V_f [mm/min]	ID
0.2	306.8	2.9	715	143	A
0.1	404.4	2.9	715	71	B
0.14	417.8	2.9	715	100	C
0.3	349	2.9	715	215	D
0.2	389	2.85	715	143	E
0.2	427.5	2.95	715	143	F
0.3	362.2	2.9	490	143	G
0.14	297.2	2.9	1040	143	H

Tensioni a rottura fino al 90% di quella della 2024-T4

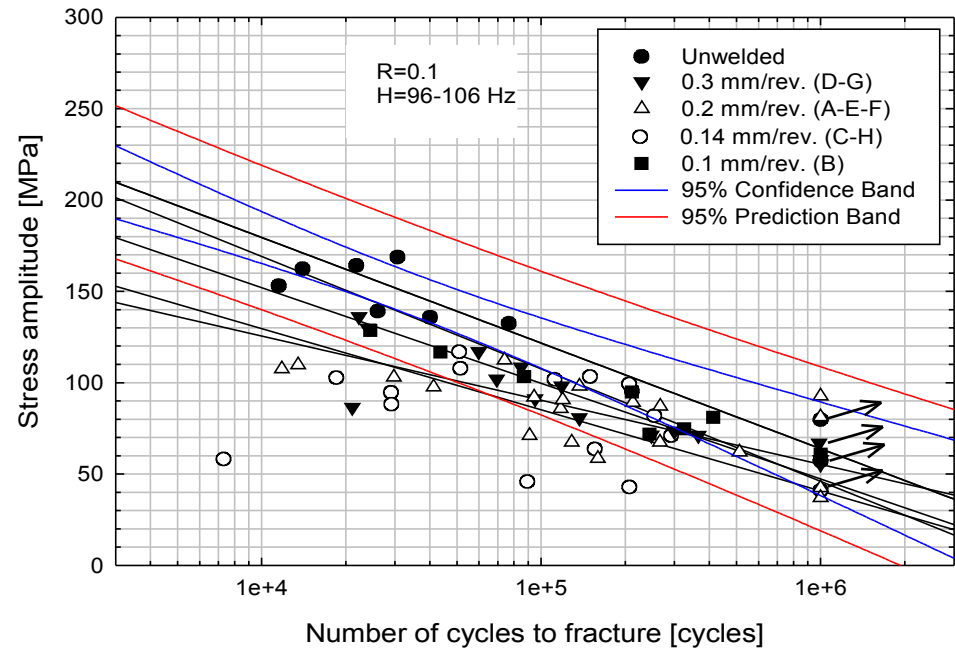


DIMA

Gruppo TdG, Vicenza, 27-28 Marzo, 2008

Prove di Fatica: 2024-T4 FSW

- Migliore limite per $p=0.1$ mm/rev (82% della 2024-T4)
- Condizione peggiore per $p=0.3$ mm/rev (62% della 2024-T4)
- Tutte le serie sono all'interno della banda di confidenza del materiale di base



Si è notato che il comportamento a fatica dei giunti FSW in lega 2024-T4 è notevolmente maggiore di quello della 6082-T6



DIMA

Gruppo TdG, Vicenza, 27-28 Marzo, 2008

Conclusioni sulla vita a fatica

- La resistenza a fatica è influenzata dall'apporto termico fornito al giunto durante la saldatura che può essere identificato con il revolutionary pitch.
 - Esiste un valore ottimale del revolutionary pitch per cui si ottengono le migliori proprietà meccaniche di resistenza.
 - Il degrado della vita a fatica è minore rispetto al comportamento di resistenza statica.
 - Il comportamento a fatica del giunto dipende dal tipo di materiale saldato; la lega 2024-T4 si presta di più rispetto alla lega 6082-T6.
 - Le fratture si presentano nella zona termicamente alterata a causa della scarsa finitura superficiale.
-



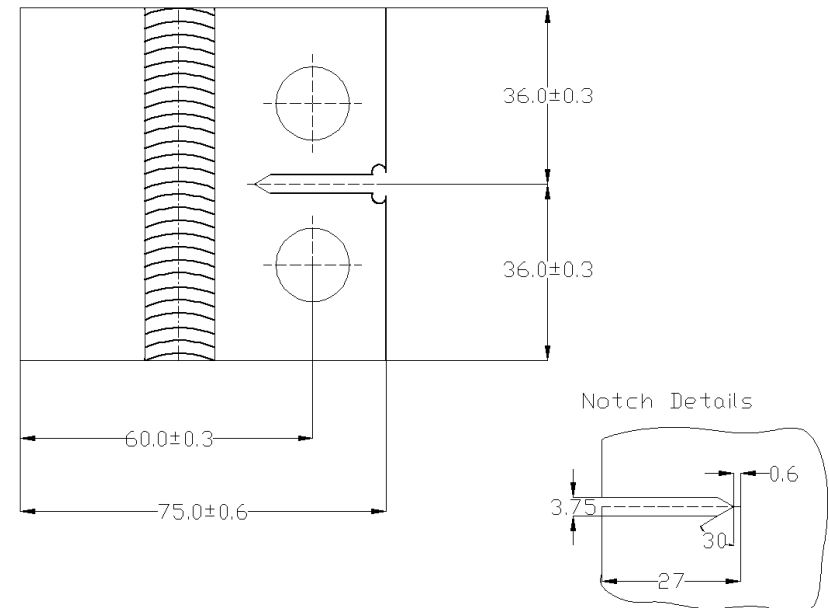
DIMA

Gruppo TdG, Vicenza, 27-28 Marzo, 2008

Propagazione di cricche in giunti FSW

E' stato valutato l'effetto delle tensioni residue sulla propagazione di cricche di fatica che crescono in direzione ortogonale al cordone di saldatura

- Lega di titanio Ti-6Al-4V dello spessore di 2mm
- Tensioni residue misurate con il metodo del cut-compliance
- Test effettuati a ΔK costante e $R=0.1$
- Previsione della velocità della cricca con AFGROW

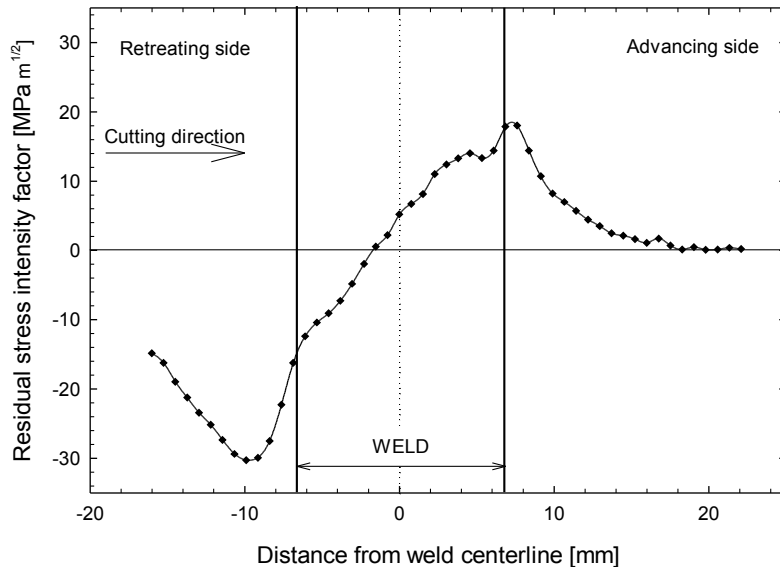




DIMA

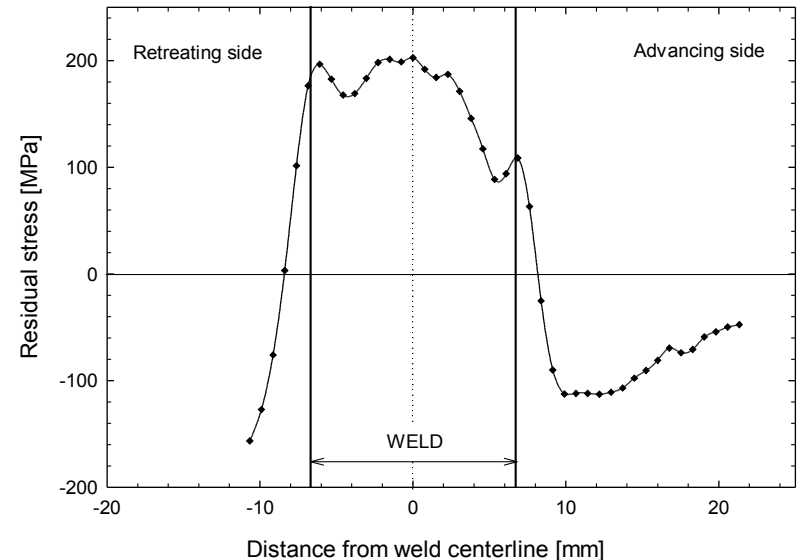
Tensioni residue: cut-compliance

Curva del K_{res} :



La cricca incontrerà dapprima valori negativi di K_{res} poi positivi.

Curva delle tensioni residue:



Le tensioni residue di compressione all'esterno del cordone di saldatura ritardano l'avanzamento

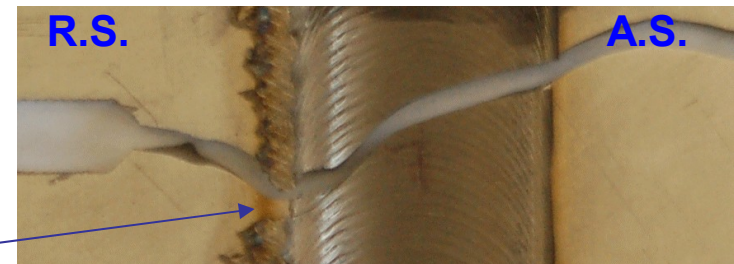
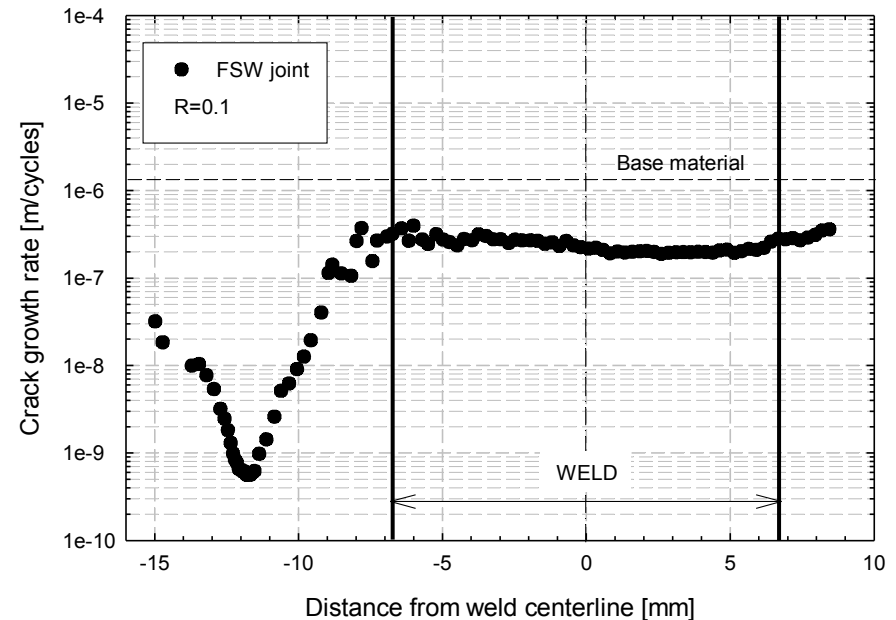


DIMA

Curva della velocità della cricca

La cricca cresce dal R.S. verso il cordone di saldatura:

- La velocità di avanzamento è ridotta dai valori negativi di K_{Ires} , i.e. dalle tensioni residue di compressione
- Minimo $\frac{da}{dN}$ in corrispondenza del minimo di K_{Ires}
- Valori di $\frac{da}{dN}$ costanti all'interno della saldatura



Percorso della cricca



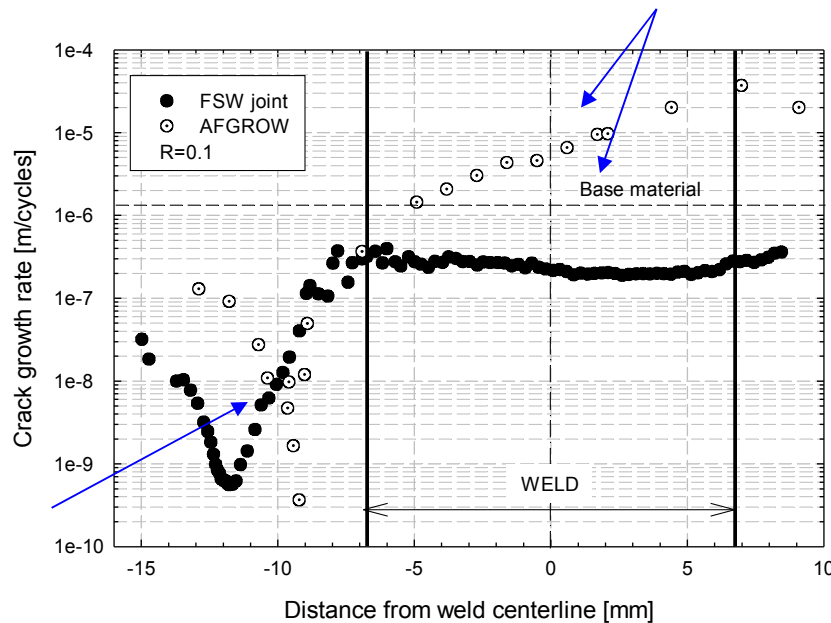
DIMA

Gruppo TdG, Vicenza, 27-28 Marzo, 2008

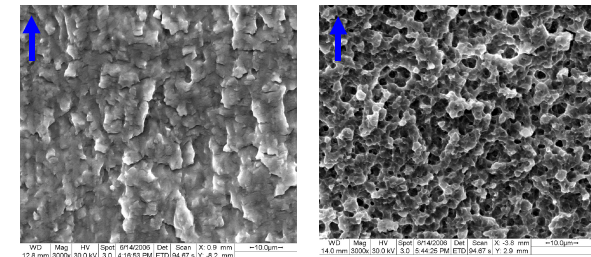
Previsione numerica del $\frac{da}{dN}$

AFGROW ha permesso di determinare il $\frac{da}{dN}$ in presenza del K_{Ires} dovuto alle tensioni residue

I cambiamenti di durezza e microstruttura prevalgono sull'effetto delle tensioni residue



Ritardo fuori la saldatura



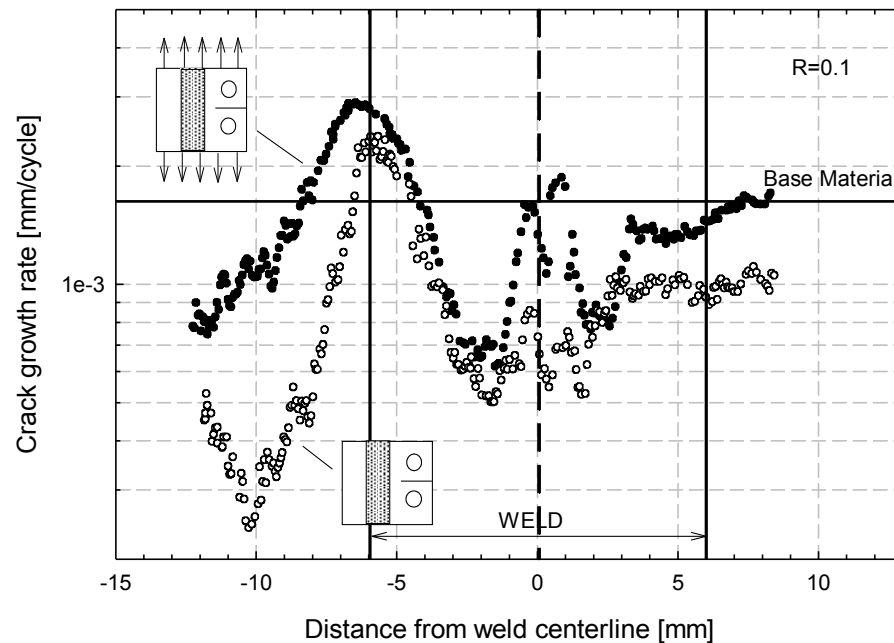
Le superfici di frattura evidenziano i cambiamenti della microstruttura



DIMA

Rilassamento delle tensioni residue e fatica

Provini CT in lega 2024-T351 FSW sono stati rilassati meccanicamente dalle tensioni residue quindi è stato osservato l'effetto sulla propagazione



Si è notato che le tensioni residue svolgono un ruolo fondamentale nella comportamento di propagazione determinando bassi valori di $\frac{da}{dN}$



DIMA

Gruppo TdG, Vicenza, 27-28 Marzo, 2008

Conclusioni sulla propagazione di cricche

- I giunti FSW mostrano basse velocità di avanzamento per cricche che si propagano perpendicolarmente al cordone di saldatura
 - Le basse velocità sono dovute all'azione delle tensioni residue di compressione che si sviluppano durante la saldatura
 - Un confronto numerico-sperimentale ha mostrato che i cambiamenti di durezza e la microstruttura hanno un ruolo secondario nei meccanismi di propagazione
 - Il rilassamento meccanico delle tensioni residue ha annullato l'effetto di ritardo causato dalle tensioni residue
-

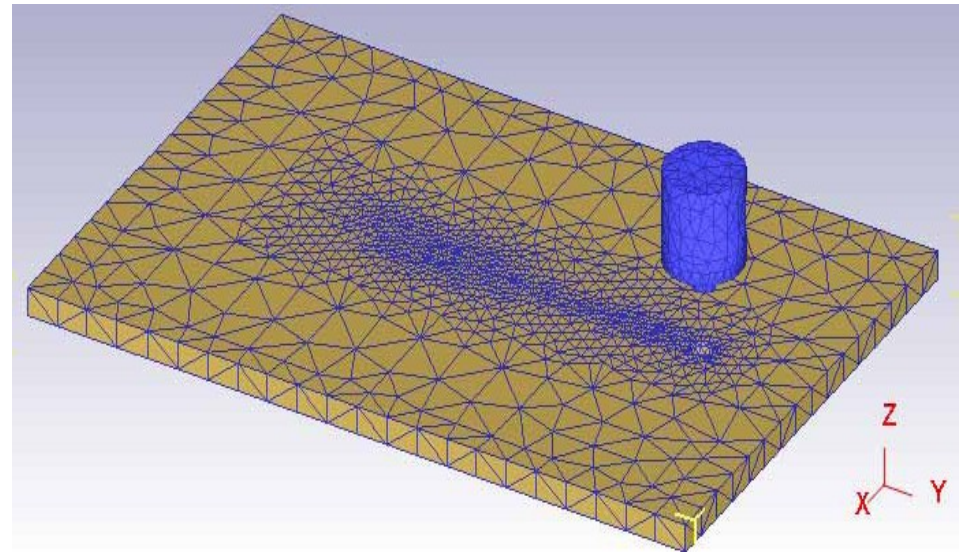


DIMA

Gruppo TdG, Vicenza, 27-28 Marzo, 2008

Simulazione del processo FSW

- E' stato sviluppato un modello 3D FEM che simula il processo FSW considerando le iterazioni tra utensile e piastra da saldare
- E' stato possibile determinare le mappe di tensioni residue dovute al processo di saldatura

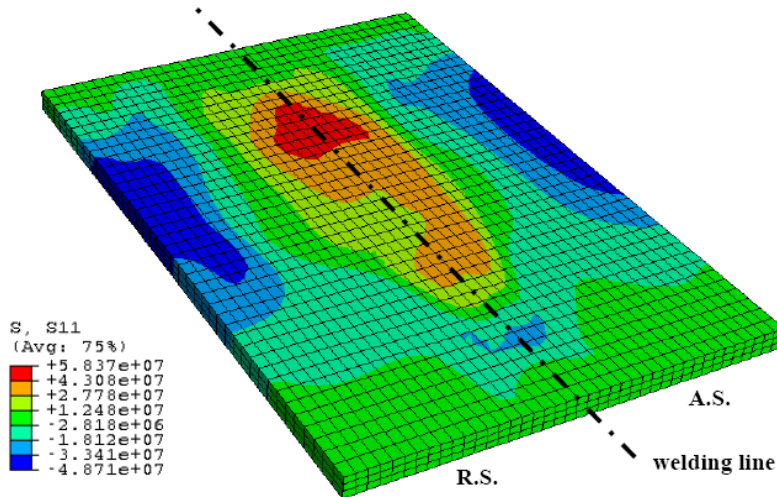




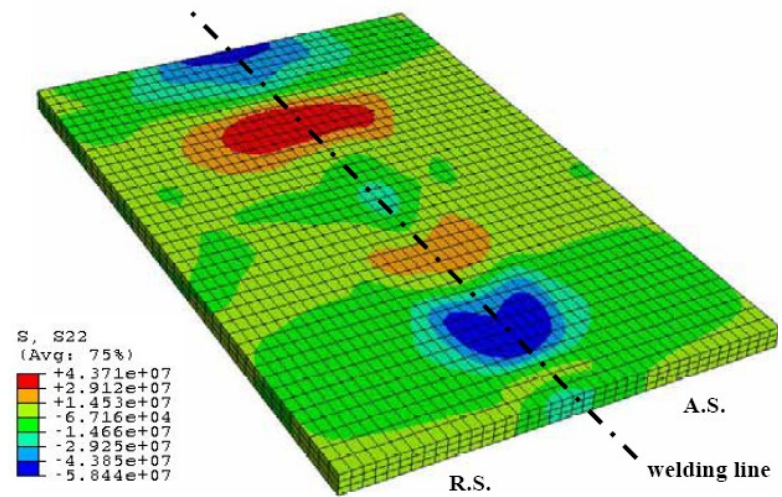
DIMA

Mappe delle tensioni residue

Tensioni residue longitudinali:



Tensioni residue trasversali:





DIMA

Gruppo TdG, Vicenza, 27-28 Marzo, 2008

Sviluppi futuri

- Applicazioni della tecnica FSW a leghe di titanio ed acciai.
- Metodi per la riduzione delle tensioni residue che provocano distorsione delle piastre saldate

