

tivamente inquadrabile attraverso la MF anche nel caso dei giunti incollati.

### Progettazione a fatica applicando la MF

La Meccanica della Frattura (MF) si è evoluta negli ultimi decenni diventando uno strumento di progettazione a livello industriale<sup>(7)</sup>. La previsione della durata a fatica secondo questo approccio richiede:

- le proprietà meccaniche dell'adesivo in presenza di difetti (tenacità a frattura e resistenza alla propagazione di difetti). Si possono ricavare con prove su semplici giunzioni (ad esempio Double Cantilever Beam, DCB);
- la forma e la dimensione iniziale del difetto. Si definiscono in base ai difetti tipici di origine tecnologica e/o di servizio nella giunzione. La forma reale viene ricondotta ad un difetto bidimensionale (cricca passante) o tridimensionale (cricca semicircolare o semiellittica a partire da un lato o da uno spigolo, cricca circolare o ellittica interna);
- espressione di  $G$  in funzione della geometria del giunto e del difetto, della dimensione del difetto e del carico applicato. Oltre alle soluzioni reperibili in letteratura, si può efficacemente valutarla mediante simulazione con il metodo degli elementi finiti;
- dimensione critica del difetto. Tale condizione si ricava dall'eguaglianza tra  $G_{max}$  e  $G_c$ , dove quest'ultimo è la tenacità a frattura dell'adesivo.

Questa metodologia permette, inoltre, di prevedere la dimensione del difetto in ogni istante della vita del giunto e programmare ispezioni periodiche dello stesso con tecniche di indagine non distruttive (ultrasuoni...) in modo da valutarne l'integrità o la necessità di manutenzione.

### Conclusioni

La rottura sotto carichi variabili ciclicamente di un giunto a sovrapposizione incollato è

stata studiata seguendo l'evoluzione del difetto che causa il cedimento. È emerso che difetti passanti si generano alle estremità del giunto alle prime applicazioni del carico. La durata del giunto è determinata perciò dalla resistenza dell'adesivo alla propagazione di difetti. La velocità di propagazione rilevata è in accordo con quella prevista attraverso la Meccanica della Frattura. Per questo motivo si ritiene che l'approccio di MF possa essere efficacemente utilizzato nella progettazione a fatica di giunti incollati.

### Ringraziamenti

Si ringrazia il Dr. P. Mauri di Loctite H.L.A., Brugherio (MI), il Dr. A. Bonini e il Dr. S. Magistrali, ex-studenti dell'Università di Parma, per la preziosa collaborazione.

### Bibliografia/References

- (1) A.A.V.V., Worldwide Design Handbook, Loctite, 1999.
- (2) A.D. Crocombe, G. Richardson, "Assessing stress state and mean load effects on the fatigue response of adhesively bonded joints", Int. J. Adhesion and Adhesives, 19, 1999, pp. 19-27.
- (3) M. Quaresimin, P. Lazzarin, A. Grendele, "Resistenza a fatica di giunzioni incollate", Atti AIAS 2000, Lucca, Italia, pp. 1029-1040.
- (4) G. Nicoletto, A. Pirondi, "Comportamento a frattura di un adesivo strutturale", Atti IGF XV, 3-5 Maggio 2000, Bari, Italia, pp. 459-466.
- (5) A. Pirondi, G. Nicoletto, "Fatigue crack growth in bonded DCB specimens", Eng. Fract. Mech., accettato per la pubblicazione.
- (6) A. Pirondi, G. Nicoletto, "Mixed-mode fracture toughness of bonded joints", Int J Adhesion and Adhesives, Vol. 22, 2, 2002, pp. 109-117.
- (7) A.J. Kinloch, Adhesion and adhesives, Chapman and Hall, London, UK, 1986.

Per ulteriori informazioni contattare la redazione.

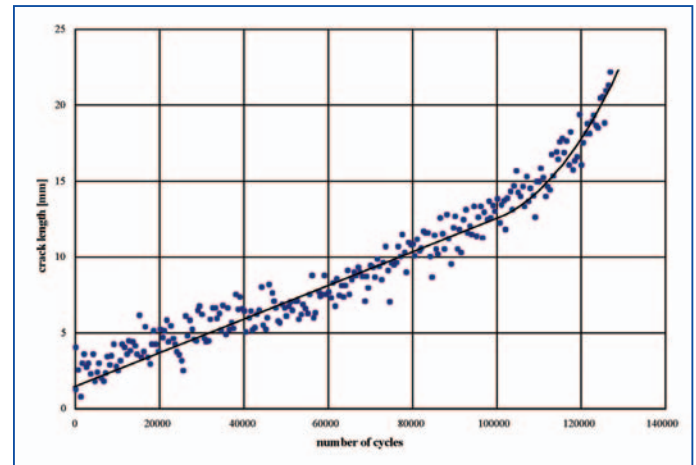
meric materials, a constant  $\Delta G$  corresponds to a constant  $da/dN$ .

In the single-lap shear joint  $\Delta G$  is constant over a wide range of defect lengths. Therefore, the experimental finding of

ted by means of finite element simulation;

-critical defect dimension. Such value can be extracted by equating  $G_{max}$  and  $G_c$  (fracture toughness of the adhesive).

[Fig. 3] - Esempio di evoluzione del difetto rilevata / Example of experimental defect evolution



a constant  $da/dN$  in these joints means that the FM approach can be successfully used to evaluate the propagation of defect, hence the lifetime, of a bonded joint.

### Fatigue design using a FM approach

The FM has evolved in the last decades eventually becoming a design tool<sup>(2)</sup>. The fatigue design using FM requires obviously different informations with respect to a stress-based approach. In particular:

- the mechanical properties of the adhesive in presence of defects. They can be evaluated from tests on simple joints geometries, like Double Cantilever Beam, DCB;
- the shape and initial dimension of the defect. They can be extrapolated from the knowledge of typical processing or service defects. The real shape can be then assimilated to two-dimensional (trough crack) or three-dimensional (semi-elliptic side or corner crack, elliptic internal crack) defect;
- value of  $G$  as a function joint-defect geometry, length and applied load. Besides available literature solutions, it can be conveniently evalua-

The FM approach allows also to estimate the dimension of defect at every instant during lifetime. Therefore periodic inspections with non-destructive methods (ultrasonic...) can be scheduled in order to check for the integrity or the need of repair.

### Conclusions

The failure of single-lap shear joint under cyclic loading has been studied. The results showed that defects originates at both ends of the joint after few cycles. The lifetime is dominated by the propagation of these defects. The defect velocity is in agreement with the trend predicted by Fracture Mechanics. For this motivation it is believed that FM is a valuable tool for the fatigue design of bonded joints.

### Acknowledgements

The author wish to thanks Dr. P. Mauri of Loctite H.L.A., Brugherio (MI), and Drs. A. Bonini and S. Magistrali, former students at the University of Parma, for the precious collaboration.

For further information please contact the editorial office.