

# T<sub>g</sub> - LA TEMPERATURA DI TRANSIZIONE VETROSA PER LE EPOSSIDICHE

## WHAT

La temperatura di transizione vetrosa (T<sub>g</sub>)

## WHY

La T<sub>g</sub> è una proprietà importante per le epossidiche, particolarmente critica nella progettazione dei prodotti.

La temperatura di transizione vetrosa (T<sub>g</sub>) è una delle proprietà più importanti di qualsiasi epossidico ed è la regione di temperatura in cui il polimero passa da uno stato duro e vetroso ad uno morbido e gommoso. Poiché gli epossidici sono materiali termoindurenti e si reticolano chimicamente durante il processo di polimerizzazione, il materiale epossidico finale polimerizzato non fonde quando viene riscaldato (a differenza dei materiali termoplastici), ma subisce un leggero ammorbidimento (cambiamento di fase) a temperature elevate.

## Che cosa è esattamente la T<sub>g</sub> ?

La temperatura di transizione vetrosa (T<sub>g</sub>), da non confondere con il punto di fusione (T<sub>m</sub>), è l'intervallo di temperatura in cui un polimero termoindurente passa da uno stato duro, rigido o "vetroso" a uno stato più malleabile, cedevole o "gommoso".

In realtà la T<sub>g</sub> non è una transizione termodinamica discreta, ma un intervallo di temperatura in cui la mobilità delle catene polimeriche aumenta in modo significativo. La T<sub>g</sub> finale è determinata da una serie di fattori: la struttura chimica della resina epossidica, il tipo di indurente e il grado di polimerizzazione.

La T<sub>g</sub> viene solitamente misurata utilizzando il calorimetro a scansione differenziale (DSC): ASTM E1356, "Metodo di prova standard per l'assegnazione della temperatura di transizione vetrosa mediante calorimetria differenziale a scansione".

## Scansione DSC di un tipico epossidico a media T<sub>g</sub>

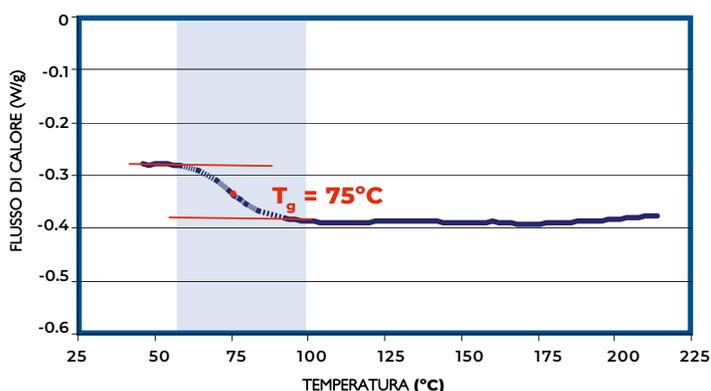


figura 1

Il formato della scansione T<sub>g</sub> è simile a quello di una scansione cinetica, tranne che per il fatto che viene eseguita con un campione polimerizzato. La temperatura viene tracciata sull'asse X e la risposta del flusso di calore sull'asse Y (vedi figura 1).

Come discusso in precedenza, la T<sub>g</sub> è in realtà un intervallo di temperatura, piuttosto che una temperatura specifica. La convenzione, tuttavia, è quella di riportare una singola temperatura definita come il punto medio dell'intervallo di temperatura, delimitato dalle tangenti delle due regioni piatte della curva di flusso di calore. Per il materiale epossidico della figura 1, la T<sub>g</sub> riportata sarebbe 75 C.

La T<sub>g</sub> si estende su un intervallo di temperature, anziché verificarsi a una temperatura specifica, perché le catene polimeriche reticolate hanno molteplici gradi di libertà e modalità di movimento in risposta a qualsiasi energia termica applicata. Il valore della T<sub>g</sub> può variare anche in base al grado di polimerizzazione. In genere, la T<sub>g</sub> riportata per un materiale si basa su una conversione del 100% (polimerizzazione completa). Per una spiegazione più dettagliata, consultare la nostra Guida all'applicazione degli adesivi epossidici, pagine 16-19.

## Alterare la T<sub>g</sub> di una resina epossidica

La T<sub>g</sub> dipende fortemente dal programma di polimerizzazione. Le polimerizzazioni a bassa temperatura, come quella a temperatura ambiente (RT), producono la T<sub>g</sub> più bassa possibile. Valori di T<sub>g</sub> molto elevati non sono ottenibili con la polimerizzazione a temperatura ambiente. Se lo stesso materiale viene polimerizzato a una temperatura elevata, si otterrà una T<sub>g</sub> più elevata. Ad esempio, un adesivo potrebbe avere una T<sub>g</sub> compresa tra 60°C e 110°C, in base al programma di polimerizzazione. Per questo motivo è importante mantenere uno stretto controllo della temperatura in qualsiasi ambiente di produzione.

Inoltre, la temperatura di transizione vetrosa (T<sub>g</sub>) degli epossidici può essere significativamente ridotta dall'assorbimento dell'umidità, un fattore che deve essere considerato quando si progetta per le applicazioni in situazioni di umidità.

## Altre considerazioni sulla Tg

In genere, gli adesivi con la Tg più alta hanno la migliore resistenza al calore e quindi offrono le migliori proprietà di trazione ad alta temperatura. A meno che non vi siano significative esotermie associate al processo di polimerizzazione, come regola generale, una Tg non può essere significativamente più alta della temperatura massima osservata durante la polimerizzazione. Per ulteriori informazioni sull'effetto della polimerizzazione su un epossidico, vedere "EPO-TEK® Cure Matters, Technical Aid".

## Effetti della Tg su:

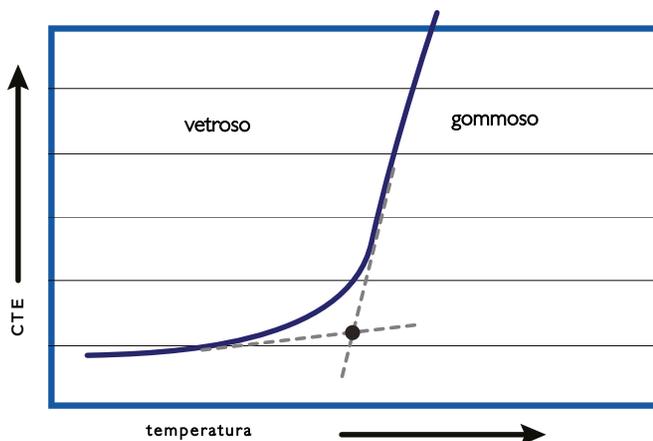
**Modulo** > La relazione fondamentale che il modulo ha con gli adesivi è la seguente: più alta è la Tg, più alta è la densità reticolata e più alto è il modulo. Quando un epossidico supera la sua Tg, il modulo di accumulo diminuisce. Ciò indica il passaggio da uno stato rigido a uno conforme.

Un'elevata Tg e un elevato modulo di accumulo determinano un'elevata rigidità che, nella maggior parte dei casi, equivale a un basso allungamento percentuale e a una scarsa dissipazione di energia quando viene sollecitata a temperatura ambiente. Il modulo al di sotto della Tg ha una relazione prevalentemente lineare inversa con la temperatura.

**Lap Shear e Die Shear** > In genere, con l'aumento della temperatura, le resistenze al taglio di una resina epossidica diminuiscono. Come nota interessante, questo effetto è spesso utilizzato come mezzo per rimuovere l'adesivo polimerizzato.

Quando l'epossidico diventa morbido, i cedimenti coesivi diventano più frequenti. In questo modo i due substrati si staccano più facilmente.

### ANALISI TERMOMECCANICA



## Coefficiente di espansione termica (CTE)

Un altro importante cambiamento fisico che può verificarsi al variare della Tg di un adesivo è la variazione del coefficiente di espansione termica (CTE).

Quando la temperatura supera la Tg, l'adesivo inizia ad ammorbidirsi e a perdere un po' di resistenza alla trazione. Aumenta anche il suo CTE. In genere, la transizione tra i due coefficienti intorno alla Tg è costante.

È inoltre possibile individuare la Tg di un materiale utilizzando una curva CTE. A tal fine si determina l'intersezione delle due curve, tracciando la temperatura in funzione dello spostamento.

## Posso usare una resina epossidica al di sopra della sua Tg?

**Assolutamente**, a differenza della saldatura, un epossidico non rifulisce durante un ciclo termico. Una forza prodotta dai legami covalenti all'interno della struttura epossidica polimerizzata farà sì che l'epossidico più cedevole ritorni alla sua forma originale quando viene raffreddato al di sotto della Tg. In molti casi può essere vantaggioso utilizzare un epossidico al di sopra della sua Tg, poiché la maggiore cedevolezza rende il legame più resistente agli urti e alle vibrazioni. Inoltre, l'epossidico ha meno probabilità di danneggiare i componenti fragili a causa della sua minore rigidità.