

## 12. Kompozyty

Jedną z najpowszechniejszych obecnie form modyfikacji właściwości materiałów jest tworzenie kompozytów. Kompozyty są materiałami złożonymi z dwóch lub więcej faz, których właściwości silnie odbiegają od tych reprezentowanych przez każdy z tworzących je materiałów z osobna. Warto tutaj zauważyć, że w przeciwieństwie do np. roztworów stałych, w przypadku kompozytów możemy bez problemu rozgraniczyć tworzące go fazy.

### 12. 1. Typy kompozytów

#### 12.1.1. Kompozyty dyspersyjne

Kompozyty dyspersyjne cechują się zastosowaniem fazy wzmacniającej o charakterze drobnych cząstek (zazwyczaj o rozmiarach z zakresu 10-250 nm). Najczęściej stosuje się tego typu podejście w metalach, do których wprowadzamy cząstki tlenków. Mimo, iż cząstki te nie są koherentne z matrycą do której są wprowadzane, pozwalają one na zatrzymanie ruchu dyslokacji w niej, dzięki czemu obserwujemy umocnienie materiału. Jest to szczególnie istotne w zakresie wysokich temperatur, gdzie dużą wagę zaczyna odgrywać zjawisko pełzania.

#### 12.1.2. Kompozyty cząsteczkowe (ang. *particulate composites*)

W przypadku kompozytów cząsteczkowych część właściwości może zależeć tylko od udziałów poszczególnych faz, czyli podlega tzw. regule mieszanin:

$$X_C = \sum_i (f_i X_i) \quad (12.1)$$

gdzie:  $f_i$  - udział fazy,  $X_i$  - dana właściwość. Przykładem może być tutaj gęstość materiału:

$$\rho_C = \sum_i f_i \rho_i \quad (12.2)$$

gdzie:  $f_i$  - udział objętościowy  $i$ -tej fazy,  $\rho_i$  - gęstość  $i$ -tej fazy.

Przykładami materiałów tego typu mogą być cermety, będące kompozytami twardej fazy ceramicznej w plastycznej osnowie metalicznej. Innym przykładem mogą być kompozyty metal-metal (np. Ag-W stosowany na kontakty elektryczne), czy też niektóre kompozyty na bazie polimerów.

#### 12.1.3. Kompozyty wzmacniane włóknami (ang. *fiber-reinforced composites*)

Kompozyty wzmacniane włóknami spełniają szczególną rolę we współczesnych technologiach, pozwalając uzyskać materiały o wysokim module Younga oraz wysokim stosunku wytrzymałości do masy. Bazują one przeważnie na włóknach cechujących się wysoką wytrzymałością i sztywnością, osadzonych w plastycznej matrycy, która z jednej strony chroni włókna przed czynnikami zewnętrznymi a z drugiej przenosi obciążenia na wytrzymałe włókna.

W przypadku kompozytów tego typu, jeśli mamy do czynienia z kompozytami bazującymi na włóknach ciągłych oraz przypadkowo ułożonych, możemy zastosować regułę mieszanin do opisu części właściwości:

$$\rho_C = f_m \rho_m + f_f \rho_f \quad (12.3)$$

$$K_C = f_m K_m + f_f K_f \quad (12.4)$$

$$\sigma_C = f_m \sigma_m + f_f \sigma_f \quad (12.5)$$

gdzie  $K$  - przewodnictwo cieplne,  $\sigma$  - przewodnictwo elektryczne. Indeksy  $m$  i  $f$  odnoszą się odpowiednio do matrycy oraz włókien. Należy tu jednak zauważyć, że w przypadku gdy włókna są ukierunkowane, reguła mieszanin zaczyna tracić na znaczeniu.

W przypadku przewidywania modułu Younga  $E$ , stosowalność reguły mieszanin będzie zależała od relacji pomiędzy kierunkiem działania siły a kierunkiem ułożenia włókien. Gdy oba te kierunki są równoległe:

$$E_{C,\parallel} = f_m E_m + f_f E_f \quad (12.6)$$

Gdy są one prostopadłe:

$$\frac{1}{E_{C,\perp}} = \frac{f_m}{E_m} + \frac{f_f}{E_f} \quad (12.7)$$

Istotną rolę w projektowaniu kompozytów spełniają oczywiście parametry samych włókien. Ważny jest tu stosunek długości włókna do średnicy  $l/d$ . W ogólnym przypadku, chcemy aby ten stosunek był jak najwyższy. Włókno będzie spełniało rolę fazy wzmacniającej, gdy jego długość będzie przekraczała długość krytyczną:

$$l_c = \frac{\sigma_{TS,f} d}{2\tau_i} \quad (12.8)$$

gdzie  $\tau_i$  opisuje siłę wiązania pomiędzy osnową i włóknem, albo naprężenie przy którym matryca zacznie się odkształcać. Włókno możemy traktować jako ciągłe, gdy jego długość przekracza  $15l_c$ . Wytrzymałość kompozytu możemy określić poprzez zależność:

$$\sigma_C = f_f \sigma_{TS,f} \left(1 - \frac{l_c}{2l}\right) + f_m \sigma_m \quad (12.9)$$

gdzie  $\sigma_m$  - naprężenie w matrycy w momencie gdy włókna ulegają zerwaniu.

#### 12.1.4. Kompozyty laminarne (warstwowe)

W przypadku kompozytów warstwowych, mamy do czynienia z materiałami, w których poszczególne fazy ułożone są warstwami jedna na drugiej. Właściwości takich materiałów będą zależały od tego, czy rozważamy kierunek równoległy do płaszczyzny warstwy czy prostopadły:

$$\begin{aligned} \rho_{C,\parallel} &= \sum (f_i \rho_i) \\ \sigma_{C,\parallel} &= \sum (f_i \sigma_i) - \text{electrical conductivity} \\ K_{C,\parallel} &= \sum (f_i K_i) \\ E_{C,\parallel} &= \sum (f_i E_i) \end{aligned} \quad (12.10)$$

$$\begin{aligned}\frac{1}{\sigma_{C,\perp}} &= \sum \left( \frac{f_i}{\sigma_i} \right) \\ \frac{1}{K_{C,\perp}} &= \sum \left( \frac{f_i}{K_i} \right) \\ \frac{1}{E_{C,\perp}} &= \sum \left( \frac{f_i}{E_i} \right)\end{aligned}\tag{12.11}$$