

7.1. Критеријум Цаи Хил (Tsai Hill)

Критеријум отказа за раванско стање напона ламината према критеријуму Цаи Хила представљен је следећом релацијом:

$$\frac{\sigma_1^2}{F_1^2} + \frac{\sigma_2^2}{F_2^2} + \frac{\tau_6^2}{F_6^2} - \frac{\sigma_1 \cdot \sigma_2}{F_1^2} = 1$$

Напонско стање одређено је величинама нормалних напона у правцу главних оса ламина (σ_1 , σ_2) и тангенцијалним напонима у равни ламине (τ_6). Величине F_1 , F_2 , F_6 представљају дозвољене напоне за дати материјал и одређују се експериментално. Следећим релацијама одређене су величине F_1 , F_2 , на основу нормалних напона, односно да ли је посматрано место ламине притиснуто или затегнуто.

$$F_1 = \begin{cases} F_{1t} & \sigma_1 > 0 \\ F_{1c} & \sigma_1 < 0 \end{cases}$$
$$F_2 = \begin{cases} F_{2t} & \sigma_2 > 0 \\ F_{2c} & \sigma_2 < 0 \end{cases}$$
$$F_6 = |\tau_6|$$

7.2. Критеријум Цаи-Ву (Tsai-Wu) (Интерактивна тензорска теорија)

Критеријум Цаи-Вуа, за познато раванско стање напона (σ_1 , σ_2 , τ_6) ламина дефинисан је следећом релацијом:

$$f_1 \cdot \sigma_1 + f_2 \cdot \sigma_2 + f_6 \cdot \tau_6 + f_{11} \cdot \sigma_1^2 + f_{22} \cdot \sigma_2^2 + f_{66} \cdot \tau_6^2 + 2 \cdot f_{12} \cdot \sigma_1 \cdot \sigma_2 + 2 \cdot f_{16} \cdot \sigma_1 \cdot \tau_6 + 2 \cdot f_{26} \cdot \sigma_2 \cdot \tau_6 = 1$$

Коефицијент f_i и f_{ij} , ($i, j = 1, 2, 6$) у претходној релацији одређују се на следећи начин:

$$f_1 = \frac{1}{F_{1t}} - \frac{1}{F_{1c}},$$

$$f_{11} = \frac{1}{F_{1t} \cdot F_{1c}},$$

$$f_2 = \frac{1}{F_{2t}} - \frac{1}{F_{2c}},$$

$$f_6 = f_{16} = f_{26} = 0,$$

$$f_{22} = \frac{1}{F_{2t} \cdot F_{2c}}$$

Вредности напона F_{1t} , F_{1c} , F_{2t} , F_{2c} као и F_6 морају се одредити експерименталним путем и зависе од врсте материјала влакана, материјала матрице и њихових међусобних запреминских удела у ламини. Према Цаи-Ву критеријуму коефицијент f_{12} у једначини дефинише интеракцију између нормалних напона σ_1 , σ_2 и одређује се експериментално путем биаксијалног затезања. Коефицијент f_{12} може бити одређен и следећом релацијом:

$$f_{12} \approx -\frac{1}{2} \sqrt{(f_{11} \cdot f_{22})}$$

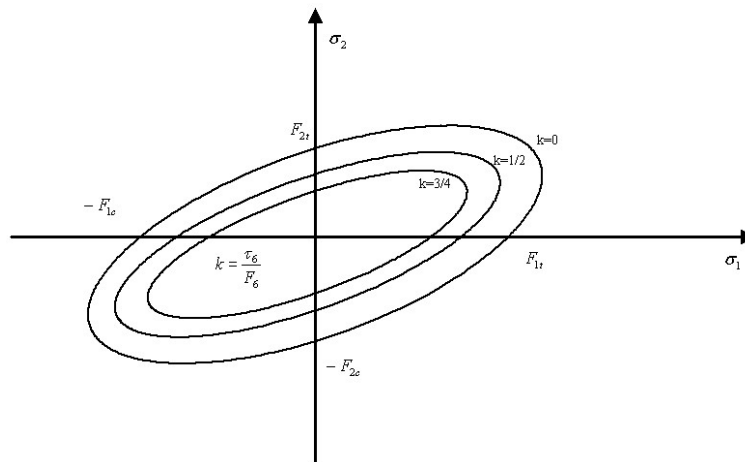
За константне вредности тангенцијалних напона:

$$\tau_6 = k \cdot F_6,$$

критеријум Тсаи-Ву може бити представљен:

$$f_1 \cdot \sigma_1 + f_2 \cdot \sigma_2 + f_6 \cdot \tau_6 + f_{11} \cdot \sigma_1^2 + f_{22} \cdot \sigma_2^2 + 2 \cdot f_{12} \cdot \sigma_1 \cdot \sigma_2 = 1 - k^2$$

Енvelope отказа према критеријуму Цаи-Вуа за различите вредности параметра „ k ” може бити представљена на следећи начин:



Слика 7.1. Анvelope отказа према критеријуму Цаи-Вуа

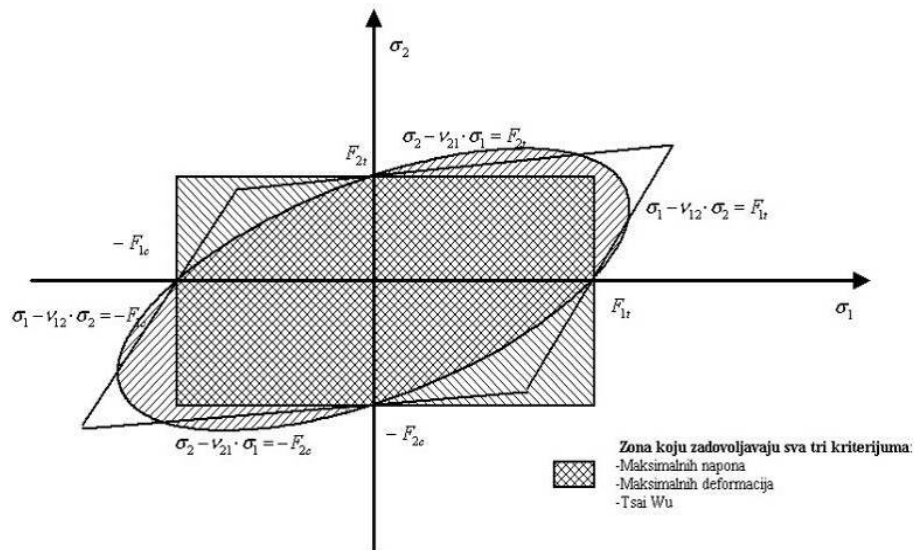
7.3. Анвелопа конзервативног приступа („Fail safe”)

На основу анализе представљених теорија и експерименталних резултата закључује се да су теорије максималних напона и максималних деформација тачније за случајеве раванског стања напона у коме нема притиска ($\sigma_1 > 0, \sigma_2 > 0$) и код композитних материјала са великим вредностима ефективног модула еластичности.

Теорија максималних напона не узима у обзир интеракцију између нормалних напона, док је код теорије максималних деформација интеракција између нормалних напона остварена преко утицаја Поисоновог ефекта. Неопходни параметри за примену ових теорија (вредности дозвољених напона при затезању, притиску и дозвољени напон на смицање) одређују се експериментално на основу једноставних стандардних тестова, на ламинама, што представља велику предност.

Теорије Цаи-Вуа и Цаи Хила показале су тачније резултате у случајевима оптерећења где су смицање и притисак доминантни, и код материјала са мањим вредностима ефективног модула еластичности. Ове теорије отказа узимају у обзир интеракцију између нормалних напона преко експериментално одређених коефицијената. Међутим, да би се тачно одредиле вредности ових коефицијената интеракције, потребно је вршити тестове биаксијалног напрезања.

Анвелопа отказа при „конзервативном” приступу пројектовања композитних структура приказана је на следећој слици:



Слика 7.2. Анвелопа отказа при „конзервативном” начину пројектовања

За познато раванско стање напона на одређеном месту структуре анализира се могућност отказа на основу свих наведених критеријума. За напонско стање при којем не долази до отказа ни по једном критеријуму сматра се задовољавајућим док се у свим осталим случајевима сматра да ће доћи до отказа.

