

Izabella HYLA
Jerzy MYALSKI

WPLYW WYTRZYMAŁOŚCI POŁĄCZENIA KOMPONENTÓW
NA MECHANIZM ROZWOJU SZCZELINY ZMĘCZENIOWEJ
W KOMPOZYTACH ALUMINIUM-STAL

Streszczenie. W pracy przedstawiono wyniki badań dotyczące kinetyki rozwoju szczeliny zmęczeniowej w kompozycie stop aluminium-włókno stalowe. Materiał kompozytowy poddano obciążeniom okresowo zmiennym w warunkach zginania obrotowego. Zróżnicowany typ połączenia na granicy rozdziału komponentów, otrzymany poprzez zastosowanie odpowiednich parametrów technologicznych uzyskania kompozytu, pozwolił na ocenę wpływu rodzaju i wytrzymałości połączenia oraz grubości i własności mechanicznych warstwy dyfuzyjnej na mechanizm i szybkość propagacji pęknięć zmęczeniowych.

1. Wstęp

Metale i stopy umacniane włóknami ciągłymi osiągają znacznie wyższą wytrzymałość zmęczeniową niż metale niezbrojone. W materiałach kompozytowych wzrost wytrzymałości zmęczeniowej kilkakrotnie przewyższa wytrzymałość zmęczeniową osnowy, co potwierdzają dane zawarte w tablicy 1. Jak widać z przytoczonych danych, w kompozycie Al-bor wzrost ten jest prawie 9-krotny, a w kompozycie Al-stal prawie 2,5-krotny. Na wytrzymałość zmęczeniową kompozytów wpływają w istotny sposób takie czynniki, jak: udział objętościowy zbrojenia oraz odpowiednie zestawienie charakterystyk wytrzymałościowych osnowy i włókien. Z analizy przedstawionej przez Swensona i Raua [3] wynika, iż na osnowę kompozytu należy wybierać materiał o małej wytrzymałości i dużej plastyczności, natomiast na zbrojenie włókna charakteryzujące się wysokimi własnościami sprężystymi. Badania wykazały, że wpływ charakterystyk mechanicznych komponentów na własności zmęczeniowe kompozytu może ulegać zmianom pod wpływem warstw reakcyjnych powstających na granicy rozdziału komponentów w procesie wytwarzania kompozytu [2]. O ile wpływ charakterystyk mechanicznych komponentów na własności zmęczeniowe kompozytu jest w zasadzie poznany, to wpływ warstwy granicznej jest nadal obiektem badań. Z informacji zawartych w literaturze [4] wynika, iż połączenia dyfuzyjne na granicy rozdziału obniżają wytrzymałość zmęczeniową kompozytów. Brak jest jednak danych oceniających kompleksowo wpływ poszczególnych elementów charakteryzujących warstwę graniczną, takich jak: wytrzymałość połączenia komponentów, grubość warstwy reakcyjnej, jej budowa i własności mechaniczne. Tymczasem każdy z wymienionych czynników może mieć wpływ na wytrzymałość zmęczeniową kompozytu, poprzez oddziaływanie na kinetykę rozwoju szczeliny zmęczeniowej w materiale.

Tablica 1

Wytrzymałość zmęczeniowa materiałów kompozytowych z osnową aluminiową [1]

Lp.	Kompozyt	Udział obj. V_w %	Wytrzymałość na rozciąganie R_m , MPa	Wytrzymałość zmęczeniowa σ_{zr} , MPa	σ_{zr} / R_m
1.	Al 6061	0	-	135	-
2.	Al6061-B	57	1750	1020	0,58
3.	Al6061-SiC	47	1270	750	0,59
4.	Al6061-stal	25	860	260	0,30
5.	Al2L1-Al ₂ O ₃	55	590	410	0,69
6.	Al3L1-Al ₂ O ₃	35	377	280	0,74

W niniejszej pracy podjęto zatem próbę oceny wpływu powierzchni rozdziału na kinetykę rozwoju pęknięć zmęczeniowych w metalicznych kompozytach włóknistych na przykładzie kompozytu Al-stal.

2. Materiał do badań

W badaniach wykorzystano materiał kompozytowy AK 11-drut stalowy H25N20S2. Otrzymywano go metodą infiltracji ciśnieniowej i próżniowej. Przyjęty zestaw komponentów zapewniał odpowiednie zróżnicowanie ich charakterystyk mechanicznych, zachowanie własności wytrzymałościowych zbrojenia w temperaturze odlewania oraz dobrą jakość uzyskiwanych odlewów. Zastosowane parametry infiltracji ciśnieniowej i próżniowej, ustalone na podstawie przeprowadzonych obliczeń [5,6], zapewniły uzyskanie połączenia adhezyjnego lub dyfuzyjnego. Wytworzone kompozyty charakteryzowały się zróżnicowaną wytrzymałością połączenia na granicy rozdziału włókno-osnowa, którą określano na podstawie próby wyciągania. Wyniki tych badań przedstawiono w tablicy 2.

W kompozytach wytworzonych metodą infiltracji ciśnieniowej obserwowano tworzenie się warstwy dyfuzyjnej o dużej grubości.

Tablica 2

Charakterystyka powierzchni rozdziału w kompozytach AK11-H25N20S2

Lp.	Rodzaj technologii odlewniczej	Temperatura odlewania T_o , K	Temperatura kokili T_k , K	Wytrzymałość połączenia σ_p , MPa	Grubość warstwy dyfuzyjnej δ , μm	Mikrotwardość μHV
1.	infiltracja próżniowa	1013	773	10,9	-	-
2.	- " - " -	1053	773	16,3	-	-
3.	- " - " -	1053	823	23,8	10-15	960
4.	infiltracja ciśnieniowa	973	973	49,3	45-50	516
5.	- " - " - drut chromianowany	973	973	42,6	35-40	357

Celem ograniczenia zjawisk dyfuzyjnych zachodzących na granicy rozdziału, na włókna zbrojące naniesiono powłokę chromianową. Pozwoliło to na zmniejszenie grubości warstwy dyfuzyjnej i obniżenie jej mikrotwardości (tabl.2).

Dzięki zatem odpowiednim parametrom i zabiegom technologicznym (naniesienie powłoki na włókna zbrojące) uzyskano materiał do badań różniących się rodzajem i wytrzymałością połączenia oraz charakterystykami mechanicznymi i grubością warstwy dyfuzyjnej.

Uzyskany materiał kompozytowy AK 11-20% włókna stalowego H25N20S poddano obciążeniom okresowo-zmienny, w celu prześledzenia mechanizmów zniszczenia zmęczeniowego kompozytu i określenia prędkości propagacji szczeliny zmęczeniowej w kompozycie.

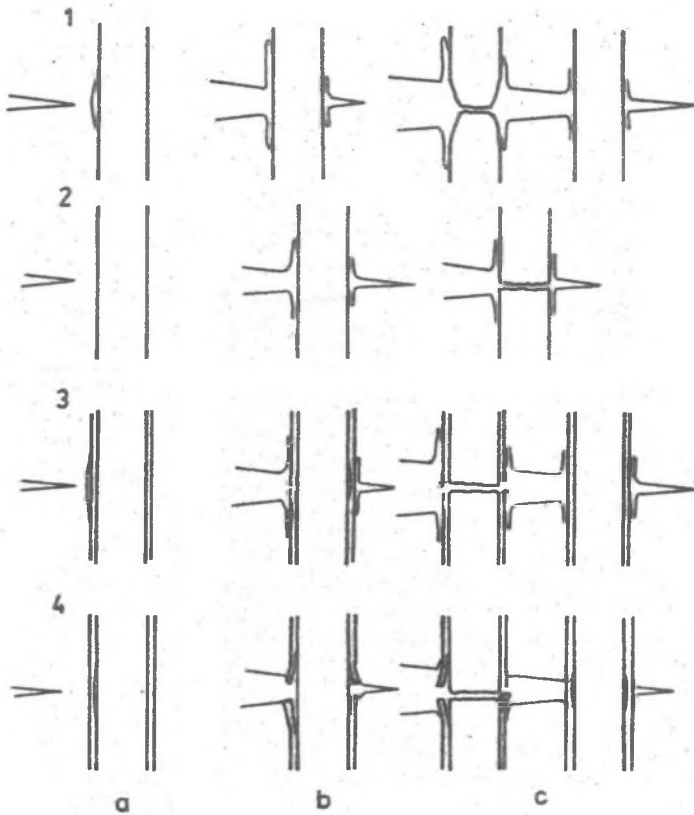
Badania przeprowadzono dla próbek o średnicy 12 mm i długości 160 mm. Próbkę obciążano na maszynie wytrzymałościowej MUI 1000 metodą zginania obrotowego, przy częstotliwości zmian obciążenia 1 kHz i naprężeniu zginającym $\sigma = 200$ MPa.

3. Wyniki badań

W badaniach mechanizmów rozwoju szczeliny zmęczeniowej w kompozytach Al-stal skoncentrowano się na określeniu wpływu rodzaju połączenia i jego wytrzymałości τ_p oraz grubości i własności mechanicznych warstwy dyfuzyjnej, na kinetykę rozwoju szczeliny zmęczeniowej.

Badania wykazały, że w przypadku połączenia adhezyjnego o małej wytrzymałości ($\tau_p = 10,9$ MPa), propagacja szczeliny zmęczeniowej zapoczątkowanej w materiale osnowy ulega pewnemu zahamowaniu po dotarciu do włókien zbrojących zmienia bowiem wówczas kierunek i zaczyna przemieszczać się wzdłuż granicy rozdziału włókno-osnowa, (prostopadle do początkowego kierunku propagacji), powodując odwarstwienie drutu zbrojącego. Tworzy się tzw. szczelina cylindryczna wokół włókna. W ten sposób szczelina omija włókno, nie powodując jego uszkodzenia i zmieniając ponownie kierunek rozprzestrzenienia się w osnowie aż do kolejnego włókna. Włókna zbrojące, po utracie kontaktu z osnową, pod wpływem rosnącego obciążenia ulegają odkształceniom, aż do odkształceń plastycznych włókien włącznie, co w konsekwencji prowadzi do ich zniszczenia.

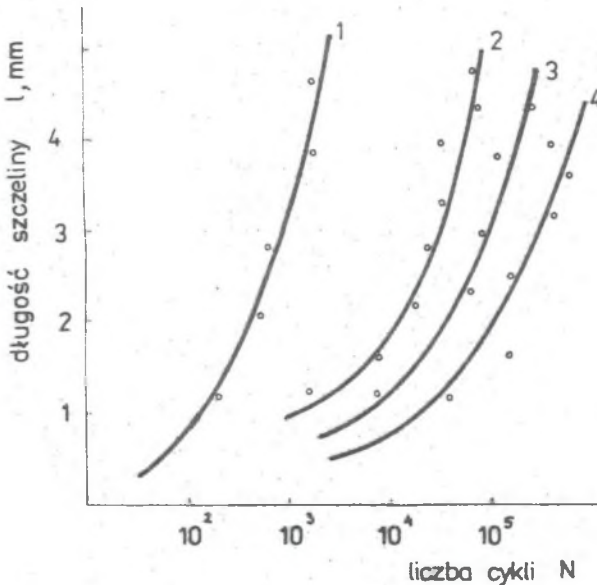
Przy wzroście wytrzymałości połączenia adhezyjnego do wartości $\tau_p = 16,3$ MPa obserwuje się podobny rozwój szczeliny, z tym że wyższa wytrzymałość na granicy rozdziału komponentów utrudnia tworzenie się dużych szczelin cylindrycznych wokół włókien i ich odwarstwienia od osnowy. Zniszczeniu włókien nie towarzyszy odkształcenie plastyczne, jak to miało miejsce przy mniejszej wytrzymałości połączenia. Tworząca się szczelina odwarstwiająca i niszcząca włókno nosi ze względu na swój kształt nazwę szczeliny "H" [1].



Rys. 1 Modele rozwoju szczeliny zmęczeniowej w kompozycie AK 11-H25N20S2; a) połączenie adhezyjne ($\tau_p = 10,9$ MPa), b) połączenia adhezyjne ($\tau_p = 16,3$ MPa); c) połączenie dyfuzyjne ($\tau_p = 23,6$ MPa), d) połączenie dyfuzyjne ($\tau_p = 42,6$ MPa i $\tau_p = 49,3$ MPa)

W przypadku połączenia dyfuzyjnego komponentów, kiedy wytrzymałość połączenia τ_p jest wyższa od wytrzymałości na ścinanie osnowy τ_q , rozwój szczeliny może nastąpić nie tylko w osnowie, ale również w kruchej warstwie dyfuzyjnej utworzonej na granicy rozdziału komponentów. Przy niezbyt wysokiej wytrzymałości połączenia dyfuzyjnego na granicy osnowa-warstwa reakcyjna ($\tau_p = 23,8$ MPa), szczelina przed dotarciem do powierzchni włókien powoduje niszczenie warstwy reakcyjnej przez jej oddzielenie od osnowy, a następnie fragmentację. Przy połączeniach dyfuzyjnych o wysokiej wytrzymałości połączenia (próbki otrzymane metodą infiltracji ciśnieniowej), szczelina zmęczeniowa dociera do włókna nie powodując wcześniej

oddzielenia warstwy dyfuzyjnej od osnowy. Spiętrzenie naprężeń na wierzchołku szczeliny powoduje pęknięcie włókien bez ich uprzedniego odkształcenia plastycznego.



Rys.2 Wpływ wytrzymałości połączenia na propagację szczeliny zmęczeniowej w kompozycie AK11-20% H25N20S2: 1) AK 11; 2) połączenie dyfuzyjne ($\tau_p = 23,8$ MPa); 3) połączenie dyfuzyjne, drut chromianowany ($\tau_p = 42,6$ MPa) 4) połączenie adhezyjne ($\tau_p = 10,9$ MPa)

Poczynione obserwacje rozwoju szczeliny zmęczeniowej w zależności od rodzaju połączenia i jego wytrzymałości pozwoliły na sporządzenie hipotetycznych modeli rozwoju szczeliny zmęczeniowej w kompozycie Al-stal (rys.1).

W obszarze połączeń dyfuzyjnych pomiędzy komponentami wzrost wytrzymałości połączenia zwiększa oddziaływanie na włókno koncentracji naprężeń w wierzchołku szczeliny po dotarciu jej do włókna. W związku z tym należy spodziewać się obniżenia własności zmęczeniowych kompozytów. Potwierdzeniem tego mogą być również wyniki badań, jakie uzyskano określając własności zmęczeniowe kompozytu Al-bor [7]. Wzrost wytrzymałości połączenia pomiędzy komponentami utrudnia tworzenie się szczelin cylindrycznych na granicy rodzaju osnowa-zbrojenie, które hamują propagację zmęczeniowego pęknięcia w materiale kompozytowym.

Odporność materiału na rozwój szczelin zmęczeniowych maleje. Potwierdzają to wyniki badań szybkości propagacji szczeliny zmęczeniowej w materiale kompozytowym AK 11-włókno H25N20S2, przedstawionej na rys.2. Jak widać, dla połączenia adhezyjnego ($\tau_p = 10,9$ MPa-krzywa 4) szybkość rozwoju szczeliny jest mniejsza niż w przypadku połączenia dyfuzyjnego (krzywe 2 i 3). Z przytoczonych krzywych wynika ponadto, iż korzystne jest w przypadku połączenia dyfuzyjnego uzyskanie międzywarstw o dobrych własnościach mechanicznych (np. poprzez zastosowanie odpowiednich pokryć ochronnych). Rozbudowane warstwy dyfuzyjne charakteryzujące się zbyt dużą mikrotwardością pod wpływem obciążeń łatwo ulegają zniszczeniu i nie tylko nie stanowią przeszkody w rozwoju szczeliny, ale same mogą inicjować pęknięcia zmęczeniowe we włóknach zbrojących.

Przeprowadzone badania pozwalają wnioskować, że spadek wytrzymałości zmęczeniowej kompozytów, przy połączeniach dyfuzyjnych na granicy rozdzielu komponentów podwyższa szybkość propagacji szczeliny zmęczeniowej w materiale. A zatem, ograniczając szybkość propagacji poprzez zmniejszenie wytrzymałości połączeń komponentów oraz zmniejszenie grubości warstwy reakcyjnej i polepszenie jej wytrzymałości, stwarza się możliwość wpływania na podwyższenie wytrzymałości zmęczeniowej wytwarzanego kompozytu.

LITERATURA

- [1] Gerhold V.: Fatigue of continuous fibre-reinforced metal matrix composites. Materiały konferencyjne Mechanical and Physical Behaviour of Metallic and Ceramic Composites, Roskilde 1988.
- [2] Praca zbiorowa: Deformowanie i razruszenie kompozytów, Sverdlovsk 1985.
- [3] Swenson D.O., Rau C.A.: The stress distribution around a crack perpendicular to an interface between materials, International Journal Fracture Mechanics, nr 4, vol.6, 1970.
- [4] Broutman L.J.: Kompozycionnyje materiały t.5. Razrusenie i ustaloust, Mir, Moskwa 1978.
- [5] Hyla. I., Śleżiona J.: Technologia otrzymywania i własności kompozytu Al-drut stalowy. Inżynieria Materiałowa, nr 4-5, 1984.
- [6] Myślaki J.: Wpływ parametrów technologicznych na wytrzymałość zmęczeniową kompozytów z osnową metaliczną. Rozprawa doktorska, nie publikowana, Biblioteka Politechniki Śląskiej, Gliwice 1988.
- [7] White M.K., Wright M.A.: The fatigue properties of cross plied boron-aluminium composites, Journal of Material Science, nr 4, vol. 14, 1979.

INFLUENCE OF COMPONENT COMPLONG RESISTANCE UPON THE
MECHANISM OF FATIGUE HOT CRACK DEVELOPMENT IN AL-STEEL COMPOSITES

Summary

The results of experiments concerning kinetics of the fatigue slit development in alloy aluminium-steel fibre composite have been presented in this paper. Composites have been exposed to periodically changing loads in conditions of rotary bending. Different type of connections at the composite boundary division which was obtained by applying appropriate technological parametres for composite production, enabled to evaluate how a certain kind of connection and its strength as well as its thickness and mechanical properties of a diffusion layer influence the mechanism and propagation of fatigue slits.

ВЛИЯНИЕ ПРОЧНОСТИ СОЕДИНЕНИЯ КОМПОНЕНТОВ НА МЕХАНИЗМ РАЗВИТИЯ
УСТАЛОСТНОЙ ТРЕЩИНЫ В КОМПЗИТАХ АЛЮМИНИЯ - СТАЛЬ.

Резюме

В работе обсуждено результаты исследований кинетики развития усталостной трещины в композите сплав Ал - стальная проволока. Композиционный материал подвергали усталостным нагружением в условиях оборотно-изгибающей нагрузки. Разный тип соединения компонентов, полученный в следствии разнообразных технологических параметров получения композита, позволяеть оценить влияние вида и прочности соединения, толщины и механических свойств диффузионной зоны на механизм и скорость развития усталостных трещин.