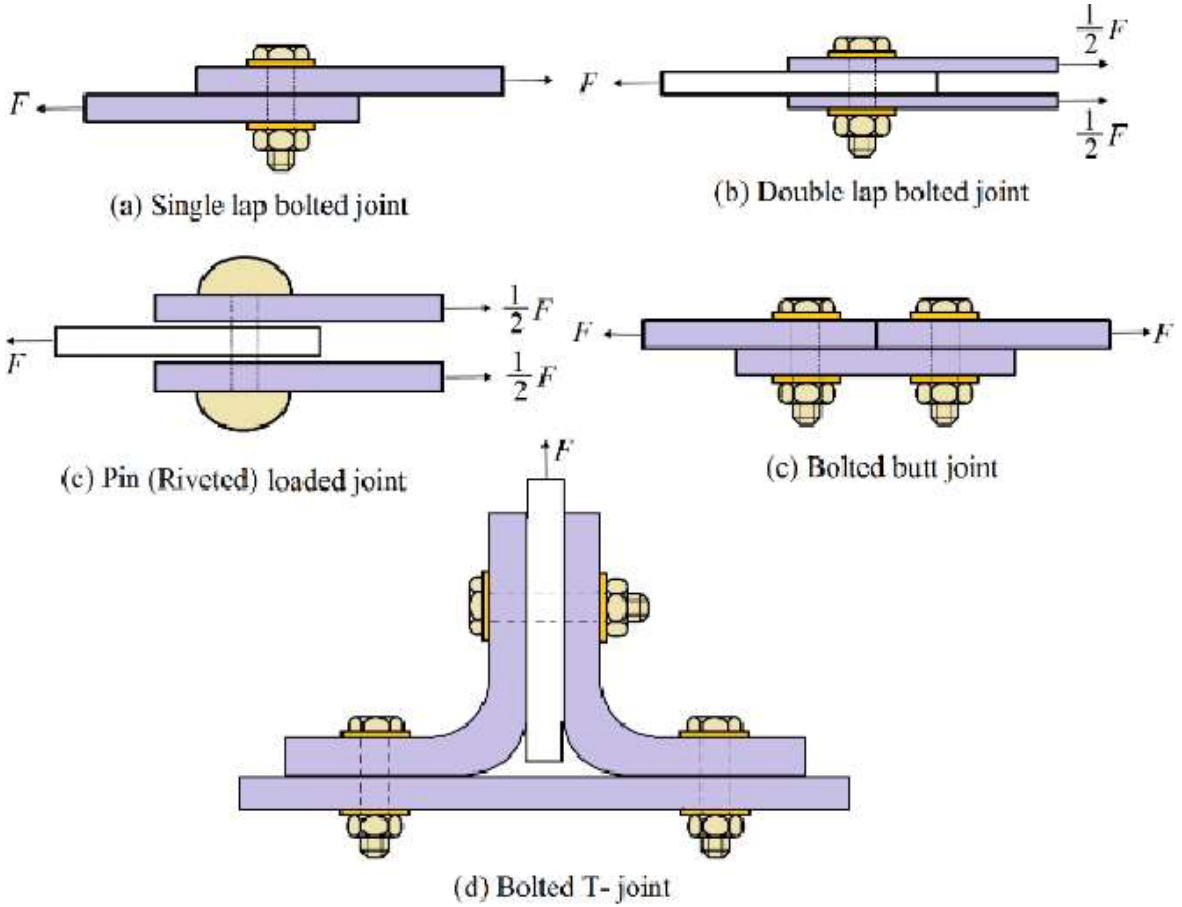
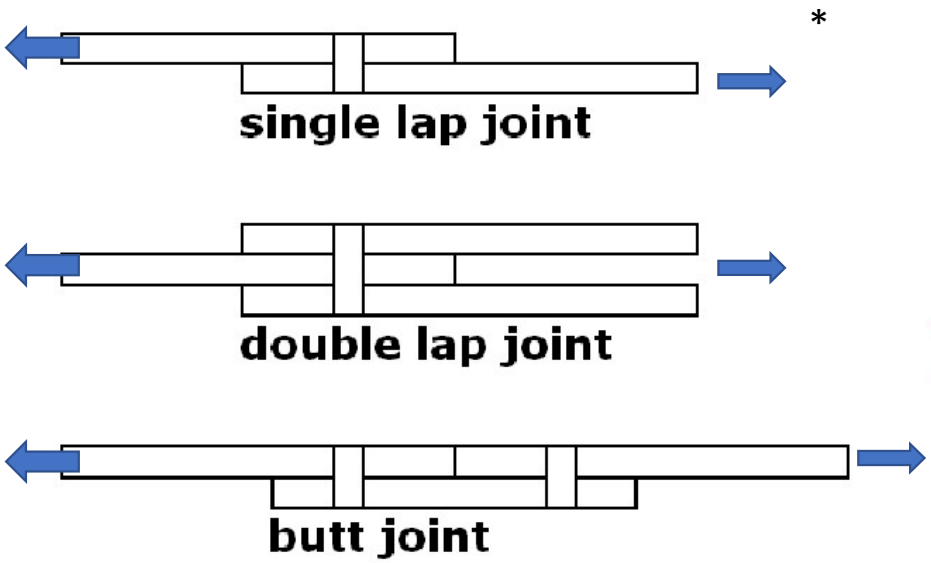
Połączenia sworzniowe

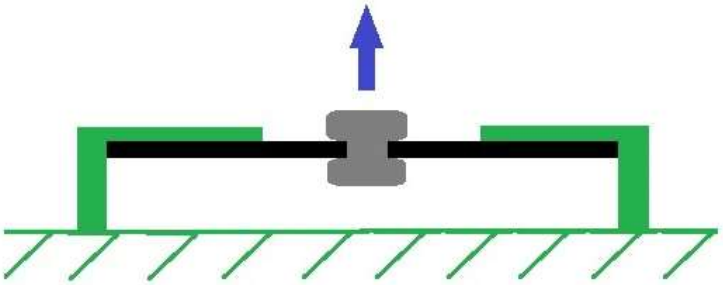


M. Shishesaz, M. Hosseini, A review on stress distribution, strength and failure of bolted composite joints, Materials Science, Applied and Computational Mechanics, 2018

Badania połączeń sworzniowych



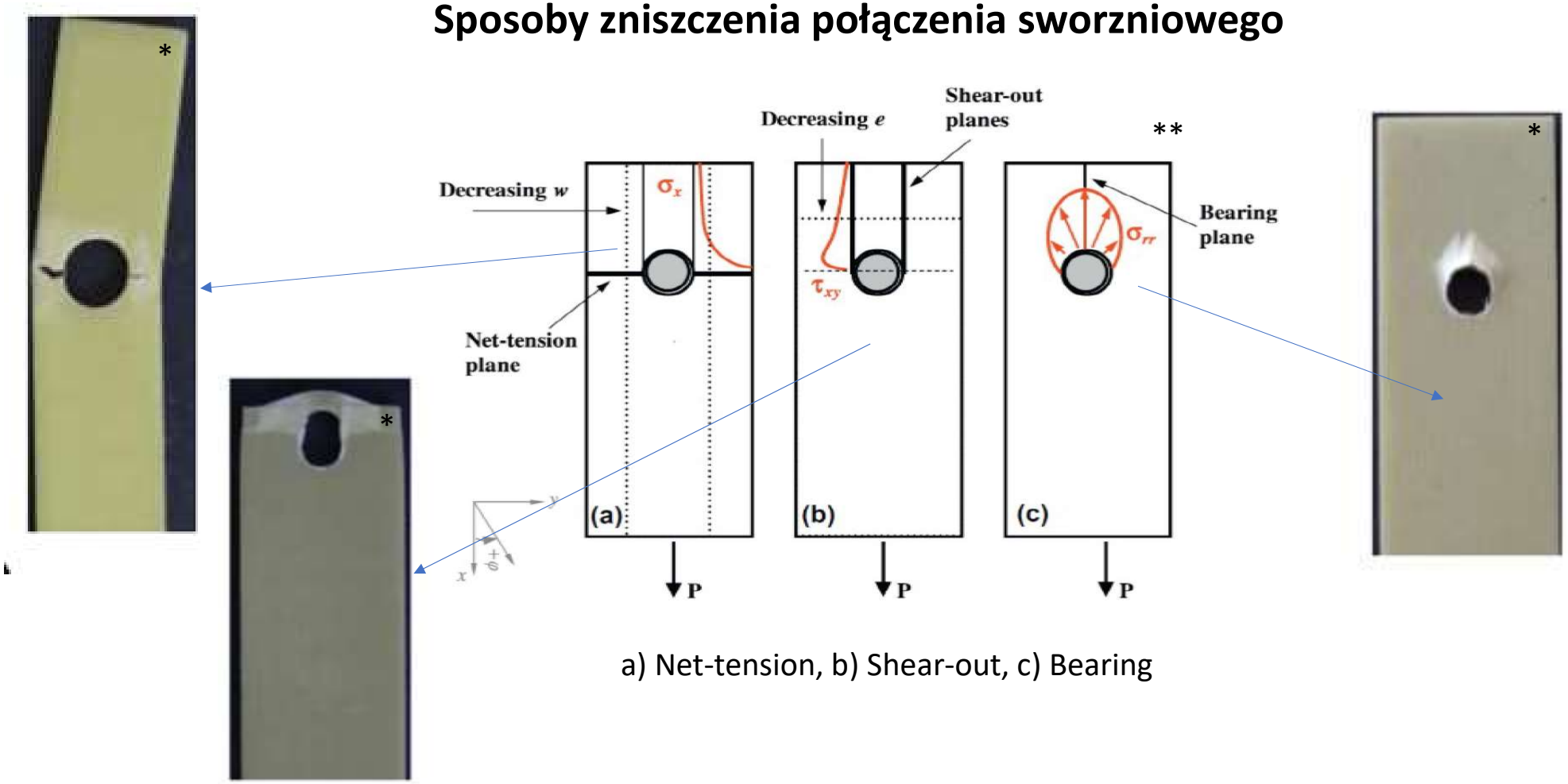
*



Pull-out test

* G. Di Bella, G. Galtieri, E. Pollicino, C. Borsellino, Joining of GFRP in marine applications, 2012

Sposoby zniszczenia połączenia sworzniowego



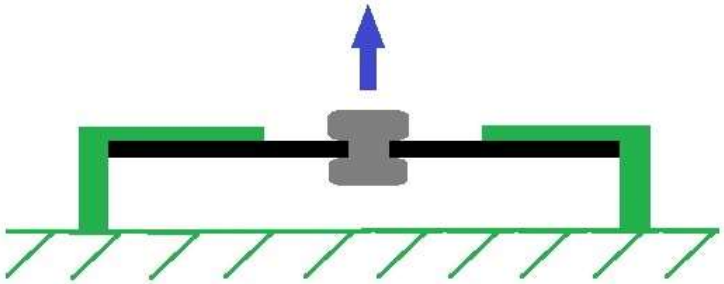
a) Net-tension, b) Shear-out, c) Bearing

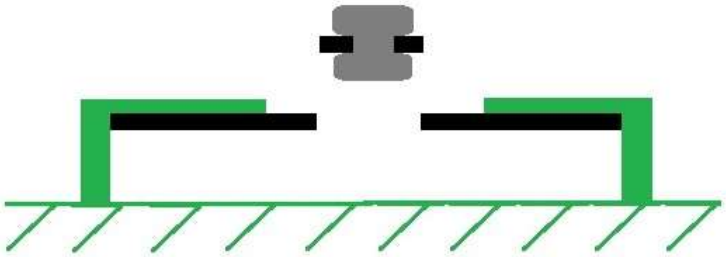
Zazwyczaj połączenia projektuje się w ten sposób, żeby ulegały one zniszczeniu przez naciski (bearing), bo wtedy zniszczenie jest stopniowe i jest czas na naprawę.

* S. Zu, Z. Zhou, J. Zhang, Numerical simulation of pin-loaded joints of fiber metal laminate, Iranian Polymer Journal, vol. 28, p. 145-155, 2019
** Atas, A.; Soutis, C. Subcritical damage mechanisms of bolted joints in CFRP composite laminates. *Compos. Part B Eng.* **2013**, *54*, 20–27

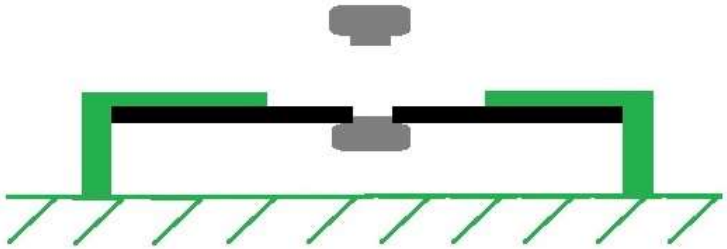
Badania połączeń sworzniowych

Sposoby zniszczenia





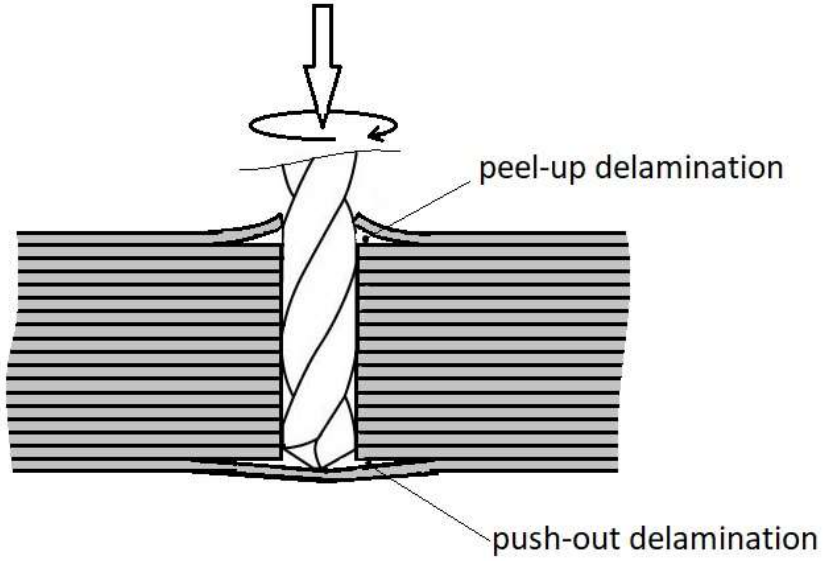
Zniszczenie materiału



Zniszczenie sworznia

Uszkodzenia kompozytu wywołane wierceniem otworów

1. Delaminacje (rozwarstwienia)
2. Pęknięcia
3. Przegrzania (temperatura kilkaset stopni)

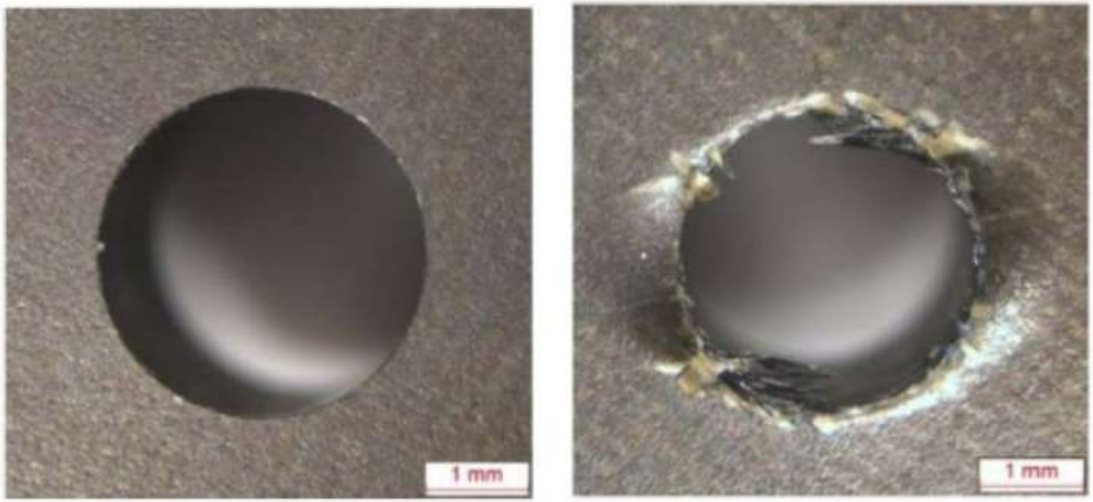


Mechanizm powstawania delaminacji



*

Wpływ prędkości posuwu (f [mm/obr]) [101]



**

Otwór wykonany wiertłem nowym i zużytym [89]

* Khashaba, U.A.; El-Sonbaty, I.A.; Selmy, A.I.; Megahed, A.A. Machinability analysis in drilling woven GFR/epoxy composites: Part I—Effect of machining parameters. *Compos. Part A Appl. Sci. Manuf.* **2010**, *41*, 391–400
** Fernandez-Perez, J.; Cantero, J.L.; Diaz-Alvarez, J.; Miguelez, M.H. Influence of cutting parameters on tool wear and hole quality in composite aerospace components drilling. *Compos. Struct.* **2017**, *178*, 157–161

Nitośrubki (fastenery)

Korozja galwaniczna – korozja wywołana kontaktem dwóch materiałów przewodzących o różnym potencjale elektrycznym, połączonych ze sobą w sposób ciągły w obecności elektrolitu

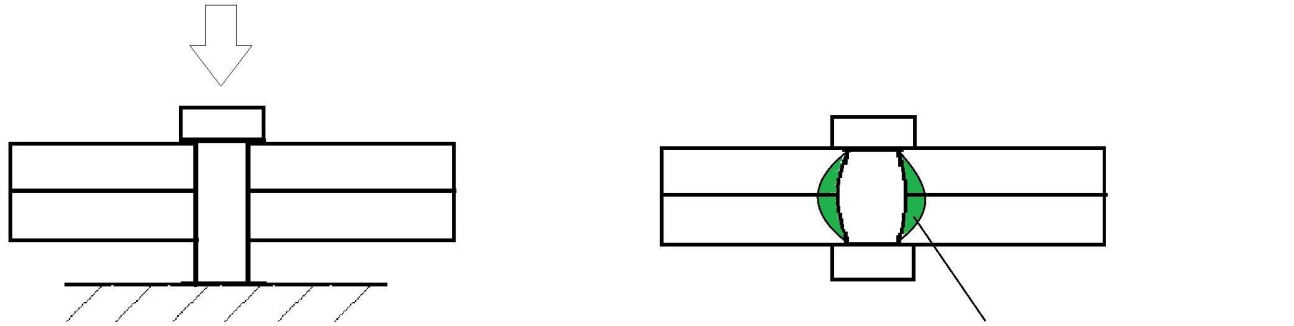
Ponieważ włókno węglowe jest materiałem przewodzącym i tworzy ogniwa galwaniczne ze stopami aluminium i stalą, do łączenia kompozytów zbrojonych włóknem węglowym stosuje się najczęściej fastenery wykonane ze stopów tytanu.



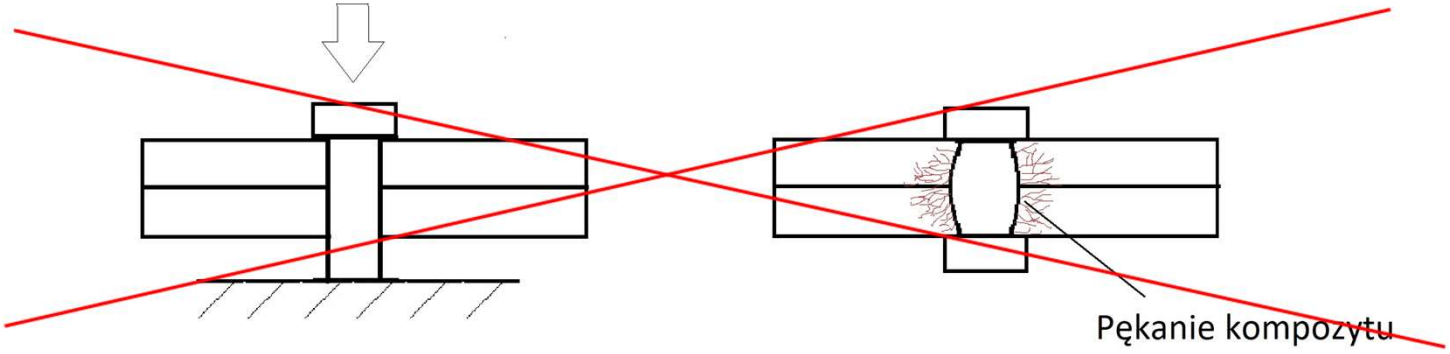
Nitośrubki (fastenery)

Do łączenia kompozytów nie należy stosować tradycyjnego nitowania.

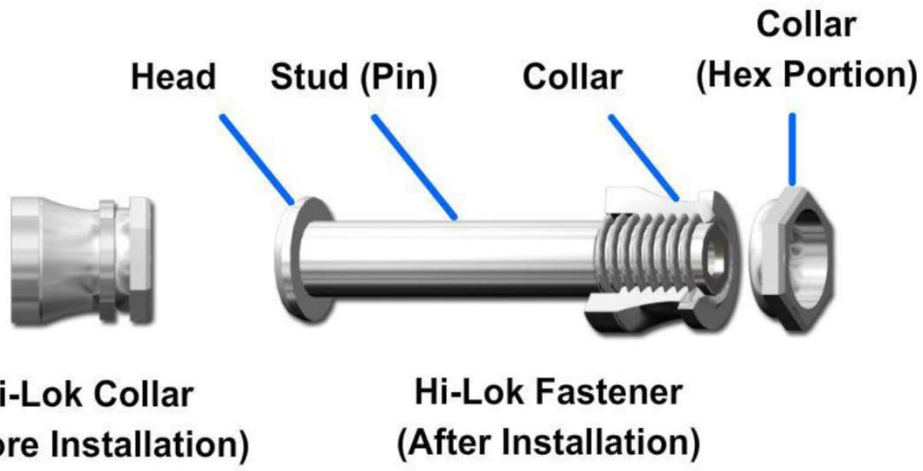
Nitowanie metali



Nitowanie kompozytów



Nitośrubki (fastenery)



CUTM Courseware – Chapter 6: Aircraft hardware

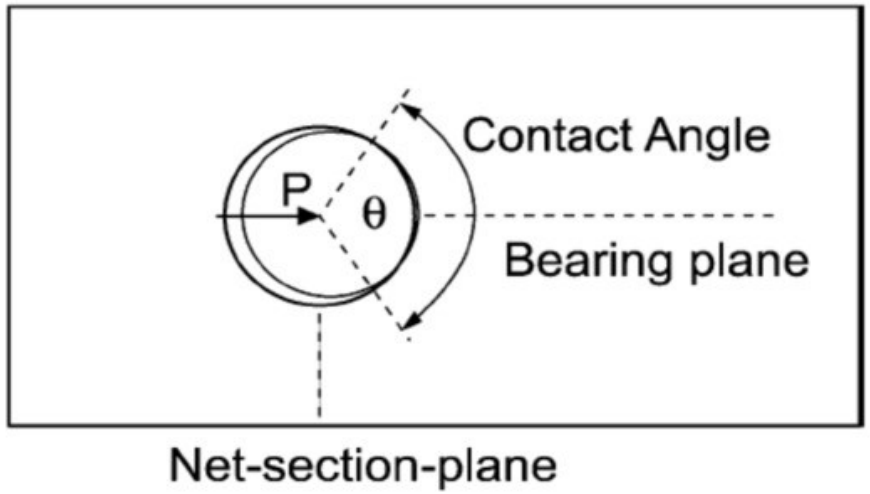
Hi-loks – strukturalne



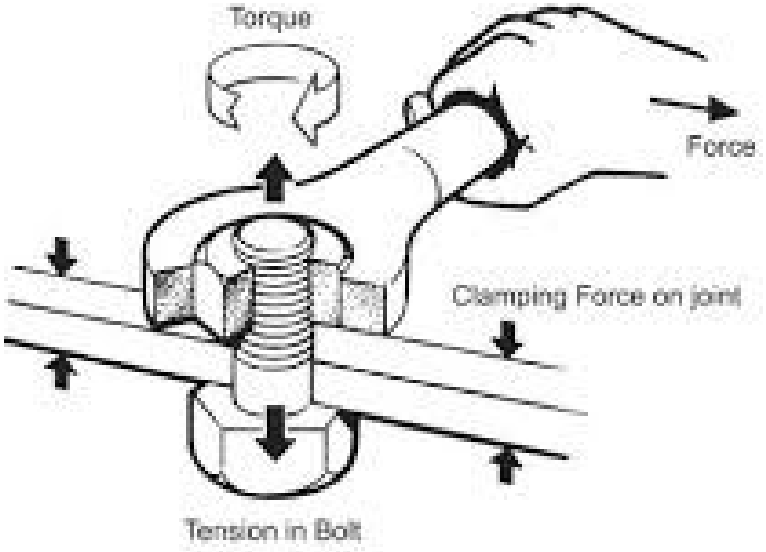
store.skybolt.com

Camlocks – niestrukturalne, używane do montowania części, które nie przenoszą dużych obciążeń, za to często się je demontuje, np. otwory inspekcyjne, owiewki

Tolerancja otworu i siła dociskająca



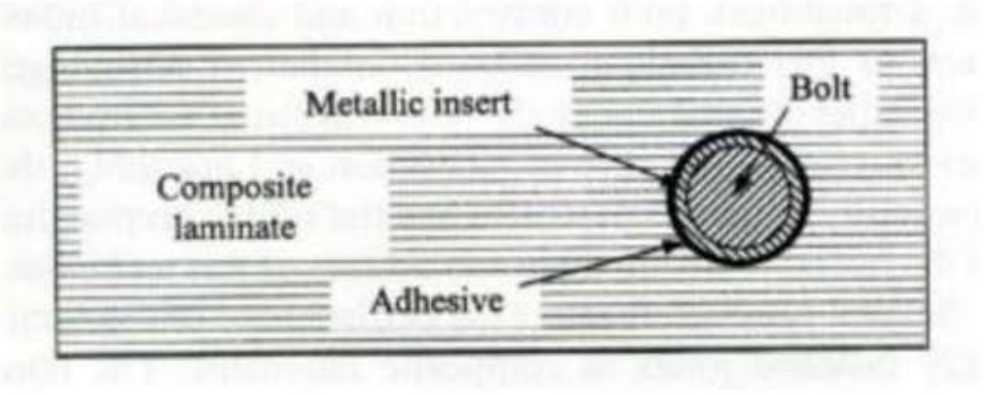
*

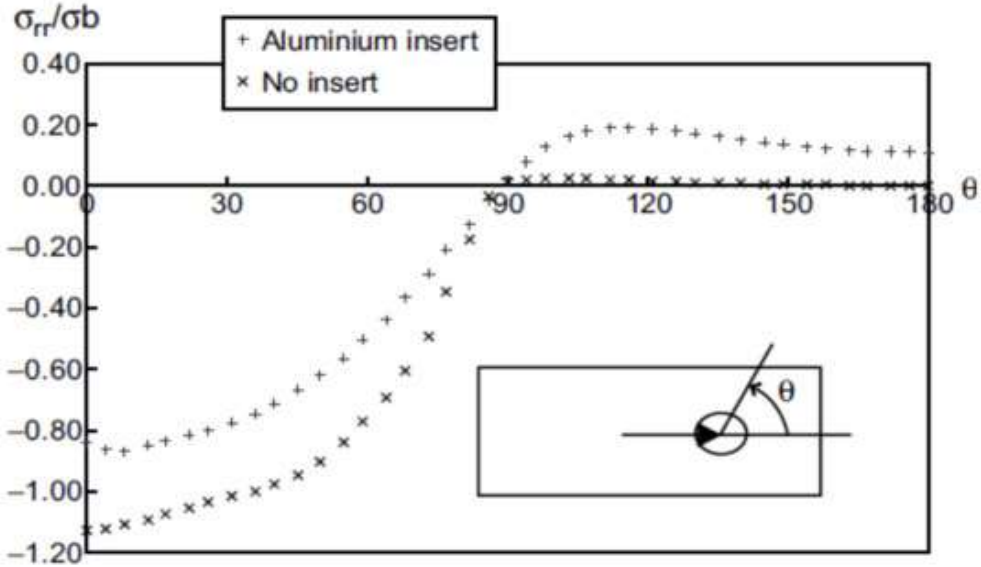


www.system22fast.com/

* Kelly, G.; Hallström, S. Bearing strength of carbon fibre/epoxy laminates: Effects of bolt-hole clearance. *Compos. Part B Eng.* **2004**, *35*, 331–343

Sposoby zwiększania wytrzymałości połączeń sworzniowych: Klejone wkładki





Rozkład naprężeń normalizowanych wokół otworu ze sworzniem z wkładką i bez wkładki

Zalety:

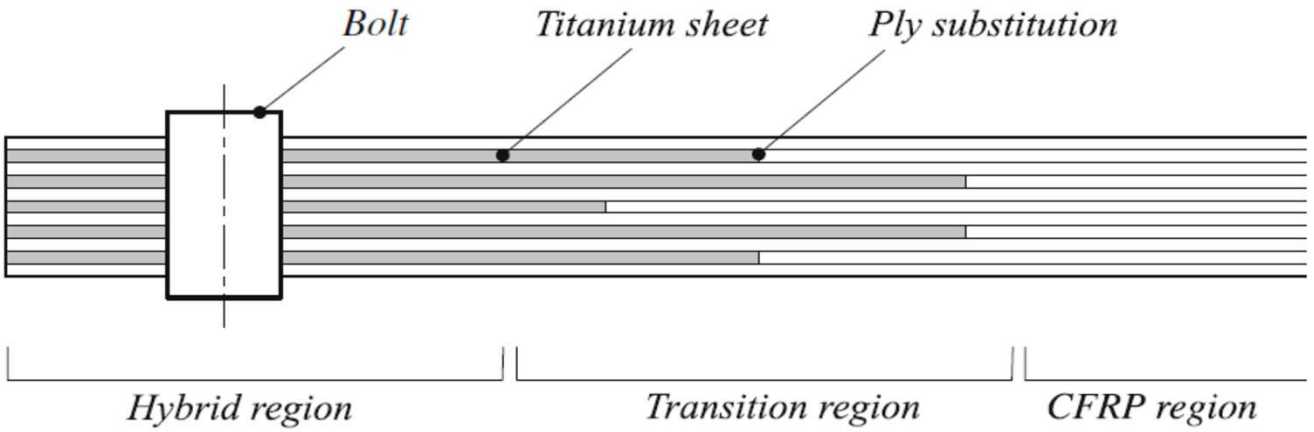
- Korzystniejsza dystrybucja obciążeń wokół otworu – wzrost wytrzymałości połączenia
- Dodatkowa ochrona materiału wokół otworu

Wady:

- Wzrost masy

Camanho, P.P.; Tavares, C.M.L.; de Oliveira, R.; Marques, A.T.; Ferreira, A.J.M. Increasing the efficiency of composite single-shear lap joints using bonded inserts. *Compos. Part B Eng.* **2005**, *36*, 372–383

Sposoby zwiększania wytrzymałości połączeń sworzniowych: Folia tytanowa



Zastąpienie w kompozycie wokół otworu niektórych warstw folią tytanową

Zalety:

- Wzrost wytrzymałości połączenia

Wady:

- Wzrost masy
- Komplikacja procesu produkcji

Camanho, P.P.; Fink, A.; Obst, A.; Pimenta, S. Hybrid titanium-CFRP laminates for high-performance bolted joints. *Compos. Part A Appl. Sci. Manuf.* **2009**, *40*, 1826–1837 Please confirm added information

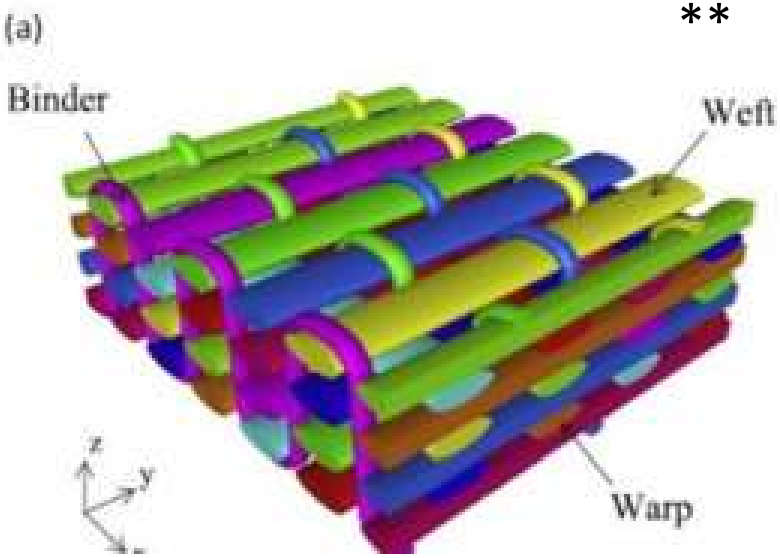
Sposoby zwiększania wytrzymałości połączeń sworzniowych: Dodatkowe zbrojenie





*

**



Zniszczenie kompozytu bez pinów i z pinami przez naciski

Zalety:

- Wzrost wytrzymałości połączenia

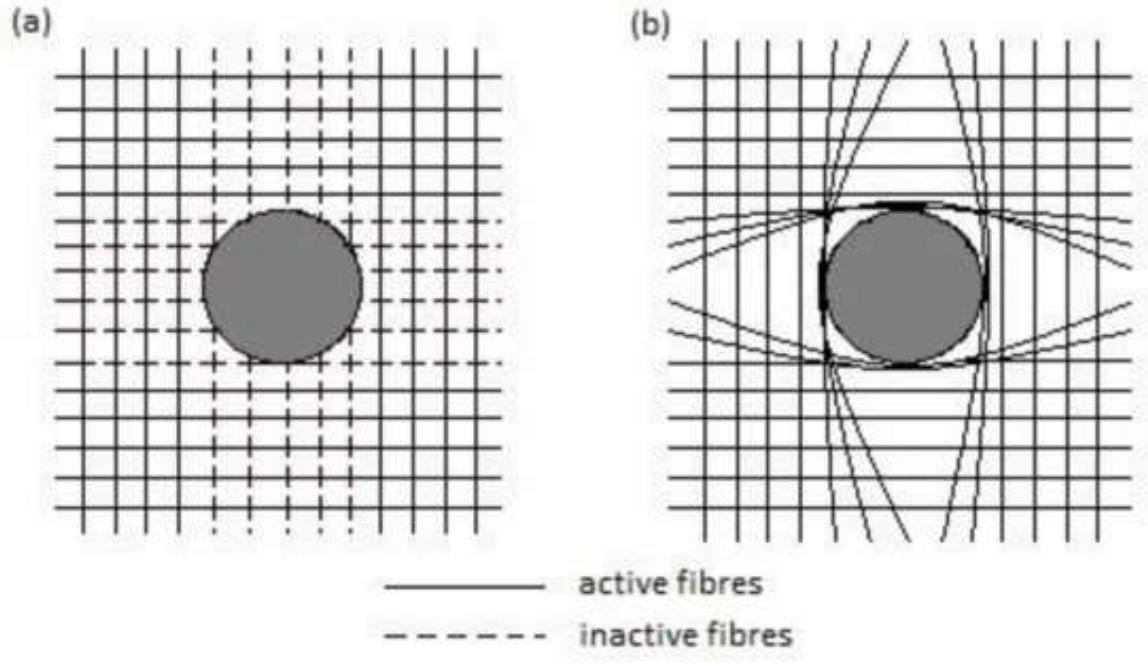
Wady:

- Komplikacja procesu produkcji

* Li, R.; Huong, N.; Crosky, A.; Mouritz, A.P.; Kelly, D.; Chang, P. Improving bearing performance of composite bolted joints using z-pins. *Compos. Sci. Technol.* **2009**, *69*, 883–889

** Dai, S.; Cunningham, P.R.; Marshall, S.; Silva, C. Open hole quasi-static and fatigue characterisation of 3D woven composites. *Compos. Struct.* **2015**, *131*, 765–774

Sposoby zwiększania wytrzymałości połączeń sworzniowych: Otwory laminowane



Zalety:

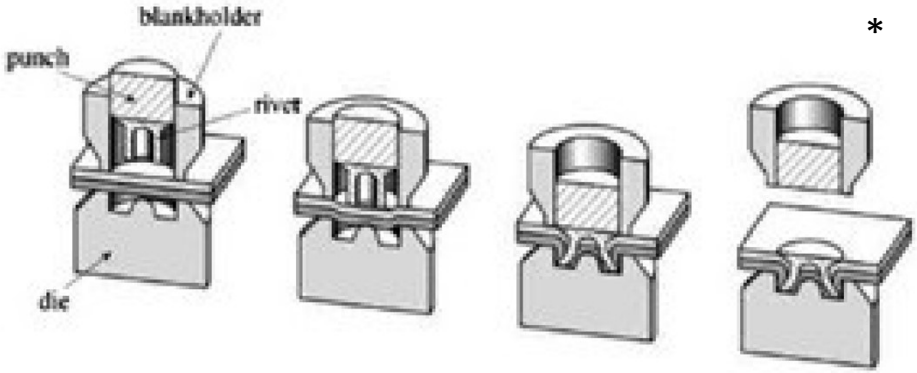
- Wzrost wytrzymałości połączenia (?) przy braku wzrostu masy
- Eliminacja procesu wiercenia otworu

Wady:

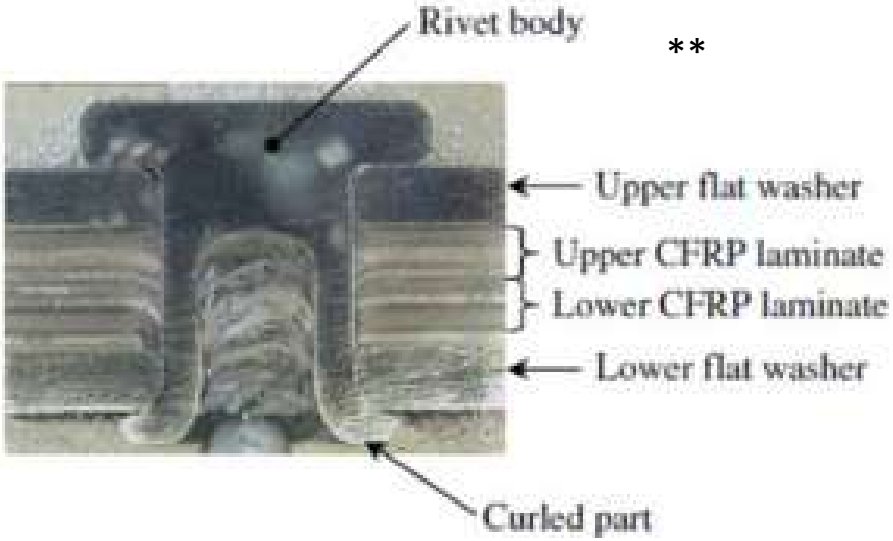
- Komplikacja procesu produkcji
- Problemy z pozycjonowaniem otworów

Inne sposoby łączenia kompozytów

Self-piercing riveting



*



**

Zalety:

- Szybkość i automatyzacja procesu
- Eliminacja procesu wiercenia otworu

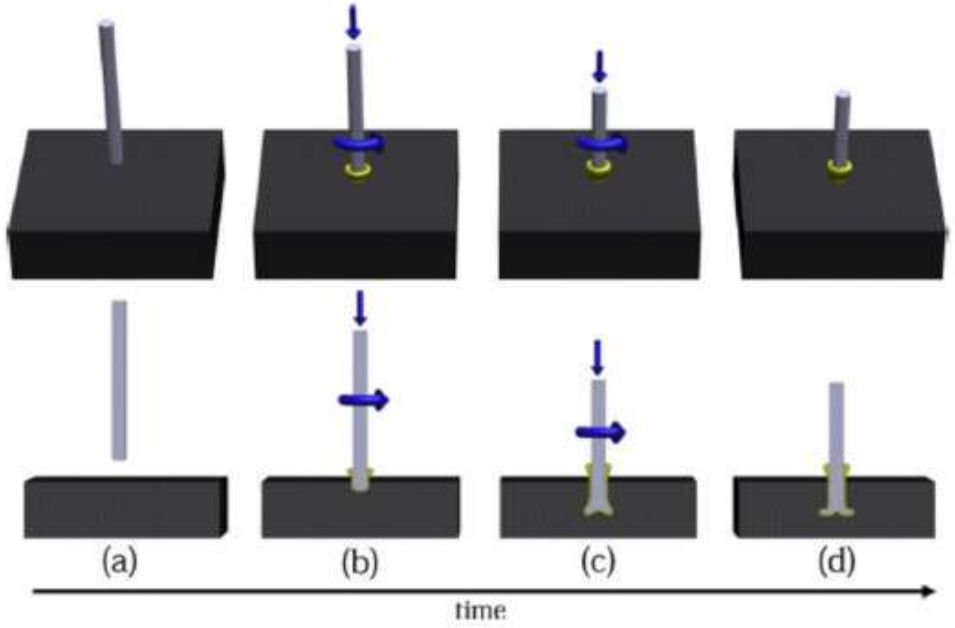
Wady:

- Duże zniszczenia w kompozycie
- Połączenie nierozłączne

* di Franco, G.; Fratini, L.; Pasta, A. Influence of the distance between rivets in self-piercing riveting bonded joints made of carbon fiber panels and AA2024 blanks. *Mater. Des.* **2012**, *35*, 342–349

** Ueda, M.; Miyake, S.; Hasegawa, H.; Hirano, Y. Instantaneous mechanical fastening of quasi-isotropic CFRP laminates by a self-piercing rivet. *Compos. Struct.* **2012**, *94*, 3388–3393

Friction riveting



Zalety:

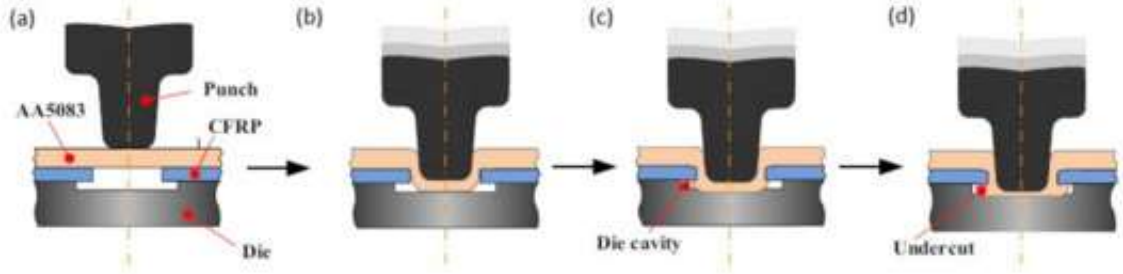
- Szybkość i automatyzacja procesu
- Eliminacja procesu wiercenia otworu
- Połączenie rozłączne

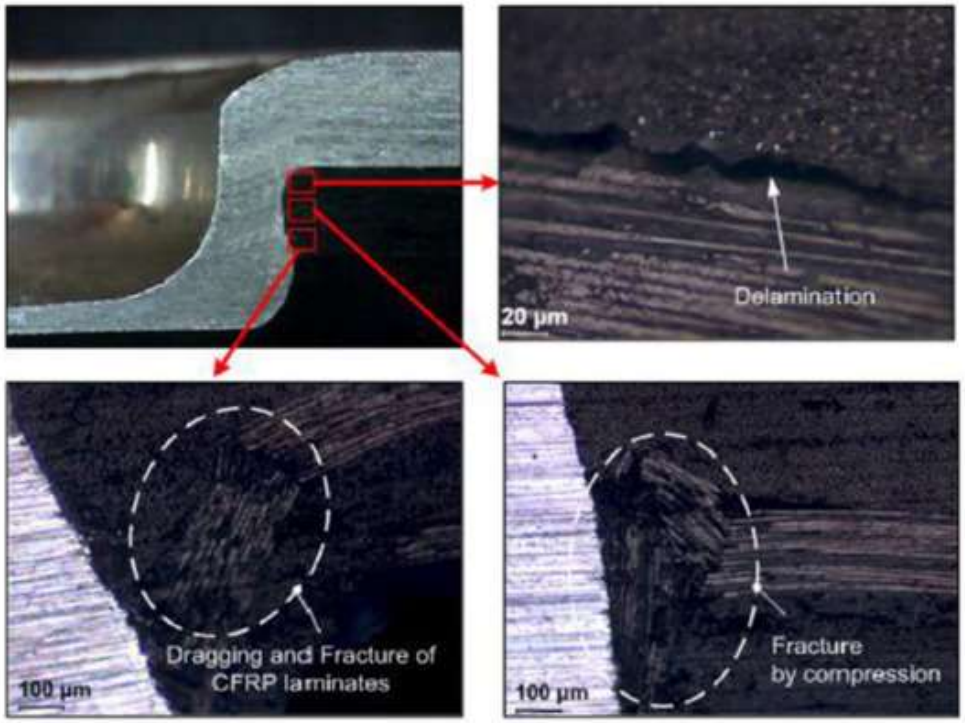
Wady:

- Możliwość stosowania tylko przy spoiwie termoutwardzalnym
- Możliwość przegrzania spoiwa

Altmeyer, J.; dos Santos, J.F.; Amancio-Filho, S.T. Effect of the friction riveting process parameters on the joint formation and performance of Ti alloy/short-fibre reinforced polyether ether ketone joints. *Mater. Des.* **2014**, *60*, 164–176

Clinching





Zalety:

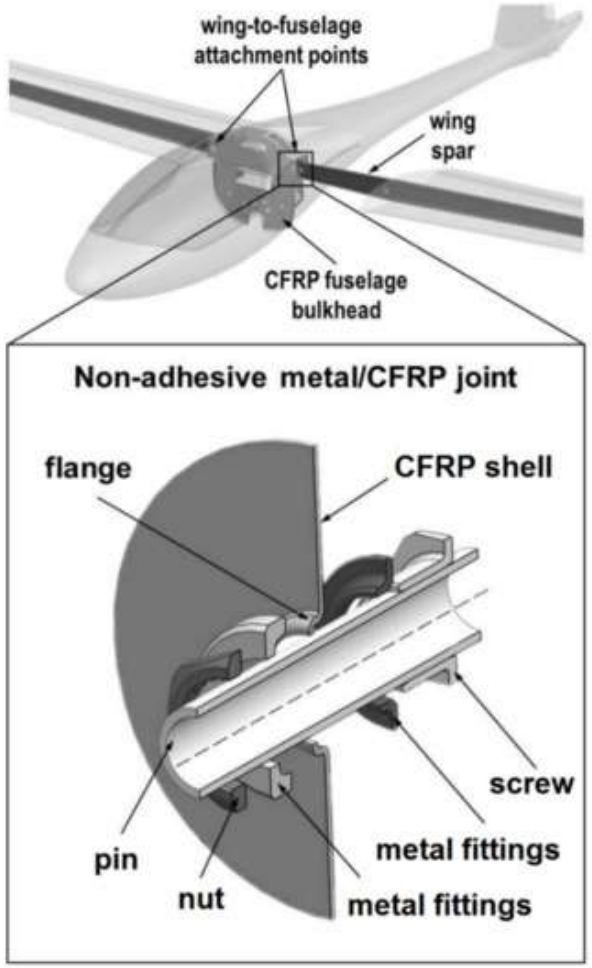
- Szybkość i automatyzacja procesu

Wady:

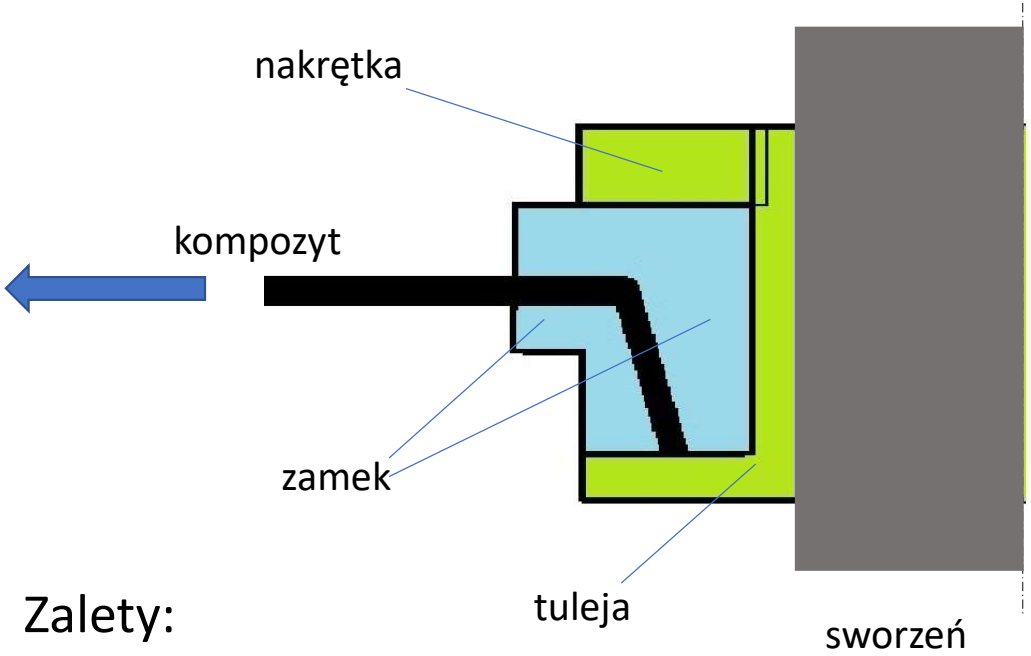
- Duże zniszczenia w kompozycie
- Połączenie nierozłączne

Lee, C.-J.; Kim, B.-M.; Kang, B.-S.; Song, W.-J.; Ko, D.-C. Improvement of joinability in a hole clinching process with aluminium alloy and carbon fiber reinforced plastic using a spring die. *Compos. Struct.* **2017**, *173*, 58–69

Bezadhezyjne połączenia labiryntowe



*



Zalety:

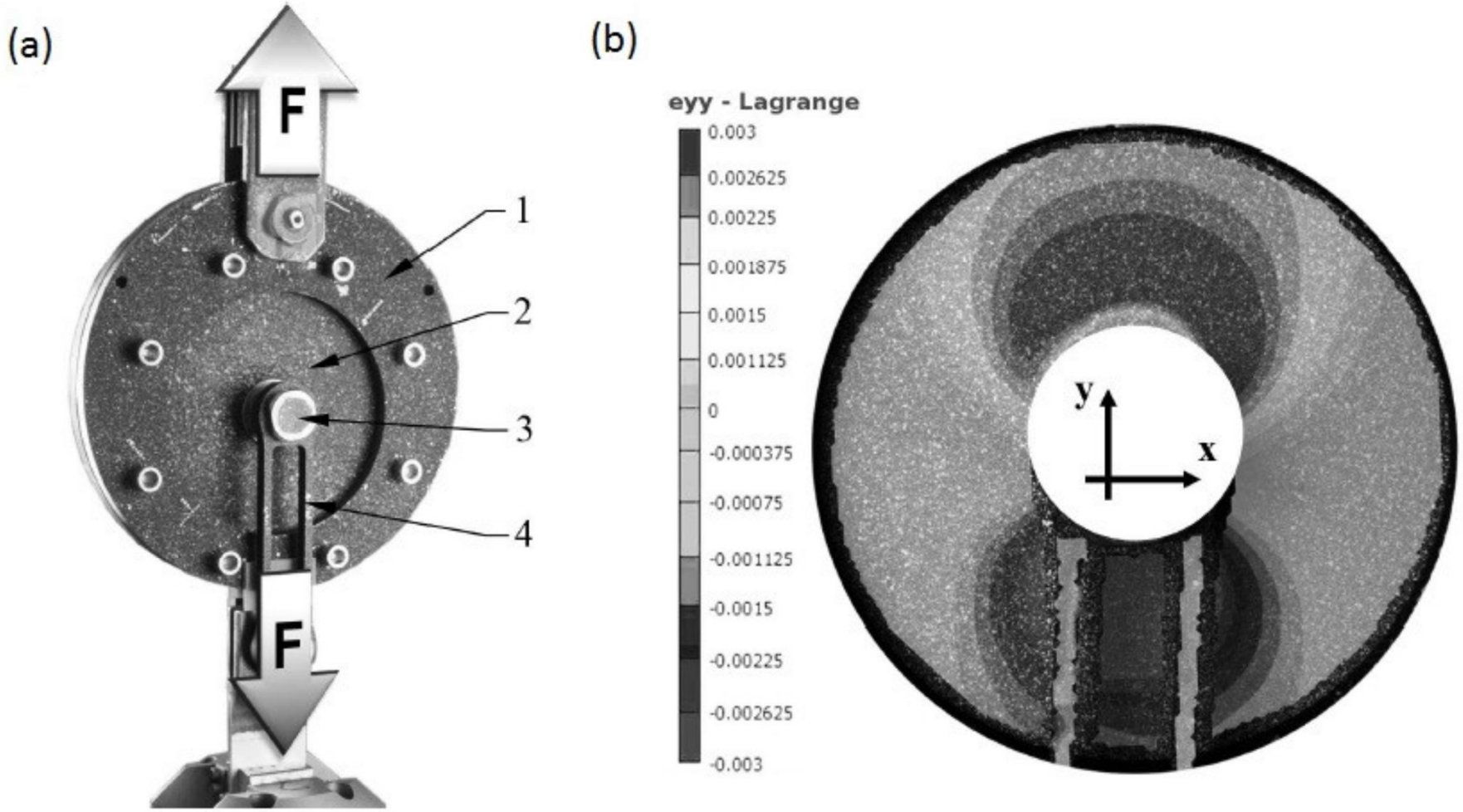
- Eliminacja procesu wiercenia otworu i uszkodzeń z nim związanych
- Połączenie rozłączne

Wady:

- Masywne i skomplikowane połączenie stosowane do wprowadzenia dużych sił skupionych

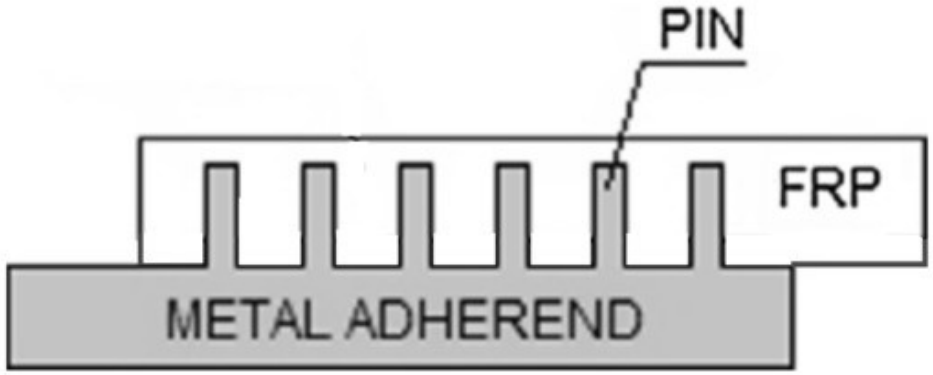
* Tomasiewicz, J.; Czarnocki, P. Wing-to-fuselage attachment fitting for composite airframes—Experimental and finite element analysis. *Compos. Theory Pract.* **2016**, *16*, 61–66

Bezadhezyjne połączenia labiryntowe

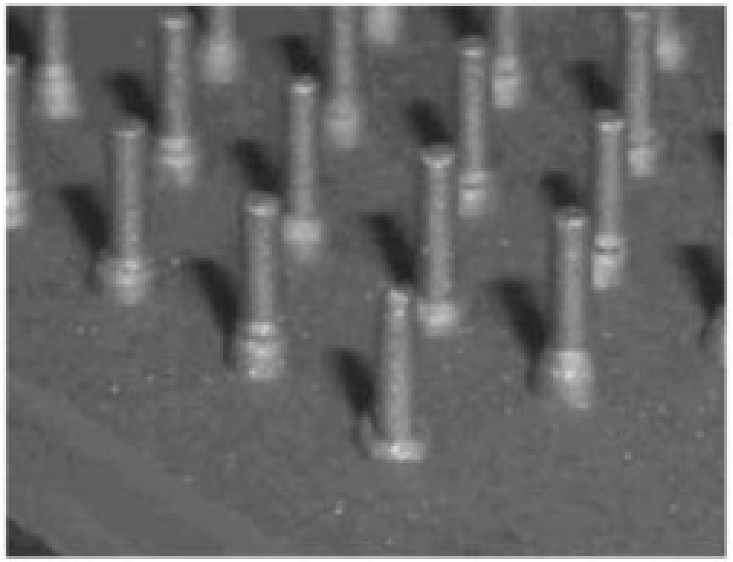


* Tomasiewicz, J.; Czarnocki, P. Wing-to-fuselage attachment fitting for composite airframes—Experimental and finite element analysis. *Compos. Theory Pract.* **2016**, *16*, 61–66

Pin joining



*


**

Zalety:

- Eliminacja konieczności wykonywania otworów i zniszczeń w kompozycie
- Nienaruszenie włókien

Wady:

- Komplikacja procesu produkcji
- Połączenie nierozłączne

* Graham, D.P.; Rezai, A.; Baker, D.; Smith, P.A.; Watts, J.F. The development and scalability of a high strength, damage tolerant, hybrid joining scheme for composite-metal structures. *Compos. Part. A Appl. Sci. Manuf.* **2014**, *64*, 11–24

** Uscnik, S.; Scheerer, M.; Zaremba, S.; Pahr, D.H. Experimental investigation of a novel hybrid metal-composite joining technology. *Compos. Part. A Appl. Sci. Manuf.* **2010**, *41*, 369–374