Projekt kluczowy Nowoczesne technologie materiałowe stosowane w przemyśle lotniczym







SPOTKANIE PANELI EKSPERTÓW 28-29 Czerwca 2010

Niekonwencjonalne technologie łączenia elementów konstrukcji lotniczych

Politechnika Lubelska, Politechnika Rzeszowska, Politechnika Częstochowska, Instytut Maszyn Przepływowych Polskiej Akademii Nauk

Wyniki badań

Opracowanie technologii spawania stali 30HGS i odpowiedników umożliwiających uzyskanie złączy o dopuszczalnych poziomach twardości

Ì						
្រី	320 -	dolna zawartość C, Mn, Cr w górna zawartość C, Mn, Cr w				
vania [300 -					
odgrzev	280 -					
pnego p	260 -					

Temperatura wstępnego nagrzania przy grubości				
do 15 mm	pow. 15 do 25 mm	pow. 25 do 50 mm		
$200 - 300 [^{0}C]$	$250 - 350 [^{0}C]$	pow. 350 [⁰ C]		

Modelowanie procesu spawania wiązką elektronów

Model numeryczny procesu EBW zbudowano przy użyciu programu ADINA System Program bazuje na Metodzie Elementów Skończonych. Przyjęto, stożkowe źródło ciepła. Trójkątny przekrój stożkowego źródła ciepła odwzorowuje rzeczywisty kształt przekroju poprzecznego spoiny. W modelu źródła ciepła o kształcie stożka, uwzględniono jego ruch podczas procesu spawania. Założony kształt źródła ciepła wynika z mechanizmu rozchodzenia się wiązki elektronów wewnątrz złącza.

> - 1170. - 1080. - 990.



Wskaźniki realizacji celów projektu

15

Referaty

TIME 1.4167

MAXIMUM ▲ 5042.

T.Balawender, T.Sadowski, P.Golewski: *Experimental and numerical analysis of hybrid: clinched - adhesive joint*, 4th International Conference on Advanced Computational Engineering and Experimenting, ACE-X 2010, Paryż, 08-09 lipca, 2010 T.Sadowski, W. Zarzeka-Raczkowska: Hybrid adhesive bonded and riveted joints -



Sposób przygotowania krawędzi złącza

Brzegi do spawania należy ukształtować zgodnie z wytycznymi kart technologicznych spawania, które sporządza się w oparciu o odpowiednie normy przedmiotowe uwzględniające gatunek spawanego materiału, jego grubość i przyjętą technologię spawania. Krawędziom należy nadać kształt za pomocą obróbki mechanicznej. Przygotowanie brzegów elementów można wykonać za pomocą cięcia plazmowego, po czym brzegi należy obrobić mechanicznie na głębokość nie mniejszą niż 1mm. Przy cięciu termicznym materiałów skłonnych do hartowania się należy stosować podgrzewnie wstępne do temperatury analogicznej jak przed spawaniem. Do cięcia należy stal 30HGSA wstępnie podgrzać do temperatury 200 – 250°C. Cięte powierzchnie należy studzić w spokojnym powietrzu.

Stan powierzchni krawędzi złącza przed spawaniem

Przed spawaniem krawędzie elementów należy bezwzględnie oczyścić z wszelkich zanieczyszczeń pokrywających powierzchnię zewnętrzną, wewnętrzną i czołową (zgorzelina, rdza, smar, farba, itp..). Minimalna szerokość oczyszczonej strefy materiału rodzimego powinna wynosić 20mm od krawędzi złącza. Operację czyszczenia należy prowadzić do momentu uzyskania czystej powierzchni metalicznej.

Dokładność montażu elementów przed spawaniem

Elementy do spawania należy pozycjonować z zachowaniem tolerancji wymiarowych określonych w projekcie.

Sczepianie złącza do spawania

Sczepianie złącza mogą wykonywać wyłącznie spawacze posiadający odpowiednie uprawnienia do spawania. Punkty sczepne należy układać w miejscach najłatwiej dostępnych oraz na odcinkach, które będą spawane w najdogodniejszych pozycjach. Podczas sczepiania należy ściśle przestrzegać wytycznych zawartych w kartach technologicznych spawania danego złącza (spoiwo, temperatura podgrzewania itd.).

Badania metalograficzne i twardości złączy spawanych wiązką elektronów – określenie maksymalnych twardości

Rys. 5. Rozwój strefy wpływu ciepła w modelu numerycznym spawanych tulei; a) czas 0.3056s, b) czas 0.58333s, c) czas 0.86111s, d) czas 1.4167s

500

300

próbka

płyta bazowa

łącznik mimośrodu

czas t=2x45s

dla próbek Nr 028:

czas t=2x60s

czas t=2x60s

czas t=2x45s

średnica kulek dk=1,5 mm

fragment szczęki

hamulcowej

*** (**)

oś mimośrodu



0.2 0.4 0.6 0.8 1.2 1.4 1.6 Time [s]

Rys. 6. Rozkład temperatur w zależności od głębokości, prędkość 10 mm/s



Rys. 8. Ocena porównawcza obliczeń numerycznych i badań doświadczalnych

Opracowanie metodyki badań połączeń klejonych

Założeniem globalnym przy konstruowaniu stanowiska badawczego było wykorzystanie

influence of rivets layout geometry on joints' strength, 20th International Workshop on Computational Mechanics of Materials, IWCMM'20, Loughborough, 8-10 września 2010 T.Sadowski, J. Sęp, P.Lacki, J.Adamus, K.Wojsyk, M.Kneć, W.Zielecki: A numerical and experimental analysis of tensile test of aluminium tailor-welded blanks, 20° International Workshop on Computational Mechanics of Materials, IWCMM'20, Loughborough, 8-10 września 2010

V.Burlayenko, T.Sadowski: A Numerical Study of Dynamic Responses of Sandwich **Plates Initially Damaged by Low Velocity Impacts**, 20th International Workshop on Computational Mechanics of Materials, IWCMM'20, Loughborough, 8-10 września 2010 T.Sadowski, L.Marsavina, E.Craciun, M.Kneć: *Numerical and experimental study of the* parallel of the cracks propagation in a pre-stressed orthotropic elastic material, 20th International Workshop on Computational Mechanics of Materials, IWCMM'20, Loughborough, 8-10 września 2010

T. Balawender, R.E.Śliwa: *New rivet type of sleeve – pin construction*, EUCOMAS 2010 – European Conference on Materials and Structures in Aerospace, Berlin, 7 – 8 czerwiec 2010r.

T. Balawender : *Laczenie blach przetłaczaniem (klinczowanie)*, Progresywne Technologie i Materiały "PRO-TECH-MA'10", 28 – 30 czerwca 2010, Lublin – Kazimierz Dolny. Materiały konferencyjne

Zielecki W., Zielecki K.: Analiza MES wpływu struktury geometrycznej powierzchni na naprężenia w spoinie klejowej. II Ogólnopolska Konferencja Naukowo-Techniczna nt. POŁĄCZENIA MONTAŻOWE PM-2010, Rzeszów – Bukowiec, 25–28 maja 2010 r. Materiały konferencyjne.

Perłowski R., Zielecki W., Pawlus P., Dzierwa A.: Analiza wpływu struktury geometrycznej powierzchni w układzie 3D na wytrzymałość połączeń klejowych. Ogólnopolska Konferencja Naukowo-Techniczna nt. POŁĄCZENIA MONTAŻOWE PM-2010, Rzeszów – Bukowiec, 25–28 maja 2010 r. Materiały konferencyjne.

Spostrzeżenia i wstępne wnioski

- Badania metalograficzne i twardości dowodzą, że materiały podstawowe (rury ze stali 30HGSA) dostarczane są w stanach po różnych obróbkach cieplnych (rozrzut twardości od 181 do 410 Hv10).
- 2. Złącza spawane, mimo autoobróbki cieplnej kilkakrotnie prowadzoną wiązką elektronów (np. próbki nr 5, nr 6, nr 8) nie uzyskują gwarantowanej, niskiej twardości.
- 3. Wzrost twardości poza granicę 350 HV, a szczególnie 420 HV ma ograniczony przestrzennie charakter, a umiejscowienie wąskich stref koncentruje się w strefach wpływu ciepła i spoinie (próbki nr 3, nr 4, nr 6, nr 7, nr 8).
- 4. Możliwe jest osiągnięcie w złączu dopuszczalnych twardości (próbki nr 1, nr 2, nr 5) spoiny i strefy wpływu ciepła, niezbędnych dla bezpiecznej eksploatacji złączy.



Opracowanie metodyki prowadzenia symulacji numerycznych procesu zgrzewania tarciowego tytanu z aluminium

<u>Opis modelu numerycznego</u>

Model numeryczny zbudowano przy użyciu metody elementów skończonych z zastosowaniem programu ADINA System v8.5. Ze względu na fizykę procesu technologicznego uwzględniono wpływ zjawisk mechanicznych na zjawiska termiczne. W tym celu zbudowano termomechaniczny osiowosymetryczny (2D) model procesu zgrzewania tarciowego. Do zamodelowania procesu zgrzewania w zakresie mechanicznym przyjęto sprężysto-plastyczny model materiału bazujący warunku plastyczności Hubera-Misesa (HM). Prawo płynięcia stowarzyszone z warunkiem plastyczności HM i izotropowym modelu wzmocnienia materiału.

typowej laboratoryjnej maszyny wytrzymałościowej (zrywarki) do określenia wytrzymałości na ścinanie połączeń klejonych. Uwzględniono w tym celu zakres możliwych do przeprowadzenia badań. Brano pod uwagę wymiary przestrzeni roboczej zrywarki oraz maksymalną możliwą do przyłożenia siłę.

Główne cechy stanowiska:

eksperymentalnymi.

 próbkę stanowi reprezentatywny wycinek okładziny ciernej przyklejony do fragmentu szczęki hamulcowej,

Rys. 7. Objętość metalu o temperaturze przekraczającej

z analizy numerycznej i obrazu makrostruktury

Poprzez porównanie linii izotermicznych

zgodności doświadczenia z teorią. Przyjęty

model numeryczny pozwolił na uzyskanie

satysfakcjonującej zgodności wyników

obliczeń numerycznych z danymi

spawanego złącza dokonano oceny

6.(6) mm/s

500°C dla prędkości: a) 20 mm/s b) 10 mm/s c)

- przeciwpróbka odwzorowuje fragment bębna hamulcowego z dodatkowym elementem blokującym przemieszczanie się próbki,
- zwiększenie siły oddziałującej na złącze klejone realizowane jest poprzez mimośród,
- stabilność zamocowania układu badawczego na maszynie wytrzymałościowej zapewnia przeciwwaga o odpowiednich gabarytach,
- Rys. 9. Koncepcja stanowiska badawczego do prób wytrzymałości połączeń klejonych: okładzina cierna – szczęka hamulcowa (widok: front)

Przygotowanie próbek do badań będzie polegało na wycięciu reprezentatywnych fragmentów okładziny ciernej o długości ok. 10 mm. Równolegle zostaną przygotowane stosownych wymiarów fragmenty szczęk hamulcowych przeznaczonych do osadzenia (przyklejenia) na nich próbek okładziny ciernej.

mocowanie de

zrywarki

Analiza możliwości wykorzystania blach typu "tailored blanks" w przemyśle lotniczym. Przeprowadzenie wstępnych badań (próba rozciągania) aluminiowych blach spawanych





Publikacje

T.Sadowski, P.Golewski, E. Zarzeka-Raczkowska, *Damage and failure processes of* hybrid joints: adhesive bonded aluminium plates reinforced by rivets, Comput. Mat. Sci. (2010) - zaakceptowany

T.Sadowski, J.Bec, Effective Properties for Sandwich Plates with Aluminium Foil Honeycomb Core and Polymer Foam Filling - Static and Dynamic Response,

Comput. Mat. Sci. (2010) doi:10.1016/j.commatsci.2010.04.014

V.Burlayenko, T.Sadowski, Free vibration of sandwich plates with impact-induced damage, Proc. Appl. Math. Mech. 9 (2009) 178-180.

T.Sadowski, M.Knec, P.Golewski, *Experimental investigations and numerical* modelling of steel strip adhesive joint reinforced by rivets, Int. J. Adhesion & Adhesives 30 (2010) 338-346.

V.Burlayenko, <u>T.Sadowski</u>, *Influence of skin/core debonding on free vibration* behaviour of foam and honeycomb cored sandwich plates, Int. J. Non-Linear

Mechanics (2010) doi:10.1016/j.ijnonlinmec.2009.07.00

V.Burlayenko, <u>T.Sadowski</u>, *Free vibration of sandwich plates with impact-induced* damage, Proc. Appl. Math. Mech. 9 (2009) 178-180.

T. Balawender: Klinczowanie jako sposób łączenia blach, Technologia i Automatyzacja Montażu, 1-2010 (67)

T. Balawender : *Łączenie blach przetłaczaniem (klinczowanie)*, Rudy i Metale Nieżelazne (przed publikacją)

Prace mgr, dr, hab.

Prace magisterskie obronione:

P. Sokólski. Analiza procesu łączenia nitami dwuczęściowymi typu tuleja i rdzeń.

Prace magisterskie w realizacji:



Wraz ze wzrostem średnicy pręta aluminiowego wzrasta siła potrzebna do realizacji procesu zgrzewania tarciowego. Przebieg siły w czasie tarcia ma w przybliżeniu stałą wartość zależną od średnicy zastosowanego pręta aluminiowego. W czasie spęczania przy braku generowania ciepła wzrasta siła potrzebna do wymuszenia przemieszczenia.

Wskutek postępującego odkształcenia powierzchni czołowej aluminium jego strefa przypowierzchniowa przemieszcza się w kierunku promieniowym tworząc wypływkę która usuwa tlenki aluminium i tytanu z obszaru kontaktu. Tworząca się wypływka chroni tytan przed potencjalnym utlenieniem i naazotowaniem z powietrza.

Rys. 10. Widok próbki po spawaniu

6061-T4 0,80 1.20 0,40 0.35 Rys. 11. Skład chemiczny blachy aluminiowej EN AW-6061-T4

Po operacji spawania próbki poddano operacji pneumokulowania (w Politechnice w celu usunięcia naprężeń, będących wynikiem procesu spawania Rzeszowskiej) występujących w tzw. strefie wpływu ciepła. Zastosowano następujące parametry pneumokulowania:



Wstępne badania doświadczalne przeprowadzone na próbkach z blachy aluminiowej 6061-T4 wskazują na konieczność przeprowadzenia badań z wykorzystaniem innych metod łączenia blach, pozwalających na zmniejszenie rozmiarów spoiny i ograniczenie strefy wpływu ciepła. Przeprowadzone badania wskazują na możliwość wykorzystania systemu ARAMIS do określania stanu naprężenia i odkształcenia materiału w wyniku jego obciążania, a zwłaszcza do określania granicznej krzywej tłoczności blach zarówno jednolitych, jak i spawanych.

T. Gałaczyński : Analiza możliwości wprowadzenia elementów złącznych typu Hi-Lok jako alternatywnego rozwiązania konstrukcyjnego połączenia metalowych struktur lotniczych . Promotor: dr hab. inż. Romana Śliwa,

Prace doktorskie

mgr Marcin Kneć: Badania eksperymentalne oraz modelowanie teoretyczne rozwoju pęknięć w połączeniach klejonych Status: W trakcie realizacji

mgr Janusz Czaja: Analiza cech mechanicznych i materiałowych elementów

połączeń śrubowych silnie obciążonych. Promotor: dr hab. inż. Romana Śliwa. Status: W trakcie realizacji

mgr inż. Bartosz Puchowski : *Niekonwencjonalne technologie zgrzewania kompozytów* epoksydowo - węglowych. Promotor: prof.dr hab. inż Piotr Doerffer. Status: W trakcie realizacji

Prace habilitacyjne

Tytuł: Zagadnienia modelowania połączeń hybrydowych elementów konstrukcyjnych w warunkach obciążeń termicznych i uderzeniowych Autor: dr inż. Ewa Zarzeka-Raczkowska Status: W trakcie realizacji

Tytuł roboczy: Zagadnienia z zakresu zawansowanych połączeń w strukturach lotniczych Autor: dr inż. Tadeusz Balawender

Status: W trakcie realizacji

PROJEKT WSPÓŁFINANSOWANY PRZEZ UNIĘ EUROPEJSKĄ ZE ŚRODKÓW EUROPEJSKIEGO FUNDUSZU ROZWOJU REGIONALNEGO