ISSN 1899-699X
cena 17,50 zł (w tym 8% VAT)

projektowanie i KONSTRUKCJE inżynierskie

5/6 (176/177) maj/czerwiec 2022

- 3D metal printing: zwiększanie wydajności procesu SLM
- Wpływ metody przygotowania powierzchni na wytrzymałość połączeń klejonych
- DIC – cyfrowa korelacja obrazu w analizie wytrzymałościowej

Hydraulika maszynowa

przewody i łączniki w obrabiarkach

napędy w statkach powietrznych

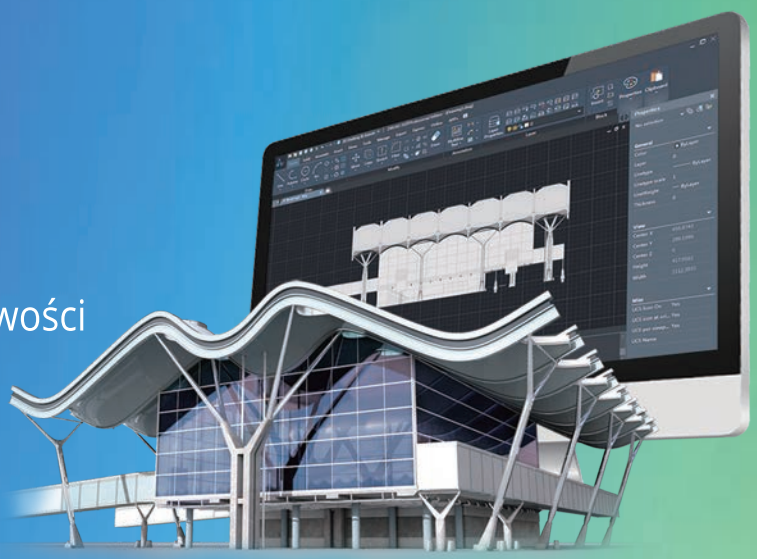
ZGRZEWANIE NAKRĘTEK

do blach nadwozi samochodów

ZWCAD 2023

Co nowego w v.2023?

- Edycja brył poprzez uchwyty
- Wygodne ustawienia uchwytów
- Menedżer zestawów arkuszy
- Edycja brył poprzez panel właściwości
- Nowe funkcje tabeli
- Obsługa kontrolerów 3D



ZWCAD 2023 dostępny jest w wersjach Standard, Professional, Architecture, Mechanical

Dlaczego ZWCAD?

- Nowoczesne narzędzia projektowe
- Pełna zgodność DWG & DXF
- Płynna i wydajna praca
- Elastyczna bezterminowa licencja
- Opcjonalne uaktualnienia
- Wsparcie techniczne, szkolenia

POBIERZ

ZWCAD.pl

Usługi Informatyczne SZANSA Sp. z o.o.
33 488 07 20 biuro@zwcad.pl
www.zwcad.pl

SZANSA

ZWCAD AUTHORIZED DISTRIBUTOR

Projektowanie i Konstrukcje Inżynierskie

Nr 5/6 (176/176)
maj/czerwiec 2022

rok XVI
ISSN: 1899-699X
www.konstrukcjeinzynierskie.pl

adres do korespondencji
ul. Marszałkowska 111
00-102 Warszawa

redakcja
tel. +48 22 12 28 690
redakcja@konstrukcjeinzynierskie.pl

redaktor naczelny
Przemysław Zbierski
tel. +48 606 416 252
pz@konstrukcjeinzynierskie.pl

prenumerata
tel. +48 532 493 072
prenumerata@iter.com.pl
szczegóły dotyczące prenumeraty czasopisma – na ostatniej stronie

wydawca
ITER
wydawnictwo@iter.com.pl

reklama
tel. +48 22 12 28 690
tel. +48 606 416 252
reklama@konstrukcjeinzynierskie.pl

na okładce: fot. Nordroden

ITER © 2022

Drodzy Czytelnicy,

– *Polsko, ty nie jesteś taka, to nie są twoi słudzy, to jest szajka zbrodniarzy* – mówi do ojczyzny z goryczą bohater jednej z powieści Floriana Czarnyszewicza. Z goryczą bo inaczej nie może widząc „porządki" panujące w nowopowstałej po I wojnie światowej Polsce. Przez długie lata zaborów, wyczekując powrotu tej wspaniałej, wyśnionej, Najjaśniejszej Rzeczpospolitej, Polacy trwali przez pokolenia nie dając się wynarodowić, odwieść od wiary katolickiej i nie wyrzekli się spuścizny swych przodków. Ale gdy w końcu pojawiła się na mapach, była często daleka od tej wymarzonej wspaniałości, sprawiedliwości i zwykłej przyzwoitości. Nic dziwnego, że serca szlachetne musiało to boleć.

Nie inaczej jest teraz, w postpeerelowskiej rzeczywistości, na którą też Polacy czekali długo, będąc pod dominacją ZSRR. Patrząc na działania rządzących przez trzy ostatnie dekady niejeden mógłby z bólem powtórzyć słowa czarnyszewiczowskiego bohatera. Zasięg nędzy i skrajnego ubóstwa powiększa się w Polsce z roku na rok, niemoralność, wulgarność są coraz powszechniejsze w tzw. przestrzeni publicznej, malwersacje finansowe to też już chleb powszedni naszej rzeczywistości. Dodać jeszcze można tylko postępujące zniewolenie i inwigilację obywateli. Z pewnością żaden dobry gospodarz, żaden dobry sługa Polski by do tego nie dopuścił.

Mimo to nie dajmy się i my wynarodowić, nie wyrzekajmy się wiary, moralności i dobrych obyczajów. Nośmy naszą Ojczyznę w sercach, pielęgnujmy miłość do Polski, zwłaszcza gdy jest w tak smutnym stanie. Bo jak pisał Seneka – ojczyznę kocha się nie dlatego, że jest wielka, ale że jest własna.

Zapraszam do lektury kolejnego wydania naszego magazynu.

Przemysław Zbierski

Spis treści

NR 5/6 (176/177)
MAJ/CZERWIEC 2022

Morskie promy na hydropłatach 6
Łatwe tworzenie chwytaków dla robotów 7
Skrzydła 4D 8
Mobilne parkingi solarne 10
Nowy polimerowy elektrolit 10
Roboty nie zbłądzą w ciemności 11
Kawitacja w druku 3D 12
Stop metalu do zastosowań w przemyśle kosmicznym 13
Nowa metoda objętościowego druku 3D 14
Otrzymywanie wodoru na stacjach paliw 15

Zgrzewanie nakrętek do blach nadwozi samochodów 16
Aleksander Łukomski

Klejenie struktur lotniczych: Analiza wpływu metody przygotowania powierzchni kompozytów i aluminium na wytrzymałość połączeń klejonych; cz.2 24
Małgorzata Wilk — ARTYKUŁ DOSTĘPNY w WYDANIU PŁATNYM

EJOT EVO PT 29

Cyfrowa korelacja obrazu – nowatorskie podejście pomiarowe w analizie wytrzymałościowej 30
Adam Chełchowski

Wybrane aspekty produktywnego skrawania na wieloosiowych obrabiarkach CNC; cz. 2 36
Kazimierz Czechowski

Ferrari 296 GTS – sześciocylindrowy i hybrydowy 42
Ryszard Romanowski

Inżynieria odwrotna (*Reverse Engineering*) w CATIA 3DEXPERIENCE; cz. 2 48
Andrzej Wełyczko — ARTYKUŁ DOSTĘPNY w WYDANIU PŁATNYM

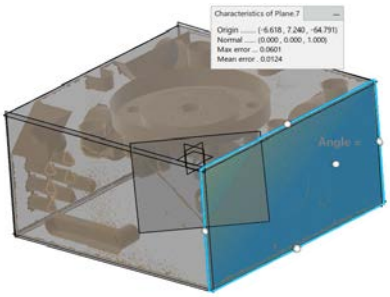
Wytwarzanie dynamicznie obciążanych elementów strukturalnych karoserii samochodu w technologiach przyrostowych; cz. 3: Optymalizacja procesu SLM w celu zwiększania wydajności przetopu proszku metalicznego 52
Marcin Kasprowicz — ARTYKUŁ DOSTĘPNY w WYDANIU PŁATNYM

Drony z napędem hydraulicznym 56
Jacek Zbierski — ARTYKUŁ DOSTĘPNY w WYDANIU PŁATNYM

Aspekty i elementy hydrauliki obrabiarkowej cz. 5: Przewody, łączniki i montaż układu 58
Aleksander Łukomski — ARTYKUŁ DOSTĘPNY w WYDANIU PŁATNYM

Bronco OV-10 60
Ryszard Romanowski — ARTYKUŁ DOSTĘPNY w WYDANIU PŁATNYM

Niech będzie bez egzaminu! 62
Tomasz Gerard — ARTYKUŁ DOSTĘPNY w WYDANIU PŁATNYM



PROJEKTOWANIE

48 **Inżynieria odwrotna (*Reverse Engineering*) w CATIA 3DEXPERIENCE; cz. 2**

Andrzej Wełyczko

TECHNOLOGIE

24 **Klejenie struktur lotniczych; cz. 2**

Małgorzata Wilk

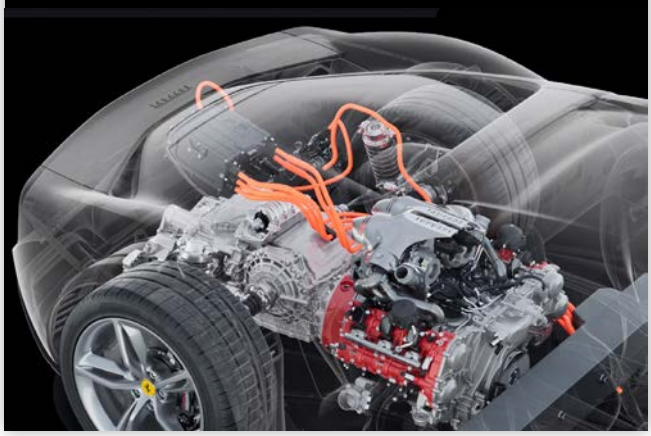
Najlepsze parametry wytrzymałościowe, zarówno dla warunków RTD, jak i ETW uzyskano dla próbek po anodowaniu fosforowym, również w przypadku połączeń AL-CFRP.

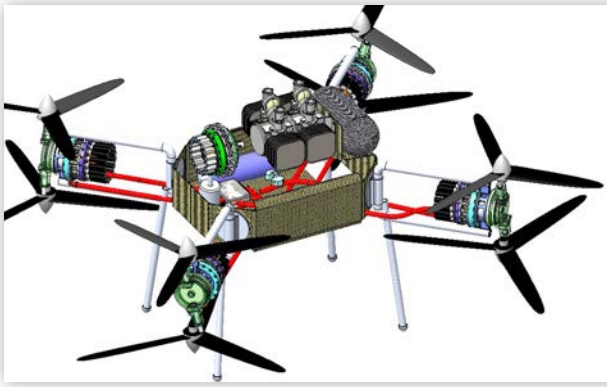
KONSTRUKCJE

42 **Ferrari 296 GTS – sześciocylindrowy i hybrydowy**

Ryszard Romanowski

Architektura silnika optymalizuje wewnętrzną dynamikę płynów dzięki zmniejszeniu objętości wewnętrznych kanałów i skróceniu drogi ładunku powietrza do komór spalania.





KONSTRUKCJE

56 **Drony z napędem hydraulicznym**

Jacek Zbierski

Zamiast generatora – pompa,
zamiast silników elektrycznych – hydrauliczne,
zamiast kabli – przewody hydrauliczne.

TECHNOLOGIE

16 **Zgrzewanie nakrętek do blach nadwozi samochodów**

Aleksander Łukomski

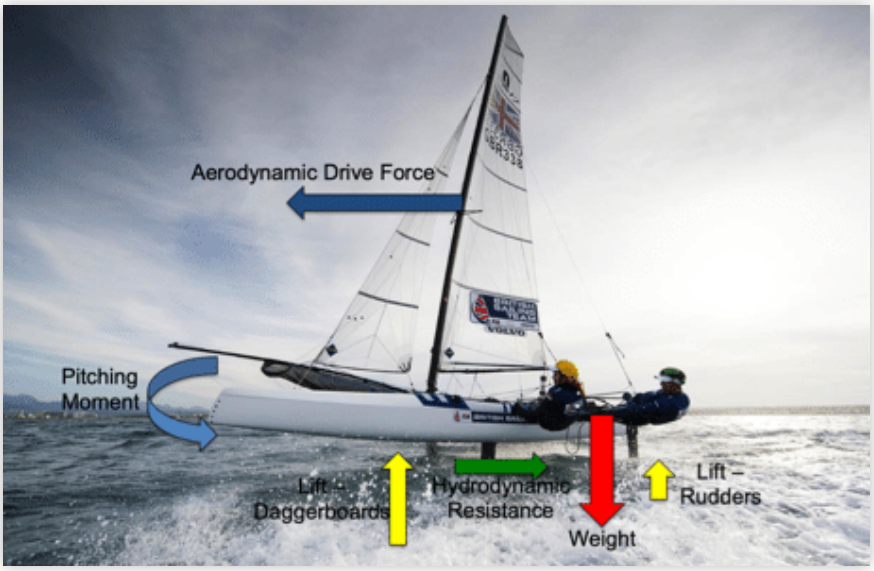
Zgrzewarki garbowe umożliwiają łączenie elementów metalowych, dla których zgrzewanie punktowe byłoby trudne.

Morskie promy na hydropłatach

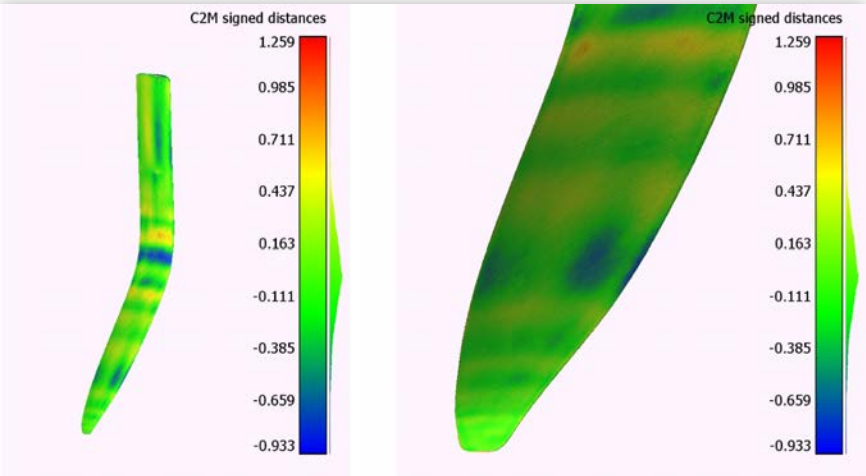
Coraz szerzej postępująca elektryfikacja jednostek morskich, szczególnie promów kursujących na coraz dłuższych dystansach, zwróciła uwagę szwedzkich naukowców. Laura Giovannetti, badaczka i uczestniczka żeglarskiego Pucharu Ameryki, we współpracy z prof. hydrodynamiki Arashem Eslamdoostem zwróciła uwagę na to, że o ile od dawna jachty unoszą się na hydropłatach to komercyjne jednostki dawno przestały rozwijać to rozwiązanie. Wspomniała też o 72-metrowym jachcie szybującym nad wodą w zatoce San Francisco w 2013 roku.

O ile w jachtach hydropłaty mają służyć głównie szybkości, to należałoby opracować takie, które działają przy stosunkowo niskich prędkościach komercyjnego statku. Możliwość ograniczenia oporów o około 80% znacznie zwiększyłaby efektywność napędu elektrycznego i hybrydowego oraz poziom bezpieczeństwa. Na uniwersytecie Chalmers opracowano zupełnie nową metodę badania hydropłatów, której celem jest stworzenie kształtów unoszących jak największą masę przy jak najniższej prędkości. Po raz pierwszy na świecie wybudowano specjalny, przeznaczony wyłącznie do tych celów, tunel hydrodynamiczny, wyposażony w najnowocześniejsze urządzenia, takie jak np. ultraszybkie kamery. Być może dzięki tym pracom badawczym powstanie całkiem nowa generacja statków.

chalmers.se



Rozkład sił działających na katamaran hydropłatowy NACRA 17

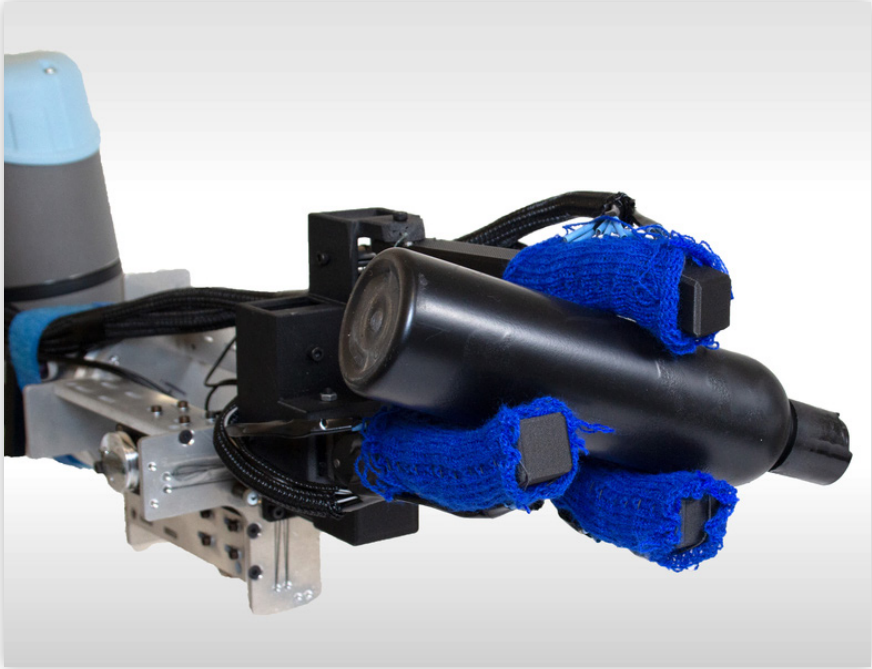


Analiza hydropłatu metodą C2M (*Cloud to Mesh*)– badanie odległości między chmurą punktów a modelem zeskanowanej powierzchni

Hydropłat NACRA 17 w tunelu kawitacyjnym

fot. Laura Giovannetti et al., *Fluid-Structure Interaction of a Foiling Craft*, Journal of Marine Science and Engineering, 2022, 10, 372.

Łatwe tworzenie chwytaków dla robotów



Dostosowanie robota do wykonywania niestandardowych operacji wymaga ręcznego projektowania chwytaków przez ekspertów od robotyki. Proces jest długotrwały i zwykle wspomagany działaniami metodą prób i błędów. Na ogół wymaga budowy specjalnych części, co jeszcze komplikuje i podraża proces powstawania chwytaków.

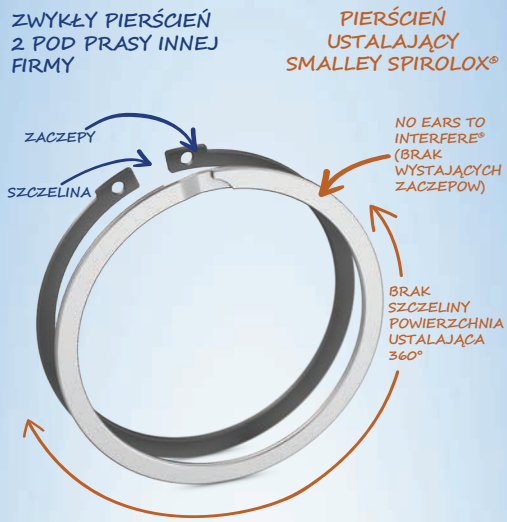
Naukowcy z Massachusetts Institute of Technology opracowali metodę, dzięki której proces ten nie wymaga skomplikowanego montażu ani nawet specjalistycznej wiedzy.

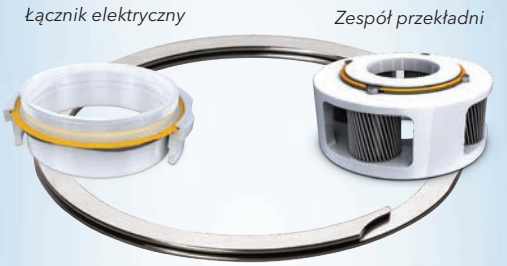
Chwytak powstaje jak z klocków Lego z zestawu modułowych komponentów. Zarówno dostosowanie ręki robota i jego palców do konkretnego zadania, jak i integracja czujników dotykowych na podstawie opracowanej metodologii staje się bardzo proste.

Wystarczy skonfigurować projekt, aby stworzone przez twórców metody oprogramowanie automatycznie wygenerowało pliki do druku 3D poszczególnych elementów chwytaka. Na dłoń robota nakładana jest tekstylna rękawiczka z odpowiednio rozmieszczonymi czujnikami. Konfiguracja projektu trwa kilka minut. Autorką nowej metody jest Lara Zlokapa, której doradcami byli prof. informatyki Pulkit Agrawal oraz prof. elektroniki i informatyki Wojciech Matusik.

Przeprowadzono wiele pomyślnych prób tak zbudowanego manipulatora, takich jak np. podnoszenie jajka, cięcie papieru i przykręcanie nakrętek motylkowych.

news.mit.edu





STAL NIERDZEWNA W STANDARDZIE

Nasze pierścienie zapewniają takie samo dopasowanie i funkcjonalność jak pierścienie prasowane, ale są łatwiejsze w montażu i demontażu i nie wymagają użycia narzędzi specjalnych. Dostępne części standardowe ze stali nierdzewnej (302 i 316) i stali węglowej. Dostarczamy właściwy pierścień wykonany z odpowiedniego materiału jako rozwiązanie standardowe lub niestandardowe do określonych zastosowań.

SMALLEY®
THE ENGINEER'S CHOICE®
(POLECANY PRZEZ INŻYNIERÓW)

BEZPŁATNE PRÓBKI:
zadzwoń pod numer +33 130 131 575 lub odwiedź witrynę
expert.smalley.com/PKI/piescieni

REKLAMA

Skrzydła 4D

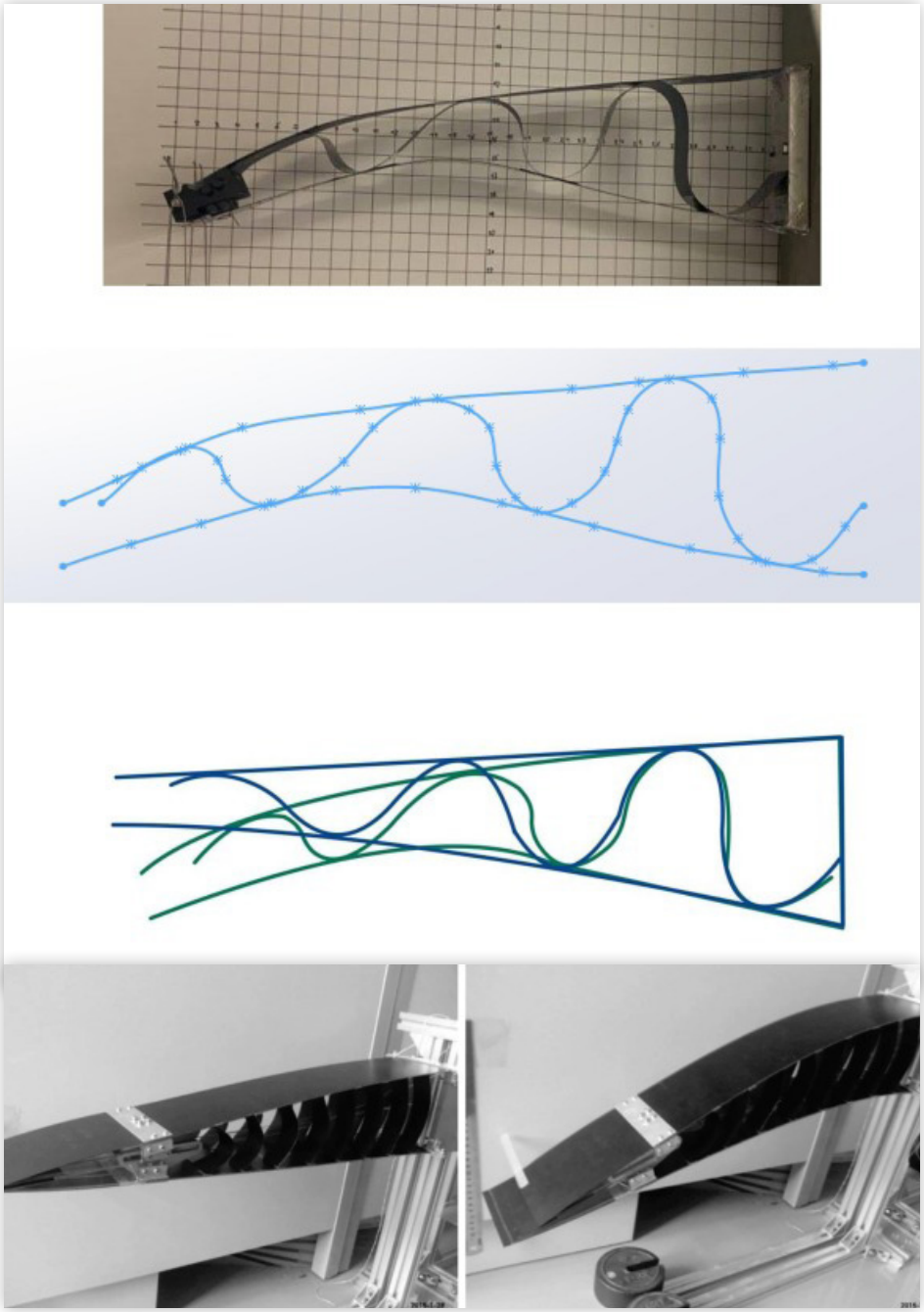
Coraz większy segment przemysłu lotniczego stanowią bezzałogowe statki powietrzne UAV. W związku z trudnościami finansowymi trapiącymi konwencjonalne lotnictwo od kilku lat producenci dronów rosną w siłę, a stosowane przez nich technologie są ciągle doskonalone.

Nad udoskonaleniem UAV pracuje między innymi prof. Suong Hoa z Gina Cody School of Engineering na kanadyjsko-irańskim uniwersytecie Concordia. Opiera się na kompozytach 4D, które są płaskie po wydrukowaniu, a następnie pod wpływem aktywacji, np. w postaci podwyższonej temperatury, zmieniają kształt. Proces ten przebiega w sposób zakodowany w strukturze materiału, jest w pełni odwracalny i powtarzalny.

Korzystając z tej technologii opracowano studium wykonalności skrzydeł zmieniających kształt, wyposażonych w adaptacyjną krawędź spływu (ang. *adaptive compliant trailing edge* – ACTE). Chodzi o to, aby zastąpić tradycyjną klapę, poruszającą się na zawiasach, integralną częścią skrzydła, która mogłaby odchylać się o 20°.

W opracowanej metodzie wytwarzania materiałów 4D używa się drukarek wykorzystujących filament o średnicy 10 mikronów i żywice. Ultracienkie warstwy filamentu ułożone są między sobą pod kątem 90°. Następnie wydruk wygrzewa się w piecu o temperaturze 180 °C i schładza do 0 °C. Otrzymany przedmiot jest elastyczny, ale w żadnym wypadku nie jest kruchy. W ten sposób wytwarzane jest skrzydło o pofałdowanym rdzeniu, który poddany aktywacji wygina się, zmieniając profil skrzydła.

Skrzydło wykonane opracowaną metodą zostało poddane podstawowym testom wytrzymałościowym. Badania wykazały, że kompozyt 4D wytrzymuje obciążenia na poziomie występującym w niewielkich bezzałogowcach.



fot. S. Hoa et al., *Development of a new flexible wing concept for Unmanned Aerial Vehicle using corrugated core made by 4D printing of composites*, Composite Structures Volume 290, 15 June 2022, 115444

concordia.ca

DOSTAWCA KOMPLEKSOWY

DOSTĘPNOŚĆ ARTYKUŁÓW

NAJWYŻSZA JAKOŚĆ

SERWIS ONLINE

DORADZTWO INDYWIDUALNE

GWARANCJA SUKCESU W BUDOWIE TŁOCZNIKÓW I WYKROJNIKÓW

Dzięki kompleksowej standaryzacji produktów i procesów można uzyskać znaczne oszczędności czasu i kosztów. Pozwala to stworzyć podstawy dla osiągnięcia trwałego sukcesu.

- **Skrócenie czasu wykonania narzędzia** dzięki modułowym i znormalizowanym oprawom tłoczników i wykrojników
- **Oszczędność czasu i kosztów** dzięki szerokiej gamie nowatorskich produktów
- **Wydajne projektowanie** za pomocą cyfrowego katalogu oraz pomocnym konfiguratorom

meusburger

Standards for your success.

www.meusburger.com

Mobilne parkingi solarne

W Surrey Research Park w Guilford uruchomiono pierwszy na świecie mini parking solarny. Urządzenie zbudowane przez firmę 3ti Solar Car Parks składa się z elementów pochodzących z recyklingu kontenerów i może pomieścić i jednocześnie ładować dwanaście samochodów elektrycznych.

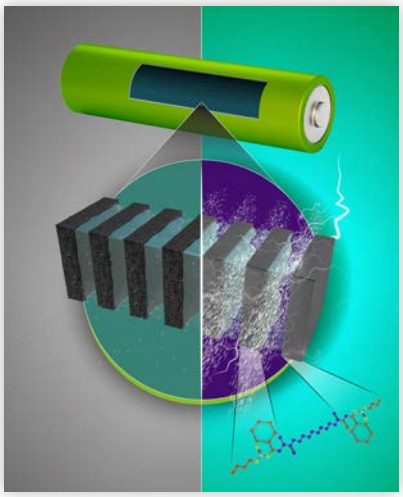
Niewielki obszar przykrywają trzy modułowe dachy pokryte trzydziestoma sześcioma panelami słonecznymi. Pojemność akumulatora wynosi 250 kWh. Zadaszony i oświetlony parking oferuje miejsca ładowania o mocach 7, 11 i 22 kW, przy czym koszty energii są nieporównywalnie niższe od klasycznych, zasilanych z sieci ładowarek. Urządzenie łączy trzy technologie: wytwarzania energii, jej magazynowania i ładowania.

Zdając sobie sprawę z tego, że większość użytkowników samochodów elektrycznych nie ma możliwości ich ładowania z domowego gniazdka, parkingi solarne można montować w miejscach ich pracy oraz przy szpitalach, dworcach itp.

Firma nie pozyskuje inwestorów tylko najemców, którzy chcą użytkować parking przez co najmniej miesiąc. Od momentu podpisania umowy parking gotowy jest w czasie do 24 godzin.

3ti.co.uk

Nowy polimerowy elektrolit



Naukowcy z wielu ośrodków badawczych bezustannie pracują nad kolejnymi rozwiązaniami dotyczącymi akumulatorów. Efektywne magazynowanie energii elektrycznej jak do tej pory pozostaje ogromnym wyzwaniem.

Guang Yang i Jagjit Nauda z Oak Ridge National Laboratory postanowili sprawić aby powszechnie stosowane akumulatory zawierające lit stały się bardziej stabilne i bezpieczne, oraz pozwalające na znacznie większą ilość cykli ładowania niż obecnie stosowane ogniwa.

Akumulatory litowo-jonowe mają poważną wadę. Po pewnym czasie eksploatacji zaczynają powstawać narosty litu, tzw. dendryty, powodujące postępujący spadek parametrów ogniwa.

Z wykorzystaniem politlenku etylenu (PEO) w polietylenie (PS), z plastyfikatorem w postaci np. eteru, opracowano nowy kopolimer blokowy. Skutecznie blokuje on zmiany zachodzące w przewodzącym sztywnym blokowym rdzeniu. Sztywne warstwy zewnętrzne skutecznie blokują powstające dendryty nie dopuszczając do przebicia przez nie właściwego elektrolitu.

ornl.gov

Roboty nie zbłądzą w ciemności

Jednym z nierozwiązanych dotąd problemów w przypadku robotów poruszających się głównie w pomieszczeniach jest ich malejąca – ze spadkiem natężenia światła – zdolność mapowania terenu czyli orientacji w przestrzeni. W przypadku zupełnej ciemności zdolność ta często spada do zera. Zdecydowana większość używanych obecnie tego typu robotów ma wbudowane czujniki optyczne lub laserowe na zasadzie LIDAR.

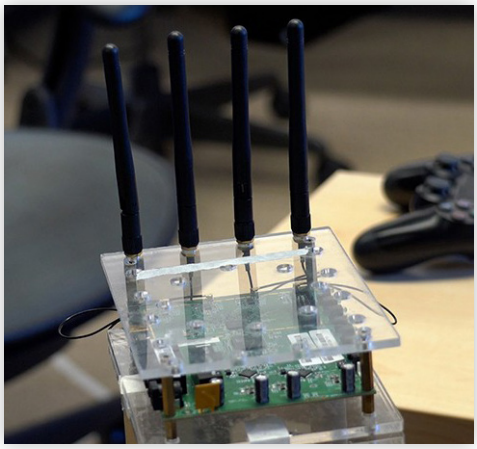
Prof. Dinesh Bharandia współpracując z Wireless Communication Sensing and Networking Group oraz uniwersytetem San Diego opracował zupełnie inną, tańszą i skuteczniejszą metodę z wykorzystaniem Wi-Fi.

– Jesteśmy otoczeni sygnałami bezprzewodowymi niemal wszędzie. Nasze rozwiązanie polega na wykorzystaniu ich do lokalizowania i mapowania wnętrz przez roboty – mówił.

Zbudowano robota z czujnikiem Wi-Fi, wykorzystując tanie i dostępne w handlu części. Robot wysyła sygnały i komunikuje się ze wszystkimi punktami dostępu w środowisku. Początkowo nie zna swojego położenia w przestrzeni, ale dwustronna komunikacja szybko to zmienia. Powstają punkty informacyjne, a algorytm precyzyjnie ustala położenie i mapuje teren.

Następnym krokiem będzie połączenie systemu lokalizacji Wi-Fi z kamerami.

ucsd.edu



▪ REKLAMA

Osłony wtyków wysokiego napięcia

BLUE ANGEL THE GERMAN ECOLABEL
www.blauer-engel.de/uz30a

Nowe artykuły w naszym programie standardowym GPN 380, GPN 384 oraz GPN 385 przeznaczone są do ochrony złączy wysokonapięciowych stosowanych w częściach i podzespołach pojazdów hybrydowych i elektrycznych. Wytrzymują niezawodnie obciążenia mechaniczne, termiczne i elektryczne.

Lepsza ochrona zasobów środowiska.
Zastosowane tworzywo sztuczne składa się w 100 % z materiałów pochodzących z recyklingu.

Większa oszczędność czasu.
Szybki demontaż dzięki antypoślizgowej powierzchni uchwytu. Demontaż możliwy po obu stronach.

Lepsza wodoszczelność.
Ochrona przed wodą rozpryskową ze wszystkich kierunków (IPX4) w zależności od specyfiki i jakości złączy.

NOWOŚĆ

Przekonajcie się Państwo o zaletach Pöppelmann KAPSTO® i zamówcie proszę bezpłatne próbki na stronie https://www.poeppelmann.com/pl/kapsto.

PÖPPELMANN

KAPSTO®

Kawitacja w druku 3D

W dotychczasowych rozwiązaniach druku 3D reakcja aktywowania materiału odbywa się za pomocą światła lub ciepła. Na uniwersytecie Concordia opracowano metodę bezpośredniego drukowania dźwiękiem DSP – *direct sound printing*, która może stać się trzecią opcją.

Skoncentrowano fale ultradźwiękowe, które wywołują reakcje sonochemiczne, na bardzo małych obszarach kawitacji, czyli mikroskopijnych bąbelków związanych z tym zjawiskiem. W miejscach tych występuje ekstremalna temperatura 15 000 K i ciśnienie ponad 1000 Bar. Trwa to trylionową część sekundy. W miejscach tych można generować najbardziej skomplikowane i miniaturowe „rzeźby" geometryczne. Precyzja jest nieosiągalna dla obecnie istniejących drukarek.

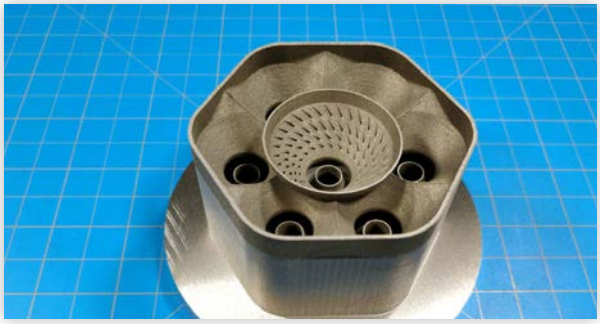
Czas druku jest tak krótki, że nie narusza otaczającego materiału. Na razie użyto polimeru PDMS – Poli(dimetylosiloksan) – i przetwornika generującego fale ultradźwiękowe. Fale przechodzą przez materiał budulcowy i odpowiednio zestalają płynną żywicę. Wydruk może być ciałem stałym lub w stanie półpłynnym. Można osadzić go na specjalnej platformie lub w innym niemal dowolnym miejscu. Przetwornik tworzy obiekt piksel po pikselu.

DSP może mieć ogromne spektrum zastosowań, od przemysłu precyzyjnego, gdzie zastąpi np. litografię w mikroskopijnych skalach, poprzez medycynę i tzw. *bioprinting*, po lotnictwo. Po zakończonych sukcesem eksperymentach z polimerami i ceramiką, twórcy rozwiązania rozpoczęli prace nad drukiem DSP kompozytów metal-polimer i przygotowują się do druku metalu.

concordia.ca

fot. M. Habibi et al., *Direct sound printing*, Nature Communications, 13, 1800 (2022)

Stop metalu do zastosowań w przemyśle kosmicznym



Dzięki połączeniu teoretycznego modelowania termodynamicznego struktur metalicznych z możliwościami druku 3D, badacze z NASA byli w stanie uzyskać nowy stop metalu, umożliwiający budowę nowej generacji wytrzymałych komponentów w przemyśle kosmicznym.

Jak wyjaśnia Tim Smith, specjalista w dziedzinie inżynierii materiałowej z NASA Glenn Research Center, zastosowana metodologia pozwala na wielokrotne przyspieszenie procesów badawczych. Wyniki uzyskiwane są nie tylko znacznie szybciej, ale także i taniej niż w ramach konwencjonalnego procesu badawczego opartego na metodzie prób i błędów.

Opracowany materiał o oznaczeniu GRX-810 to żaroodporny stop umocniony dyspersyjnie nanocząstkami tlenków (ODS – *Oxide Dispersion Strengthened*). Wykazuje się doskonałymi parametrami w ekstremalnych warunkach. W temperaturze powyżej 1000 °C, w porównaniu do dotychczasowych stopów wykazuje się dwukrotnie większą odpornością na pękanie, 3,5 razy większą sprężystością i tysiąckrotnie większą wytrzymałością na rozciąganie w wysokiej temperaturze.

Zastosowanie stopu GRX-810 do produkcji komponentów układów spalania silników odrzutowych i rakietowych może pozwolić w przyszłości na budowę trwalszych napędów, pracujących w wyższej temperaturze niż obecnie, co ma znaczącą zwiększyć wydajność i zmniejszyć koszty eksploatacji i utrzymania. Opracowana technologia umożliwia także konstruktorom budowę lżejszych i wytrzymalszych części na potrzeby przyszłościowych projektów w przemyśle lotniczym i kosmicznym.

nasa.gov

REKLAMA

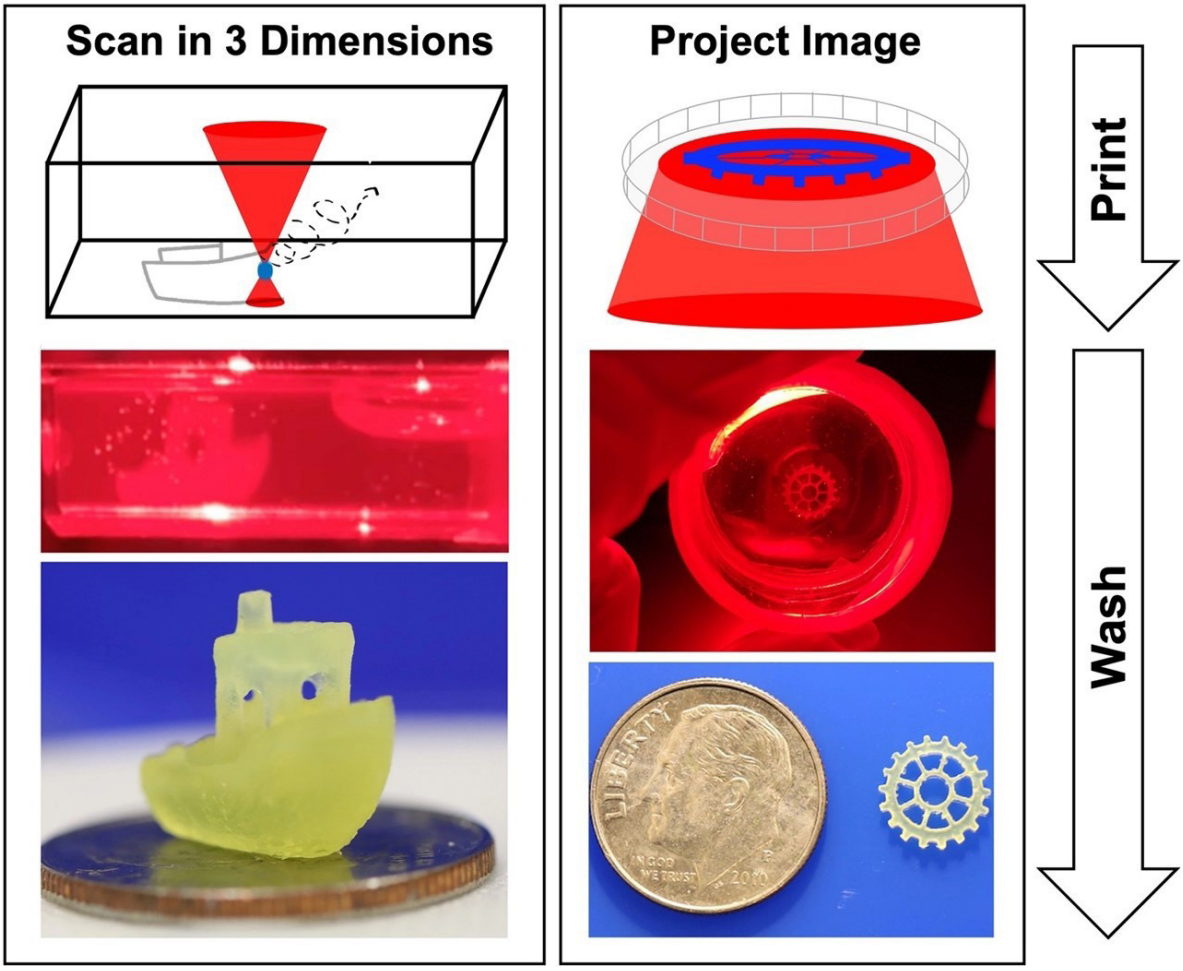
Nowa metoda objętościowego druku 3D

Badacze z Uniwersytetu Stanforda opracowali podstawy nowej, objętościowej techniki druku przestrzennego, umożliwiającej wytwarzanie całych przestrzennych detali w pojedynczym cyklu procesu, bez charakterystycznej dla innych metod druku 3D struktury warstwowej.

Zaprezentowana technika pozwala na uzyskanie przestrzennych detali w stacjonarnym zbiorniku z żywicą światłoutwardzalną, której gęstość podtrzymuje strukturę wyrobu, eliminując potrzebę stosowania podpór. Charakterystycznym elementem metody jest rozwiązanie umożliwiające selektywne utwardzanie żywicy. Zastosowana kompozycja żywiczna ulega utrwaleniu pod wpływem światła niebieskiego lasera. Tymczasem w ramach opracowanego procesu wykorzystywany jest laser czerwony, którego wiązka jest modyfikowana w zetknięciu ze specjalnymi nanocząstkami w strukturze żywicy. Kolor emisji zmienia się w ramach procesu określanego jako triplet fusion upconversion, opartego na łańcuchu przekształceń energii zachodzącym pomiędzy upkonwertującymi nanocząstkami o odpowiednich właściwościach luminescencyjnych. Zastosowane cząstki upkonwertujące pełnią więc w tym procesie rolę swego rodzaju soczewki. Sterowanie procesem opiera się na kontroli wiązki lasera.

Obecnie trwają prace nad rozszerzeniem możliwości systemy optycznego, co ma zapewnić wzrost wydajności poprzez równoległą upkonwersję w wielu punktach drukowanego detalu. Rozważane jest także zastosowanie opracowanych upkonwertujących nanomateriałów do innych celów, np. do zwiększenia wydajności paneli fotowoltaicznych.

news.stanford.edu



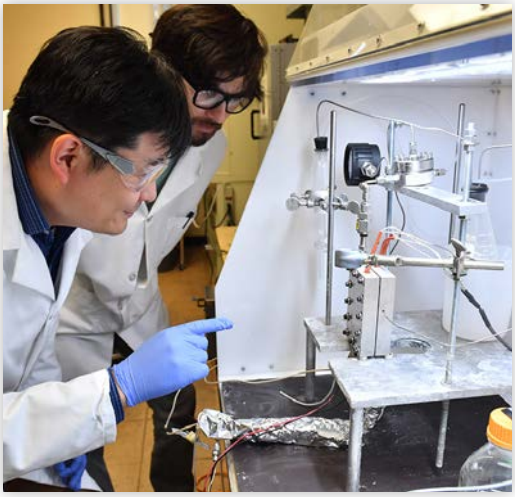
Otrzymywanie wodoru na stacjach paliw

Naukowcy Washington State University opracowali prostą i tanią metodę otrzymywania wodoru w miejscach, gdzie jest on potrzebny, np. na stacjach paliw. Samochody zasilane ogniwami paliwowymi na wodór mają wiele zalet. Niestety system otrzymywania i dystrybucji sprężonego wodoru jest trudny, niebezpieczny i wciąż niezbyt ekonomiczny.

Nowy sposób otrzymywania tego gazu zdaje się rozwiązywać wszystkie dotychczasowe problemy. Wystarczy cysterna z etanolem, który pomieszany z wodą pozwoli wytworzyć na miejscu (np. właśnie na stacji paliw) potrzebną ilość sprężonego wodoru. Reakcja wymaga znacznie mniejszej ilości prądu niż tradycyjna elektroliza, a transportowany jest tylko etanol.

Prof. Su Ha z Voiland School of Chemical Engineering and Bioengineering twierdzi, że jest to całkiem nowe podejście do chemii. Opracowano zupełnie nowy układ konwersji pomiędzy anodą i katodą. Wyeliminowano również kosztowną i niezbędną w innych metodach pozyskiwania wodoru membranę.

Podczas reakcji powstaje dwutlenek węgla, który można odizolować w postaci płynnej.



Wykorzystanie tego produktu ubocznego spędza teraz sen z powiek twórcom rozwiązania.

wsu.edu

▪ REKLAMA

DOBOT

Roboty przemysłowe, które usprawnią Twoje działania

www.DobotPolska.pl

Zgrzewanie nakrętek do blach nadwozi samochodów

Jedną z częstszych operacji technologicznych w spawalniach fabryk motoryzacyjnych jest zgrzewanie nakrętek*, kołków, wkrętów i śrub do powierzchni metalowych, podłużnic, elementów nośnych deski rozdzielczej i innych podobnych zespołów, w celu późniejszego ich trwałego połączenia, np. z kadłubem nadwozia. Ten proces technologiczny, znany od wielu już lat, jest ciągle doskonalony i obecnie osiągnął bardzo wysoki poziom, zwłaszcza jeżeli chodzi o dokładność ustalenia elementów, odpowiednią trwałość połączenia, a także kompletność wszystkich detali, co obecnie jest kontrolowane w 100%. W artykule omówiono jedno z najnowszych zrobotyzowanych gniazd technologicznych do prowadzenia tej operacji technologicznej.

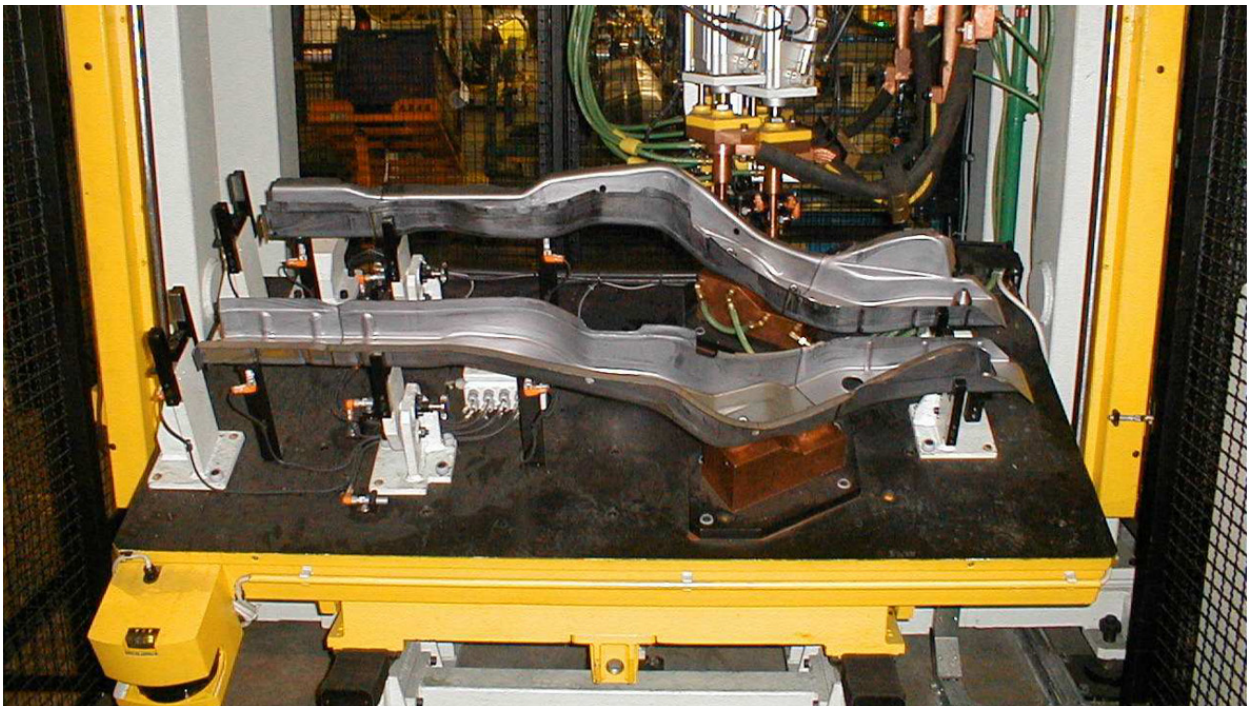
Aleksander Łukomski

W przemyśle motoryzacyjnym, gdzie do budowy samochodu wykorzystuje się mnóstwo elementów z blach tłoczonych, występuje często konieczność łączenia i ustalania tych blach, a także blach z elementami z tworzyw sztucznych, za pomocą kołków, wkrętów śrub i nakrętek. W tym celu należy elementy mocujące przygrzać trwale i dokładnie do blach. Najczęściej wykorzystuje się tu technikę zgrzewania garbowego, ale niekiedy też może to być zgrzewanie punktowe.

Zgrzewanie garbowe polega na łączeniu elementów w miejscach specjalnych występów technologicznych, np. wokół otworów, tzw. garbów. Funkcję garbów mogą również spełniać fragmenty łączonych elementów, np. krawędź otworu. Zgrzewarki garbowe umożliwiają łączenie elementów metalowych, dla których zgrzewanie punktowe byłoby trudne. Do realizacji tego zadania niezbędne są specjalne przyrządy zgrzewalnicze oraz odpowiednio zaprojektowane elektrody, dostosowane do zgrzewanych elementów. Po zamocowaniu łączonych elementów i odpowiednim ich dociśnięciu, przepływ prądu powoduje stopienie „garbów" i pojawianie się w ich miejscu metalicznego połączenia. Zgrzewarki garbowe wyposażone są w nowoczesny mikroprocesorowy układ sterowania, który umożliwia dokładne ustawienie parametrów procesu (prąd, czas zgrzewania i siła docisku), a także stabilizuje prąd zgrzewania przy zmianach napięcia zasilania.

Często zgrzewarki lub przyrządy wyposaża się w specjalne układy dociskowe, których zadaniem jest zminimalizowanie wyprysku materiału podczas szybkiego topienia się „garbu". Zamontowany w zgrzewarkach garbowych układ

* Alternatywą dla tej technologii, przynajmniej dla niektórych połączeń, może być niedawno opisana w naszym czasopiśmie technologia wykonywania otworów gwintowanych w prasach produkowanych kiedyś w polskiej firmie Hydomat. Ta technologia polegała na wykrojeniu małego otworu w blasze, wywinięciu kołnierza i nagwintowaniu tego wywinięcia, tak, że powstawały nakrętki. W jednym takcie mogło być wykonanych dziewięć takich nakrętek. Wszystkie te zabiegi mieściły się w jednym suwie suwaka prasy.



Fot. 1 Przykładowa zgrzewarka zadaniowa do przygrzewania nakrętek do podłużnicy nadwozia samochodu

autodiagnostyki zapewnia stałą kontrolę ich stanu, zwiększając ich niezawodność, zabezpieczając je przez uszkodzeniami i ułatwiając zlokalizowanie ewentualnych usterek.

Przykłady zastosowań:

- Zgrzewanie śrub i nakrętek dostępnych na rynku do blach, zaprojektowanych pod takie zgrzewanie. Najczęściej są to specjalne elementy złączne wg norm DIN i innych norm, mające odpowiednią powierzchnię ułatwiającą bazowanie i mocowanie, np. nakrętki czterokątne i sześciokątne lub okrągłe wg DIN 929. Norma DIN 929 odpowiada normie PN 82169, a także normom ISO.
- Zgrzewanie garbowe elementów o kształcie pręta, takich jak śruby, zaczepy czy kołki ustalające.
- Zgrzewanie garbowe elementów rurowych – złącza T i krzyżowe, a także sworzni, użebrowania i krzywek.
- Zgrzewanie krzyżowe drutów.

Dostępne są różne rodzaje nakrętek do zgrzewania. Oprócz samego kształtu nakrętki mogą mieć inne cechy charakterystyczne. Występują jako niskie lub wysokie, długie, z kołnierzem, uchem albo gwintem zabezpieczającym, o średnicach najczęściej od M3 do M16.

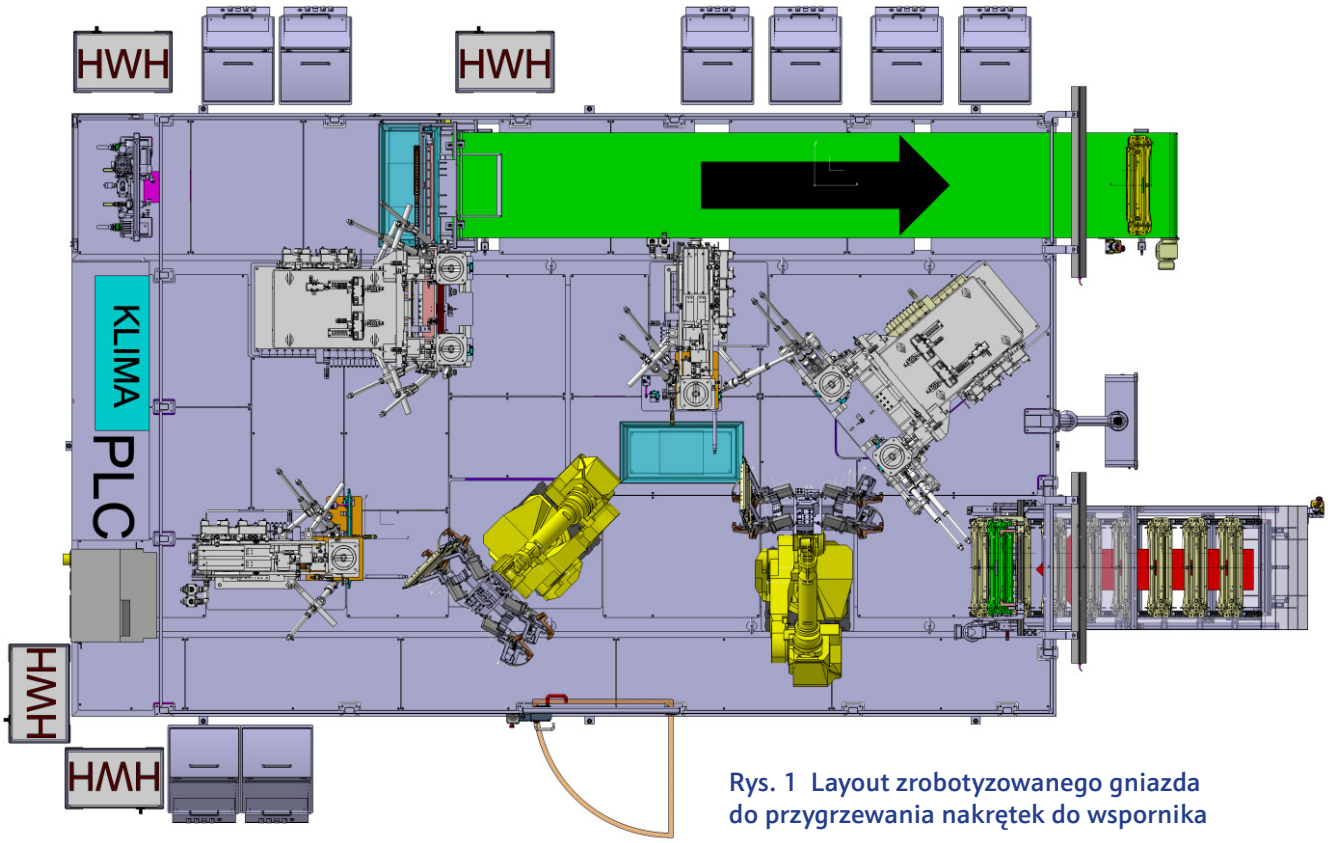
Nakrętki do zgrzewania wykonywane są z reguły ze stali węglowej, nierdzewnej A2 (INOX) i stali kwasoodpornej A4.

Przygrzewanie nakrętek można realizować w różnych maszynach. Mogą to być uniwersalne zgrzewarki punktowe, zgrzewarki garbowe, zgrzewarki zadaniowe – dedykowane dla konkretnego detalu i stanowiska, gniazda i linie zrobotyzowane. Standardowe uniwersalne zgrzewarki punktowe lub garbowe wyposaża się najczęściej w specjalny przyrząd, który służy do wykonania konkretnego detalu. Przyrządy te mogą być wymienne.

Sam proces zgrzewania może odbywać się albo oporowo, albo indukcyjnie. Może być jeszcze zgrzewanie tarciowe, jednak w przygrzewaniu nakrętek raczej nie jest ono stosowane. Najczęściej w tej technologii przygrzewania wykorzystuje się zgrzewanie oporowe.

Zgrzewarki zadaniowe (Fot. 1) są w całości zbudowane dla konkretnego detalu. Najczęściej nie mają one możliwości przezbrajania lub przezbraja się je w niewielkim tylko zakresie, czyli w przypadku bardzo podobnych detali.

Osobną sprawą są stanowiska, gniazda technologiczne i linie zrobotyzowane lub zautomatyzowane, które mają więcej urządzeń i maszyn.



Rys. 1 Layout zrobotyzowanego gniazda do przygrzewania nakrętek do wspornika

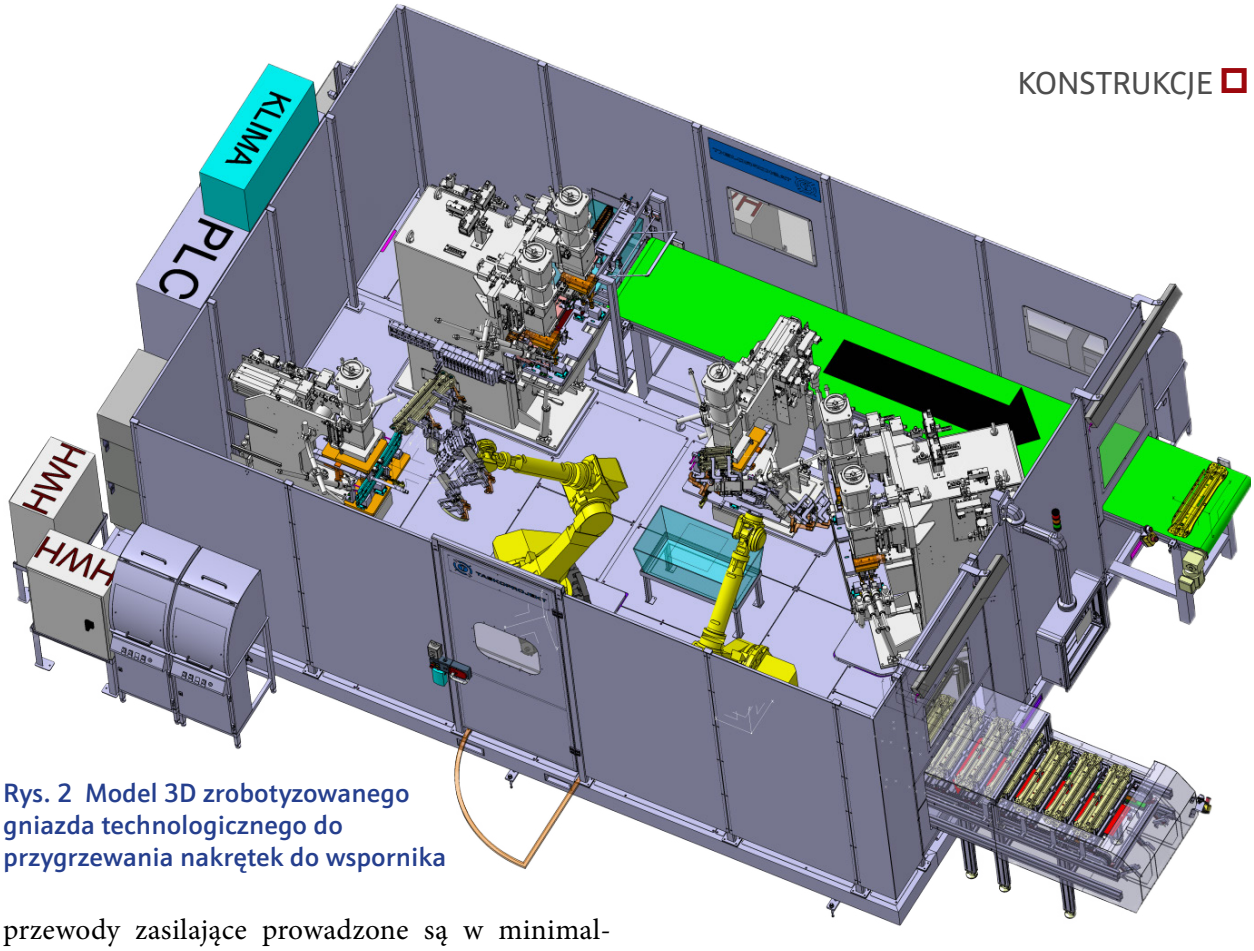
Wybór rodzaju maszyny i stopnia mechanizacji i automatyzacji zależy przede wszystkim od założonego programu rocznego produkcji, ale też i od innych czynników, np. konstrukcji wykonywanego detalu, jego wielkości, użytych materiałów itp.

Generalnie przygrzewanie nakrętek, realizowane obojętnie w jakiej maszynie, związane jest z wyposażeniem zgrzewarki w odpowiednie zasilanie elektryczne, pneumatyczne i w wodę chłodzącą, gdyż proces ten generuje duże ilości ciepła.

Poważnym problemem przy projektowaniu i budowie stanowisk do zgrzewania różnych elementów do blach karoseryjnych jest uzyskanie w produkcji wysokiego stopnia jakości procesu technologicznego, gwarantującego, że wszystkie nakrętki zostały przygrzane oraz że połączenia są zgodne z wymaganiami wytrzymałościowymi.

Ostatnio zbudowane przez polską firmę inżynierską Taskoprojekt zrobotyzowane gniazdo technologiczne przedstawione jest na rysunkach 1, 2 i na fotografiach wykonanych podczas prób technologicznych. Służy ono do przygrzewania sześciu nakrętek M6, czterech nakrętek M10 i czterech nakrętek M12 do wspornika wykonanego z blachy ocynkowanej za pomocą wykrawania i tłoczenia. Nakrętki przygrzewane są z kilku stron wspornika. Gniazdo składa się z podstawy, czterech specjalnych zgrzewarek garbowych do zabudowy ze specjalnymi przyrządami, dwóch robotów handlingowych wraz ze specjalnymi chwytakami do pobierania i odkładania spawanego wspornika, systemu podawania nakrętek wraz z podajnikami nakrętek i przewodami dostarczającymi nakrętki w miejsce zgrzewania, stanowisk kontrolnych (kontrola 100%), podajników, instalacji sprężonego powietrza i wody technologicznej do chłodzenia zgrzewarek. Całe gniazdo jest otoczone ścianami z blachy tworząc zamkniętą przestrzeń (kabinę) wyposażoną w drzwi i okna inspekcyjne.

Nowatorskie podejście do budowy tego gniazda polega na takim rozmieszczeniu wszystkich maszyn i urządzeń, które gwarantuje maksymalne wykorzystanie powierzchni produkcyjnej, a poprzez to zmieszczenie ich na minimalnej przestrzeni, co było założeniem inwestora. W związku z tym roboty mijają się o kilka milimetrów od siebie podczas ruchu. Przyrządy będące wyposażeniem zgrzewarek garbowych mają zwartą budowę, a wszelkie



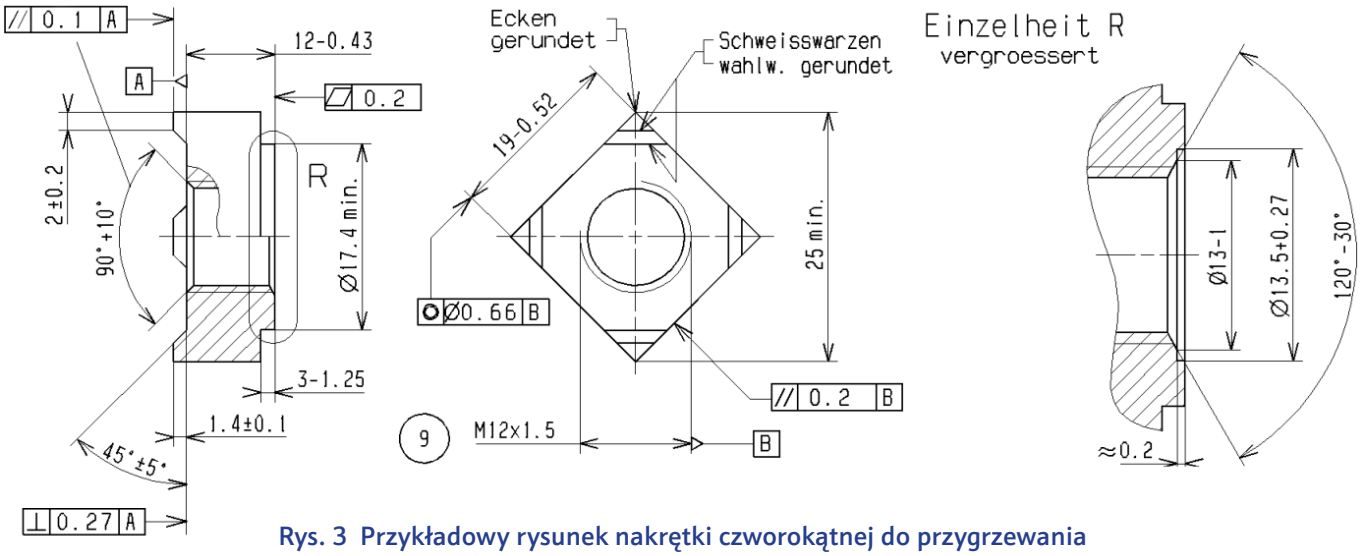
Rys. 2 Model 3D zrobotyzowanego gniazda technologicznego do przygrzewania nakrętek do wspornika

przewody zasilające prowadzone są w minimalnej przestrzeni, co nie jest proste, gdyż przewody dostarczające nakrętki w przestrzeń zgrzewania wymagają łagodnych łuków, aby nakrętki się nie zakleszczały na tych łukach. Następnym nowatorskim rozwiązaniem jest przebudowa dostarczonych przez producenta zgrzewarek, wykonana przez firmę inżynierską, w wyniku której powstały zgrzewarki dwugłowicowe i jednogłowicowa, ale z trzema elektrodami działającymi jednocześnie.

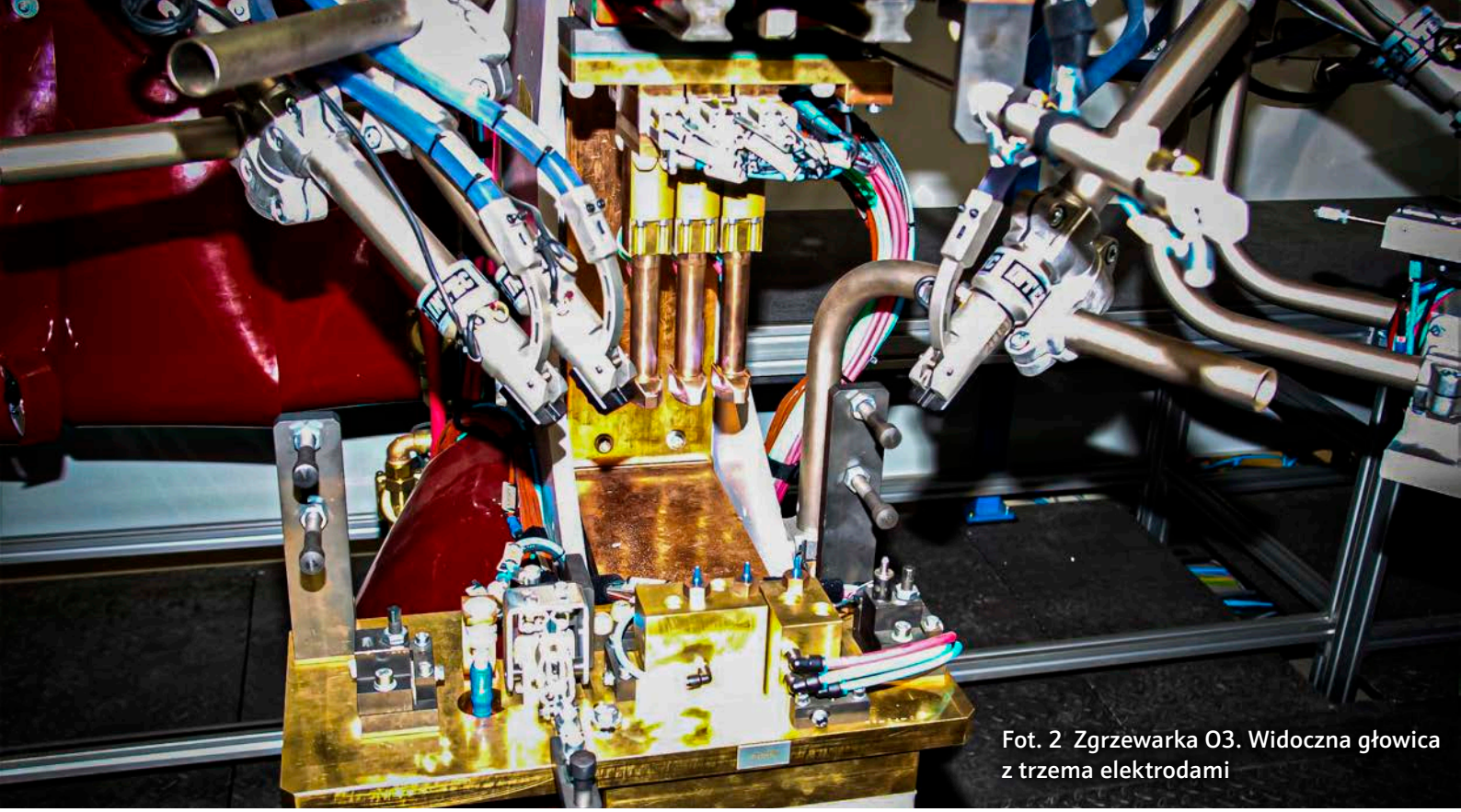
Na rysunku 3 pokazano przykładowo konstrukcję i wymiary nakrętki czterokątnej, gdzie widać z jaką dokładnością musi być wykonane to połączenie.

Przebieg procesu produkcyjnego w omawianym zrobotyzowanym gnieździe realizowany jest następująco:

- Operator wkłada ręcznie wspornik do podajnika – na podajnik znajdujący się bliżej pulpitu operatora, po czym podajnik przesuwa wspornik do pozycji odbioru przez robota R1. W podajniku znajduje się sześć wsporników.
- Następnie robot R1 pobiera wspornik i wkłada go do przyrządu zgrzewarki garbowej 01 celem przygrzania czterech nakrętek M10.



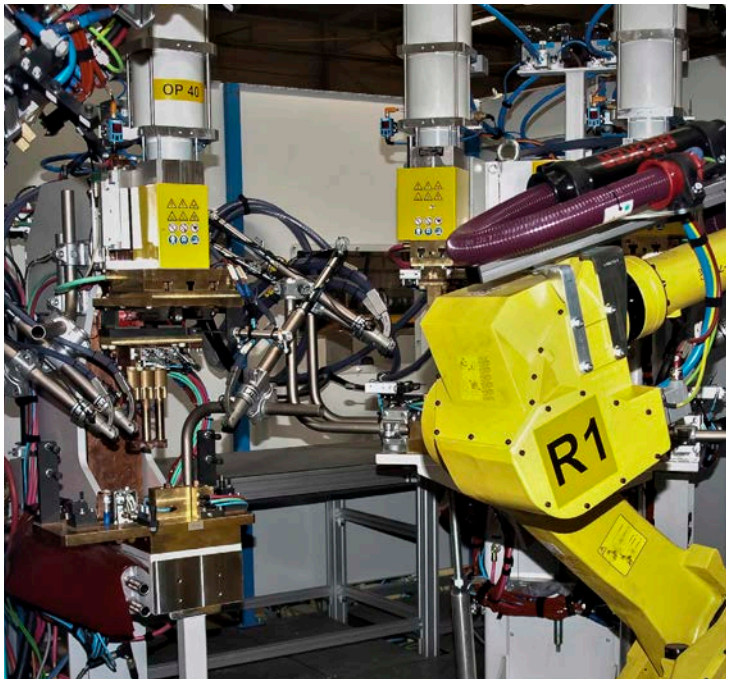
Rys. 3 Przykładowy rysunek nakrętki czworokątnej do przygrzewania



Fot. 2 Zgrzewarka O3. Widoczna głowica z trzema elektrodami

- Po czym po przygrzaniu nakrętek chwyta wspornik z tej garbówki i przenosi go do zgrzewarki garbowej 02 dla przygrzania trzech nakrętek M6. Robot R1 wraca aby pobrać kolejną cześć z podajnika.
- W tym czasie robot R2 chwyta część ze zgrzewarki 02 i podaje do zgrzewarki garbowej 03 celem przygrzania kolejnych trzech nakrętek M6.
- Po tym zabiegu robot R2 zabiera wspornik z garbówki 03 i przenosi do garbówki 04 w celu przygrzania kolejnych czterch nakrętek M12.
- Po przygrzaniu tych czterech nakrętek M12 system czujników sprawdza, czy wszystkie wymagane nakrętki zostały przygrzane i automatycznie przesuwa część do pola zrzutu na przenośnik końcowy.

Fot. 3 Widok zrobotyzowanego gniazda technologicznego od strony operatora



Fot. 4 Widok stanowiska przez drzwi inspekcyjne. Widoczny robot handlingowy R1 i zgrzewarka garbowa w wykonaniu specjalnym

- W ostatnim kroku kolejne czujniki sprawdzają obecność nakrętek – jeśli system wykrywa, że zostały przygrzane wszystkie nakrętki, to część jest upuszczana na przenośnik końcowy (kolor zielony na rysunku 1), jeśli zaś system kontrolny wykryje brak jakiejkolwiek nakrętki to system przesuwa część i upuszcza ją do pojemnika na części niezgodne (złomowane).
- Wsporniki dobre po wysunięciu podajnikiem (zielonym) poza obrys kabiny są zabierane ręcznie przez operatora i odkładane do palety skrzyniowej.

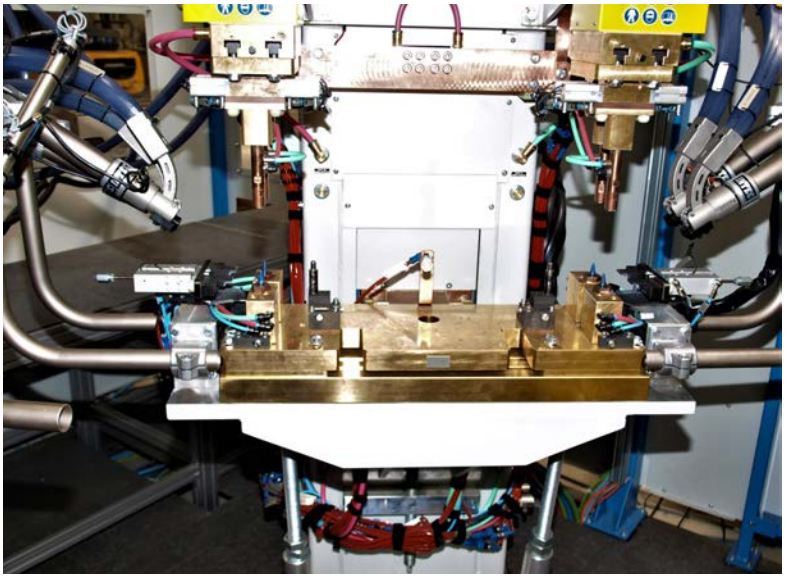
Kompletny cykl produkcyjny trwa 19,8 sek. co jest równoznaczne z taktem zrobotyzowanego gniazda technologicznego.

W budowie przyrządu kontrolnego zastosowano technikę czujników NIMFE firmy Turck. Czujnik ten w sposób indukcyjny wykrywa nakrętkę jednocześnie ją pozycjonując. Po umieszczeniu nakrętki na trzpieniu czujnika następuje jej wykrycie i zwolnienie głowicy w celu rozpoczęcie zgrzewania. Po zakończeniu spawania czujnik sygnalizuje czy nakrętka pozostała w swojej pozycji. Wcześniej stosowano w tych procesach czujniki optoelektroniczne, jednak z uwagi na odbicia światła, światłocienie oraz pozostałości oleju czy odprysków spawalniczych na soczewce czujnika technika ta była zawodna przy stosowaniu jej do wykrywania nakrętek.

Budowa tego zrobotyzowanego gniazda poprzedzona była intensywnymi pracami projektowymi i technologicznymi, wieloma konsultacjami z poddostawcami i inwestorem oraz próbami. W efekcie uzyskano technologię o niespotykanej dotąd wysokiej jakości, tak pod względem pewności przygrzania wszystkich nakrętek, jak i ich pozycjonowania, a także jakości samych połączeń, i to przy bardzo krótkim takcie.

Aleksander Łukomski

Fotografie i rysunki pochodzą z archiwum Taskoprojekt SA

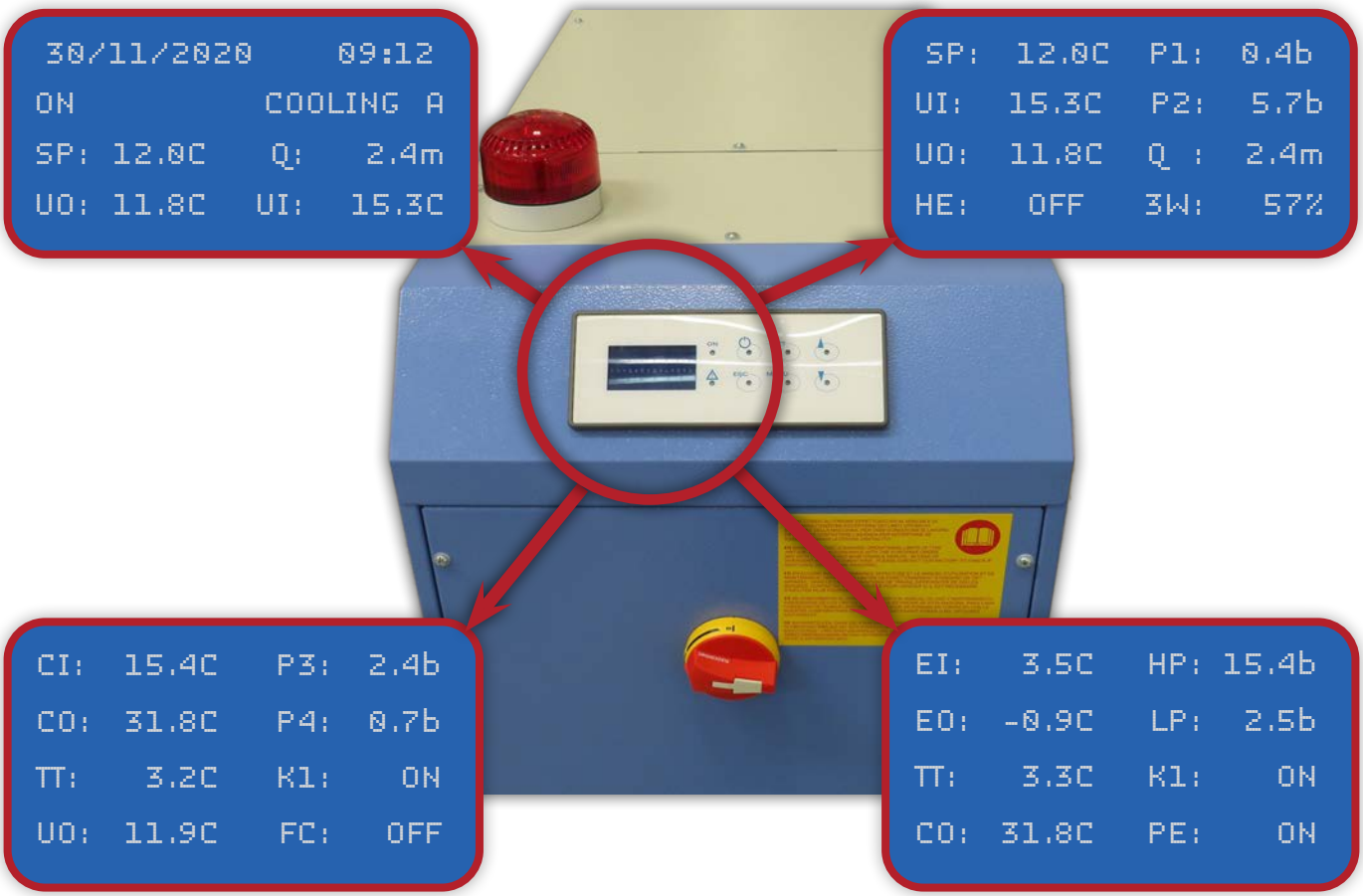


Fot. 5 Przyrząd specjalny zgrzewarki garbowej 01

COOLTHERM

Jednostrefowa chłodziarka stanowiskowa

- Wysoka jakość
- Wysoka wydajność
- Elastyczność i precyzja
- Energooszczędność



WADIM PLAST

Szerokie zastosowanie:

- » Precyzyjna regulacja temperatury form wtryskowych
- » Możliwość skracania czasu cyklu form wtryskowych
- » Regulacja temperatury w systemach klimatyzacji i wentylacji
- » Chłodzenie innych procesów przemysłowych

Zalety chłodziarek COOLTHERM:

- » **Moc chłodzenia do 14 kW** przy nastawie 10 °C i temperaturze wody chłodzącej skraplacz 35 °C
- » **Moc chłodzenia do 16 kW** przy nastawie 15 °C i temperaturze wody chłodzącej skraplacz 35 °C
- » **Nie generują ciepła, hałasu ani kurzu** na hali produkcyjnej – skraplacz chłodzony wodą lub wodą z glikolem
- » **Powiększony skraplacz,** możliwa ciągła praca w trybie ze sprężarką przy temperaturze wody chłodzącej nawet 40 °C !
- » **Moc grzania 6 kW**
- » **Kompaktowa obudowa:** 0,45 x 0,9 m, wys. 1,1 m
- » **Szeroki zakres regulacji temperatury:** 0-90 °C
- » **Precyzyjny zawór 3 drogowy** do regulacji temperatury z dokładnością ± 0,1 °C
- » **Wysoka wydajność przepływu pompy** – turbulentny przepływ (dT = 1,4..2,5 °C)
- » **Praca na freecoolingu** = bez sprężarki (energooszczędność)

wypożyczamy maszyny do testów

Wadim Plast sp. z o.o. www.wadim.com.pl
info@wadim.com.pl tel. +48 22 723 38 12

KLEJENIE STRUKTUR LOTNICZYCH

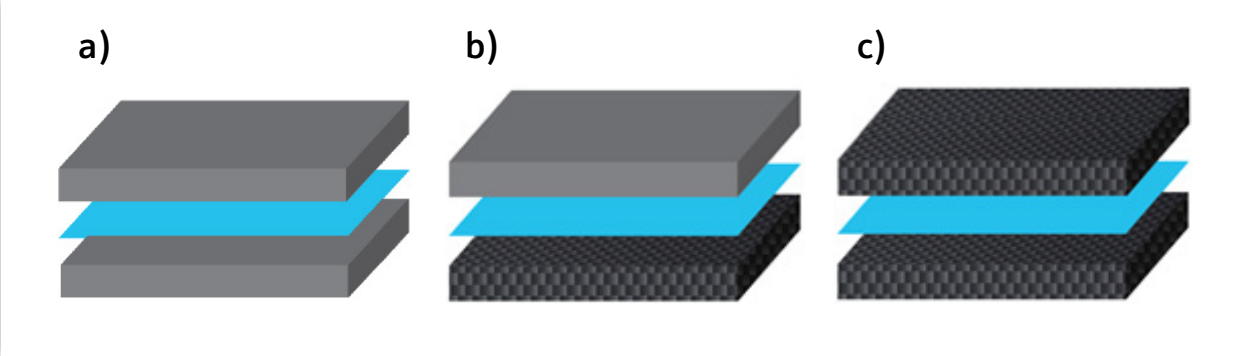
Analiza wpływu metody przygotowania powierzchni kompozytów i aluminium na wytrzymałość połączeń klejonych cz.2

W ramach projektu INNOLOT PrimaryComp, przy współpracy z zespołem naukowców z Politechniki Lubelskiej pod kierownictwem prof. dr hab. inż. Józefa Kuczmaszewskiego, przeprowadzono szereg badań (fizycznych i mechanicznych), mających na celu porównanie i wytypowanie metod do przygotowania powierzchni materiałów kompozytowych oraz aluminium do procesu klejenia w celu zapewnienia sklein o wysokiej wytrzymałości.

Małgorzata Wilk

Główne założenia metodologiczne planu badawczego wraz z podziałem na kolejne etapy obejmowały następujące zadania:

- wytypowanie materiałów odpowiednich do przeprowadzenia badań,
- wytypowanie znormalizowanych metod preparacji powierzchni dla aluminium i dla kompozytów wzmocnionych włóknem węglowym (ang. *Carbon Fibre Reinforced Plastic*, CFRP)
- wytypowanie nowoczesnych metod przygotowania powierzchni do procesu klejenia dla aluminium i dla CFRP,
- przeprowadzenie preselekcji parametrów procesu dla nowoopracowanych metod przygotowania powierzchni,
- weryfikacja poprawności przygotowania powierzchni rozwijanymi metodami poprzez pomiar SFE dla aluminium i dla CFRP,
- przygotowanie próbek z aluminium gatunku 2024 oraz z CFRP do badań według zaleceń z normy ASTM D3528,
- przygotowanie oprzyrządowania do procesu klejenia, by uzyskać skleiny o jednolitej grubości,
- przygotowanie powierzchni materiałów przed procesem klejenia,
- klejenie próbek o określonej konfiguracji, zgodnie z procedurami,
- utwardzanie próbek,
- pomiar grubości skleiny oraz badania nieniszczące (ang. *Non Destructive Test*, NDT),
- przygotowanie próbek do badań mechanicznych, w tym sezonowanie próbek w wysokiej temperaturze oraz wysokiej wilgotności (ang. *Elevated Temperature Wet*, ETW),
- wykonanie badań mechanicznych,
- ocena zniszczenia próbek i weryfikacja z uzyskanymi parametrami wytrzymałościowymi,
- analiza wyników i sformułowanie wniosków.



Rys. 16 Schemat połączeń klejonych poddanych badaniom: a) Al-Al, b) Al-CFRP, c) CFRP-CFRP. Warstwę kleju oznaczono w niebieskim kolorze

MATERIAŁY DO BADAŃ

Do badań wytypowano blachy ze stopu aluminium gatunku 2024 T3, który jest powszechnie stosowany w konstrukcjach lotniczych, szczególnie na pokrycia elementów skrzydła i kadłuba statków powietrznych. Jako materiał kompozytowy do badań wytypowano prepreg epoksydowy Cytec Cycom 5320-1/PW IM7 6K 196/38% w formie tkaniny (ang. *Plain Weave*, PW) wzmocniony włóknem węglowym IM7. Panele kompozytowe zostały utwardzone pozaautoklawowo (ang. *Out Of Autoclave*, OOA) zgodnie z zaleceniami producenta.

Badania realizowano dla połączeń w konfiguracji: aluminium z aluminium (Al-Al), aluminium z kompozytem węglowym (Al-CFRP) oraz dla połączeń kompozytowych (CFRP-CFRP) (Rys. 16).

Proces klejenia realizowano przy użyciu kleju w formie pasty – Henkel LOCTITE EA 9392 AERO A/B. Jest to klej epoksydowy, dwuskładnikowy stosowany w lotnictwie i przeznaczony do łączenia różnych materiałów (metali i kompozytów polimerowych). Oprócz wysokiej wytrzymałości charakteryzuje się wysoką odpornością na działanie warunków środowiskowych. Klej przygotowano i utwardzano zgodnie z zaleceniami producenta. Odpowiednie ilości części A i B kleju wymieszano we właściwej proporcji i nakładano ręcznie na obie powierzchnie klejone. Utwardzanie przeprowadzono w temperaturze pokojowej w ciągu siedmiu dni, przy zastosowaniu równomiernego docisku. Panele do badań klejono w specjalnie zaprojektowanym oprzyrządowaniu, w celu zapewnienia skleiny o określonej i równomiernej grubości.

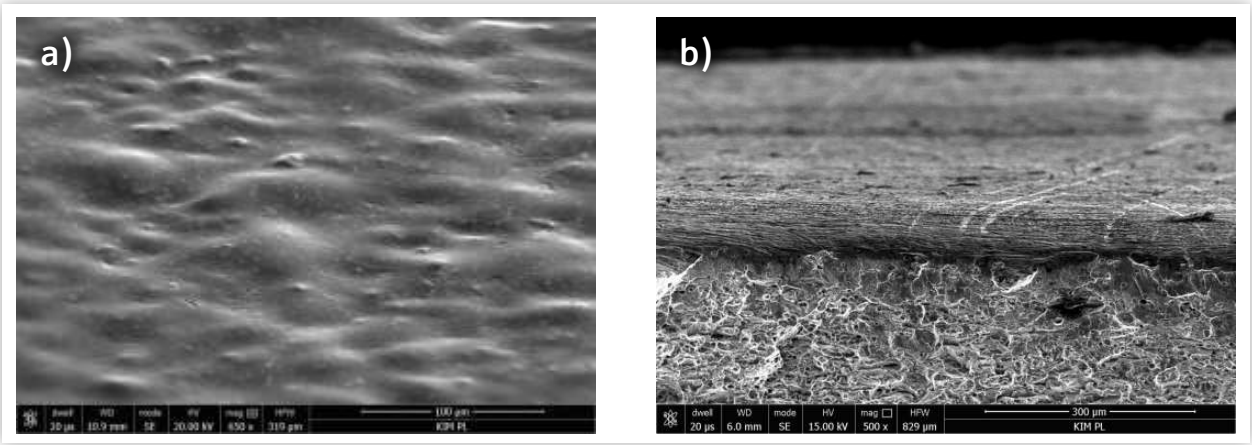
W odniesieniu do łączonych elementów kompozytowych zastosowano tzw. proces *secondary bonding* polegający na klejeniu elementów wcześniej utwardzonych.

ZASTOSOWANE METODY PRZYGOTOWANIA POWIERZCHNI

Na wstępie wytypowano standardowe oraz nowe metody przygotowania powierzchni dla metalu oraz dla kompozytu (Tab. 1).

Materiał	Metoda przygotowania powierzchni	Rodzaj metody
Al 2024	anodowanie fosforowe z primerem	chemiczna, znormalizowana
	sol-gel	chemiczna, znormalizowana
	plazma atmosferyczna	energetyczna, nowoopracowana
CFRP	peel-ply	mechaniczna, znormalizowana
	piaskowanie	mechaniczna, znormalizowana
	plazma atmosferyczna	energetyczna, nowoopracowana

Tab. 1 Wytypowane do badań metody przygotowania powierzchni



Rys. 17 Zdjęcie w powiększeniu powierzchni aluminium po procesie PAA (a) oraz powierzchnia po nałożeniu AC 130-2 (b)

Proces anodowania fosforowego wraz z zastosowaniem delaminażu i sol-gel-u realizowano według wytycznych producenta, norm obowiązujących w lotnictwie oraz norm zakładowych PZL Mielec.

Proces anodowania oraz nakładania primera BR127 został zrealizowany przez firmę znajdującą się na liście kwalifikowanych dostawców firmy Sikorsky Aircraft Corporation (SAC) według obowiązujących norm lotniczych.

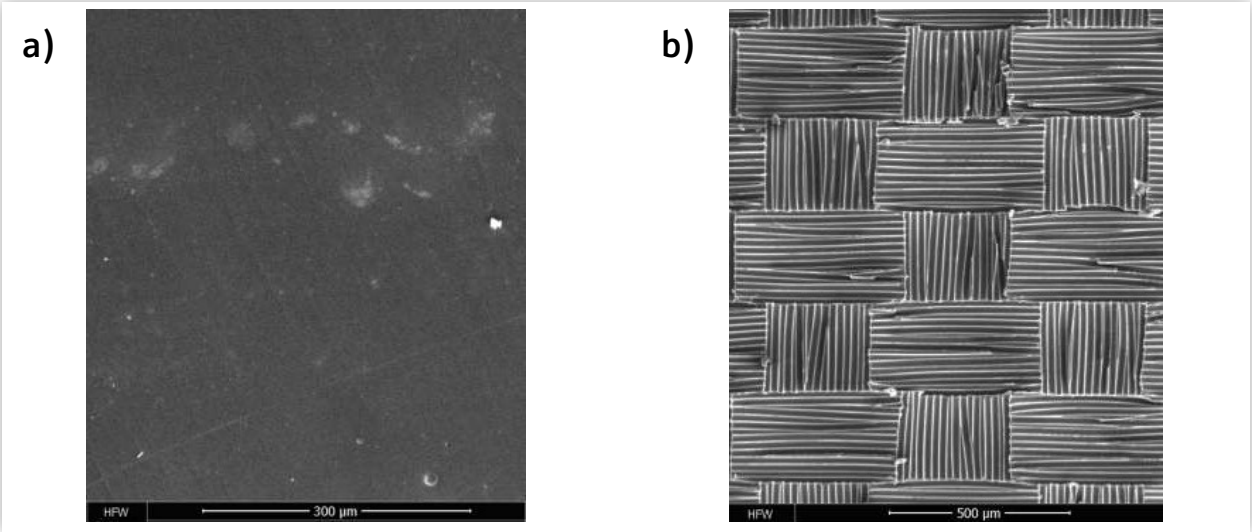
Do przygotowania powłoki sol-gel na powierzchni aluminium zastosowano preparat AC 130-2 firmy 3M. Procedurę nakładania wykonano zgodnie z zaleceniami producenta i zgodnie z normą zakładową PZL Mielec. Powierzchnię aluminium po procesie anodowania fosforowego z primerem BR 127 oraz z powłoką sol-gel AC 130-2 przedstawiono na rysunku 17.

Jako delaminażu na powierzchni CFRP użyto materiał poliestrowy 56210 firmy Precision Fabric Group. Peel-ply był utwardzany wraz z warstwami kompozytu w procesie OOA. Przykładową powierzchnię epoksydowego kompozytu warstwowego wzmocnionego włóknem węglowym z warstwą delaminażu i po jej usunięciu (oderwaniu) przedstawiono na rysunku 18.

Procesy piaskowania i plazmowania, jako procesy nowe, realizowano po uprzednim doborze i weryfikacji parametrów dla poszczególnych procesów i materiałów.

Proces plazmowania plazmą atmosferyczną realizowano przy użyciu urządzenia Atomflo 500 firmy Surfx Technologies. Przy procesie plazmowania powierzchni Al oraz dla CFRP zastosowano jako stałe takie parametry jak:

- prędkość przesuwu głowicy,



Rys. 18 Powierzchnia CFRP z warstwą peel-ply (a) oraz po jej oderwaniu (b)

Artykuł dostępny w wydaniu płatnym

SPRAWDŹ
jak zamówić wydanie

www.konstrukcjeinzynierskie.pl

prenumerata@iter.com.pl

Rekordowy aparat skaczący

Inżynierowie z Kalifornijskiego Uniwersytetu Santa Barbara zbudowali aparat skaczący na 30 metrów w górę, co stanowi rekord wysokości skoku i jest zbliżone do teoretycznego maksimum wyliczonego w oparciu o właściwości obecnie dostępnych materiałów.

Prof. Elliot Hawkes kieruje pracami zespołu, badającego możliwości wykorzystania skakania jako sposobu lokomocji. Zespół dokładnie przebadał mechanizmy skokowe występujące w przyrodzie i technice. Rezultatem badań jest aparat skaczący na wysokość 30 metrów – wyżej niż jakiekolwiek żywe stworzenie czy dotychczasowe konstrukcje mechaniczne.

Jak wyjaśnia prof. Hawkes, przełom w badaniach nastąpił, kiedy poszukiwano odpowiedzi na pytanie: czy w budowie mechanicznych aparatów skaczących występują te same ograniczenia, które dotyczą organizmów żywych. Otóż głównym ograniczeniem długości skoku w przyrodzie jest konieczność zapewnienia całej energii wykorzystywanej do skoku w pojedynczym cyklu pracy mięśni. W mechanicznych aparatach skaczących istnieje możliwość zwiększenia energii poprzez zwielokrotnienie cyklu pracy efektora podczas skoku.

Przyrodniczo-techniczne badania porównawcze doprowadziły do sformułowania istotnej zależności, decydującej o efektywności mechanizmów skokowych. Jak tłumaczy Charles Xaio z CU Santa Barbara, w organizmach żywych efektywność skoku wynika z połączenia relatywnie niewielkich rozmiarów mięśnia, wystarczających do zmagazynowania energii pojedynczego skoku, z względnie dużą masą mięśniową. W konstrukcjach mechanicznych jest zupełnie odwrotnie, tzn. efektywność skoku uzyskuje się dzięki połączeniu jak największej sprężyny z niewielkim napędem. W opracowanym aparacie sprężyna jest stukrotnie większa od silniczka napędowego. W biologii za skok odpowiada napęd, czyli mięsień, a w mechanice – sprężyna.

Rekordowy aparat skaczący zbudowano w oparciu o hybrydową, naciągowo-naciskową konstrukcję, złożoną z wykonanych z kompozytu węglowego łukowych ramion ściskanych, rozmieszczonych koncentrycznie wokół linki rdzenia, nawijanej na wałek silniczka. Ramiona opasano gumowymi, rozciągliwymi linkami, zamocowanymi w osi linki rdzenia. Naciąg gumowych opasek nie tylko zwiększa energię mechanizmu, ale także wpływa korzystnie na wytrzymałość ramion. Mechanizm naciągania efektora wykorzystuje silniczek zasilany baterią 9 V. Linka rdzenia jest nawijana przez silniczek na szpulę i blokowana przez zatrzask, co utrzymuje łukowe ramiona zgięte, a gumowe opaski rozciągnięte. Zwolnienie zatrzasku uwalnia energię zapewniającą przyspieszenie rzędu 315 *g* i wysokość skoku nawet do 32 metrów.

Szacuje się, że na powierzchni księżyca aparat byłby w stanie wykonywać skoki na wysokość 125 metrów i pokonywać dystans 500 metrów co skok. Nie dziwi więc, że jednym z najbardziej interesujących przykładów zastosowania robotów-skoczków może być właśnie eksploracja powierzchni planet i innych ciał niebieskich.

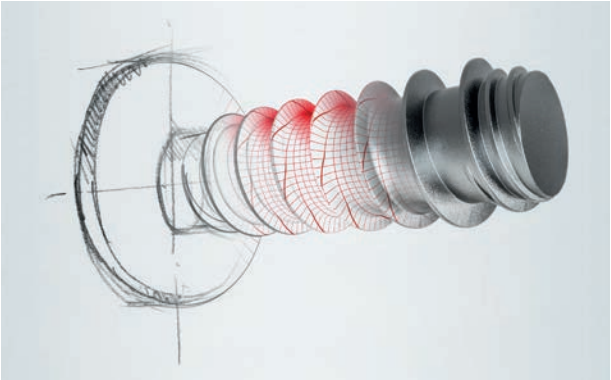
news.ucsb.edu

EJOT EVO PT®

Holding EJOT jest światowym liderem w zakresie techniki mocowań. W 2022 roku obchodzi stulecie. Kluczem do sukcesu było innowacyjne podejście do produktów i nacisk na ich najwyższą jakość.

Przełomowym momentem w kształtowaniu marki EJOT było opracowanie wkręta PT® w 1978 roku. Do dziś jest to najmocniej kojarzony z marką produkt. Wraz z rozwojem gwintu PT®, a następnie DELTA PT®, EJOT dwukrotnie pisał historię połączeń samogwintujących w tworzywach sztucznych. Aby pozostać wiernym tej tradycji, powstała duża, interdyscyplinarna grupa rozwojowa, która przez wiele lat intensywnie pracowała nad stworzeniem godnego następcy.

Owocem jej pracy jest wkręt EVO PT®, który wyznacza nowe standardy w połączeniach bezpośrednich w tworzywach sztucznych. Obok doskonałych właściwości mocujących oraz wyjątkowej elastyczności procesów montażowych pozwala na wysoką przewidywalność połączenia już na etapie projektowania.



EJOT, tworząc EVO PT® połączył po raz pierwszy wiedzę z zakresu produkcji i technologii skręcania z metodami symulacji komputerowej połączenia

EVO PT® NOWY STANDARD W BEZPOŚREDNICH POŁĄCZENIACH ŚRUBOWYCH W TWORZYWACH SZTUCZNYCH

Łącząc po raz pierwszy wiedzę z zakresu produkcji i technologii skręcania z metodami symulacji komputerowej połączenia, EJOT opracował nowy wkręt do bezpośrednich połączeń w tworzywach sztucznych, a wspólna z klientem analiza geometrii łączonych komponentów wyzwoliła potencjał ujednolicenia wkrętów i momentów dokręcania. Dotąd konieczna było stosowanie różnej długości wkrętów, aby w przypadku różnych grubości elementów montowanych osiągnąć identyczną głębokość wkręcenia.

W innym przypadku nie można było użyć takiego samego momentu dokręcania, co powodowało wzrost liczby urządzeń wkręcających, a co za tym idzie, rozbudowę stanowisk montażowych.

Dla różnych średnic wkrętów obliczenia pokazują możliwość unifikacji zastosowanych wkrętów, zmiany wymiarów połączenia, przewymiarowanie bądź niedowymiarowanie połączenia

Wyjątkowa strefa formowania gwintu wkrętu EVO PT® zapewnia stały moment formowania gwintu dla różnych głębokości wkręcania. Jednakowe momenty dokręcania w punktach mocujących różne części urządzenia jednakowym wkrętem znacząco pozwalają zredukować koszty systemu, podnieść jego efektywność i zwiększyć bezpieczeństwo procesu produkcji.

SERWIS OBLICZENIOWY EVO CALC®

Program EVO CALC®, obliczając wartości momentów montażowych oraz parametry wytrzymałościowe połączenia, wskazuje możliwość ujednolicenia zastosowanych wkrętów, czy też konieczność przekonstruowania połączenia śrubowego. W ten sposób znacząco przyczynia się do skrócenia czasu zainwestowanego w projektowanie.

Program EVO CALC® umożliwia w ramach szczególnego wsparcia dla konstruktorów i projektantów również obliczenie relaksacji połączenia śrubowego w tworzywach sztucznych pod wpływem zmian temperatury w określonym czasie, co jest wartością wyjątkową i jak dotąd niespotykaną w innych narzędziach obliczeniowych.

COMPUTER AIDED ENGINEERING (CAE) DLA KOMPLEKSOWYCH PODZESPOŁÓW

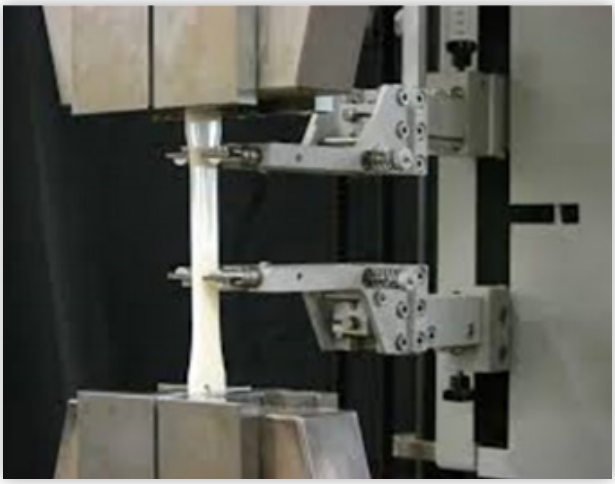
CAE-Service firmy EJOT oferuje analizę połączeń śrubowych w kompleksowych podzespołach. Tym samym umożliwia sprawdzenie wytrzymałości połączeń poddanych określonym obciążeniom. Wczesne rozpoznanie ewentualnych przeciążeń w komponentach, już na etapie opracowania konstrukcji pomaga uniknąć błędów konstrukcyjnych, oszczędza czas, redukuje koszty. Za pomocą analizy FEM komponentu określa się miejsca w połączeniu podlegające najwyższym obciążeniom. Informacje te uwzględniane są w dalszym procesie tworzenia podzespołu.

Cyfrowa korelacja obrazu – nowatorskie podejście pomiarowe w analizie wytrzymałościowej

Adam Chełchowski

CZYM JEST CYFROWA KORELACJA OBRAZU?

Większość realizowanych współcześnie badań materiałowych pozwalających określić ich podstawowe parametry wytrzymałościowe przeprowadzanych jest z wykorzystaniem konwencjonalnych metod obejmujących użycie maszyn wytrzymałościowych (Rys. 1). W celu zbadania zachowania próbki pod wpływem przyłożonego obciążenia, konieczne staje się stosowanie np. ekstensometrów liniowych czy tensometrów. Umożliwiają one pomiar odkształceń powierzchniowych, jednak wyłącznie w bliskim sąsiedztwie ich ulokowania. W przypadku konieczności zbadania odkształceń w różnych miejscach próbki, eksperyment należy wielokrotnie powtórzyć, zmieniając położenia urządzeń mierniczych. W badaniach wielkoskalowych, takie eksperymenty okazują się być czasochłonne, a zatem mało ekonomiczne, a ponadto coraz częstszą potrzebą staje się analiza całych ustrojów mechanicznych, a nie tylko wyizolowanych próbek materiałowych. Inną trudnością jest badanie układów o dużej złożoności geometrycznej, gdzie lokalne pomiary odkształceń nie są w stanie zobrazować pola odkształceń całego ustroju. Odpowiedzią na powyższe trudności okazała się, pierwotnie używana wyłącznie na uczelniach wyższych czy w zaawansowanych ośrodkach badawczych, optyczno-numeryczna technika pomiarowa zwana cyfrową korelacją obrazu (*Digital Image Correlation* – DIC). Dzięki niej można globalnie badać zachowanie obciążonego w dowolny sposób



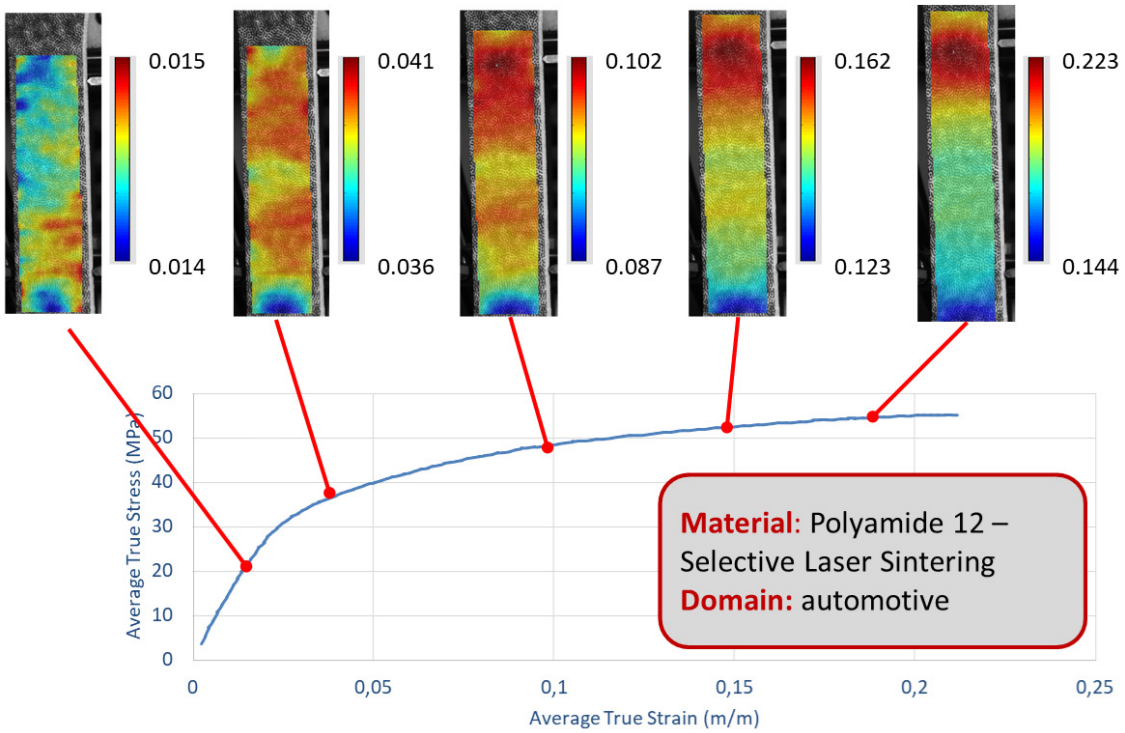
Rys. 1 Przykładowa analiza wytrzymałościowa

układu w czasie rzeczywistym i uzyskiwać jego cechy kinematyczne i mechaniczne. Podczas całego procesu pomiarowego ekstrahowane są lokalne przemieszczenia punktów próbki, które następnie przeliczane są na mapę odkształceń, która stanowi podstawę dalszych analiz (Rys. 2). Wyeliminowana zostaje konieczność używania peryferyjnych aparatów pomiarowych, wyniki uzyskiwane są w całym obszarze badanego, nawet złożonego pod kątem geometrii, obiektu, a ingerencja w środowisko pomiarowe zostaje ograniczona do minimum.

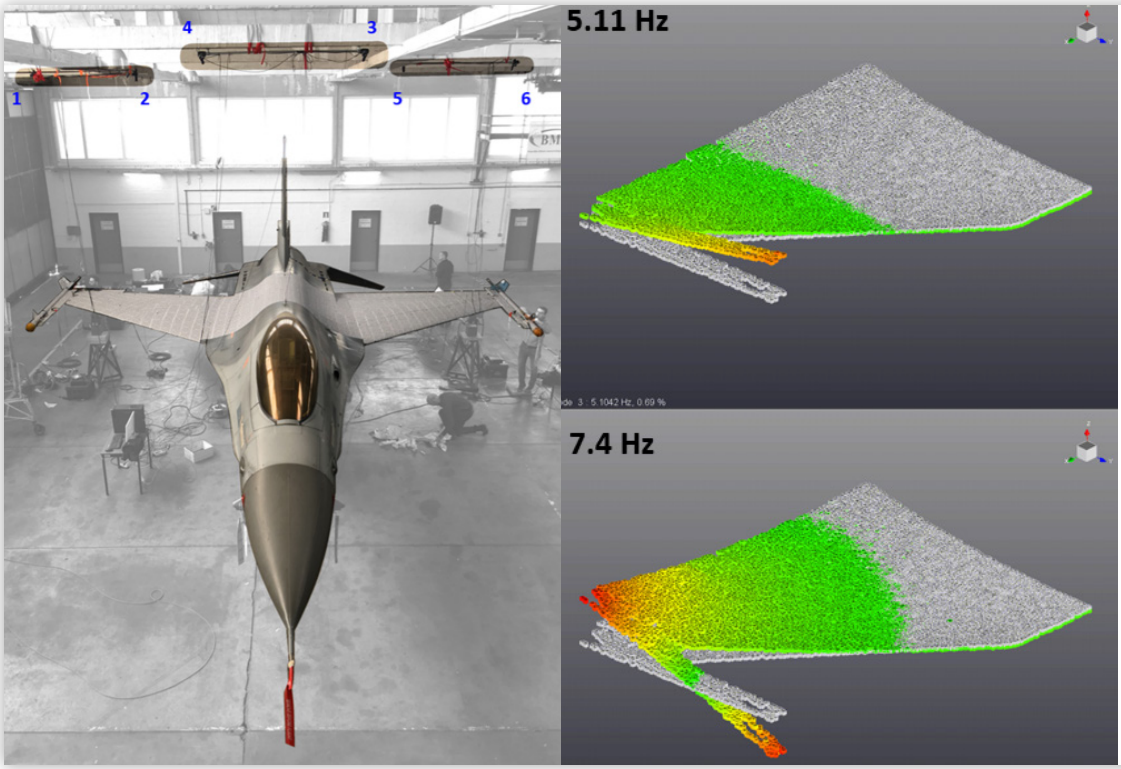
CYFROWA KORELACJA OBRAZU – NA CZYM TO POLEGA?

DIC to bezkontaktowa metoda pomiarowa, która bazuje na dwóch lub większej grupie kamer rejestrujących proces obciążania przygotowanego uprzednio ustroju. Wstępne preparacje badanego obiektu ograniczają się do naniesienia na jego powierzchnię

Rys. 2 Analiza DIC z wybranymi wynikami eksperymentu



stochastycznego wzoru. Skalibrowane kamery są dzięki temu w stanie rozróżniać liczne punkty w powstałej chmurze, a następnie dzięki metodzie triangulacji[1] (Rys. 3) jednoznacznie określać współrzędne ich położeń w przestrzeni. Obraz pola odkształceń jest uzyskiwany dzięki porównaniom deformacji i przemieszczeń małych podobszarów zwanych subsetami, widocznych z różnych kamer, z pomocą funkcji korelacji[2]. Ciągłe rejestrowanie obrazu ustroju podczas obciążania

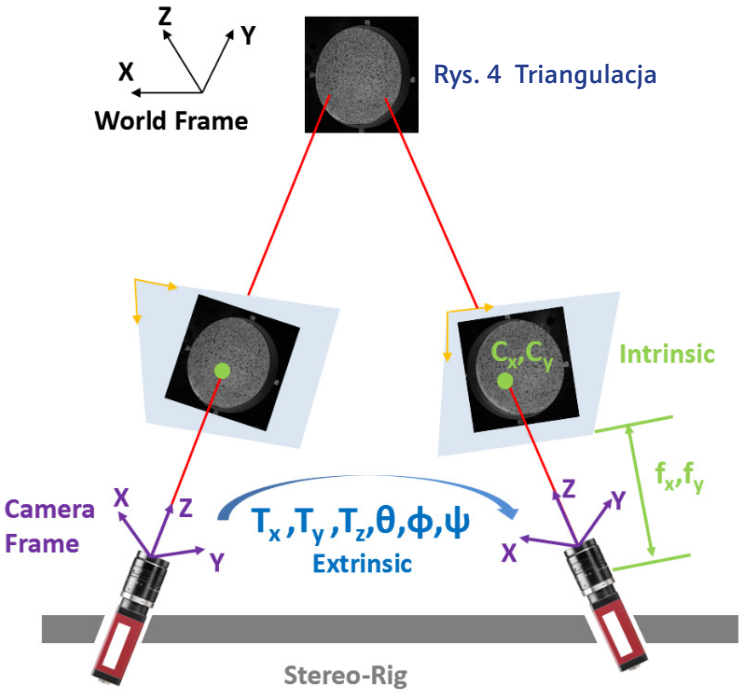


Rys. 3 Analiza drgań skrzydeł myśliwca F-16

1 triangulacja – metoda pomiarowa umożliwiająca jednoznaczne określenie położenia punktu w przestrzeni bazująca na wzajemnych orientacji i położeniu źródeł wizyjnych

2 funkcja korelacji – służy do określania stopnia podobieństwa między porównywanymi podobszarami z obrazów z różnych kamer w celu identyfikacji zmienności obrazu, a w konsekwencji deformacji obiektu

umożliwia uzyskanie ewoluującego w czasie pola przemieszczeń. Można następnie dokonać przeliczenia pola odkształceń, po uzupełnieniu o informacje o zarejestrowanych siłach brzegowych i uzyskać pole naprężeń, znając parametry materiału i związki konstytutywne go opisujące. Ograniczeniem dokładności uzyskiwanych wyników jest rozdzielczość i jakość stosowanych kamer.



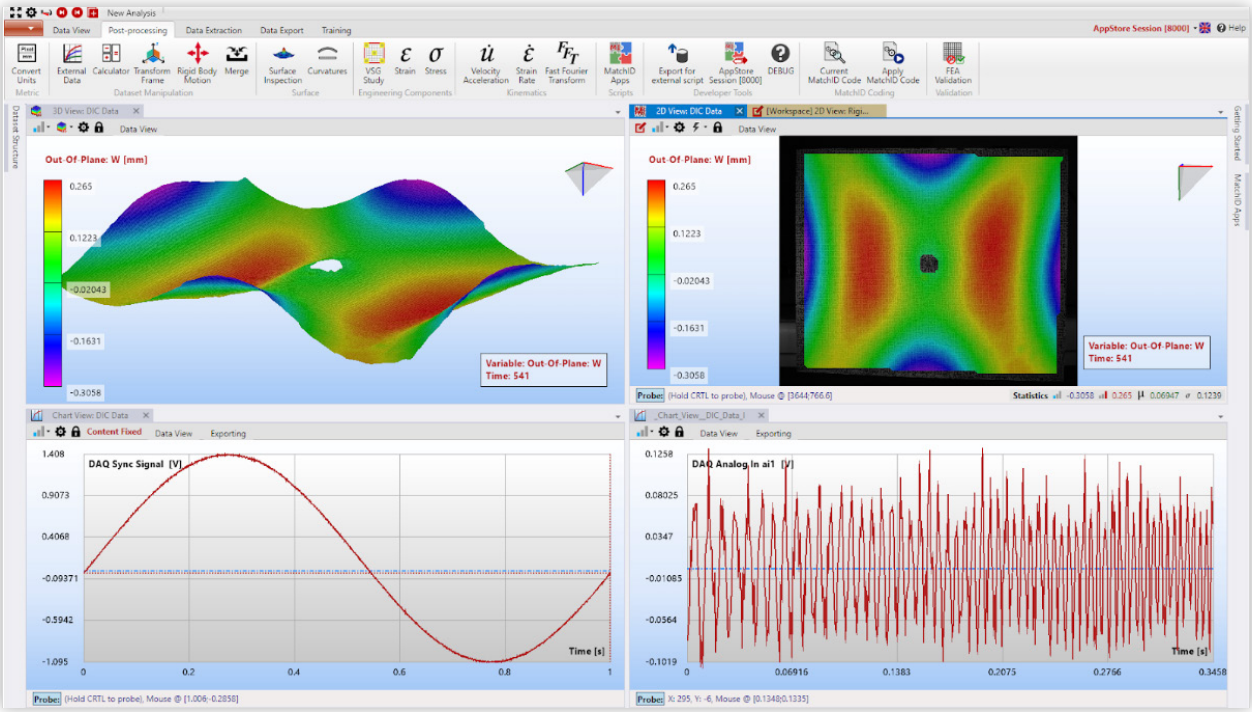
Rys. 4 Triangulacja

JAK PRZEBIEGA PROCES POMIAROWY?

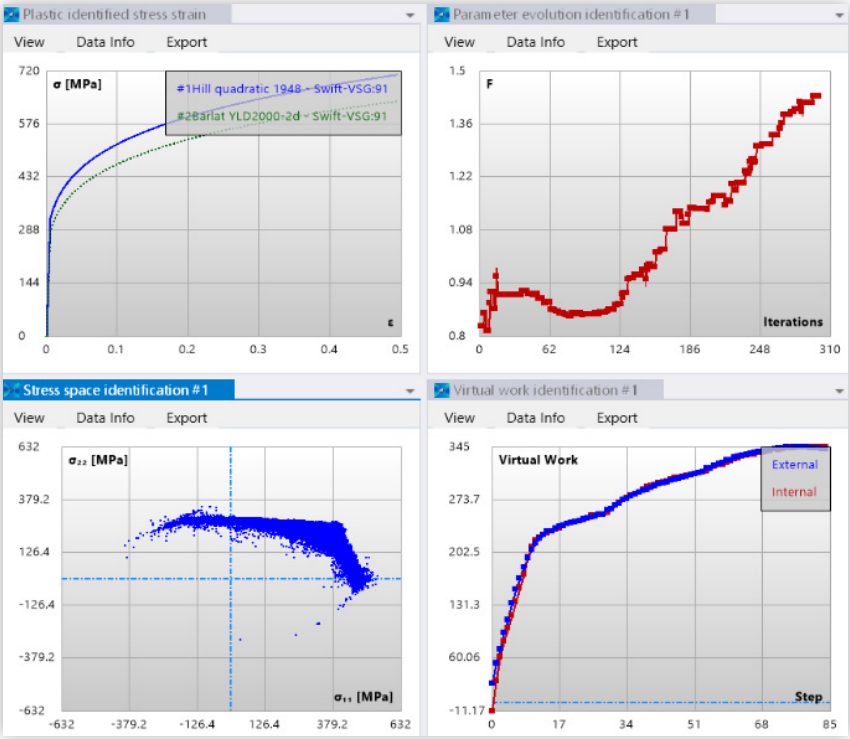
Na eksperyment DIC składa się szereg prostych zabiegów. W pierwszej kolejności określa się wielkość analizowanego pola widoku, obejmującego zasięgiem próbkę przed odkształceniem i po nim. Na tej podstawie można dobrać kamerę o pożądanej rozdzielczości, określającej dolne ograniczenie co do dokładności pomiaru. Następnie definiuje się rozmiar minimalnego pola (subsetu), obejmującego zwykle od 3 do 5 pikseli. Wybór wielkości subsetu jest niezbędny do przeprowadzenia procesu korelacji podobszarów badanej próbki. Ostatnim elementem przygotowawczym jest sposób nanoszenia wzoru na próbkę i jego ostateczna aplikacja.

Gdy metodologia działania i sprzęt pomiarowy zostały już wybrane, należy sztywno zamocować kamery (w analizie 2D jedną kamerę), tak by spełniały powyższe założenie pola widoku, z względnym kątem odchylenia między 15 a 35° (w przypadku jednej kamery musi być ona ustawiona pod kątem prostym do badanego obiektu).

Kolejnym etapem jest ustawienie ostrości kamer, zaczynając od maksymalnie otwartej przysłony. Następnie przymyka się ją, kompensując skutki wydłużaniem czasu naświetlania lub dodaniem źródeł światła. Skutkuje to dużą głębią pola widoku, pożądaną przy zmianie odległości obiektu od kamery podczas obciążania. Ostatnim etapem jest



Rys. 5 Przykładowa analiza drgań płyty



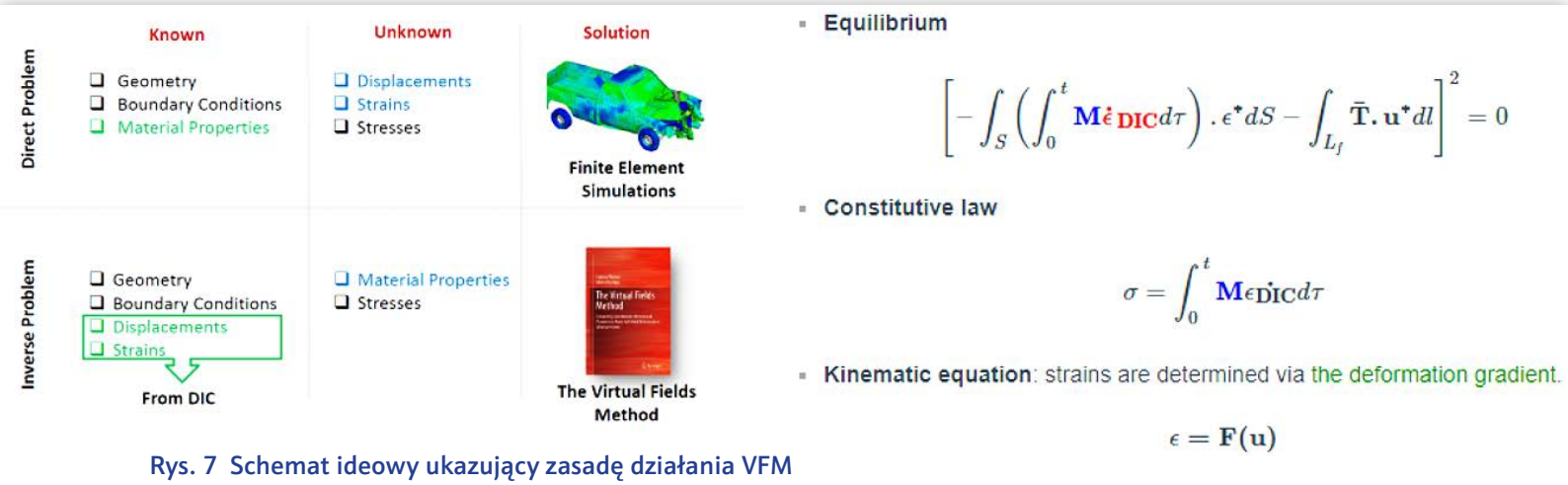
Rys. 6 Badania identyfikacyjne materiału

kalibracja umożliwiająca między innymi określenie dystorsji soczewek obiektywów i określenie wzajemnych położeń użytych kamer, a pozostałe kroki są wykonywane za pomocą oprogramowania.

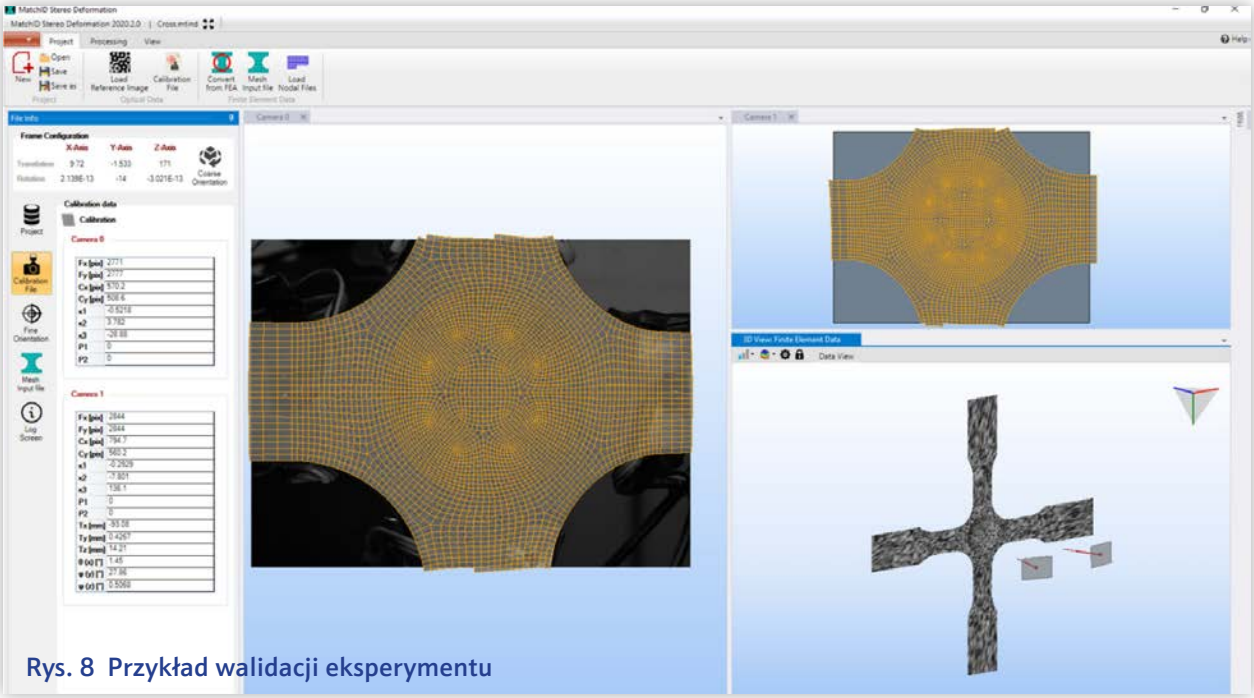
KIERUNKI ROZWOJU METOD OPTYCZNYCH DO BADANIA MATERIAŁÓW

Ogromny potencjał optycznej techniki pomiarowej spowodował, że możliwości tej metodologii są stale rozwijane, umożliwiając między innymi analizy procesów szybkozmiennych, drgań czy badania identyfikacyjne parametrów materiałowych (Rys. 3, 5, 6). Całości towarzyszą zaawansowane systemy oprogramowania, które minimalizują wysiłek potrzebny do poprawnego wykonania pomiarów, a także umożliwiają walidację wyników wykorzystując równoważne analizy MES (Rys. 8) czy szacowanie niepewności pomiarowych (Rys. 9). Innym silnym atutem tej metody jest jej możliwa adaptacja zarówno w badaniach mikroskalowych, jak i w przypadku rozległych struktur.

Wczesne podejście do identyfikacji parametrów materiałowych zakładało porównywanie wyników analizy MES z zarejestrowanym eksperymentem. Rozwój dziedziny umożliwił bezpośrednią identyfikację parametrów materiałowych w systemie DIC, korzystając z zarejestrowanych pól odkształceń i sił pochodzących z maszyny wytrzymałościowej. Nowy rodzaj analizy bazuje na metodzie pól wirtualnych (*Virtual Field Method* – VFM). W przeciwieństwie do bezpośredniego sformułowania zagadnienia MES, gdzie poszukiwane jest rozwiązanie pól przemieszczeń, odkształceń i naprężeń przy znanych z góry parametrach materiałowych, w przypadku VFM znane z eksperymentu DIC dane przemieszczeniowe i odkształceniowe są wykorzystywane do odnalezienia własności materiałowych. Zagadnienie to sprowadza się do minimalizacji funkcjonału równowagowego poprzez znalezienie nieznanej macierzy konstytutywnych parametrów materiałowych M (Rys. 7). Takie podejście jest rozwiązaniem stopniowo rozwijanym od lat dziewięćdziesiątych.



Rys. 7 Schemat ideowy ukazujący zasadę działania VFM

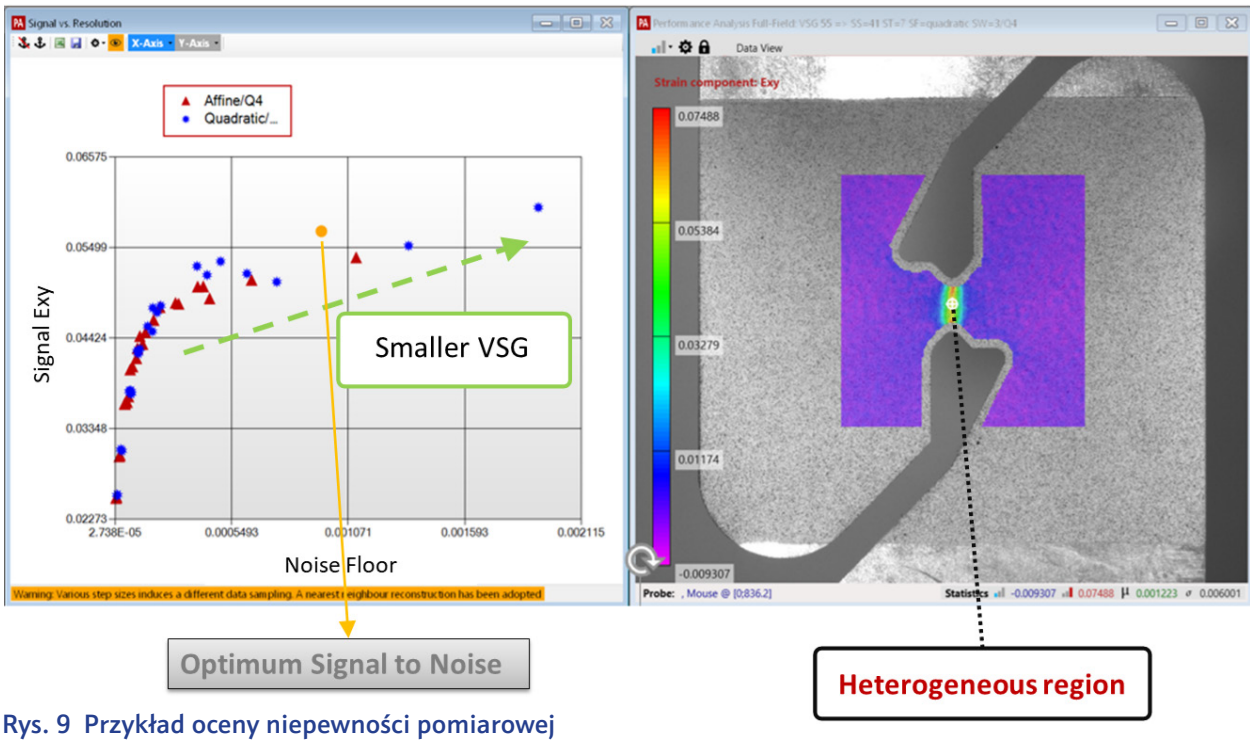


Rys. 8 Przykład walidacji eksperymentu

VFM umożliwia znaczące skrócenie czasu badań materiałów i ilości używanych próbek, zapewniając przy tym natychmiastowe wyekstrahowanie wszystkich niezbędnych parametrów, które można następnie zaaplikować do symulacji czy precyzyjnego modelowania struktur materiałowych. Kluczowym pomysłem jest redukcja ilości badań i jednoczesna kombinacja złożonych stanów naprężeniowych w jednej próbce. Nieodzowną zaletę stanowi też zredukowane zużycie materiału do testowania.

NOWY POTENTAT SYSTEMÓW DIC

Prężnie rozwijającym się graczem na arenie systemów DIC jest firma MatchID, która poza samym systemem do analiz wizyjnych oferuje oprogramowanie inżynierskie z szeregiem narzędzi eksperymentalno-badawczych, optymalizacyjnych, połączone z intuicyjnym interfejsem, który znacząco skraca proces przygotowania eksperymentu, i jednocześnie odznaczające się dużą szybkością działania. Producent oferuje bogatą i stale

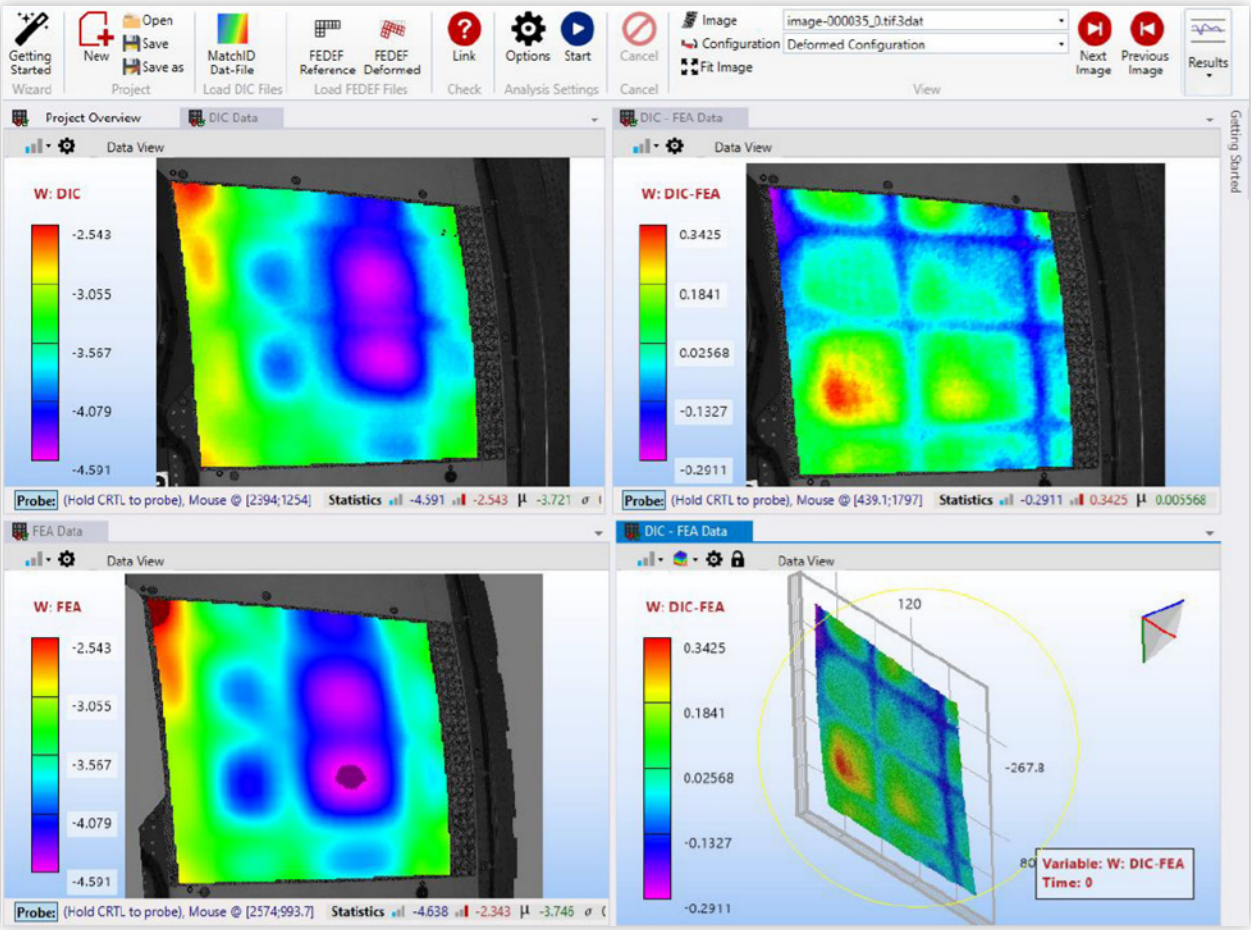


Rys. 9 Przykład oceny niepewności pomiarowej

rozszerzaną bibliotekę modeli materiałowych, umożliwiających, dzięki sprzężeniu związkami konstytutywnymi z polem odkształceń, wyznaczenie parametrów materiałowych. Ciekawym rozwiązaniem jest też wspólna platforma dla użytkowników umożliwiająca dzielenie się własnymi skryptami do wyspecjalizowanych analiz. Ten aspekt rozszerza horyzonty badań zapewniając możliwość tworzenia własnych modeli materiałowych, pisanych w niemal dowolnym, wybranym przez siebie języku programowania, poza liczną bazą materiałów już zaimplementowanych uwzględniających cechy: sprężyste, plastyczne, hipersprężyste, lepko-sprężyste i lepko-plastyczne. Dzięki temu analizy mogą być dokonywane dla szerokiej gamy materiałów, takich jak: wszelkiego rodzaju metale, ale i tworzywa sztuczne oraz kompozyty, w zakresie których firma stale rozszerza możliwości systemu. Definitywnie jednak najsilniejszym atutem oprogramowania jest zdolność do rozpoznawania parametrów materiału via VFM, co z pewnością w perspektywie kilku lat stanie się wiodącym sposobem identyfikacji materiałów na szeroką skalę, a już teraz oferuje przodującą alternatywę do metod konwencjonalnych.

Poza analizami materiałowymi funkcjonalność systemu sięga znacznie dalej i umożliwia dokonywanie rozważań na tle pełnych, rozbudowanych układów. System może być wykorzystany zarówno do analiz pracy budowli, w tym całych konstrukcji przęseł mostowych, jak i przy badaniu obciążenia maszyn i urządzeń mechanicznych (Rys. 10), a nawet do pomiarów geologicznych, np. ruchu lodowców, czyniąc system możliwym do adaptacji w dowolnych warunkach. Ponadto system MatchID jest zbudowany w sposób oferujący dostęp do algorytmów przetwarzania, umożliwiając również prace naukowe, będąc jednocześnie łatwym w użyciu narzędziem inżynierskim.

Adam Chełchowski
www.invenco.pl

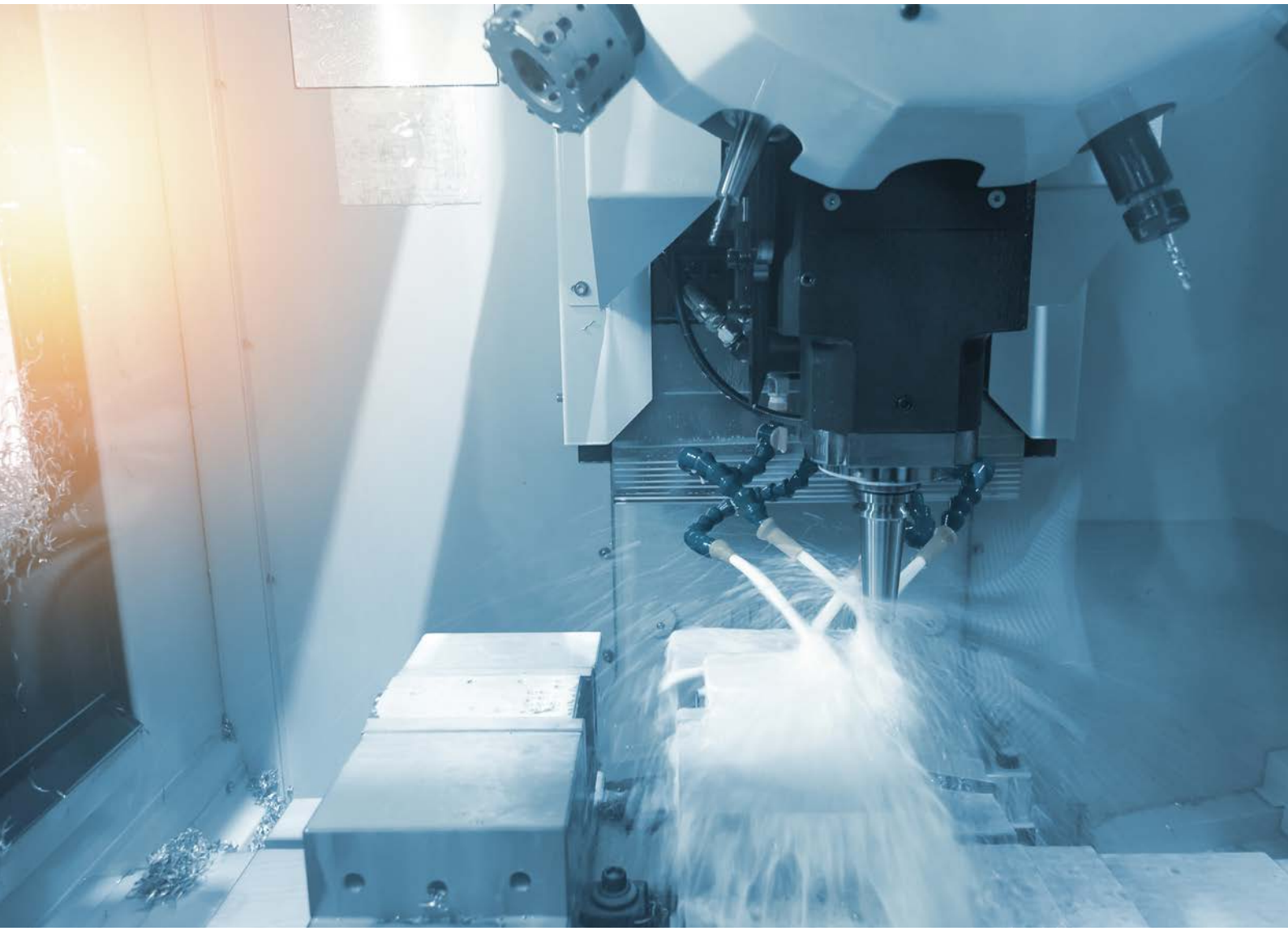


Rys. 10 Badanie kadłuba samolotu pod wpływem ciśnienia

Wybrane aspekty produktywnego skrawania na wieloosiowych obrabiarkach CNC

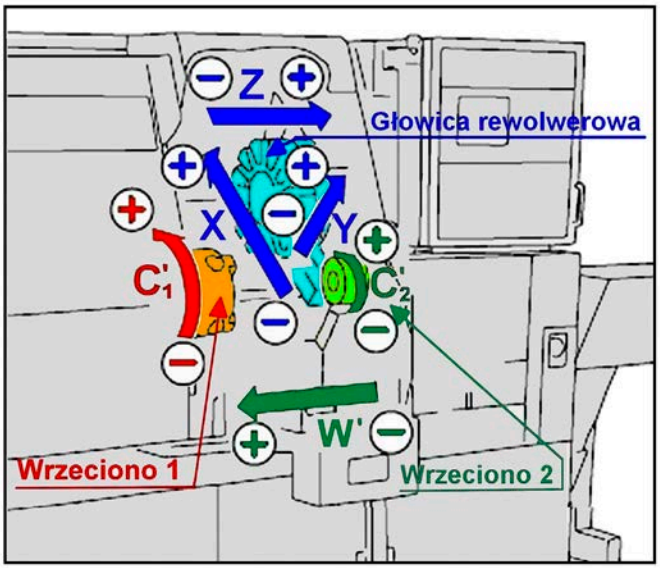
cz. 2

Kazimierz Czechowski



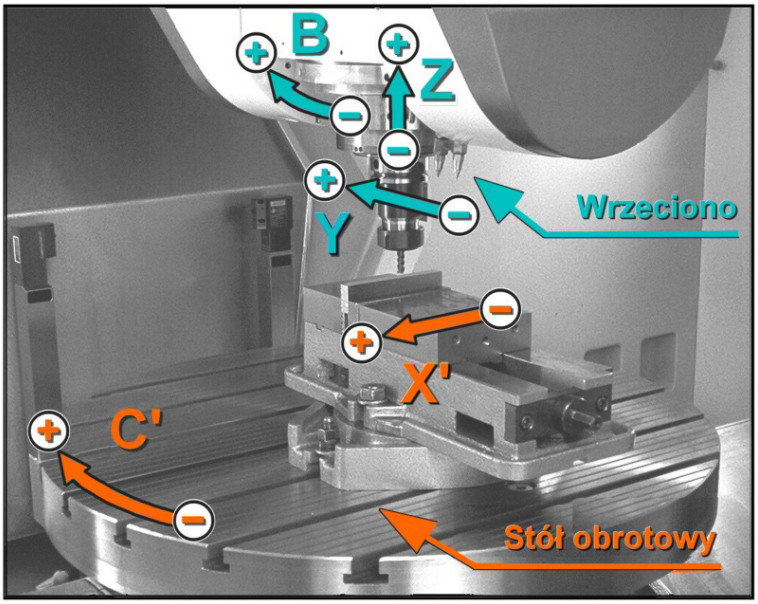
W uzupełnieniu do omówionej **w części pierwszej artykułu** [1] nomenklatury osi i ruchu dla maszyn sterowanych numerycznie, zdefiniowanej w normie ISO 841:2001(E), na rysunku 1 przedstawiono przykład układu osi współrzędnych centrum tokarsko-frezarskiego z głowicą rewolwerową (w tym z narzędziami napędzanymi obrotowymi) i z wrzecionem przechwytującym (zamiast konika). Z kolei rysunek 2 przedstawia przykład układu osi współrzędnych centrum frezarskiego pionowego ze stołem obrotowym i z uchylną (skrętną) w jednej osi głowicą z wrzecionem (tu sprostowanie: rysunek 7 przedstawiony w części pierwszej artykułu dotyczy centrum tokarsko-frezarskiego, a nie frezarskiego).

Na tokarkach oraz centrach obróbkowych tokarskich i tokarsko-frezarskich oś Z jest zwykle osią obrotu wrzeciona przedmiotowego, a na frezarkach i centrach obróbkowych frezarskich oś Z jest zwykle osią obrotu wrzeciona narzędziowego, co jest zgodne z przyjętą w normie ISO 841:2001(E) zasadą, że ruch wzdłuż osi Z jest równoległy do osi wrzeciona głównego, które może nadawać ruch obrotowy narzędziu lub przedmiotowi obrabianemu. Dodatni zwrot osi Z odpowiada oddalaniu się narzędzia skrawającego od przedmiotu obrabianego. W oznaczeniach osi na rysunkach 1 i 2 uwzględniono, zgodnie z normą ISO 841:2001(E), że osie współrzędnych dotyczące ruchów narzędzia (zespołów narzędziowych) oznacza się literami X, Y, Z, A, B, C itd., a osie współrzędnych dotyczące ruchów przedmiotu obrabianego (zespołów przedmiotowych) oznacza się także ww. literami, ale z indeksem „prim". Podczas przesuwania narzędzia zwrot ruchu i zwrot osi są równe (ruchy dodatnie są oznaczone: +X, +Y, +Z, +A, +B, +C itd.), a podczas przesuwania przedmiotu obrabianego zwrot ruchu i zwrot osi są przeciwne (dla wskazania zwrotu przeciwnego ruchy dodatnie przedmiotu obrabianego są oznaczone: +X', +Y', +Z', +A', +B', +C' itd.), czyli przykładowo zwrot osi –X = +X' ruchu obrabianego przedmiotu.



Rys. 1 Przykład układu osi współrzędnych z oznaczeniami wg normy ISO 841:2001(E) centrum tokarsko-frezarskiego z głowica rewolwerową (w tym z napędzanymi narzędziami obrotowymi) oraz wrzecionem przechwytującym (zamiast konika)

Przedstawione zasady, podane w normie ISO 841:2001(E), umożliwiają programiście opisanie operacji obróbki bez konieczności posiadania wiedzy, czy narzędzie zbliża się do przedmiotu obrabianego lub czy przedmiot obrabiany zbliża się do narzędzia, gdyż standardowo podawane są współrzędne przemieszczenia narzędzia (lub punktu w przestrzeni roboczej lub na rysunku) w odniesieniu do przedmiotu obrabianego.



Rys. 2 Przykład układu osi współrzędnych z oznaczeniami wg normy ISO 841:2001(E) centrum frezarskiego ze stołem obrotowym i z uchylną głowicą z wrzecionem

Nowoczesne tokarki oraz centra obróbkowe tokarskie i tokarsko-frezarskie wyposażone w układy sterowania CNC przeznaczone są do wysokowydajnej i precyzyjnej obróbki z celem wykonywania w jednym załadowaniu przedmiotu możliwie dużej liczby zabiegów oraz na jednym stanowisku możliwie dużej liczby operacji, a nierzadko uzyskania kompletnie lub prawie kompletnie obrobionego przedmiotu. Dlatego ww. obrabiarki mają często (jak to widać na rysunku 1) oprócz wrzeciona głównego ze sterowanym numerycznie obrotem, także wrzeciono przechwytujące z takim sterowaniem, które umożliwia po przechwycie obróbkę przedmiotu z drugiej strony. Uzyskanie dużej wydajności obróbki najczęściej wiąże się także z zastosowaniem wielopozycyjnej głowicy rewolwerowej (coraz częściej więcej niż jednej), mającej dużą liczbę uchwytów narzędziowych (w tym pozycje/gniazda dla napędzanych narzędzi obrotowych), jak również ze stosowaniem automatycznego podajnika półwyrobów (prętów). Głowica rewolwerowa zwykle umożliwia przemieszczanie się narzędzia w osiach Z, X, Y, a czasem także w osi B. Na tego rodzaju obrabiarkach CNC możliwe jest wykonywanie, oprócz zabiegów tokarskich, także zabiegów z wykorzystaniem narzędzi obrotowych typu frezy, wiertła, rozwiertaki i gwintowniki, co umożliwia obróbkę przedmiotów o bardziej złożonych kształtach, z otworami i kieszeniami rozmieszczonymi promieniowo lub wzdłużnie, w tym przesuniętych względem osi wrzeciona, obróbkę krzywek, mimośrodów, wykorbień, a w przypadku możliwości obrotu w osi B – obróbkę otworów, kieszeni i płaszczyzn pod kątem. Oczywiście centra obróbkowe tokarsko-frezarskie w wielu przypadkach nie zastąpią centrów obróbkowych frezarskich, zwłaszcza przy obróbce przedmiotów o większych gabarytach, co wynika z ograniczeń dotyczących m.in. przestrzeni obróbkowej i zakresów przemieszczeń w osiach, zwłaszcza przy obróbce wymagającej przemieszczeń nie tylko w osiach Z i X, ale także w osi Y i B. Nowoczesne frezarki i centra obróbkowe frezarskie wyposażone w układy sterowania CNC także są przeznaczone do wysokowydajnej i precyzyjnej obróbki – i w tym przypadku również dąży się do wykonywania w jednym załadowaniu możliwie dużej liczby zabiegów i na jednym stanowisku możliwie dużej liczby operacji, a nierzadko również do uzyskania kompletnie lub prawie kompletnie obrobionego przedmiotu; w szczególności, gdy są to przedmioty mające większe gabaryty lub złożone kształty wymagające obróbki wieloosiowej. Z uwagi na to ww. obrabiarki w wersji wieloosiowej mają często (jak widać na rysunku 2) stół obrotowy oraz uchylną (skrętną) w jednej osi głowicę z wrzecionem (wrzeciennik), albo w innych wariantach mają stół skrętny w dwóch osiach, względnie mają wrzeciennik skrętny w dwóch osiach [2, 3].

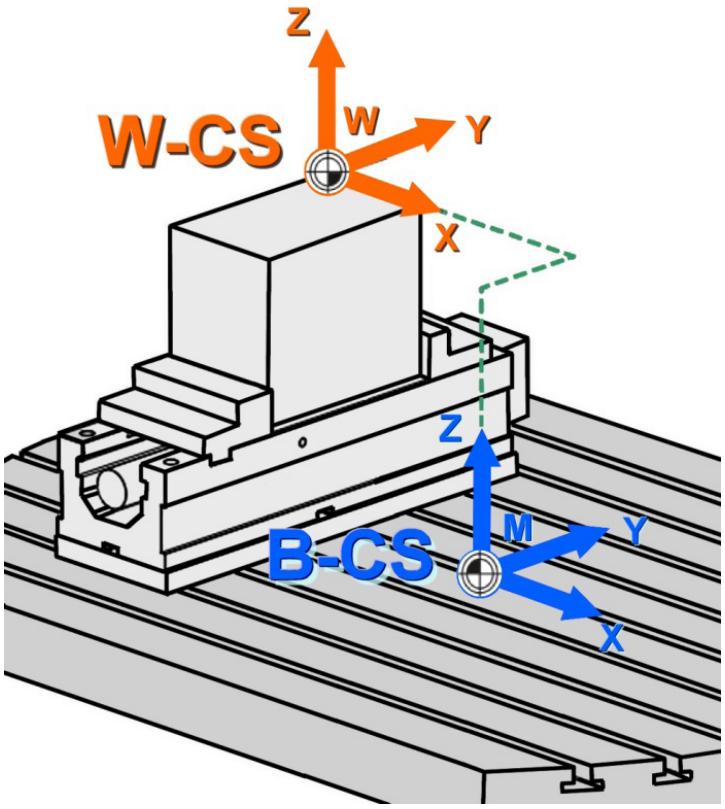
Dla programującego proces obróbki na obrabiarce CNC i dla operatora ją obsługującego ważne są m.in. następujące rodzaje układów osi współrzędnych występujących na obrabiarce (oraz związane z nimi punkty charakterystyczne obrabiarki) [4, 5]:

1. Maszynowy układ współrzędnych M-CS (***Machine Coordinate System***), który tworzą sterowane numerycznie osie (związane z prowadnicami i innymi elementami konstrukcyjnymi obrabiarki), mające niezależne napędy i układy pomiarowe. Układ maszynowy może być układem prostokątnym, walcowym, sferycznym lub o złożonym charakterze; może również składać się z kilku jednowymiarowych układów odpowiadających fizycznym osiom obrabiarki, które niekoniecznie są prostopadłe do siebie. Układ ten jest układem rzeczywistym, czyli obarczonym błędami wykonawczymi, takimi jak np. błędy prostoliniowości, równoległości i prostopadłości, błędy podziałki itp. Jeżeli błędy te są znane, to drogą programową mogą być kompensowane. W układzie tym odbywa się sterowanie, czyli współrzędne zadane w innych układach osi współrzędnych są przeliczane na układ maszynowy osi współrzędnych przez sterownik CNC i na odwrót

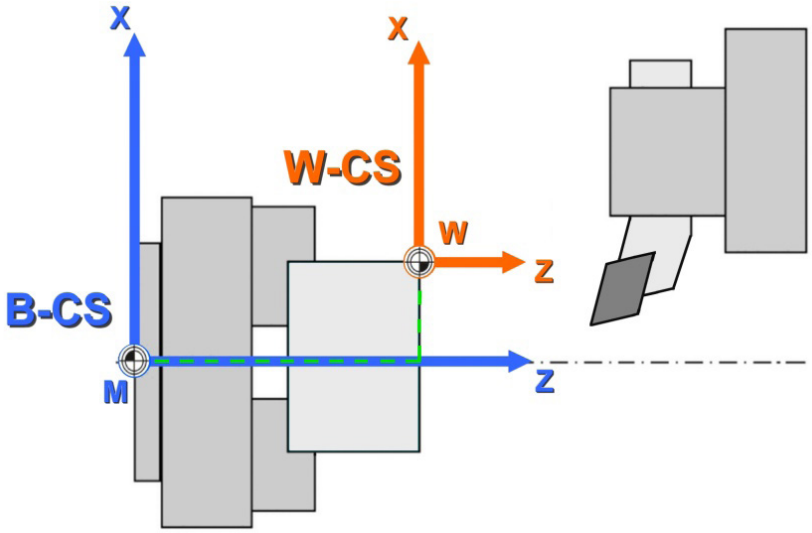
– bieżące współrzędne maszynowe są przeliczane na inne układy osi współrzędnych. W układzie maszynowym możemy wyróżnić m.in. punkt zerowy obrabiarki będący początkiem maszynowego układu osi współrzędnych, który definiuje producent obrabiarki (przy czym punkt zerowy obrabiarki na skutek ww. błędów usytuowania osi może nie leżeć w teoretycznym punkcie przecięcia fizycznych osi, czyli może leżeć także poza zakresem przemieszczenia). W oparciu o punkt zerowy (maszynowy), oznaczany literą M, ustalane są inne punkty odniesienia, w tym m.in. punkt referencyjny, punkt odniesienia narzędzi, punkt wymiany narzędzia, punkty wymiany palet itp.

2. Bazowy układ współrzędnych B-CS (*Basic Coordinate System*), zwany też podstawowym, będący prostokątnym prawoskrętnym układem osi współrzędnych, stanowiącym podstawę do programowania; odniesiony jest do przedmiotu obrabianego zamocowanego na obrabiarce, traktowanego jako nieruchomy, przy przemieszczającym się narzędziu (zakłada się względny ruch narzędzia względem nieruchomego przedmiotu obrabianego). Osie współrzędnych układu bazowego powinny być równoległe do głównych prowadnic obrabiarki. Oznaczenia osi współrzędnych, zgodne z normą ISO 841:2001(E), omówiono **w poprzedniej części artykułu**. Orientacja bazowego układu współrzędnych, przy braku transformacji kinematycznych, odpowiada maszynowemu układowi współrzędnych (początek układu B-CS jest w punkcie maszynowym M). Wyjątki występują jeśli producent obrabiarek wykorzystuje dodatkowe kinematyczne transformacje. Bazowy układ współrzędnych jest niezbędny dla określenia położenia i orientacji układu współrzędnych obrabianego przedmiotu. W układzie bazowym także definiowane są korektory narzędziowe, wyznaczana jest kompensacja promienia narzędzia, wyznaczane są transformacje układu przedmiotu, ustawiane są granice obszaru obróbki i wykonywane są obliczenia toru ruchu narzędzia.

3. Układ współrzędnych przedmiotu W-CS (*Workpiece Coordinate System*), będący prostokątnym prawoskrętnym układem osi współrzędnych, którego początkiem jest aktywny punkt odniesienia. Określenie położenia i orientacji układu współrzędnych przedmiotu przeprowadza się w odniesieniu do układu bazowego, np. za pomocą sondy dotykowej. Na rysunkach 3 i 4 przedstawiono przykłady układów współrzędnych przedmiotu (W-CS) odniesionych do bazowego układu współrzędnych (B-CS) dla frezarki/centrum frezarskiego oraz dla tokarki/centrum tokarskiego (lub centrum tokarsko-frezarskiego). Określone wartości odniesione do bazowego układu współrzędnych układ sterowania obrabiarki zachowuje jako wartości bazowe w odpowiedniej tabeli/bazie punktów odniesienia. Wybór układu współrzędnych przedmiotu zależy od sposobu wymiarowania przedmiotu lub ustalenia baz technologicznych; w jednym programie sterującym obróbką możliwe jest użycie kilku różnych



Rys. 3 Przykład układu współrzędnych przedmiotu (W-CS) odniesionego do bazowego układu współrzędnych (B-CS) na frezarce/centrum frezarskim CNC



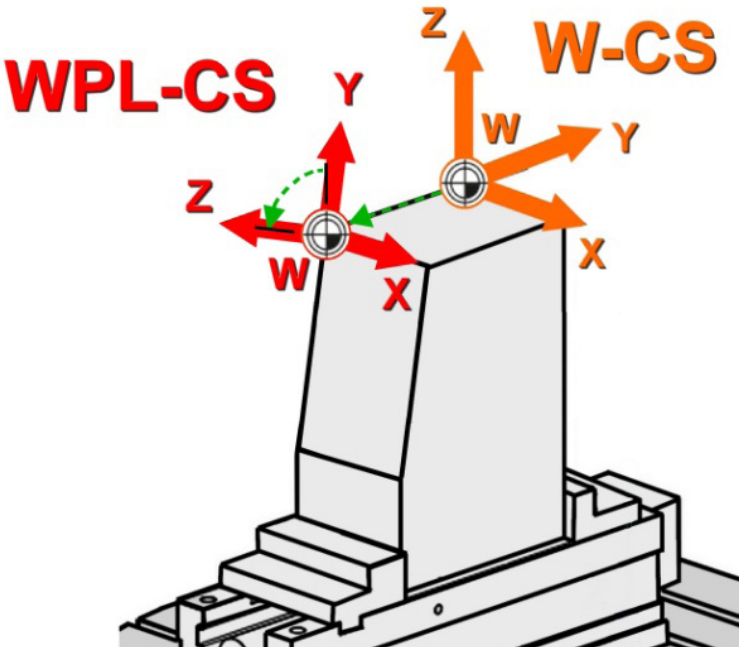
Rys. 4 Przykład układu współrzędnych przedmiotu (W-CS) odniesionego do bazowego układu współrzędnych (B-CS) na tokarce/centrum tokarskim CNC

układów współrzędnych przedmiotu. Punkt zerowy przedmiotu, czyli punkt początku układu W-CS, oznaczany literą W, programista wybiera dowolnie, jednak warunkiem poprawnej pracy obrabiarki jest wprowadzenie do układu sterowania informacji o położeniu tego punktu.

4. Układ współrzędnych płaszczyzny obróbki WPL-CS (***Working Plane Coordinate System***) jest to prostokątny prawoskrętny układ osi współrzędnych, którego położenie i orientacja są zależne od aktywnych transformacji w układzie współrzędnych przedmiotu (W-CS). W układzie W-CS definiowane jest przy pomocy transformacji położenie i orientacja układu współrzędnych płaszczyzny obróbki (WPL-CS), co przedstawiono na rysunku 5 dla frezarki CNC, gdzie układ WPL-CS jest pochylony oraz przesunięty względem układu współrzędnych przedmiotu W-CS.

Zagadnienia produktywnego skrawania na wieloosiowych obrabiarkach CNC będą kontynuowane w dalszych częściach, głównie w aspekcie procesu technologicznego oraz programowania obróbki przedmiotów z pochylonymi powierzchniami.

dr inż. Kazimierz Czechowski



Rys. 5 Przykład układu współrzędnych płaszczyzny obróbki (WPL-CS) uzyskanego przez transformację układu współrzędnych przedmiotu (W-CS) na frezarce CNC

Bibliografia:

[1] Czechowski K., *Wybrane aspekty produktywnego skrawania na wieloosiowych obrabiarkach CNC – cz. 1*. Projektowanie i Konstrukcje Inżynierskie nr 11-12, 2021, s. 30-35.

[2] Honczarenko J., *Współczesne obrabiarki a technologiczność konstrukcji przedmiotów.* Mechanik nr 10, 2011, s. 761-787.

[3] Czechowski K., Stós J., Wronska I., *Wybrane aspekty zwiększania produktywności we frezowaniu – cz. V. Rozwój obrabiarek i systemów CAD/CAM*. Stal Metale & Nowe Technologie nr 3-4, 2012, s. 14-18.

[4] Nikiel G., *Programowanie obrabiarek CNC na przykładzie układu sterowania Sinumerik 810D/840D*. ATH, Bielsko-Biała, 2004.

[5] *Heidenhain TNC-620. Instrukcja obsługi dla użytkownika. Konfigurowanie, testowanie i odpracowywanie programów NC.* DR. JOHANNES HEIDENHAIN GmbH, 2019.

Plazma: materia, która umożliwia innowacje w rozwiązaniach powierzchniowych

oerlikon balzers

Jak powstaje plazma

Plazma jest czwartym stanem skupienia materii, który występuje obok formy stałej ciekłej i gazowej. Wysoka temperatura powoduje, że elektrony odłączają się od struktury atomowej, która tworzy mieszaninę wolnych cząstek – dodatnio naładowanych jonów i ujemnie naładowanych elektronów. Im więcej z nich jest obecnych w plazmie, tym bardziej jest ona zjonizowana. Stopień jonizacji może wynosić od 1 do 100%.

Gdzie znajduje się plazma?

W życiu codziennym rzadko kiedy możemy zaobserwować plazmę, jednak ten stan materii jest bardzo częsty we wszechświecie. Przykładami występowania tej formy jest słońce, które jak większość gwiazd składa się z plazmy. Podobnie jak mgławice fazowe i przestrzeń międzygwiezdna. Plazma również występuje naturalnie na ziemi: jako zorza polarna czy błyskawice. Przy temperaturach do 30 000 °C błyskawica może lokalnie ogrzewać atmosferę ziemi do tego stopnia, że atomy ulegają jonizacji, a powstałą plazmę postrzegamy jako błysk światła. Czwarty stan skupienia ma wiele zastosowań technicznych, jednak aby mógł być wykorzystywany do praktycznych celów, musi być wytwarzany sztucznie z użyciem elektryczności lub silnych wiązek laserowych.

W jakim celu stosuje się plazmę?

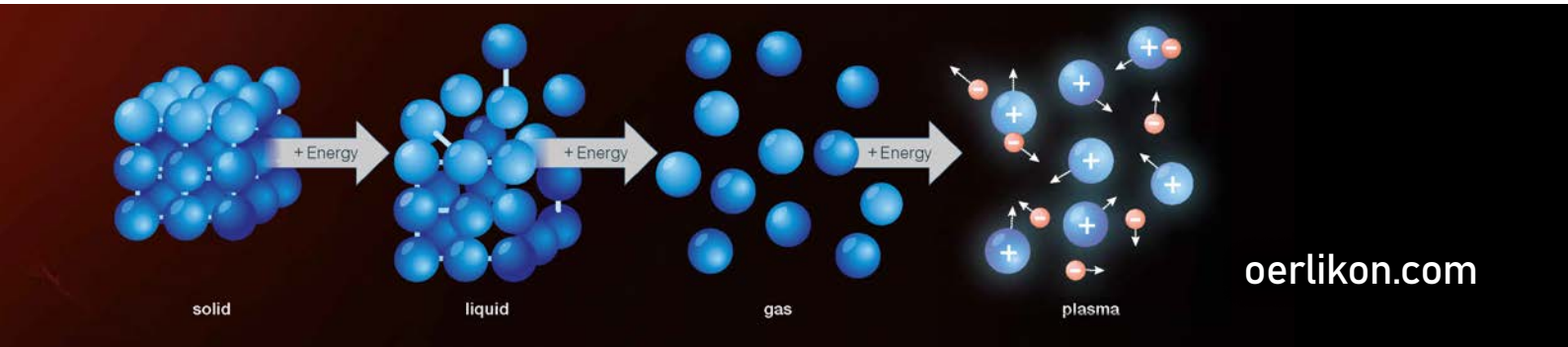
Plazma jest dobrym przewodnikiem i jest czuła na magnetyzm. Dzięki różnorodnym właściwościom, może być stosowana do wielu procesów. W energooszczędnych lampach fluorescencyjnych, wyświetlaczach plazmowych, do dezynfekcji instrumentów medycznych, a nawet do syntezy jądrowej w reaktorach. Oerlikon Balzers i Oerlikon Metco używają plazmę do wytwarzania powłok. "Jeśli chodzi o zastosowania, pracujemy na dwóch końcach spektrum plazmowego", zgadzają się naukowcy – Alessandro Zedda (Oerlikon Balzers) i Alexander Barth (Oerlikon Metco).

Natryskiwanie plazmą atmosferyczną: wysokie ciśnienie i wysoka gęstość

W większości procesów natrysku termicznego praca odbywa się pod ciśnieniem atmosferycznym. Surowiec do powlekania jest podawany w postaci proszku o wielkości ziarna od 10 do 100 mikrometrów. Jest on stopiony w wąskim strumieniu plazmy (o średnicy od 6 do 10 mm) i rozpylany na powierzchnię, która ma być pokryta. Temperatura plazmy może osiągnąć do 20 000 °C, co odpowiada temperaturze powierzchni naszego słońca! Dzięki temu można stopić dowolny materiał. Poprzez precyzyjne zrównoważenie właściwości plazmy i materiału, uzyskuje się optymalną powłokę. Generator plazmy składa się z dyszy lub anody, przez którą gaz przepływa w sposób ciągły, oraz elektrody lub katody, która znajduje się koncentrycznie w dyszy. Dodatnio naładowana dysza i ujemnie naładowana elektroda tworzą parę elektryczną, jonizując w ten sposób płynący gaz i przekształca go w plazmę. Surowiec jest następnie podawany do strumienia plazmy, gdzie topi się i jest kierowany na powierzchnię roboczą." Cała energia elektryczna jest przekształcana w ciepło, dzięki temu proces wytwarzania powłok jest bardzo wydajny. Współpracujemy z partnerami i uniwersytetami w zakresie badań nad powłokami, a odkrycia są na bieżąco wdrażane do nowych produktów Oerlikon Metco", wyjaśnia Alexander Barth.

Powłoki PVD: niskie ciśnienie i niska gęstość

Przy wysokiej jakości, ultracienkich powłokach PVD plazma jest wytwarzana poprzez odparowanie atomów z metalicznego źródła. Jony są następnie tworzone przez oddzielenie elektronów od atomów. Jony te są przyciągane do podłoża, które ma być powlekane przez zastosowanie napięcia elektrycznego i uderzają w nie z dużą energią. Tak rozproszone cząsteczki na jego powierzchni łączą się ze sobą, tworząc cienką, gęstą powłokę. Aby zapobiec kolizji z cząsteczkami powietrza podczas ich "podróży" stosuje się wysoka próżnię. Wytwarzanie plazmy wymaga dużej ilości energii. W procesie wykorzystuje się wysokie napięcie, nawet do kilkuset woltów. Jakość powłoki zależy nie tylko od wyboru materiału źródła, ale także od przyłożonego potencjału i energii plazmy. "Konstrukcja źródeł plazmy jest bardzo ważna dla jakości powstałych powłok. Dlatego w Oerlikon Balzers prowadzimy ciągłe badania nad poprawą zarówno źródeł plazmy, jak i samych powłok", wyjaśnia Alessandro Zedda.



Ferrari 296 GTS – sześciocylindrowy i hybrydowy

Wiosenna premiera Ferrari 296 GTS, podobnie jak jego ubiegłorocznego poprzednika 296 GTB, wywołała wiele dyskusji i komentarzy medialnych. Potwierdziły one tylko, że Ferrari to dla samochodów podobnej klasy nie konkurent, a punkt odniesienia. Każda premiera obserwowana jest z niezwykłą uwagą, zarówno w przypadku samochodów drogowych, jak i wyścigowych.

Ryszard Romanowski

Przede wszystkim zarzucano marce, że nie tylko zaczęła budować samochody hybrydowe, ale że również wprowadziła silnik sześciocylindrowy. O ile napędy hybrydowe stosowane są od lat w Formule 1, i to w przypadku samochodu drogowego można słynnej marce wybaczyć, to zastosowanie silnika sześciocylindrowego krytykowano mocno. Dla wielu napęd Ferrari to przecież wyłącznie dwanaście cylindrów. Można było jakoś przejść do porządku dziennego w przypadku ośmiu cylindrów, ale sześciu? Przywoływano historię sześciocylindrowego Dino z lat sześćdziesiątych, dotąd nie uznawanego przez fabrykę za Ferrari.

Zapomina się jednak, że od początku istnienia marki samochody drogowe był czymś w rodzaju produktu ubocznego, który zapewniał przetrwanie zespołom wyścigowym. Bogaci klienci często musieli czekać na swój zamówiony i opłacony pojazd wiele miesięcy, bo firma zajęta była rozwojem konstrukcji wyścigowych. Szef Enzo Ferrari w tym wypadku był bezkompromisowy.

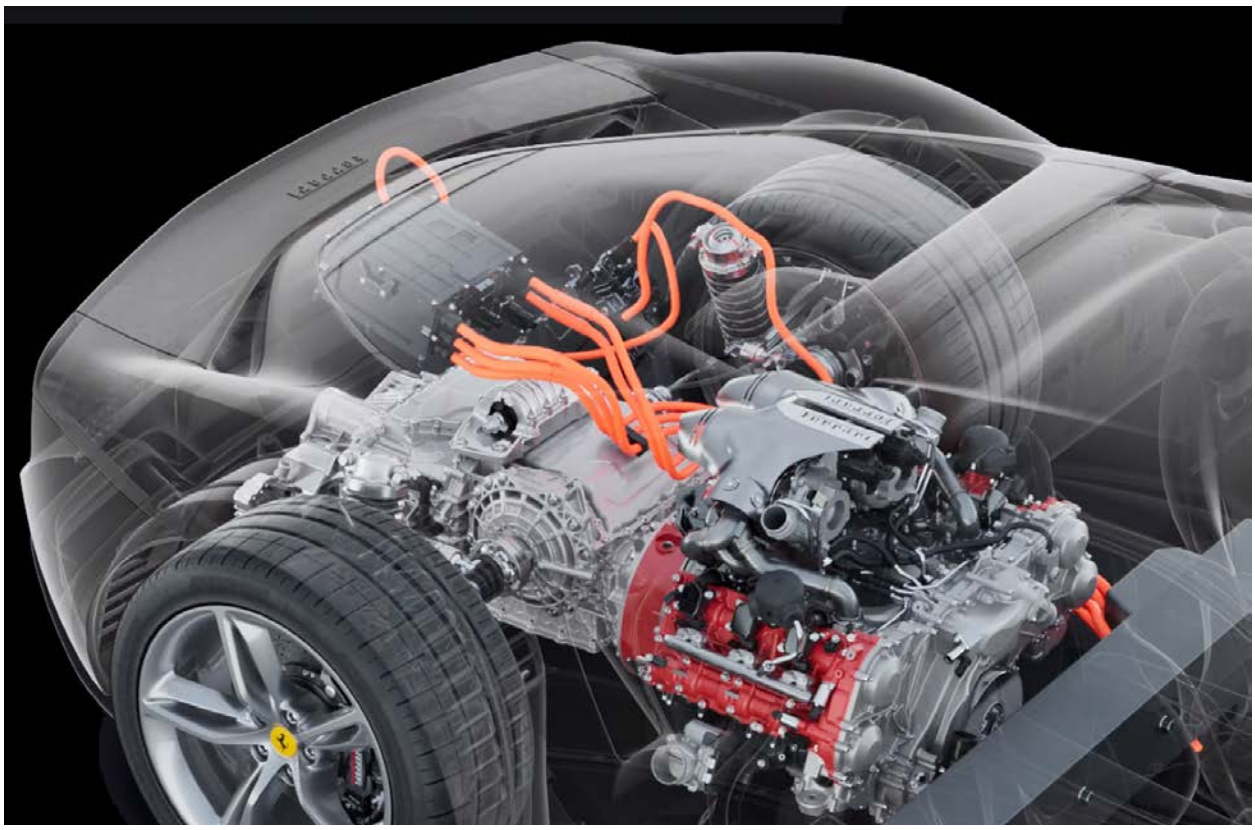
W zależności od obowiązujących regulaminów wyścigowych budowano silniki cztero-, sześcio-, ośmio- i dwunastocylindrowe. Legendarnym inżynierom, takim jak Gioacchino Colombo, Aurelio Lampredi czy Mauro Forghieri nie sprawiało to większych trudności. Efekty ich pracy potwierdzały niezliczone zwycięstwa na torach. Zastosowane przez nich rozwiązania do dzisiaj można znaleźć w zwykłych samochodach drogowych, np. marki Fiat.

Dino nie miał być kolejnym Ferrari. Samochód nazwany imieniem zmarłego syna szefa firmy miał być początkiem nowej marki; mniejszym i tańszym „dzieckiem" słynnej marki. Niestety rynek nie przyjął go zbyt dobrze i plan nie wypalił.

Tyle tytułem historycznych wyjaśnień. Powróćmy do najnowszego spidera.

Napęd modelu 296 GTS składa się z silnika spalinowego o sześciu cylindrach w układzie V, rozchylonych o 120°. Pomiędzy cylindrami umieszczono dwie turbosprężarki. Jednostka znana już z modelu 296 GTB, zaprezentowanego w 2021 roku, jest lekka i zapewnia utrzymanie środka ciężkości samochodu bardzo nisko. Architektura silnika optymalizuje wewnętrzną

Sześciocylindrowy, widlasty silnik o kącie rozwarcia cylindrów 120°



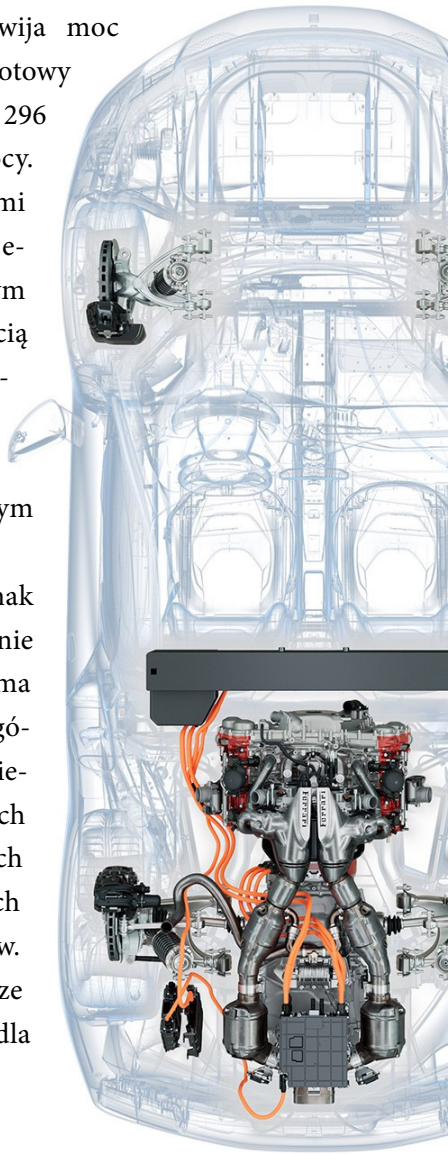
dynamikę płynów dzięki zmniejszeniu objętości wewnętrznych kanałów i skróceniu drogi ładunku powietrza do komór spalania. Łańcuch rozrządu, współpracujący z napinaczem hydraulicznym, napędza zespół pomp wody i oleju. Napinacz dostosowuje kalibrację pracy lewej i prawej strony silnika odpowiednio sterując pracą zaworów poprzez popychacze hydrauliczne. Centralne wtryskiwacze zasilają komory spalania mieszanką pod ciśnieniem 350 bar. Trzylitrowy silnik osiąga 221 KM z każdego litra pojemności skokowej.

Zastosowano rezonator układu wydechowego typu *hot-tube*, zapewniający odpowiedni dźwięk silnika i oczekiwane wartości ciśnień.

Dwuwirnikowy, jednostojanowy elektryczny silnik osiowy zapewnia niewielką długość układu napędowego, umożliwiając skrócenie rozstawu osi samochodu, co wpłynęło korzystnie na właściwości jezdne. Zastosowano system *Plug-in Hybrid Electric Vehicle* z napędem na tylne koła, z rozwiązaniami z Formuly 1. *Transition Manager Actuator* (TMA) pozwala na błyskawiczne przejście z trybu elektrycznego do hybrydowego. Wysokonapięciowy akumulator ma pojemność 7,45 kWh.

Silnik elektryczny rozwija moc 167 KM i moment obrotowy 315 Nm. Łącznie napęd 296 GTS generuje 830 KM mocy. Zgodnie z wymaganiami samochód może przejechać w trybie elektrycznym około 10 km z prędkością około 100 km/h. Żartobliwie można zaryzykować stwierdzenie, że staje się wtedy najwolniejszym Ferrari w historii marki.

Najciekawsza jest jednak aerodynamika, szczególnie że po raz pierwszy firma ujawniła wiele jej szczegółów. W Maranello istnieje jeden z największych i najlepiej wyposażonych tuneli aerodynamicznych do badania samochodów. To miejsce, którego wnętrze dostępne jest jedynie dla



Galleria del Vento – tunel aerodynamiczny Ferrari w Maranello

wykwalifikowanych pracowników. Szczególnie po niedawnym śmiertelnym wypadku w znacznie mniejszym tunelu Pininfariny.

W modelu 296 GTS wszystkie komponenty krytyczne pod względem wytwarzania ciepła umieszczone są w środkowej części komory silnika. Pozwala to na bardziej efektywne zarządzanie ciepłem, zarówno w wypadku samej komory silnika, jak i w przypadku komponentów elektrycznych. Elementy zarządzania silnikiem ICE potrafią osiągać temperatury przekraczające 900 °C, a wiele części elektronicznych musi działać w znacznie niższej temperaturze.

Chłodzenia wymaga również układ hamulcowy, w którym zastosowano zaciski Aero, zawierające w odlewach kanały wentylacyjne. Konstrukcja ta wymaga opracowania kanałów kierujących powietrze przez wloty w przednim zderzaku poprzez nadkola. Wloty zostały zintegrowane z konstrukcją reflektorów, a kanały poprowadzono równolegle z rozpórką podwozia. Tym samym wyeliminowano konieczność zastosowania jakichkolwiek aktywnych elementów aerodynamicznych.

Charakterystyczne jest wycięcie w środku przedniego spojlera, zwane tacką na herbatę. Tylna powierzchnia zderzaka współdziała z górną

Ferrari 296 GTS – widok z przodu. Widoczne wkomponowane w dzwudzielne reflektory otwory wlotowe kanałów chłodzących hamulce kół przednich. Na środku przedniego zderzaka, u dołu znajduje się charakterystyczna „tacka na herbatę", odpowiedzialna za generowanie korzystnego rozkładu ciśnienia w przedniej części pojazdu

Wizualizacja ruchu powietrza pod samochodem. Widoczne elementy sterujące przepływem

powierzchnią „tacki" wytwarzając pole wysokiego ciśnienia, przeciwdziałające jego obniżaniu, które jest jest charakterystyczne dla podobnych konstrukcji pozbawionych „tacki". Dwa różne obszary ciśnień pozostają oddzielone aż do brzegów „tacki". W dwóch punktach pola różnego ciśnienia spotykają się, tworząc spójny i naładowany energią wir kierowany pod podwozie. Wirowy ruch sprawia lokalne przyśpieszenie przepływu powodując wysoki poziom „przyssania", czyli zwiększenia docisku przedniej osi.

Zagięcie w bocznej powierzchni samochodu powoduje bardziej efektywne ukierunkowanie przepływu i jego maksymalizację w dolnej części zderzaka. Charakterystyczny bok zderzaka, uzupełniony tzw. pionowym holderem, generuje lokalny obszar rekompresji i zwiększa siłę docisku oraz wydajność wyciągu gorącego powietrza z chłodnic.

Umieszczona z boku zderzaka kurtyna kieruje powietrze w stronę nadkola doprowadzając je poprzez umieszczony w nadkolu kanał, który jest skalibrowany tak, aby powodował poprzeczne rozszerzenie śladu.

W środkowej części podwozia następuje obniżenie powierzchni (prześwitu) do minimalnej, zgodnej z przepisami homologacyjnymi. Zwiększa to siłę docisku do podłoża. Ponowna, niewielka zmiana wysokości w górę powierzchni podwozia maksymalizuje jakość strumienia powietrza i wprowadza je w pionowe generatory wirów, których geometria ma wpływ na tylną część podwozia, zapewniając stabilność w każdych warunkach.

Aktywny spoiler zwiększa docisk przy dużych prędkościach o 100 kG, a schowany nie zakłóca linii nadwozia

Rozbudowana aerodynamika przedniej części samochodu zmieniła nieco konstrukcję tyłu. Zastosowano konfigurację o niskim oporze powietrza LD. Dopiero gdy wymagane jest jego zwiększenie, przy dużych prędkościach, uaktywnia się spoiler, zwiększając jego siłę o 100 kG. Powstaje konfiguracja o dużym oporze HD.

Aktywny spoiler zintegrowany z tylnym zderzakiem i znacznie mniej skomplikowany tylny dyfuzor pomogły stylistom w opracowaniu efektownej bryły tylnej części samochodu. Było to możliwe dzięki zastosowaniu zacisków Aero, które zajmują znacznie mniej miejsca niż poprzednio stosowane konstrukcje.

W GTS Spider zadbano również o komfort, taki jak w wersji GTB Coupe, niwelując turbulencje wokół kokpitu, poprzez skierowanie powietrza do tylnej części nadwozia.

Podczas jazd testowych Ferrari 296 pokazywał swoje prawdziwe możliwości bardzo szybko pokonując ciasne apenińskie zakręty i niewiele sobie robiąc z licznych nierówności drogi. Demonstrowano zainstalowane oprogramowanie wspomagające kierowcę, w którym szczególnie efektowny był system Lauch Control. Wspomaganie startu tak dobierało parametry silnika do stanu nawierzchni górskiej drogi, że do rozpędzenia od 0 do 100 km/ h wystarczyło mniej niż 3 sekundy. Nic dziwnego, że pracownicy nowy silnik V6 nazywają małą dwunastką.

Ryszard Romanowski

media.ferrari.com

▪ REKLAMA

3Dconnexion

Keyboard Pro Special Bundle

Wyjątkowy zestaw narzędzi 3Dconnexion dla profesjonalistów: klawiatura Keyboard Pro with Numpad (NOWOŚĆ) i zaawansowana mysz CadMouse Pro Wireless w superpromocji.
Postaw na wygodę, precyzję i szybkość pracy!

+ gratis

3dconnexion.com/shop

Zestaw z bezpłatnym CadMouse Pro Wireless jest dostępny do 31 lipca 2022 w sklepie internetowym 3Dconnexion oraz u wybranych partnerów handlowych.

INŻYNIERIA ODWROTNA (*Reverse Engineering*) w CATIA 3DEXPERIENCE cz. 2

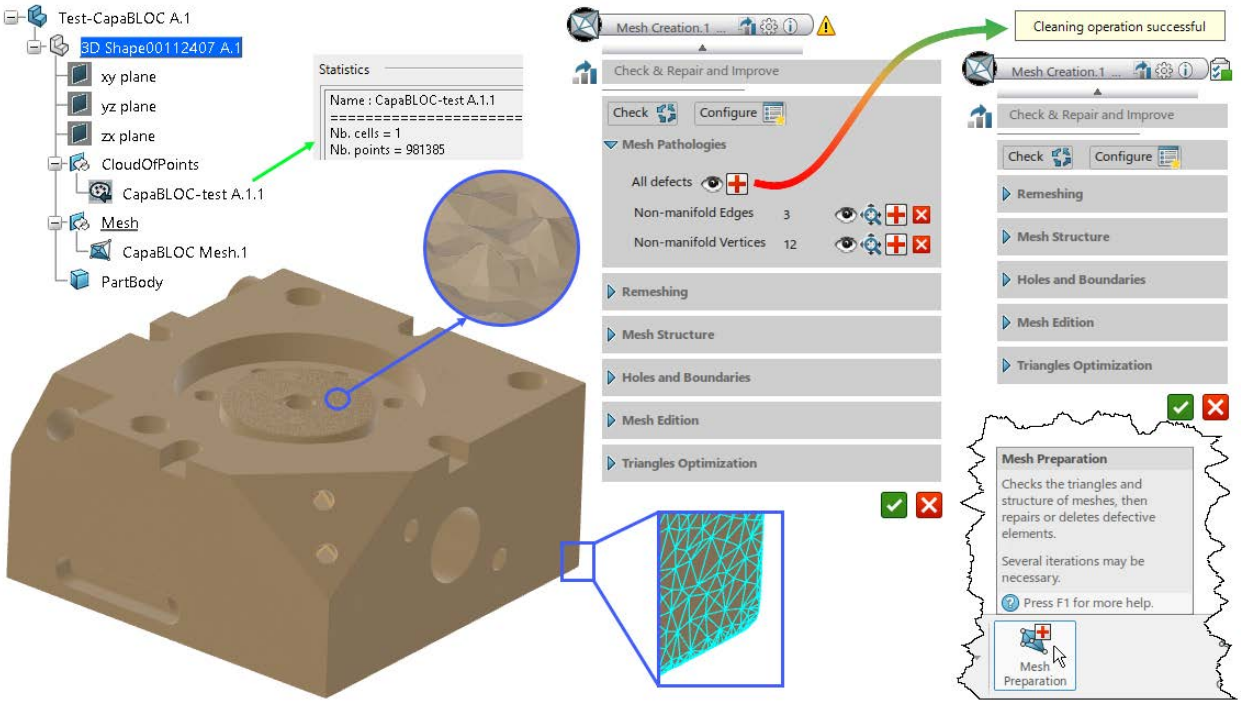
Kontynuując temat rozpoczęty w poprzednim odcinku tego cyklu chciałbym omówić proces rekonstrukcji modelu przestrzennego na platformie 3DEXPERIENCE na podstawie rezultatu skanowania rzeczywistego komponentu.

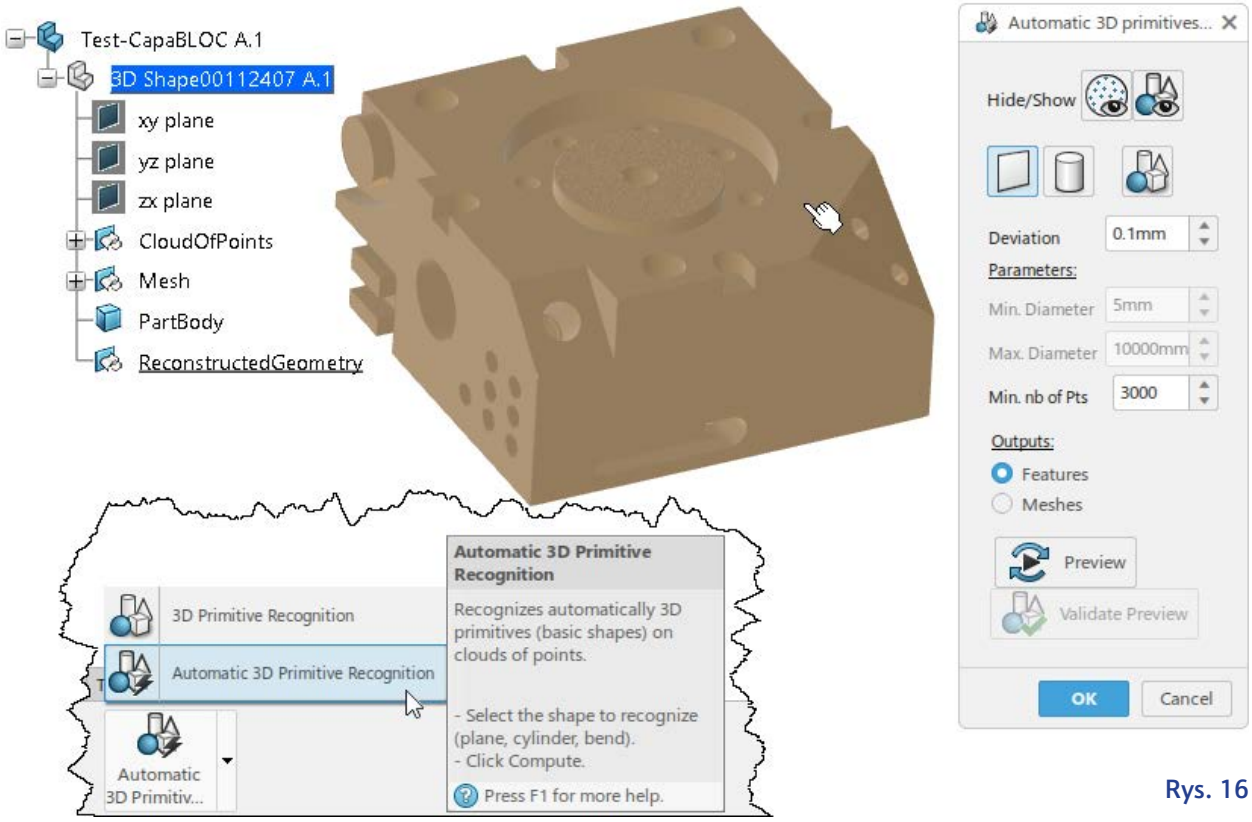
Andrzej Wełyczko

PRZYKŁAD 2

Rozważmy proces rekonstrukcji modelu przestrzennego komponentu (*Test-CapaBLOC* na rysunku 15), którego kształt jest zdefiniowany za pomocą powierzchni kanonicznych. Import chmury punktów oraz generowanie siatki, jako mało interesujące pominięto, aby skupić się na istocie procesu rekonstrukcji. Generowanie siatki (tu: *CapaBLOC Mesh.1*) nie jest konieczne, ale bardzo przydatne i to nie tylko w celu lepszej wizualizacji, ale także po to, aby zidentyfikować i skorygować problemy w definicji siatki, związane wprost z dokładnością skanowania, czyli jakością chmury punktów. Chmura punktów zastosowana w definicji siatki nie jest mała (*Nb. points = 981385*) i jak widać nie jest bardzo precyzyjna. Dlatego przed rozpoczęciem procesu rekonstrukcji warto upewnić się, że rekonstrukcja będzie bazowała na poprawnie

Rys. 15





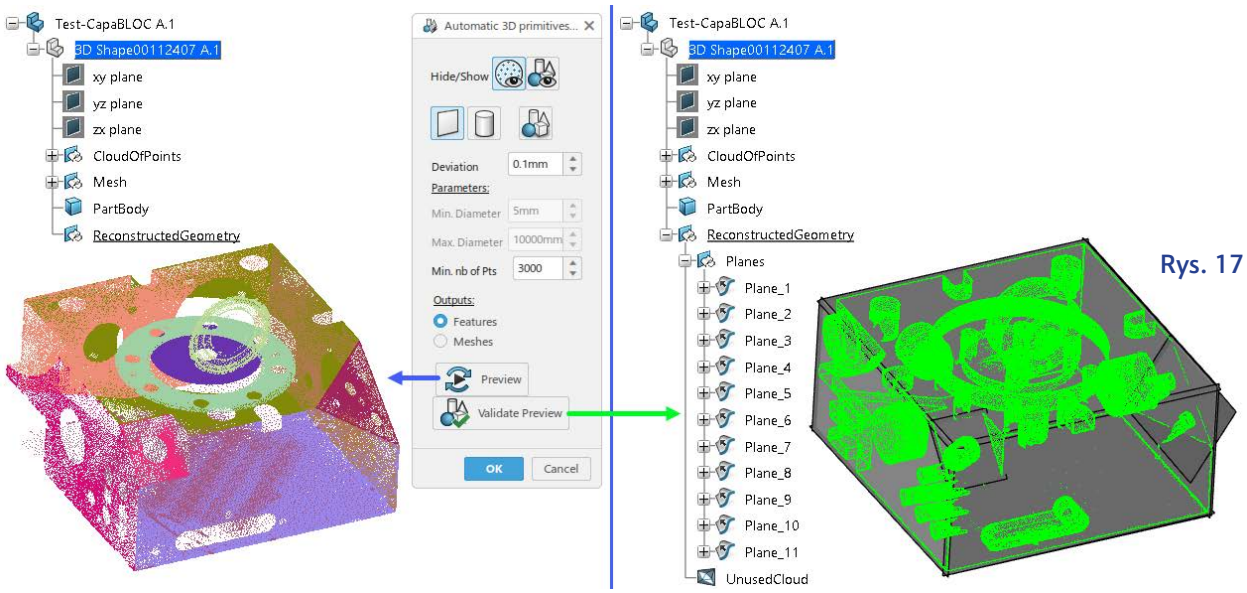
Rys. 16

zdefiniowanej siatce. W tym celu zastosowano polecenie *Mesh Preparation*, które umożliwia nie tylko kompleksową analizę siatki, ale także automatyczną naprawę zidentyfikowanych defektów.

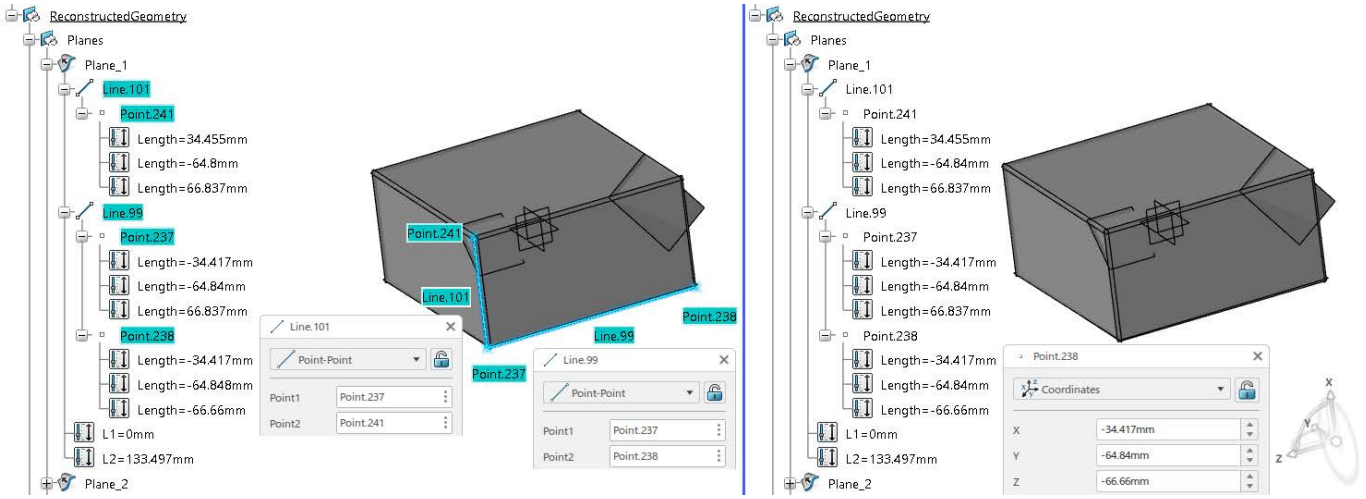
Jeśli proces rekonstrukcji ma być automatyczny to proponuję zastosowanie polecenia *Automatic 3D Primitive Recognition* (Rys. 16).

Po wykonaniu tego polecenia system generuje automatycznie wszystkie możliwe do rozpoznania dla wskazanej chmury punktów lub siatki powierzchnie płaskie lub cylindryczne. Zalecana metoda pracy polega na tym, aby w pierwszym kroku zdefiniować główne, czyli relatywnie duże powierzchnie płaskie. W tym celu należy zdefiniować dużą liczbę punktów dla rozpoznawanych powierzchni (na przykład *Min. Nb Pts = 3000* na rysunku 17). Istotna jest także wartość odchylenia generowanej powierzchni od chmury punktów – im bardziej dokładna siatka tym mniejsza wartość parametru *Deviation*.

W wyniku zastosowania tego polecenia otrzymujemy zestaw powierzchni płaskich oraz pozostałą do rozpoznania chmurę punktów. Powierzchnie płaskie



Rys. 17



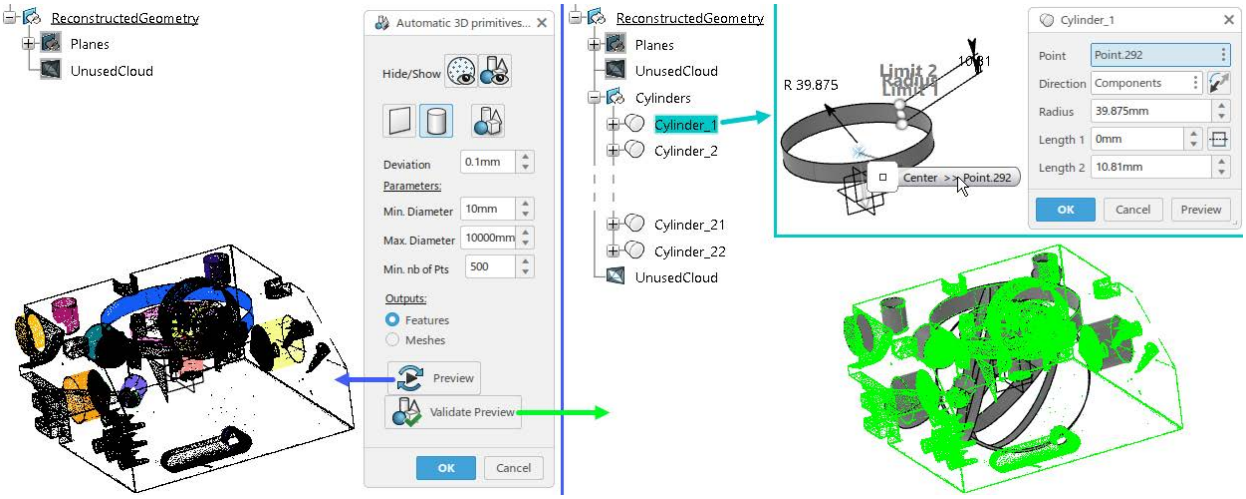
Rys. 18

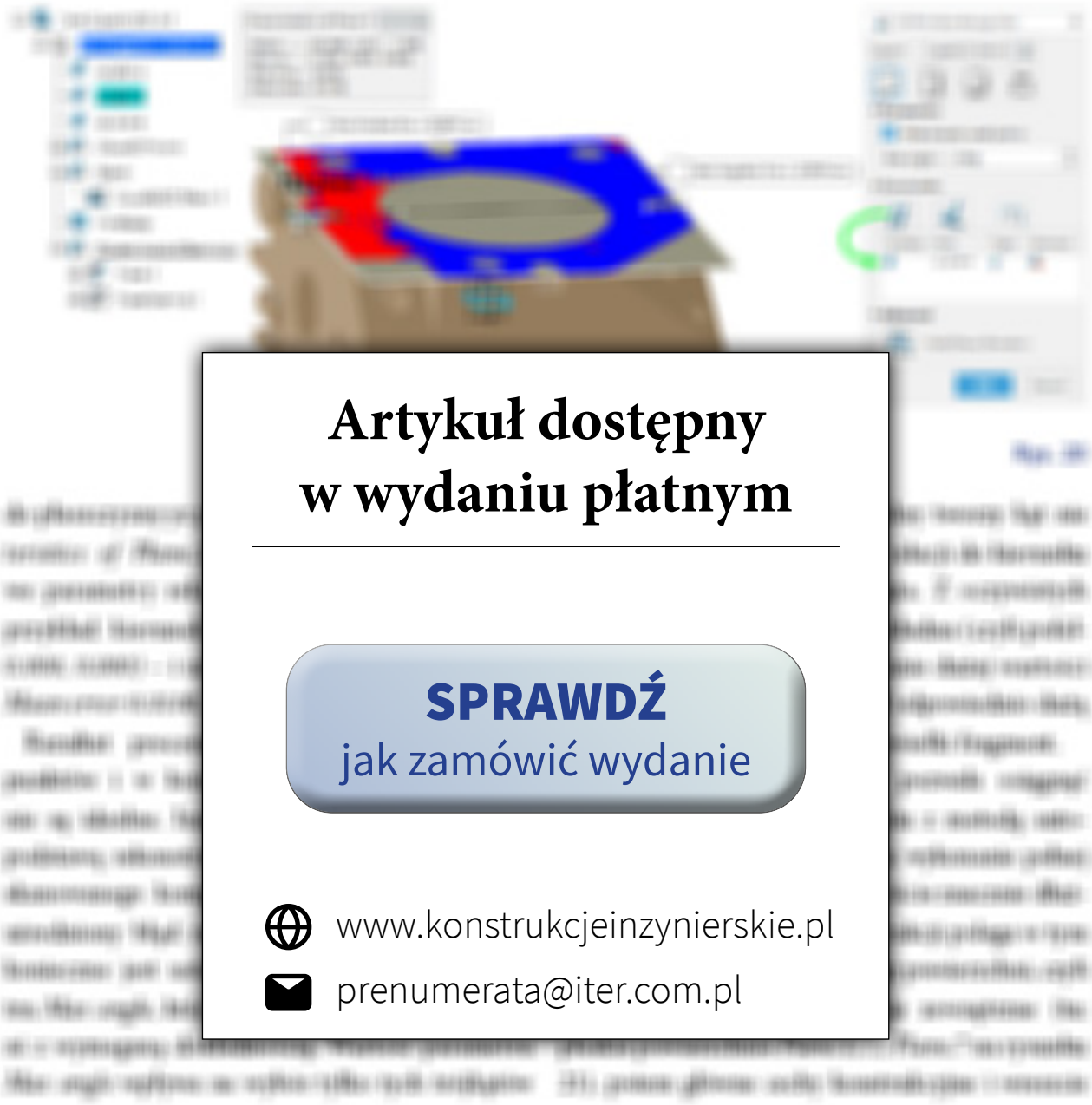
są typu *Extrude*, czyli są zdefiniowane za pomocą dwóch linii mających wspólny punkt początkowy. Zrekonstruowane powierzchnie są w pełni parametryczne, bo współrzędne punktów definiujących linie mogą być dowolnie modyfikowane. Na przykład (Rys. 18) dla linii *Line.101* zmodyfikowano współrzędne punktów *Point.241* i *Point.237* w taki sposób, aby była ona równoległa do osi X, a dla linii *Line.99* zmodyfikowano współrzędne punktu *Point.238* w taki sposób, aby była ona równoległa do osi Z. Po takiej modyfikacji powierzchnia *Plane_1* jest prostopadła do płaszczyzny YZ i równoległa do płaszczyzny XZ.

Podobnie są generowane powierzchnie cylindryczne (Rys. 19), a ich liczba zależy od wartości parametru *Min. Nb of Pts*. Także i w tym przypadku oś, promień i długość powierzchni są zdefiniowanie parametrycznie. Oczywiście w kolejnych krokach należy odrzucić zbędne fragmenty tak wygenerowanych powierzchni, czyli zastosować polecenia *Split* i *Join* lub *Trim* dla powierzchni płaskich i cylindrycznych.

Taka metoda, chociaż szybka, to jednak ma pewne wady. Po pierwsze liczba generowanych powierzchni może być duża, a to utrudnia ich identyfikację oraz dalszą „obróbkę". Po drugie automatyczne rozpoznawanie działa tylko dla powierzchni płaskich i cylindrycznych. Po trzecie automatycznie generowane powierzchnie nie mogą być zdefiniowane z zachowaniem relacji typu równoległość (dla powierzchni płaskich) czy zadany promień i/lub prostopadłość (dla powierzchni cylindrycznych), które w przypadku rekonstrukcji takiego typu części są niezwykle istotne. Takie relacje mogą być zdefiniowane w procesie manualnym, czyli za pomocą polecenia *3D Primitive Recognition*. Na przykład (Rys. 20) wskazany obszar siatki może być rozpoznany jako powierzchnia płaska z zachowaniem równoległości

Rys. 19



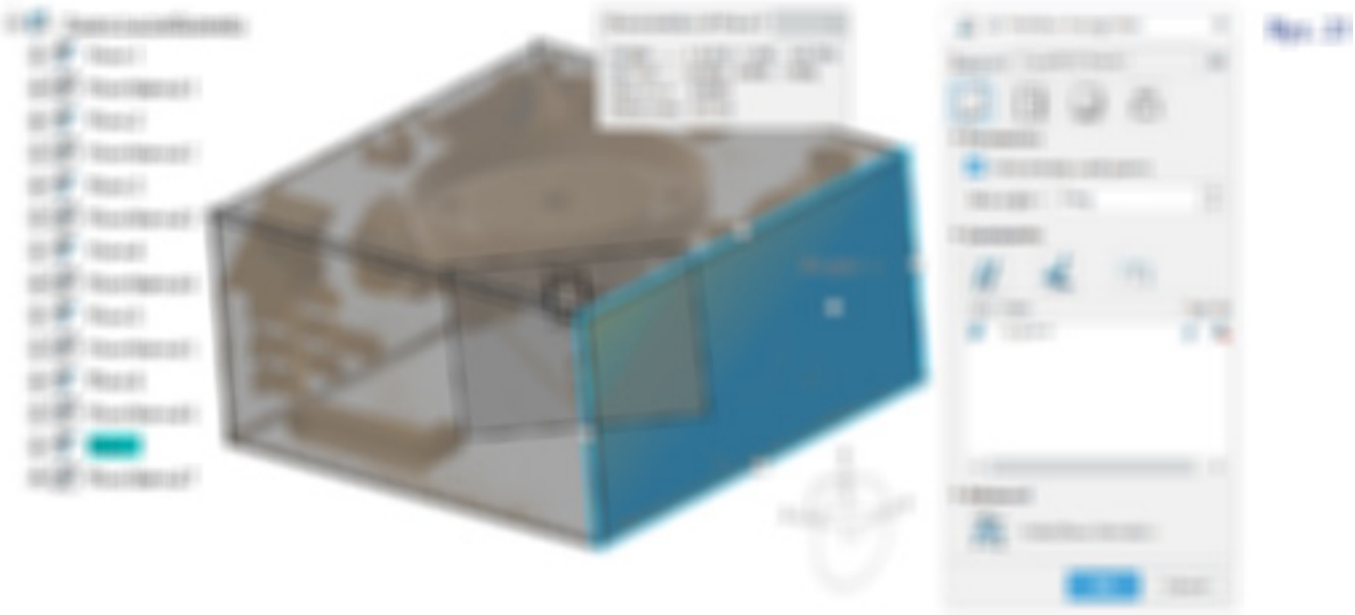


Artykuł dostępny w wydaniu płatnym

SPRAWDŹ
jak zamówić wydanie

www.konstrukcjeinzynierskie.pl

prenumerata@iter.com.pl



Wytwarzanie dynamicznie obciążanych elementów strukturalnych karoserii samochodu w technologiach przyrostowych

cz. 3: Optymalizacja procesu SLM w celu zwiększania wydajności przetopu proszku metalicznego

Artykuł jest kontynuacją publikacji opisującej założenia i przebieg projektu AM-Crash dotyczącego wytwarzania elementów strukturalnych obciążanych dynamicznie w technologiach przyrostowych. Poprzednie części tego cyklu dostępne są w wydaniach grudzień/2021 i luty/2022 „Projektowania i Konstrukcji Inżynierskich". W tej części opisujemy skutki zwiększenia tempa budowy modeli przestrzennych za sprawą opracowania nowego zestawu parametrów procesowych dla przetopu stali o średniej zawartości manganu.

Marcin Kasprowicz

MATERIAŁ

Na potrzeby projektu firma Salzgitter Mannesmann Forschung dostarczyła proszek nowego stopu o składzie chemicznym odpowiadającym niskowęglowej stali średnio-manganowej (Tab. 1). Skład ten zapewnia uzyskanie mikrostruktury, w której w wyniku energii zderzenia nastąpi zainicjowanie i propagacja przemiany austenitu w martenzyt, przy zaabsorbowaniu znacznej ilości energii uderzenia.

Proszek został wytworzony metodą atomizacji gazowej, zgodnie z wymaganiami technologii LPBF (*Laser Powder Bed Fusion*) (wielkość frakcji: 20-63 µm). Przeprowadzone na Politechnice Wrocławskiej badania pozwoliły na ocenę jakości dostarczonego materiału. Analizując próbkę proszku w mikroskopie elektronowym SEM można stwierdzić, że występuje duża ilość cząstek o mniejszej frakcji przylepionych do powierzchni większych cząstek, tzw. satelity, zaznaczone czerwonymi strzałkami na rysunku 1. Sferyczność cząstek nie jest idealna, jednak po przeprowadzeniu testu sypkości proszek spełnia wymagania technologii LPBF.

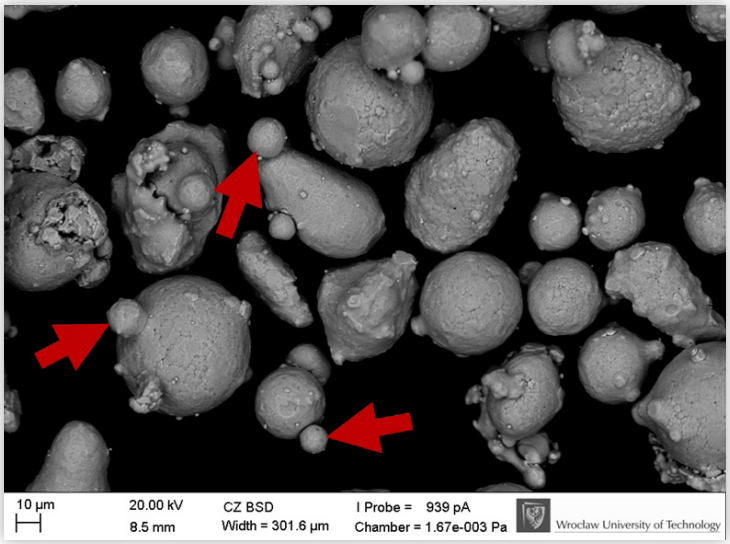
		Fe	Mn	Si	Al	P	C	S	O	N	H
		[% mas.]									
StaVari	Min	Reszta	6,3	0,3	1,5	-	0,08	-	-	-	-
	Max	Reszta	7,7	0,7	2,1	0,05	0,16	0,05	0,05	0,03	0,005

Tab. 1 Skład chemiczny stopu StaVari

WYSOKOŚĆ WARSTWY W PROCESIE LPBF

Na podstawie wyników badań opisanych **w poprzednim artykule** można stwierdzić, że parametrem, który ma największy wpływ na produktywność zasadniczego procesu produkcyjnego SLM jest wysokość przetapianej warstwy proszku, dlatego w celu zwiększenia wydajności zdecydowano się na zmianę tego parametru. Wysokość warstwy to wartość, o jaką obniża się platforma maszyny przed nałożeniem proszku przez zgarniacz. Zwiększając wysokość warstwy nanoszonego proszku zmniejszamy sumaryczną ilość warstw potrzebnych do wybudowania modelu o danej wysokości. Dzięki temu zmniejszamy ilość sekwencji składających się z ekspozycji laserem i nakładania proszku przez zgarniacz maszyny. Uproszczony schemat warstwowej budowy w technologii SLM-LPBF przedstawia rysunek 2.

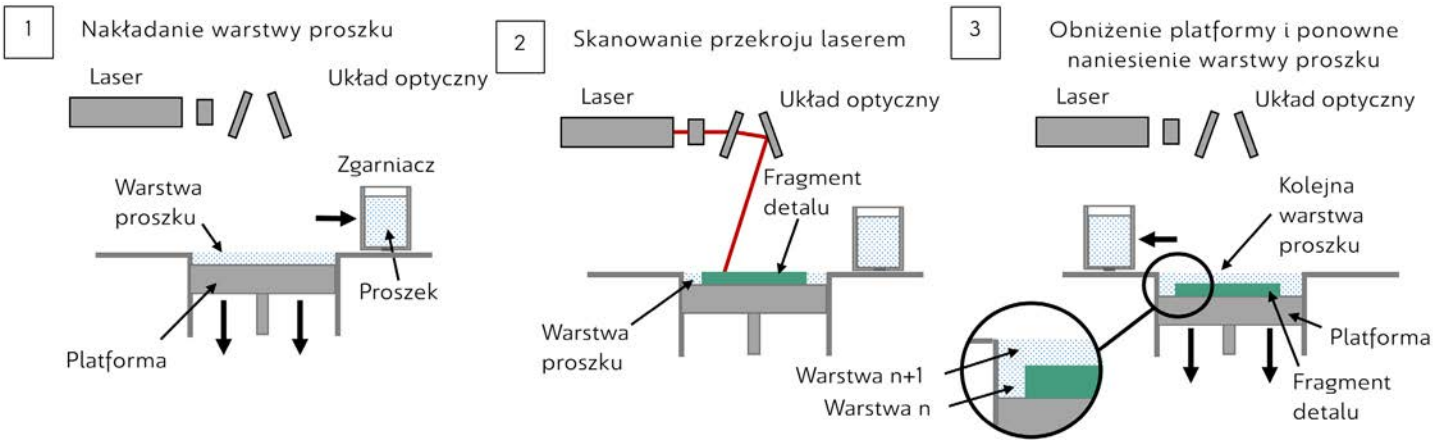
Z uwagi na to, że jest to jeden z kluczowych parametrów, który koreluje z innymi, takimi jak np. moc lasera czy prędkość skanowania, konieczne było opracowanie nowego zestawu parametrów, w celu uzyskania stabilnego procesu i wysokiej jakości budowanych detali. Nguyen i in. dokonali analizy wpływu zmiany grubości warstwy podczas przetapiania proszku stopu niklu NI718 [1]. W tym wypadku zwiększenie wysokości warstwy pogorszyło jakość drukowanej części poprzez zmniejszoną dokładność, zwiększoną chropowatość powierzchni, a w szczególności niższą gęstość względną. Należy jednak zaznaczyć, że autorzy zmienili tylko wysokość warstwy nakładanego



Rys. 1 Zdjęcia wykonane na mikroskopie SEM: badanie morfologii proszku

proszku bez modyfikacji innych parametrów skanowania (moc, prędkość, odległość między liniami skanowania); takie podejście powoduje zmianę gęstości energii (Rys. 3) dostarczanej do przetopienia proszku.

Autorzy zauważyli także, że mniejsza grubość warstwy powodowała uzyskanie drobniejszego ziarna w strukturze materiału. Wyższa gęstość energii powoduje wzrost temperatury i szybsze chłodzenie, wynikające ze wzrostu gradientu temperaturowego, co prowadzi do rozdrobnienia struktury. Ponadto wraz ze wzrostem wysokości warstwy malała gęstość energii i zwiększał się poziom porowatości, co było bezpośrednią przyczyną spadku własności mechanicznych wyrażanych w twardości materiału, module sprężystości wzdłużnej oraz wytrzymałości na rozciąganie i granicy plastyczności. Obserwacje te potwierdzono dodatkowo przez

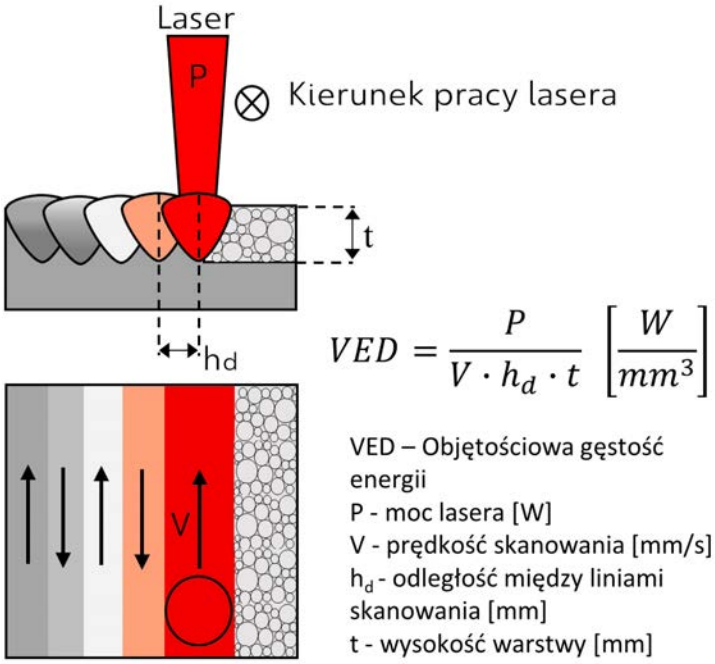


Rys. 2 Schemat warstwowej budowy w technologii SLM-LPBF (opracowanie własne)

Suffiarowa i innych [2]. Nadmierne podnoszenie grubości warstwy, mimo prowadzonej optymalizacji procesu pod kątem uzyskiwanej porowatości, może również prowadzić do obniżenia np. granicy plastyczności czy wydłużenia przy zerwaniu. Efekt taki został przedstawiony przez A. Leicht i in., których celem było określenie wpływu zmiany grubości warstwy, z 20 na 80 µm dla stali 316L, na uzyskiwane własności mechaniczne. Wartości te były mniejsze o kolejno 15% (z 540 do 460 MPa) i 30% (z 61 do 44%) dla próbek wykonanych z warstwą 80 µm. Mimo tego próbki wykonane z grubszą warstwą przekraczają wymagania stawiane stali 316L w normie ASTM A240M-18 [3].

W niektórych przypadkach nie ma konieczności osiągania pełnej gęstości materiału lub wysokiej jakości powierzchni. Obecnie w przemyśle motoryzacyjnym wykorzystuje się dużą ilość części wytwarzanych w technologii klasycznej metalurgii proszków, o gęstości 90-95% [3]. Samo podnoszenie grubości przetapianej warstwy materiału, zwłaszcza kilkukrotne, również negatywnie wpływa na dokładność wymiarową [1] i jakość powierzchni obiektów uzyskanych w technologii L-PBF, pomimo zapewnienia dobrych własności mechanicznych [4].

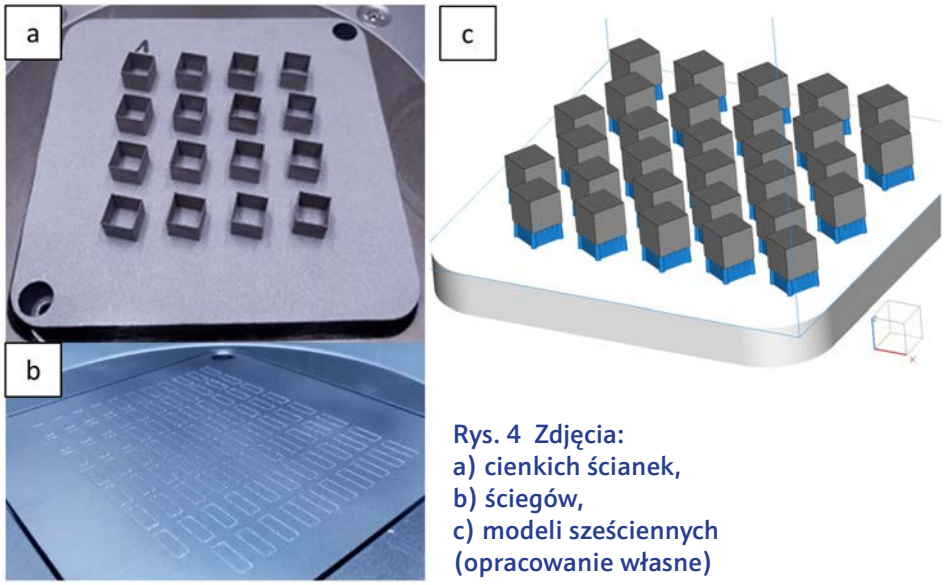
Przedstawione dane dowodzą, że w każdym przypadku, konieczne jest dostosowanie metody prowadzącej do skrócenia czasu budowy, w zależności od oczekiwań i założeń stawianych przez klienta, czy też wymuszonych konkretną aplikacją wyrobu.



Rys. 3 Wzór na objętościową gęstość energii wraz z interpretacją graficzną (opracowanie własne)

METODY DOBORU PARAMETRÓW

W celu uzyskania wysokiej jakości drukowanych detali zmiana wysokości warstwy wiąże się z koniecznością ponownego przeprowadzenia doboru wartości podstawowych parametrów procesowych tj. moc lasera, prędkość i strategia skanowania, odległość między liniami skanowania itd. Z uwagi na to, że jest to proces czasochłonny stosuje się kilka metod opracowania parametrów. Jedną z nich jest metoda SSt polegająca na wykonaniu pojedynczych linii przetopu z różnymi parametrami, a następnie analizie przekroju spoiny [5]. Między innymi tę metodę wykorzystano na potrzeby rozwoju parametrów w projekcie AM-Crash. Z uwagi na wykonanie tylko jednej warstwy w procesie SLM ogromną zaletą jest bardzo krótki czas uzyskania próbek i możliwość sprawdzenia parametrów mocy i prędkości skanowania dla



Rys. 4 Zdjęcia:
a) cienkich ścianek,
b) ściegów,
c) modeli sześciennych
(opracowanie własne)

Artykuł dostępny w wydaniu płatnym

SPRAWDŹ
jak zamówić wydanie

www.konstrukcjeinzynierskie.pl

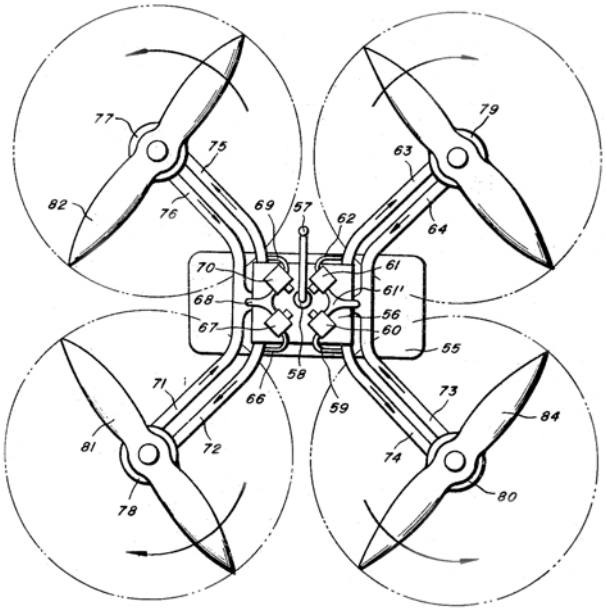
prenumerata@iter.com.pl

DRONY z napędem hydraulicznym

Napędy hydrauliczne, w których energia jest przekazywana za pośrednictwem cieczy roboczej, charakteryzują się stosunkowo dużą wydajnością względem masy układu, łatwością sterowania i małą bezwładnością, a przy tym są samosmarowne i niezawodne – ze względu na małą liczbę części ruchomych. Znalazły zastosowanie w wielu gałęziach przemysłu i kojarzą się przede wszystkim z budową maszyn i ciężkiego sprzętu. Propozycja budowy statków powietrznych z napędem hydraulicznym dla większości inżynierów wydałaby się raczej egzotyczna.

Jacek Zbierski

Tymczasem właśnie takie było marzenie Karla Eickmanna, wynalazcy zamieszkałego w Japonii, który w drugiej połowie XX wieku opatentował swoje koncepcje w zakresie konstrukcji aparatów latających z napędem hydraulicznym i dziesiątki rozwiązań hydraulicznych na ich użytek. Podstawowe założenia konstrukcyjne Eickmanna znajdziemy w patencie zgłoszonym w amerykańskim urzędzie patentowym pod numerem 3,345,016. Wynalazek dotyczy koncepcji aparatu latającego, kształtem przypominającego dzisiejsze drony wielowirnikowe, w którym wirniki napędzane są silnikami hydraulicznymi. W celu zapewnienia kontroli lotu, zarówno w płaszczyźnie pionowej, jak i poziomej, każdy silnik hydrauliczny napędzający pojedynczy wirnik wyposażono w oddzielny przewód zasilający z obejściem sterowanym zaworem proporcjonalnym. Ograniczenie bądź zwiększenie przepływu cieczy roboczej w obejściu wybranych obwodów powodowało odpowiednio wzrost lub redukcję obrotów danych wirników, co miało pozwolić na pochylenie aparatu i uzyskanie ruchu postępowego w płaszczyźnie poziomej. Ograniczenie bądź zwiększenie przepływu cieczy roboczej w obejściu wszystkich obwodów jednocześnie miało umożliwić ruch w pionie. Na podobnej zasadzie poruszają się współczesne



Aparat latający pomysłu K. Eickmanna z 1967 r.

Artykuł dostępny w wydaniu płatnym

SPRAWDŹ
jak zamówić wydanie

www.konstrukcjeinzynierskie.pl

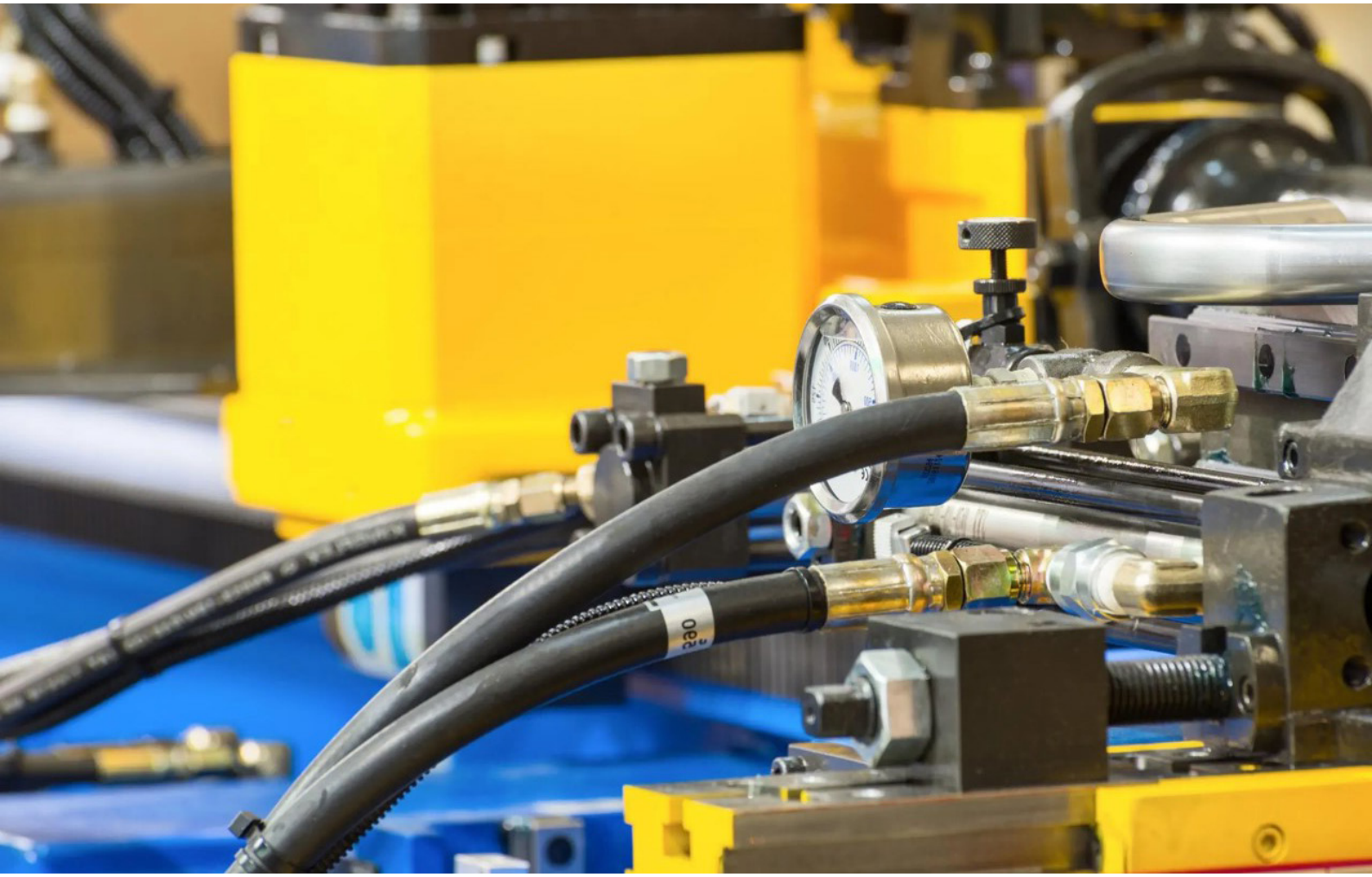
prenumerata@iter.com.pl

Aspekty i elementy HYDRAULIKI OBRABIARKOWEJ

cz. 5: Przewody, łączniki i montaż układu

W układach hydraulicznych nie ma elementów bardziej lub mniej ważnych. Przewody i łączniki są tak samo odpowiedzialne za prawidłowe działanie tych układów jak inne ich elementy. Do ich budowy potrzebne są duże umiejętności i wiedza, zarówno teoretyczna, jak i praktyczna rzemieślników – hydraulików, zwłaszcza przy skomplikowanych układach hydraulicznych obrabiarek.

Aleksander Łukomski



Artykuł dostępny w wydaniu płatnym

SPRAWDŹ
jak zamówić wydanie

www.konstrukcjeinzynierskie.pl

prenumerata@iter.com.pl

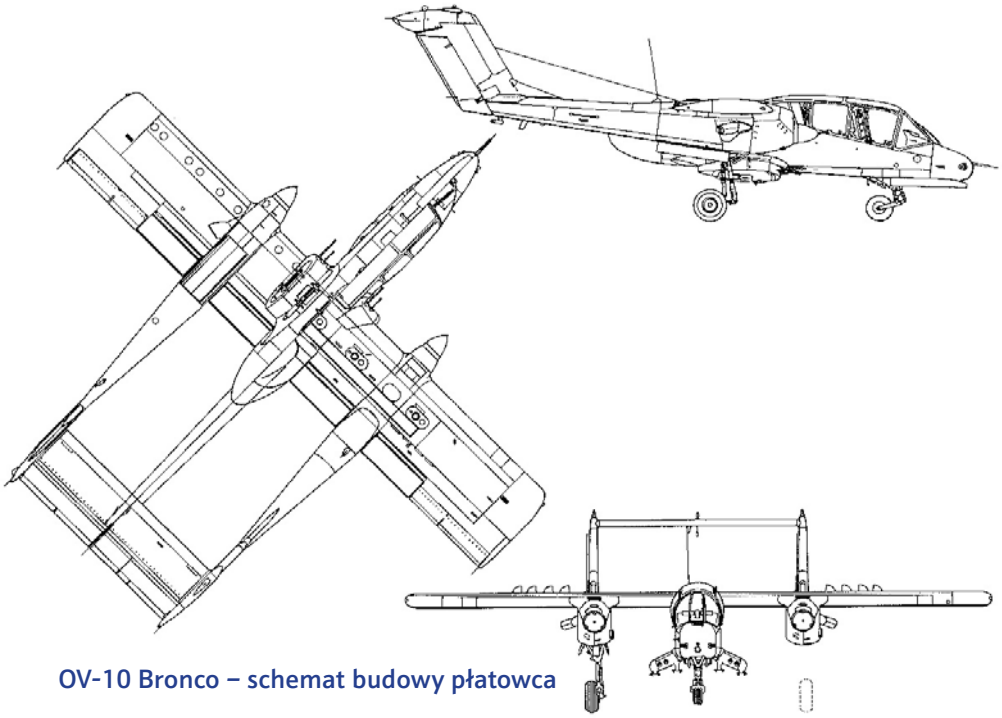
Bronco OV-10

W USA koncerny lotnicze od lat toczą walkę o lukratywne kontrakty dla wojska, liczone w miliardach dolarów. Zatrudniają armię najzdolniejszych inżynierów i dysponują ogromnymi możliwościami technologicznymi. Tymczasem jeszcze nie tak dawno, bo kilka dekad temu, dwóch wojskowych weteranów zaprojektowało samolot, który z pomocą przyjaciół powstał w garażu i zadziwił wojskowych specjalistów.

Ryszard Romanowski

Pierwszy lot odbył się w 1965 roku, a wojsko zrezygnowało z niego dopiero po wojnie w zatoce, u schyłku lat dziewięćdziesiątych. Ucieszyło to niezmiernie wielu cywilnych wielbicieli tej maszyny, którzy z dumą nadal nią latają. Okazała się również niezwykle pożądana w różnych cywilnych służbach, takich jak np. leśne, ratownicze itp. OV-10 Bronco ciągle ma przed sobą przyszłość.

Oficerowie William Beckett i K.P. Rice służyli razem w eskadrze Corsair (te śmigłowe samoloty okazały się doskonałe jako myśliwce i maszyny wsparcia piechoty). Po zakończeniu służby w korpusie Marines nadal bacznie obserwowali najwyższe dowództwo armii, które coraz bardziej było zafascynowane napędem odrzutowym i arsenałem jądrowym. Zdaniem doświadczonych weteranów nie było to dobre rozwiązanie. Samoloty odrzutowe były zbyt szybkie i z trudem przeprowadzały precyzyjne ataki. Ponadto przy ich szybkości trudno było odróżnić swoich od wroga. Śmigłowce za to były łatwymi celami. Dawny Corsair potrafił atakować precyzyjnie lecąc nisko nad ziemią i – wykorzystując w razie potrzeby swoją szybkość i zwrotność – unikać obrony przeciwlotniczej przeciwnika. A odrzutowce i helikoptery nie były w stanie tego zrobić. Drugą sprawą było uzbrojenie samolotów odrzutowych. Aby stało się bardziej precyzyjne Rice zbudował stelaże mieszczące niewielkie bomby do zastosowań w samolotach odrzutowych. System, jak określali najwyższe dowództwo Beckett i Rice, zaakceptował to rozwiązanie, jednak nie usuwało ono problemów, które doskonale rozumieli żołnierze



OV-10 Bronco – schemat budowy płatowca

Artykuł dostępny w wydaniu płatnym

SPRAWDŹ
jak zamówić wydanie

www.konstrukcjeinzynierskie.pl
prenumerata@iter.com.pl

Niech będzie bez egzaminu!

Jak podaje serwis Prawo.pl nowy prezes Naczelnej Izby Lekarskiej zwrócił się do ministra zdrowia o wprowadzenie zmian legislacyjnych zwalniających z egzaminu ustnego lekarzy, którzy uzyskali z części pisemnej ocenę bardzo dobrą lub dobrą. Chodzi o egzamin na specjalizację lekarską.

Tomasz Gerard

Artykuł dostępny w wydaniu płatnym

SPRAWDŹ
jak zamówić wydanie

www.konstrukcjeinzynierskie.pl
prenumerata@iter.com.pl

Prenumerata

PRENUMERATA ROCZNA

e-wydanie: 1 egzemplarz na 1 komputer (dla wielu użytkowników) lub dla 1 osoby (na wiele urządzeń)

- prenumerata zwykła, krajowa: 105 zł
- dla uczniów i studentów: 84 zł
- prenumerata z licencją do wykorzystania na większej liczbie stanowisk – od 10 do powyżej 200 stanowisk (koszt zależny od liczby stanowisk)

Prenumeratę można rozpocząć od dowolnego miesiąca w roku.
Prenumerata obejmuje 6 kolejnych wydań w wersji elektronicznej.

POJEDYNCZE WYDANIE

Koszt pojedynczego e-wydania: 17,50 zł

WYDANIA ARCHIWALNE

- dostępne pojedyncze wydania i całe roczniki (w wersji elektronicznej, jak i papierowej – oprócz numerów o wyczerpanym nakładzie oraz wybranych wydań z 2020 r.)

Pojedyncze wydania archiwalne z lat 2009-2020 dostępne są w cenie:
17,50 zł – wersja papierowa
12,50 zł – wersja elektroniczna
Przy zamówieniach większej liczby egzemplarzy oferujemy korzystne upusty cenowe.

DANE DO ZAMÓWIENIA

Wpłat prosimy dokonywać na konto wydawcy:
ITER, ul. Marszałkowska 111, 00-102 Warszawa
mBank SA, nr konta: 10 1140 2017 0000 4102 0885 4194

W tytule przelewu prosimy podać szczegóły zamówienia
(np. rodzaj prenumeraty, numer i rok zamawianego wydania).
Prosimy także o podanie dokładnych danych adresowych i adresu email.

Na życzenie wystawiamy faktury VAT (8%).

projektowanie i KONSTRUKCJE inżynierskie

tel. +48 532 493 072,
tel. +48 22 112 86 90,
prenumerata@iter.com.pl