ISSN 1899-699X cena 20,25 zł (w tym 8% VAT)

projektowanie i KONSTRUKCJE inżynierskie

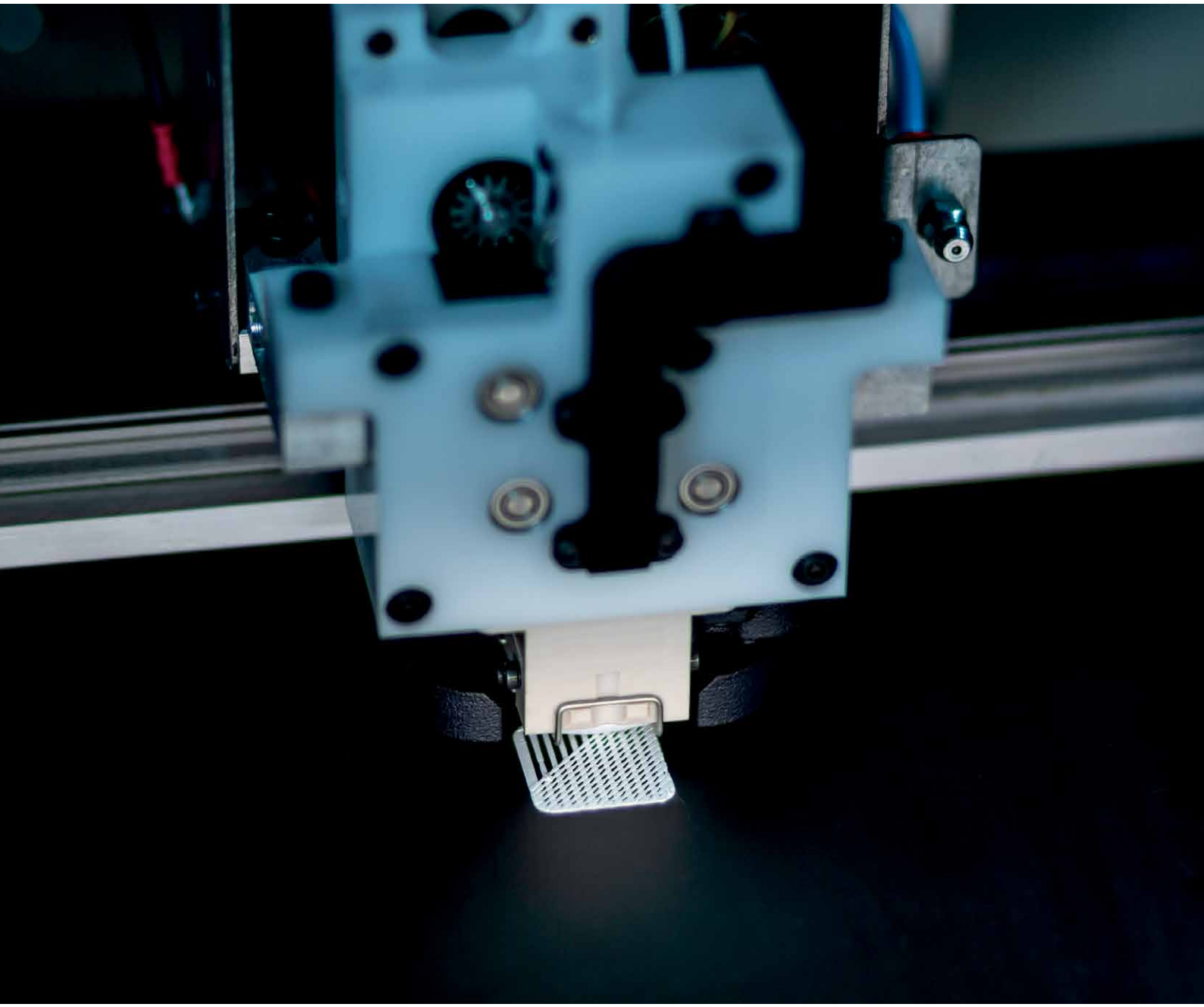
5/6 (188/189) maj/czerwiec 2023

- Projektowanie dyszy GK ze względu na gospodarkę cieplną
- Analizy numeryczne metodą elementów dyskretnych – DEM
- Narzędzia specjalne do gratowania i fazowania

Obrabiarki do metalu: FREZARKI

DRUK 3D ceramiki technicznej

CERAMIT
CERAMIC ENGINEERING



DRUKOWANIE 3D CERAMIKI TECHNICZNEJ

wysokiej jakości wydruki z tlenku glinu i dwutlenku cyrkonu
prototypowanie i wdrożenia wielkoseryjne

www.ceramit.pl/drukowanie-ceramiki

Projektowanie i Konstrukcje Inżynierskie

Nr 5/6 (188/189)
maj/czerwiec 2023

rok XVII
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

ITER © 2023

Drodzy Czytelnicy,

Prof. Marian Zdziechowski opisując sto lat temu sowiecki bolszewizm zwrócił uwagę na *„zjawisko dotychczas w historii nie spotykane, tajemniczą formę terroru, zaćmiewającą wszystko, cośmy słyszeli o okrucieństwie i obrzydliwości człowieka”* – jak określił wówczas upadlającą samokrytykę, którą na tzw. procesie szesnastu wygłosili Zinowiew i Kamieniew, czołowi komuniści i najbliżsi przyjaciele Lenina. O nich to Zdziechowski pisze: *„W imię swoich poczętych w nienawiści utopii nie zawahali się przed żadnym, choćby najkrwawszym eksperymentem. Ale do swego celu szli w czasach carskich odważnie, nie odstraszała ich katorga ani śmierć! A teraz – przed sądem sowieckim doszli do ostatnich granic podłości, jeśli w podłości mogą być jakieś granice. Nie dość, że przyjmowali na siebie wszystko, co publicznie zarzucał im oskarżyciel, to starali się jakby prześcignąć go, wystawiając siebie jako nikczemnych zdrajców „wielkiego, niezrównanego” Stalina, samych siebie opluwali, a jego wysławiali idąc na śmierć”.**

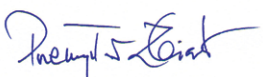
Dziś wiemy więcej o różnych metodach nieludzkiego terroru, który w minionym stuleciu stosowano już niemal pod każdą szerokością geograficzną. I choć tymi torturami złamano wiele charakterów, to również nierzadko zdarzały się przypadki postaw niezłomnych i bohaterskich, w naszej Ojczyźnie obecnych zwłaszcza po ostatniej wojnie.

To wszystko jednak dotyczyło prześladowań koszmarnie rzeczywistych, z bólem, niewyobrażalnym cierpieniem, w obliczu śmierci.

W naszych czasach mamy sytuację inną. Nie potrzeba tortur w lochach i kazamatach, wyrywania paznokci czy podobnych zabiegów, aby ludzie z dnia na dzień wygłaszali samokrytykę i kajali się publicznie. W wielu wypadkach wystarczy szantaż emocjonalny lub zagrożenie rozpętaniem kampanii oszczerczej w sieci. Na innych działa groźba zwolnienia z pracy albo tylko cofnięcie przywilejów. Zaiste, karłowate charaktery to coraz częstszy znak naszej współczesności.

Kiedyś ludzie byli mocno przekonani do swoich racji, wyznawanych prawd. Potem, w myśl rewolucyjnych dyrektyw, chcieli mieć przekonania jedynie słuszne. Dziś doczekaliśmy się czasów, w których ludzie boją się mieć własne przekonania...

Życzę Państwu udanego letniego wypoczynku. I zachęcam do refleksji nad naszym stosunkiem do wyznawanych wartości i najważniejszych zasad. Czy jesteśmy skłonni ich bronić, choćby to miało nas wiele kosztować?



Przemysław Zbierski

---

* M. Zdziechowski: *W obliczu końca*, Fronda, Warszawa, 1999

Spis treści

Nr 5/6 (188/189)
MAJ/CZERWIEC 2023

AutoFlight na Paris Air Show 2023 6
Nowe odkrycia dzięki drukowi 3D 7
Wzmocnienie Inconelu ceramiką 8
Nadsmarowność w makroskali 8
Ryba-robot napędzana sztucznym mięśniem 10
Nowy sportowy Norton 12
Integrator pionowego startu 13
Biomimetyczny robot 14
Tanie i wydajne pozyskiwanie wodoru 14
Prąd z powietrza 15

Obrabiarki skrawające do metalu: frezarki 16
Aleksander Łukomski

Projektowanie dyszy GK ze względu na gospodarkę cieplną 26
Wojciech Dziewulski ARTYKUŁ DOSTĘPNY w WYDANIU PŁATNYM

Restomod: klasyczne konstrukcje w nowych odsłonach..... 30
Ryszard Romanowski ARTYKUŁ DOSTĘPNY w WYDANIU PŁATNYM

Dynamika i poziom drgań łożysk 34

Wytwarzanie przyrostowe ceramiki technicznej 38
Jacek Zbierski

Analiza konstrukcji kompozytowych
z wykorzystaniem MES w programie Midas NFX 46
Kamil Augustyniak

Analizy numeryczne DEM
transportu elementów sypkich przez układy technologiczne 51
Paulina Broszko

Wyznaczanie bryły brzegowej na potrzeby
optymalizacji zużycia materiału; cz. 2 54
Andrzej Wełyczko ARTYKUŁ DOSTĘPNY w WYDANIU PŁATNYM

Odpowietrzniki układów hydraulicznych w pojazdach
– ewolucja postaci konstrukcyjnej 56
Jerzy Mydlarz ARTYKUŁ DOSTĘPNY w WYDANIU PŁATNYM

Narzędzia do gratowania i fazowania otworów 58
Julian Kiełczewski, Aleksander Łukomski ARTYKUŁ DOSTĘPNY w WYDANIU PŁATNYM

Kasperwing i latający skuter Henryka Dorucha 60
Ryszard Romanowski

Hałas w środowisku pracy 63
Aleksander Łukomski

Sezon ogórkowy w likwidacji 66
Tomasz Gerard ARTYKUŁ DOSTĘPNY w WYDANIU PŁATNYM

CZĘŚCI MASZYN i URZĄDZEŃ

58 Narzędzia do gratowania i fazowania otworów

Julian Kiełczewski, Aleksander Łukomski

TECHNOLOGIE

24 Wytwarzanie przyrostowe ceramiki technicznej

Jacek Zbierski

Norma ISO/ASTM 52900 wyróżnia siedem głównych gałęzi technologii przyrostowych, za którymi kryją się różne zasady działania, z których każda może zostać wykorzystana do fabrykacji ceramiki technicznej.

ANALIZY i SYMULACJE

51 Analizy numeryczne DEM transportu elementów sypkich przez układy technologiczne

Paulina Broszko

ANALIZY i SYMULACJE

26 Projektowanie dyszy GK ze względu na gospodarkę cieplną

Wojciech Dziewulski

Projektowanie dysz o wysokich walorach technicznych jest ciągłym poszukiwaniem odpowiedniej geometrii i nowych materiałów. Materiały te są często wynikiem kompromisu pomiędzy odpowiednią przewodnością termiczną a odpornością na ścieranie i odpowiednią wytrzymałością.

CZĘŚCI MASZYN i URZĄDZEŃ

56 Odpowietrzniki układów hydraulicznych w pojazdach – ewolucja postaci konstrukcyjnej

Jerzy Mydlarz

Uproszczenie postaci konstrukcyjnej, zastosowanie stali konstrukcyjnej i powłoki galwanicznej zamiast stali nierdzewnej, znacząco obniża koszty. Odpowietrznik Speed Bleed kosztuje około 1/3 ceny porównywalnego odpowietrznika Stahlbus.

AutoFlight na Paris Air Show 2023

Założona w Chinach firma AutoFlight zaczynała od elektrycznych wielowirnikowców, następnie rozpoczęła przygodę z lekkimi samolotami eVTOL z napędem elektrycznym. Obecnie jest już firmą globalną. Produkcja odbywa się w Chinach, biura projektowe zlokalizowane są w Europie, a stroną biznesową zajmują się Amerykanie. Zaprezentowana kilka lat temu koncepcyjna taksówka powietrzna Prosperity już lata. Co prawda nie ma jeszcze pełnej certyfikacji, którą przewidziano na rok 2025, lecz ma już za sobą najważniejszy w klasie eVTOL (elektrycznych maszyn pionowego startu i lądowania) test przejścia z lotu pionowego w poziomy. Odbyło się to rok temu. Maszyna bez problemu wykonała manewr na wysokości 150 m z prędkością ponad 200 km/h. W tym roku Prosperity pobiła rekord najdłuższego lotu w kategorii eVTOL, pokonując dystans 250 km. AutoFlight przyjęła już pierwsze zamówienia na ponad 200 egzemplarzy.

Czterowirnikowiec prezentowany w Paryżu mieści cztery osoby. Poza tym jest bardzo efektowny. Jego projektantem jest Frank Stephenson, znany m.in. z projektu Mini, Fiata 500 i serii supersamochodów McLaren. Prosperity I budowany będzie zarówno w wersji pasażerskiej jak i towarowej. Jego głównym przeznaczeniem będzie obsługa wielkich aglomeracji.

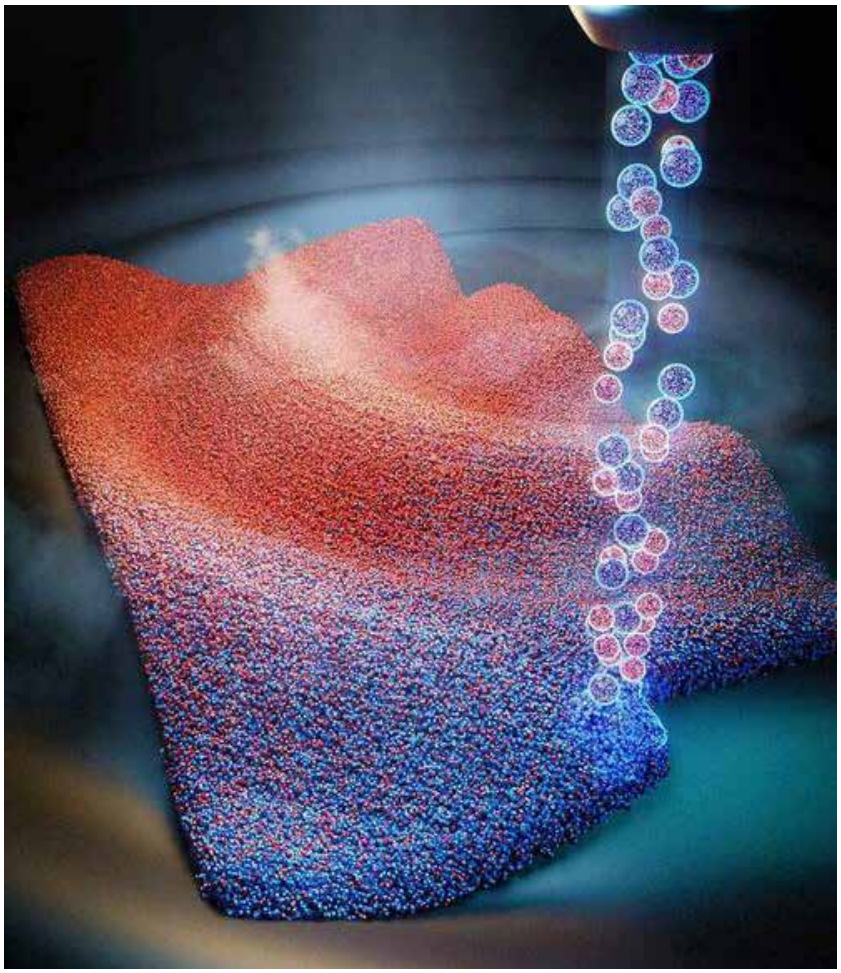
autoflight.com

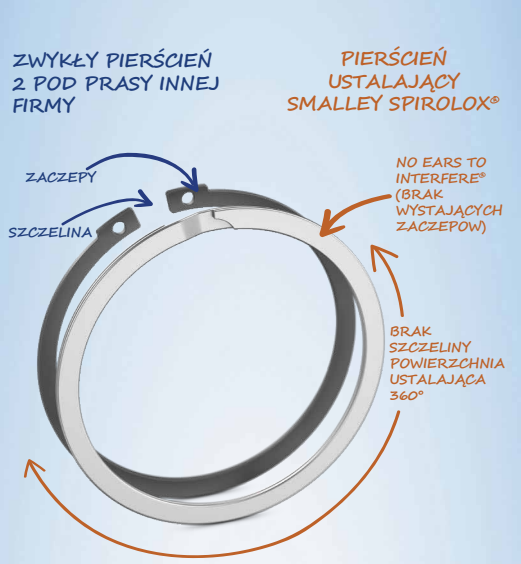
Nowe odkrycia dzięki drukowi 3D

Dotychczas wiele poszukiwań naukowych odbywało się edisonowską metodą prób i błędów. Jak stwierdza prof. Yanliang Zhang z wydziału inżynierii mechanicznej i lotniczej Uniwersytetu Notre Dame, badania nad nowymi materiałami trwają przeciętnie od 10 do 20 lat. Tymczasem rozwój techniki sprawia, że zapotrzebowanie na materiały o niekonwencjonalnych właściwościach gwałtownie rośnie.

Zhang postanowił to zmienić. Jego głównym narzędziem pracy nad nowymi materiałami stała się drukarka 3D. Wykorzystał wiele różnych tuszów z nanomateriałów w aerozolu, mieszając je bezpośrednio przed wprowadzeniem do pojedynczej dyszy drukującej, zwracając uwagę na proporcje aerozoli. Wykorzystując autorską technologię wysokowydajnego druku kombinacyjnego HTCP (*high-throughput combinatorial printing*), opartą na precyzyjnym doborze kombinacji mieszaniny materiałowej w tuszu, uzyskał kontrolę nad formacją struktur przestrzennych w obrębie drukowanej części. Taki sposób druku HTCP pozwala na użycie różnorodnych materiałów takich jak: metale, półprzewodniki, dielektryki, polimery, biomateriały itd. Można generować „biblioteki" zawierające kombinacje nowych materiałów o różnych właściwościach. Tym sposobem powstał autonomiczny i samonapędzający się system odkrywania nowych materiałów.

nd.edu





STAL NIERDZEWNA W STANDARDZIE

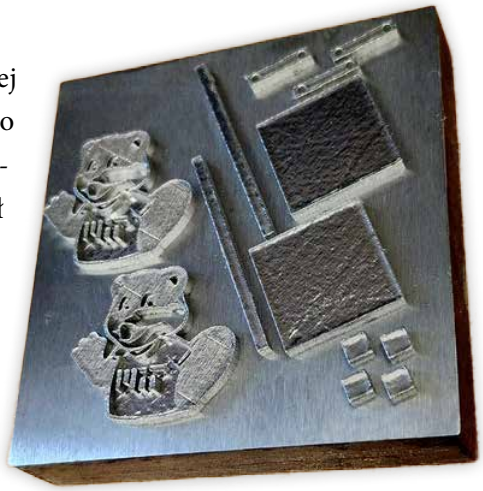
Nasze pierścienie zapewniają takie samo dopasowanie i funkcjonalność jak pierścienie prasowane, ale są łatwiejsze w montażu i demontażu i nie wymagają użycia narzędzi specjalnych. Dostępne części standardowe ze stali nierdzewnej (302 i 316) i stali węglowej. Dostarczamy właściwy pierścień wykonany z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

Wzmocnienie Inconelu ceramiką



Mimo wykorzystywania najwyższej jakości materiałów np. w przemyśle lotniczym, energetyce lub motoryzacji zdarza się, że wytrzymałość otrzymanych wyrobów jest niewystarczająca. Naukowcy z Massachusetts Institute of Technology postanowili znaleźć rozwiązanie.

Zastosowano popularny „nadstop" Inconel 718. Został on zmieszany i zmielony z nanodrutami ceramicznymi w taki sposób, że wokół cząstek stopu zebrała się nanometryczna otoczka ceramiczna.

Z użyciem tak uzyskanego proszku rozpoczęto wytwarzanie przyrostowe części za pomocą technologii LPBF (fuzji laserowej w złożu proszkowym). Po wydrukowaniu cienkiej warstwy proszku nakładano kolejną tak, aby laser dokładnie ją przetopił i połączył z poprzednią warstwą.

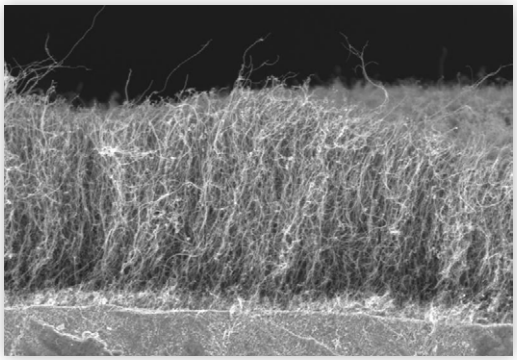
W porównaniu z podobnymi częściami z czystego Inconelu, te z domieszką ceramiki wykazywały się znacznie mniejszą porowatością i liczbą pęknięć, a do tego wyższą wytrzymałością mechaniczną i rozciągliwością. Okazały się również bardziej odporne na promieniowanie i wysokie temperatury.

Proces jest tani i wykorzystuje istniejące urządzenia do wytwarzania przyrostowego. Zapowiedziano próby zastosowania domieszki ceramicznych nanodrutów do innych metali. Tak sporządzone kompozyty o osnowie metalicznej mogą okazać się przełomowym rozwiązaniem w konstrukcjach lotniczych oraz stosowanych w energetyce (w tym jądrowej).

news.mit.edu

Nadsmarowność w makroskali

Badacze z Oak Ridge National Laboratory opracowali powłokę pozwalającą na redukcję tarcia między elementami wykonanymi ze stali nierdzewnej do pomijalnie niskich wartości. Osiągnięto redukcję wartości współczynnika tarcia poniżej umownej granicy nadsmarowności – 0,01.



Powłokę wykonano aplikując warstwę nanorurek węglowych o pionowej orientacji na powierzchni stalowego krążka metodą CVD (*chemical vapor deposition*). Grafen, będący budulcem nanorurek, zsyntezowano z etanolu na warstwie tlenków metali powstałej po rozgrzaniu powierzchni stali. Otrzymano warstwę w formie darni z nanorurek, którą następnie poddano „koszeniu" pod wpływem siły mechanicznej. Ścięte i rozmazane nanorurki utworzyły warstwę błonki, którą zwilżono olejem PAO (na bazie syntetycznych poli-alfa-olefin) w warunkach MQL (*minimum quantity lubrication*). Tak przygotowana powłoka na obu powierzchniach współpracujących w badaniu trybometrem wykazała nadsmarowność podczas 500 tys. cykli tarcia, osiągając wartości współczynnika tarcia w zakresie 0.001–0.007.

Prezentowane osiągnięcie było możliwe dzięki współpracy naukowców z różnych dziedzin – inżynierii materiałowej, trybologii, nanotechnologii. Obecnie trwają próby nawiązania współpracy z przemysłem w celu wdrożenia technologii do produkcji.

ornl.gov

Nasze ♡ bije dla Twojej formy.

FACHOWE DORADZTWO DOTYCZĄCE OBSZARU GNIAZDA FORMUJĄCEGO

Doradztwo, usługi i wsparcie techniczne

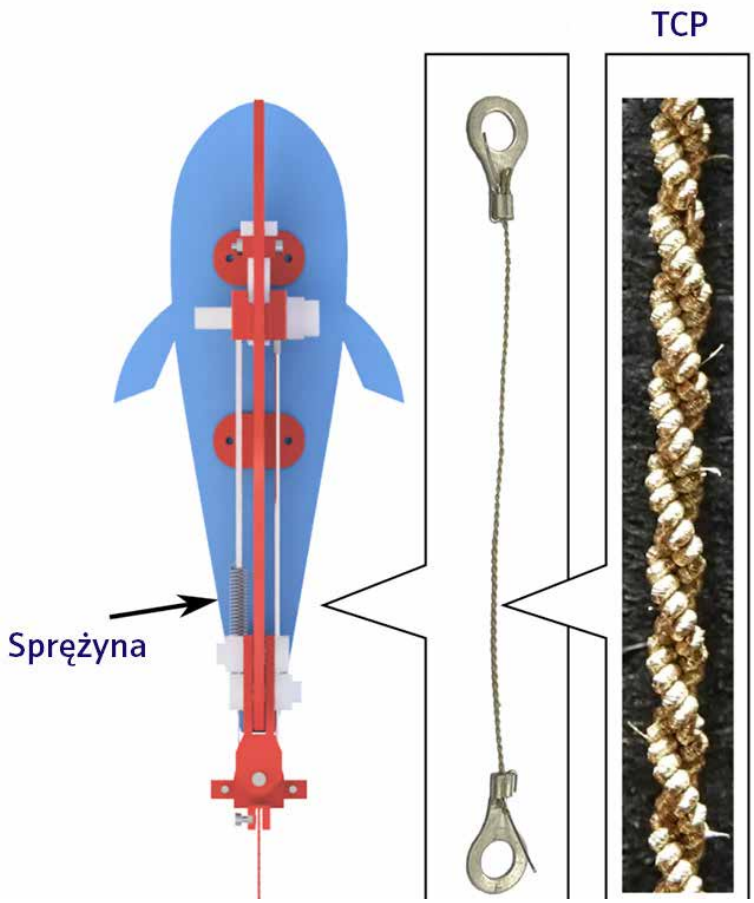
- Wsparcie i doradztwo techniczne ze strony naszych wykwalifikowanych pracowników
- Konfiguratory i programy ułatwiające wybór, dostępne zarówno w sklepie internetowym jak i katalogu offline
- Właściwy produkt do każdego zastosowania

ZAPRASZAMY DO OBEJRZENIA WIDEO:
www.meusburger.com/gniazdo-formujace

meusburger
Standards for your success.

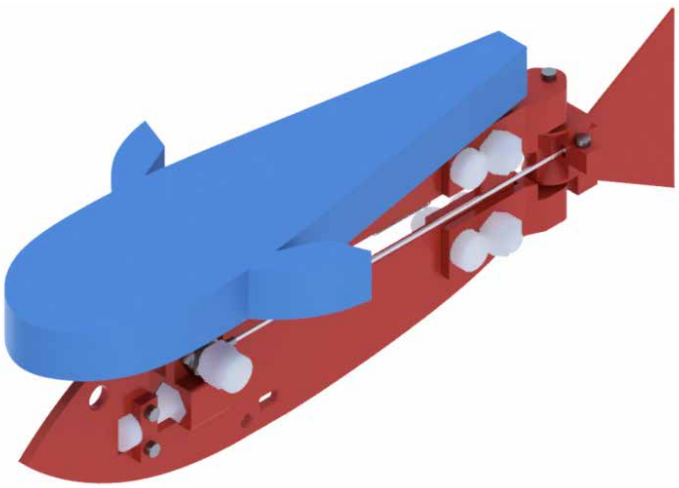
Ryba-robot napędzana sztucznym mięśniem

Naukowcy z Uniwersytetu Bristolskiego zbudowali pływającego robota, który kształtem i sposobem poruszania się przypomina ryby. Urządzenie o nieskomplikowanej konstrukcji składa się z rozmieszczonego horyzontalnie pływaka, zapewniającego wyporność oraz z pionowej powierzchni, do której przymocowany jest układ napędzający płetwę ogonową.



Konstrukcja napędu płetwy składa się z naciągów umieszczonych przeciwlegle po obu stronach kadłuba, z których jeden stanowi sprężyna, a drugi to termomechaniczny mięsień TCP (*twisted and coiled polymer*), który kurczy się pod wpływem ciepła. Dzięki temu, zgodnie z prawem Joule'a, przepuszczenie prądu przez przewodnik wpleciony w TCP powoduje jego skurczenie. W odróżnieniu od dotychczasowych konfiguracji, wymagających pełnego wystudzenia TCP by powrócić do położenia pierwotnego, zastosowanie sprężyny znacznie optymalizuje wydajność układu. Modulacja impulsowa zsynchronizowana z cyklem pracy sprężyny i TCP pozwala uzyskać regularne ruchy płetwy ogonowej o częstotliwości do 2 Hz.

Jak wyjaśnia Tsam Lung You z Uniwersytetu Bristolskiego, TCP to nowy, obiecujący siłownik, charakteryzujący się atrakcyjnymi cechami, takimi jak niska masa, niskie koszty, wysoka gęstość energii i łatwość wykonania. Układ napędowy zastosowany w konstrukcji robota-ryby wyróżnia się najwyższą częstotliwością działania TCP, jak i najwyższą prędkością osiągniętą przy użyciu napędu TCP. Otwiera to drogę do popularyzacji TCP w nowych zastosowaniach.



Obecnie trwają pracę nad nową generacją robota-ryby, tym razem inspirowanego budową ryb z rzędu Gymnotiformes (ang. *knifefish*). W zamyśle twórców ma to być już w pełni funkcjonalny robot pływający.

bristol.ac.uk

ZWCAD 2024

Co pojawiło się w najnowszej wersji?

- obsługa chmury punktów
- edytor bloków parametrycznych - Flexiblock
- nowe funkcje 3D & perspektywa
- możliwość podkładania plików DGN
- szybki pomiar i opisywanie powierzchni
- nowy dynamiczny panel właściwości
- i wiele innych

Poznaj
nowy ZWCAD MFG
dla branż mechanicznej,
produkcyjnej i wytwórczej!
Sprawdź na **zwcad.pl**

Testuj, pracując bez zobowiązań aż 30 dni!

ZWCAD.pl

SZANSA

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

Sprawdź i pobierz
www.zwcad.pl

ZWCAD AUTHORIZED DISTRIBUTOR

Nowy sportowy Norton

Legendarna marka Norton przechodził u schyłku XX stulecia wzloty i upadki. Wygląda na to, że zła passa się skończyła. Niedawno zaprezentowano produkcyjną wersję sportowego Nortona V4CR.

Spawanie ramy motocykowej w zakładach Nortona w Solihull

Maszyna ma ręcznie wykonaną aluminiową ramę, tytanowy układ wydechowy i silnik V4 o średnicy cylindra 82 mm i skoku tłoka 56,8 mm. Rozchylenie cylindrów wynosi 72°. Stopień sprężania to 13,6 do 1, a podawanie paliwa odbywa się za pośrednictwem ośmiu wtryskiwaczy. Zawory wykonano ze stopu tytanu. Silnik osiąga 185 KM przy 12000 obr./min i moment obrotowy 125 Nm przy 9000 obr./min.

Zastosowano regulowane zawieszenia Ohlins i układ hamulcowy Brembo. Masa własna jednośladu wynosi 204 kg. Przed rozpoczęciem produkcji prototypowe motocykle były długo testowane na trasie Tourist Trophy na wyspie Man.

Motocykl zachowuje typową dla marki agresywną sylwetkę. Tradycyjny okrągły reflektor (tyle, że w technologii LED), charakterystyczna niewielka owiewka (z kompozytu węglowego) i charakterystyczne dla tego modelu wloty powietrza mają podkreślać jego styl. V4CR jest oferowany w dwóch wariantach kolorystycznych: srebrnym Manx Platinum (z kołami wykonanymi z odlewów aluminiowych) i czarnym Carbon (z kompozytowymi kołami BST Rapidtek). Dla amatorów mocnych wrażeń oferowany jest także alternatywny układ wydechowy do jazdy na torze wyścigowym.

nortonmotorcycles.com

Integrator pionowego startu

Należąca do koncernu Boeing spółka Insitu, specjalizująca się w rozwoju bezzałogowych aparatów latających, zaprezentowała system Integrator VTOL, który stanowi nietypowe połączenie możliwości dwóch dronów w odmiennych konfiguracjach. W skład systemu wchodzi płatowiec opracowany przez Insitu i wielowirnikowa platforma FLARES (*Flying Launch and Recovery System*) zbudowana przez firmę Hood Tech.

Tak więc, zgodnie z nazwą, Integrator łączy w sobie zalety obydwu konfiguracji: wydajność płatowca w locie długodystansowym i charakterystykę VTOL wielowirnikowej platformy. Takie połączenie może okazać się szczególnie istotne podczas operowania w trudnym terenie na lądzie i w trudnych warunkach atmosferycznych na morzu – z pokładu okrętów. Zdaniem producenta, Integrator przewyższa na tym polu systemy bezzałogowe innego typu, w tym także drony w konfiguracji *tail-sitter*.

Oba elementy systemu są stosunkowo proste konstrukcyjnie, a zasadniczą rolę w jego funkcjonowaniu pełni zaczep do podwieszania płatowca na platformie oraz mechanizm przechwytujący, umożliwiający zaczepienie płatowca na linie rozwiniętej z platformy, a następnie wspólne lądowanie obu komponentów. Dzięki takiemu podziałowi funkcji, wchodzący w skład systemu płatowiec przewyższa osiągami konkurencyjne konstrukcje VTOL. W marcu br. odbył on rekordowy lot testowy, podczas którego przebywał w powietrzu 25,5 h.

insitu.com

▪ REKLAMA

Osłony wtyków wysokiego napięcia

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.

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

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

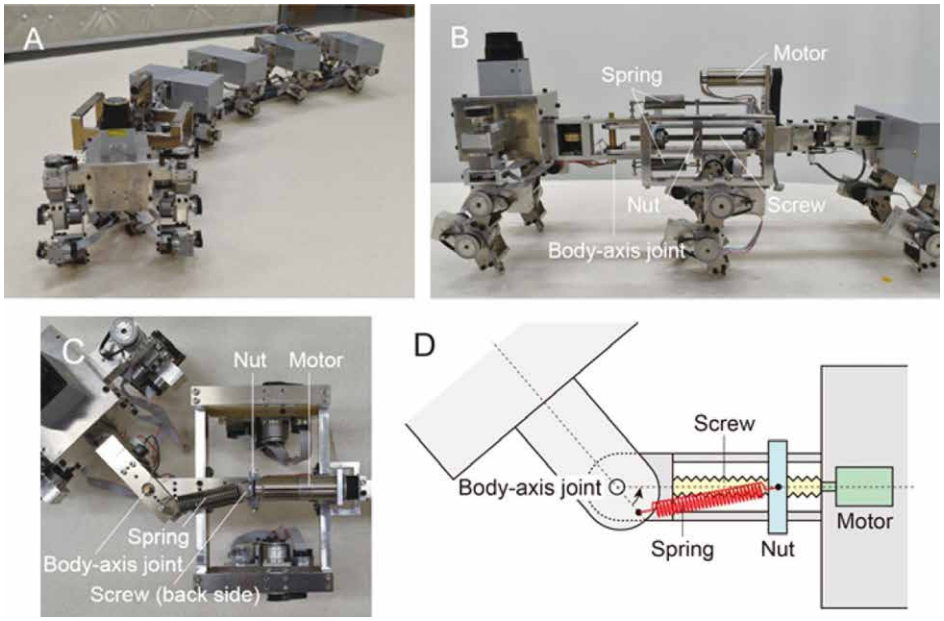
Większa oszczędność czasu.
Szybki demontaż dzięki antypoślizgowej powierzchni uchwytu. Demontaż możliwy po obu stronach.

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

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

PÖPPELMANN
KAPSTO®

Biomimetyczny robot

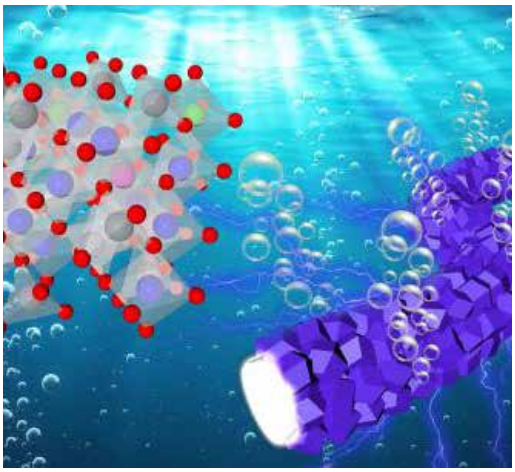


Roboty poruszające się dzięki wielu odnóżom, często wzorowane na organizmach żywych ze świata przyrody, mają zwykle dużą ilość siłowników i przegubów, przez co sterowanie nimi bywa bardzo kłopotliwe. Zwykle w przypadku uszkodzenia jednego elementu urządzenie przestaje działać.

Naukowcy z Uniwersytetu w Osace opracowali biomimetycznego robota wzorowanego na wijach (nadgromada stawonogów). Robot do osiągnięcia celu wykorzystuje naturalną niestabilność – wykorzystano więc to, czego konstruktorzy robotów dotychczas unikali. Zbudowano sześciosegmentowego robota, a każdy segment wyposażono w dwie nogi. Zwiększono elastyczność wszystkich połączeń, co już powoduje niestabilność ruchu. Podczas działania maszyny można modyfikować jej chód. Robot zmierzając do celu nawiguje po zakrzywionych liniach, przy czym jest znacznie bardziej odporny na uszkodzenia od dotychczasowych konstrukcji.

osaka-u.ac.jp

Tanie i wydajne pozyskiwanie wodoru



Pozyskiwanie wodoru z wody za pomocą elektrolizy znane jest co najmniej od wieku. Proces jest energochłonny, kosztowny i niezbyt wydajny. Obecnie, gdy wodór coraz częściej jest stosowany jako nośnik energii, istniejące technologie jego otrzymywania mogą okazać się niewystarczające.

Di-Jia Liu wraz z zespołem laboratorium Argonne pracującym na zlecenie DOE (Departamentu Energii Stanów Zjednoczonych) eksperymentował z membraną do wymiany protonów (PEM). Wykorzystywano przy tym odnawialne, nieciągłe źródła energii, takie jak np. wiatr i słońce.

Po zastosowaniu oddzielnych katalizatorów dla każdej z elektrod, prowadząc doświadczenie w temperaturze pokojowej uzyskano znacznie wyższą wydajność niż w dotychczas stosowanych metodach.

Stosowany jako katalizator anody bardzo drogi iryd (około 5000 USD za uncję) zastąpiono tanim kobaltem. Zmiany struktur anody w warunkach roboczych pozostały na tym samym poziomie.

Rozwiązanie już przechodzi testy prowadzone przez wyspecjalizowaną we wprowadzaniu nowości na rynek firmę Ginev inc. Testy te potwierdzają dużą wydajność i znaczne obniżenie kosztów.

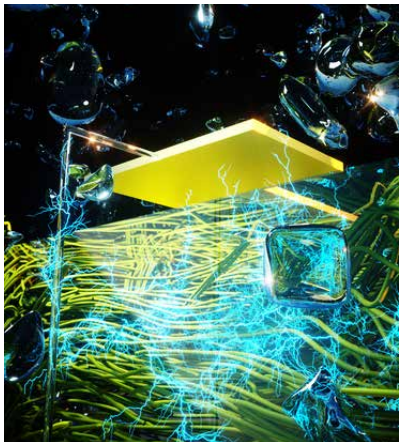
anl.gov

Prąd z powietrza

Jun Yao, adiunkt inżynierii elektrycznej uniwersytetu Amherst, zastanawiał się jak pozyskać energię elektryczną z cząsteczek wody zawartych w otaczającym nas powietrzu. Bez problemów radzi sobie z tym przyroda, czego najlepszym dowodem są burze z piorunami.

Wiadomo, że każda cząsteczka wody przenosi ładunek elektryczny. Pytanie jak go pozyskać?

Niedawno mikrobiolog Derek Lovley uzyskał efekt *Air-gen* stosując nanodruty białkowe hodowane z bakterii. Pozwalały one na odzyskiwanie pewnych ilości energii z wilgoci zawartej

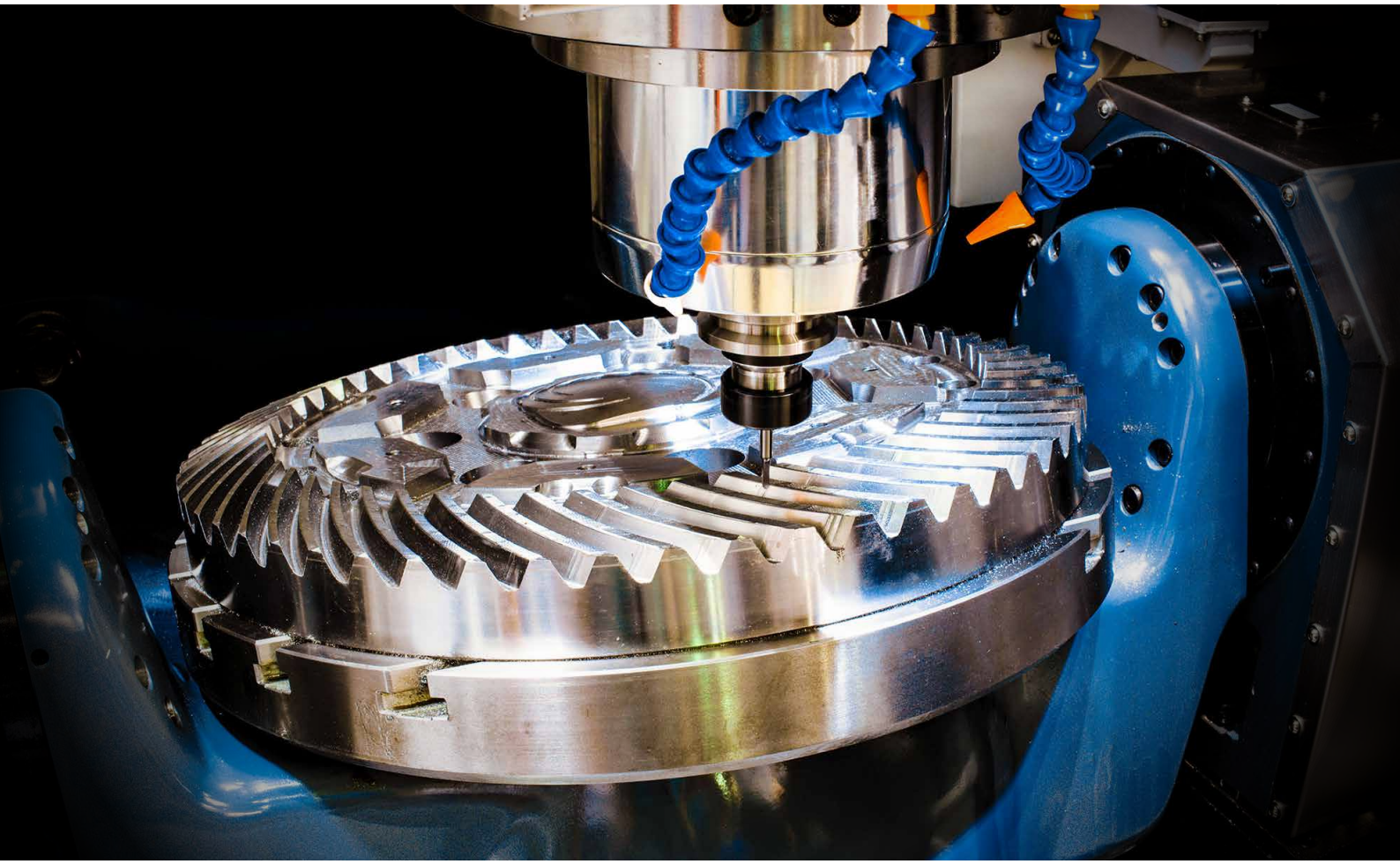


w powietrzu. Yao rozpoczął rozważania matematyczne obliczając odległość, jaką pokonuje pojedyncza cząsteczka zanim zderzy się z drugą. Efektem stał się „kombajn elektryczny" wykonany z materiału pokrytego porami o wielkości nieprzekraczającej 100 µm, przez które przedostają się cząsteczki wody, ocierając się o ścianki. Górna część urządzenia jest intensywniej bombardowana niż dolna, co skutkuje powstaniem różnicy potencjałów. Efekt wytwarzania prądu *Air-gen* występuje do czasu aż w powietrzu wyczerpie się wilgoć, co jest bardzo mało prawdopodobne. Całość jest grubości ludzkiego włosa. Zdaniem naukowców ułożenie tysięcy takich struktur mogłoby dostarczyć ogromnych ilości energii elektrycznej.

umass.edu

▪ REKLAMA

Obrabiarki skrawające do metalu: frezarki



Aleksander Łukomski

Frezarki to obrabiarki przeznaczone do wysokowydajnej obróbki skrawaniem powierzchni płaskich i kształtowych, przy pomocy narzędzi takich jak frezy lub głowice frezarskie. Główny ruch obrotowy przy frezowaniu wykonuje zawsze narzędzie. Ruchy posuwowe natomiast mogą być różnie rozdzielone pomiędzy narzędzie i detal obrabiany. Kształty powierzchni frezowanych zależą od zarysu krawędzi tnącej ostrza freza i wzajemnego skojarzenia ruchów freza i detalu obrabianego. Frezarki w przemyśle maszynowym stanowią po tokarkach najliczniejsza grupę obrabiarek skrawających do metalu.

Frezarki mogą być jednowrzecionowe lub wielowrzecionowe. Najczęściej stosowane są frezarki:

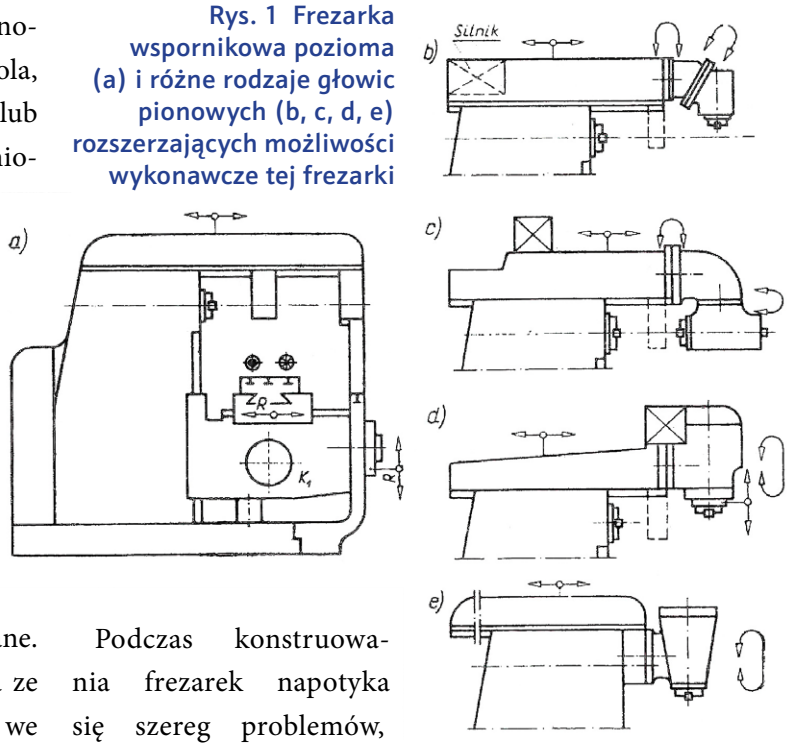
- pionowe
- poziome
- wspornikowe
- bezwspornikowe (łożowe)
- uniwersalne
- NC, CNC, centra frezarskie
- narzędziowe
- wzdłużne (bramowe)
- karuzelowe
- kopiarki
- do kół zębatych
- do gwintów
- i inne.

Specyficznymi rozwiązaniami frezarek są grawerki i piły tarczowe, przecinarki i pilnikarki.

Najbardziej rozpowszechniony w przemyśle typ frezarek stanowią frezarki wspornikowe. Ich cechą charakterystyczną jest przesuwny pionowo na prowadnicach stojaka wspornik-konsola, na którym zamontowany jest stół krzyżowy lub krzyżowo-skrętny. Ta konstrukcja jest uzasadniona wygodą obsługi oraz wszechstronnością zastosowań do frezowania przedmiotów małych i średniej wielkości, występujących w największej liczbie w przemyśle metalowym, obrabianych jednostkowo i seryjnie, o kształtach prostych i skomplikowanych. Występują frezarki wspornikowe poziome, z poziomą osią wrzeciona i pionowe, z pionową osią wrzeciona. Poza tym frezarki te dzieli się na szereg odmian. Są produkowane często jako konstrukcje zunifikowane. Frezarki wspornikowe ogólnego przeznaczenia ze stołem krzyżowym, napędzanym mechanicznie we wszystkich kierunkach są przystosowane do pracy w cyklu automatycznym sterowanym zderzakowo lub programowo sekwencyjnie. Frezarki te w wykonaniu uniwersalnym zawierają dodatkowo sanie poprzeczne, zwane obrotnicą, dla wykonywania poziomego skrętu stołu i jego ruchu posuwowego pod określonym kątem do osi wrzeciona, co wraz z zamontowaniem podzielnicy uniwersalnej umożliwia obróbkę powierzchni śrubowych i frezowanie zębatek o zębach skośnych.

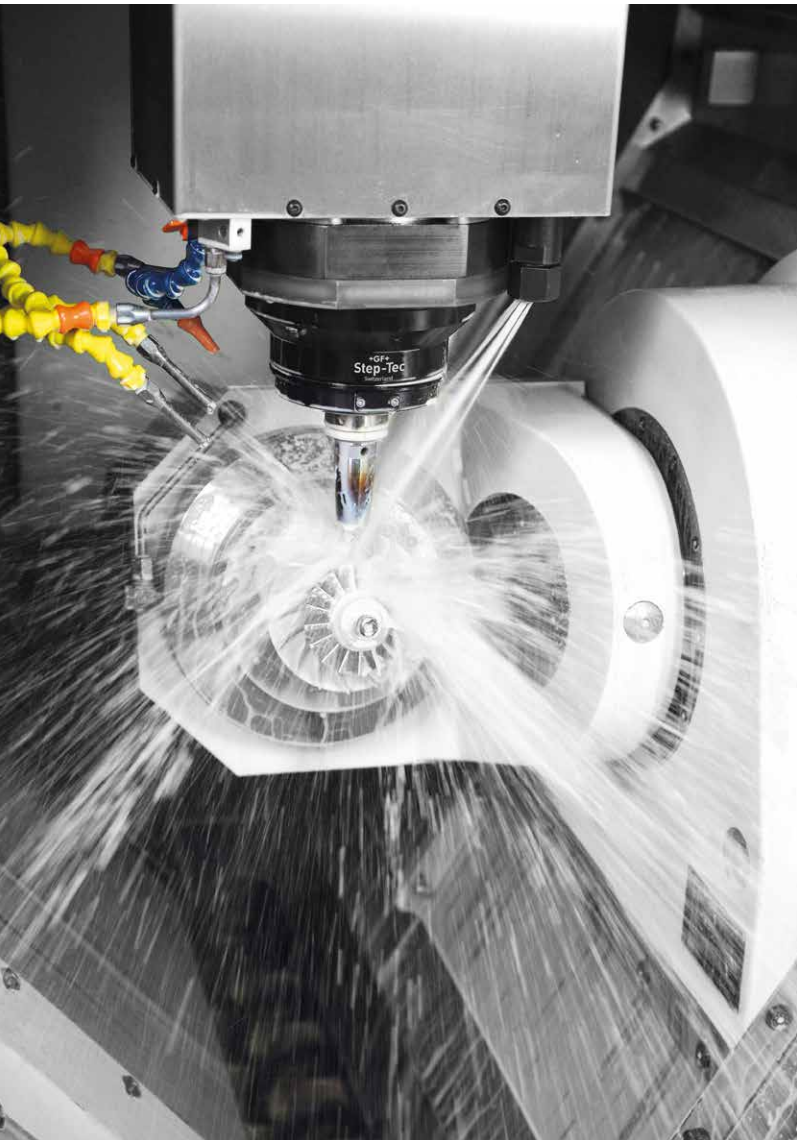
Frezarki pionowe różnią się od poziomych tylko rozwiązaniem pionowo ułożyskowanego wrzeciona w tulei wrzecionowej. Głowica, w której zamontowana jest tuleja wraz z wrzecionem często może wykonywać ruch podwójnie skrętny. Frezarki te przeznaczone są do frezowania powierzchni głowicami frezarskimi i frezami walcowo-czołowymi. Ponadto umożliwiają frezowanie różnego rodzaju rowków prostoliniowych, prostokątnych, trapezowych teowych, a także kołowych, po zastosowaniu stołu obrotowego.

Istnieją rozwiązania konstrukcyjne frezarek, które mają wrzeciono poziome jak i wrzeciono pionowe zamontowane w głowicy, na belce przesuwnej. Takie rozwiązanie pokazano na rysunku 1.



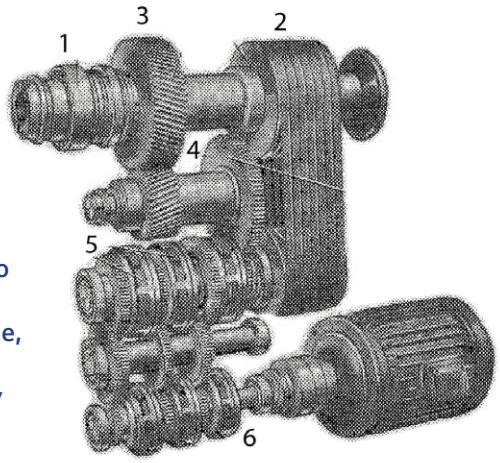
Rys. 1 Frezarka wspornikowa pozioma (a) i różne rodzaje głowic pionowych (b, c, d, e) rozszerzających możliwości wykonawcze tej frezarki

Podczas konstruowania frezarek napotyka się szereg problemów, z których niektóre są trudne do rozwiązania. Jednym z nich są drgania występujące podczas pracy frezarki. Do wykonywania detali w frezarkach używa się narzędzi wieloostrzowych – frezów i głowic frezowych, o różnej, niekiedy dużej liczbie ostrzy, np.



Fot. 1 Frezarka Mikron Mill X 400U ze stołem obrotowo-uchylnym (fot. GF Machining Solutions)

głowice frezowe drobnozębne. Zapewniają one dużą wydajność obróbki, co wynika z wartości posuwu na ostrze głowicy frezarskiej. Frezowanie wieloostrzowymi narzędziami powoduje jednak zmienny przekrój wióra i zmienną siłę skrawania. To z kolei wymusza drgania skrętne wrzeciona, co wraz z rezonansem z drganiami własnymi mechanizmu napędu powoduje silne drgania całej frezarki, utrudniające skrawanie i w skrajnych wypadkach może prowadzić do uszkodzenia frezarki. Stąd konstrukcja frezarki powinna mieć rozwiązania zabezpieczające przed powstawaniem rezonansu drgań skrętnych, a cała frezarka musi mieć sztywną budowę, tłumiącą drgania. Problem ten potęguje się przy stosowaniu narzędzi z węglików spiekanych, które wymuszają większe prędkości skrawania. Jednak frezarka ogólnego przeznaczenia musi uwzględniać w napędzie wrzeciona stosowanie narzędzi z węglików spiekanych, jak i narzędzi ze stali szybkotnącej, która z kolei wymaga niższych prędkości skrawania i stąd innej charakterystyki amplitudowo-częstotliwościowej. Problem ten jest trudny do rozwiązania dla konstruktora frezarki, gdyż musi on tak dobrać charakterystyki i zastosować pewne mechanizmy podatne, aby ten problem zlikwidować lub przynajmniej umniejszyć. Jest to jednak ciekawe zjawisko przy konstruowaniu frezarek. Najlepszy z punktu widzenia dynamiki jest mechanizm napędu wrzeciona frezarki podatny w zakresie dużych prędkości obrotowych, a sztywny w zakresie małych prędkości obrotowych. Dla dużych prędkości stosuje się wtedy przekładnię pasową klinową, a w zakresie małych prędkości – przekładnię zębatą, z pominięciem przekładni pasowej. Trzeba jednak bardzo wnikliwie analizować to rozwiązanie, aby osiągnąć najbardziej optymalny wariant. Zagadnienie to jest bardzo obszerne i zawiera wiele rozwiązań, które stosuje wielu producentów frezarek. Jedno z możliwych rozwiązań pokazano na rysunku 2.



Rys. 2 Mechanizm napędu frezarki: sztywny przy obrotach wolnych i podatny przy obrotach szybkich; 1 – łożysko NN30K, 2 – koło pasowe i koło zębate osadzone sztywno na wrzecionie, 3 – koło zębate jako koło zamachowe przy napędzie wrzeciona przekładnią pasową, 4 – koło zębate łączone sprzęgłem z przekładnią zębatą, 5 – sprzęgła elektromagnetyczne do włączania i hamowania obrotów, 6 – sprzęgło elektromagnetyczne do włączania różnych prędkości obrotowych

DMG MORI

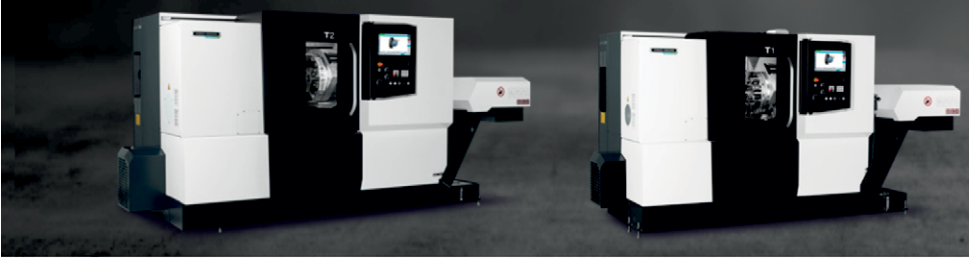
Uniwersalna obróbka CNC z jakością DMG MORI

UNIWERSALNE TOKARKI STEROWANE NUMERYCZNIE

SERIA T

ZALETY

+ Bezpośredni układ pomiarowy w osi X w standardzie!
+ Dynamiczny napęd główny: T1 = 4.500 obr./min, T2= 3.500 obr./min
+ Wysoka wydajność obróbki: T2: Q= 540 cm^3/min, T1: Q = 280 cm^3/min
+ Najnowsze sterowanie **SIEMENS SINUMERIK ONE** z **ShopTurn**, ekranem dotykowym 15" i USB 3.0



Skonfiguruj TERAZ swoją nową obrabiarkę z serii M lub T i przedłuż bezpłatnie gwarancję do **24 miesięcy!**

configure.dmgmori.com

Oferta dotyczy obrabiarek z serii M i T zamawianych przy użyciu Konfiguratora Online w terminie do 31.12.2023 r.

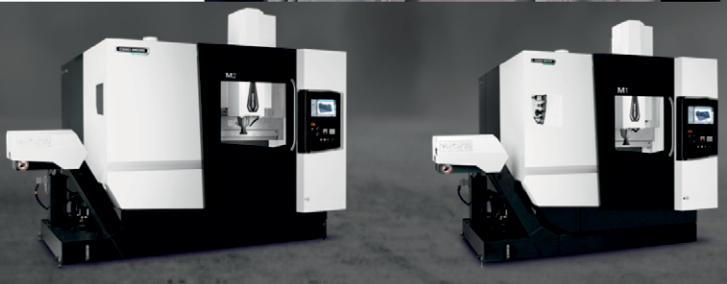
PIONOWE CENTRA OBRÓBKOWE

SERIA M

ZALETY

+ Unikalna konstrukcja bazująca na monolitycznym łożu zapewnia wysoką sztywność statyczną oraz dynamiczną, a także cechuje się dobrymi właściwościami tłumienia drgań (masa obrabiarki: M1: 5 600 kg / M2: 6 950 kg)
+ Duży obszar roboczy: X = 1 100 / Y = 550 / Z = 510 mm, przy powierzchni posadowienia zaledwie 7,3 m^2 (M2)
+ Niezawodne wrzeciono inline - 10 000 / 12 000 obr./min* z hydraulicznym mechanizmem zwalniania narzędzia
+ Najnowsze sterowanie **SIEMENS SINUMERIK ONE** z **ShopMill**, ekranem dotykowym 15" i USB 3.0

*Opcja

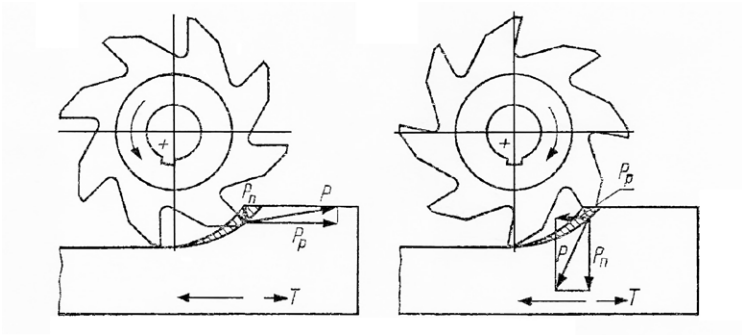


DMG MORI

W CELU UZYSKANIA DALSZYCH INFORMACJI ZACHĘCAMY DO KONTAKTU Z LOKALNYM INŻYNIEREM SPRZEDAŻY.

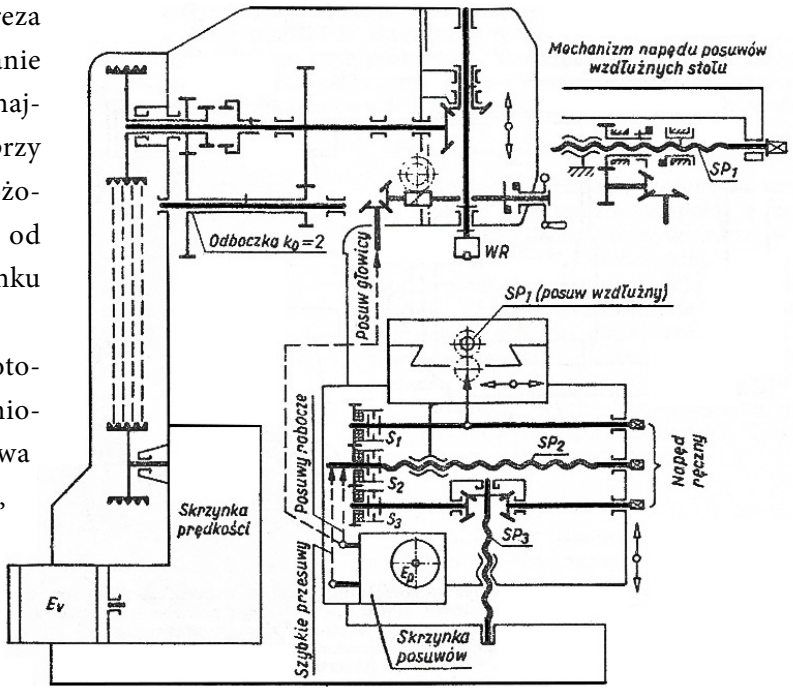
Ze względu na rozmieszczenie ostrzy freza występuje frezowanie walcowe i frezowanie czołowe. W walcowym frez skrawa ostrzami znajdującymi się na powierzchni walcowej, a przy frezowaniu czołowym frez skrawa zębami położonymi na powierzchni czołowej. W zależności od kierunku ruchu posuwowego względem kierunku obrotu freza frezowanie może być:

- przeciwbieżne, gdy kierunek ruchu obrotowego freza i ruchu posuwowego przedmiotu są przeciwbieżne. Wtedy siła posuwowa normalna skierowana jest pionowo w górę, a detal obrabiany ma tendencję do odrywania się od powierzchni stołu. Pojawiają się problemy z chłodzeniem, a wióry gromadzą się przed frezem. Ta technologia jest stosowana w przypadku frezowania wstępnego odlewu, gdzie obróbka rozpoczyna się na powierzchni już wcześniej obrobionej, co wydłuża okres trwałości narzędzia.



Rys. 3 Frezowanie przeciwbieżne (a) i frezowanie współbieżne (b); P – siła skrawania, P_p – siła posuwowa, P_n – siła normalna, T – siła tarcia

Fot. 2



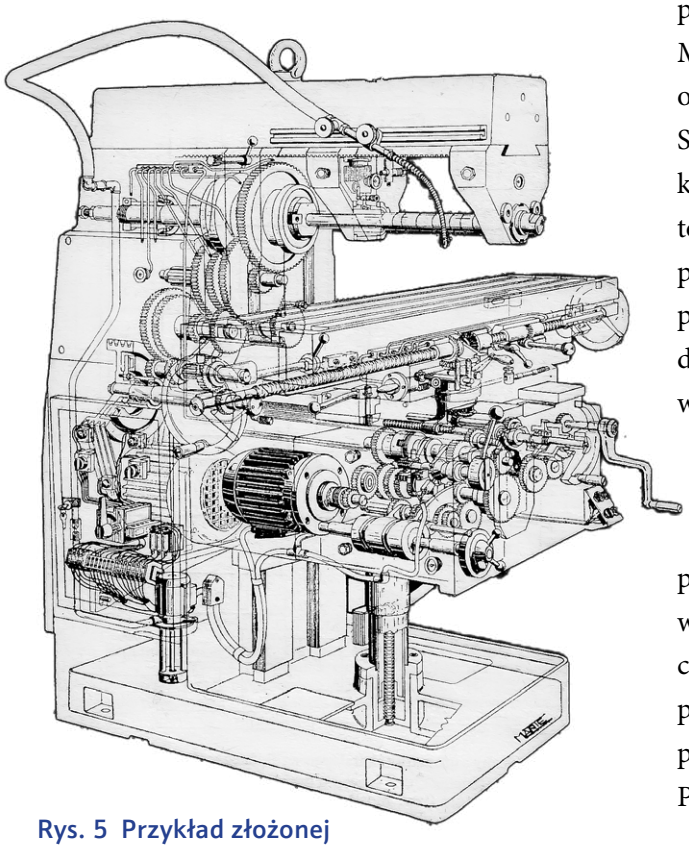
Rys. 4 Uproszczony schemat kinematyczny frezarki wspornikowej pionowej z przesuwną głowicą wrzecionową

- współbieżne, gdy kierunek ruchu posuwowego detalu obrabianego jest zgodny z kierunkiem ruchu obrotowego freza. Frezowanie to jest korzystniejsze od przeciwbieżnego, ponieważ grubość wióra jest największa na początku i najmniejsza pod koniec pracy, a wióry gromadzą się za frezem. Umożliwia to lepsze chłodzenia narzędzia. Siła posuwowa normalna skierowana jest w dół, a więc dociska obrabiany detal do stołu frezarki.

Na rysunku 4 pokazano uproszczony schemat kinematyczny frezarki wspornikowej pionowej. W schemacie dla frezarki poziomej różnica występuje w końcowej części łańcucha kinematycznego napędu wrzeciona. Występujące w łańcuchu kinematycznym posuwów trzy sprzęgła elektromagnetyczne (S_1, S_2, S_3) pozwalają na pracę frezarki w cyklu automatycznym, sterowanym „na drodze" – za pomocą zderzaków i łączników elektrycznych, lub też za pomocą programu. W układzie napędów posuwów nie ma nawrotnic, gdyż zmiana kierunków posuwu odbywa się poprzez przesterowania silnika elektrycznego (E_p) na przeciwny kierunek obrotów.

W niektórych frezarkach wspornikowych stosuje się mechanizm opuszczania wspornika wraz ze stołem przed jego powrotem do położenia wyjściowego i następnie podniesienie go przed rozpoczęciem następnego przejścia freza. Przystosowanie frezarek do frezowania przeciwbieżnego jak i współbieżnego osiąga się poprzez eliminację luzów w mechanizmie posuwów wzdłużnych stołu. Na rysunku 5 pokazano jak złożona może być konstrukcja prostej, zdawałoby się, frezarki.

W obecnie produkowanych frezarkach wspornikowych stosuje się wszystkie rodzaje sterowań, od sterowań ręcznych za pomocą dźwigni i pokręteł – przy prostych frezarkach dla rzemiosła, po sterowania NC i CNC. Dla tych ostatnich przypadków we frezarkach stosuje się inne napędy – inne silniki i opisane w poprzednich naszych artykułach serwomechanizmy i enkodery. Stosuje się też śruby toczne i toczne prowadnice. Sterowanie automatyczne z wyborem cykli, umożliwia wykorzystanie frezarek wspornikowych w produkcji seryjnej przy obsłudze wielostanowiskowej, tzn. jeden operator na kilka frezarek. Sterowanie to daje możliwość realizacji złożonych cykli ruchów stołu w układzie trzech współrzędnych prostokątnych, łącznie ze zmianą prędkości ruchów posuwowych, zmianą kierunków obrotu wrzeciona i wykonywaniem różnych czynności pomocniczych. Wyposażenie frezarki w urządzenie do frezowania kopiowego, najczęściej z napędami hydraulicznymi, umożliwia ten rodzaj frezowania. Frezowanie kopiowe w zasadzie najlepiej jest wykonywać na frezarkach pionowych, ponieważ na frezarkach poziomych prawie zawsze stosuje się mechanizm do kopiowania z pionową głowicą i z własnym napędem, mocowany do belki poprzecznej. Posuw kopiujący jest sterowany przez czujnik, którego palec wodzący dotyka wzornika zamocowanego na stole frezarki obok detalu obrabianego. Potrzebny jest jeszcze zespół hydrauliczny do napędów posuwów, ze zbiornikiem oleju, który ustawiony jest obok obrabiarki. Frezowanie kopiowe stosuje się już tylko w zasadzie w starszych rozwiązaniach frezarek lub prostszych konstrukcyjnie. W najnowszych konstrukcjach rozwiązuje ten problem wielokrotne wykonanie tego samego detalu dzięki programowaniu CNC.



Rys. 5 Przykład złożonej konstrukcji frezarki wspornikowej poziomej

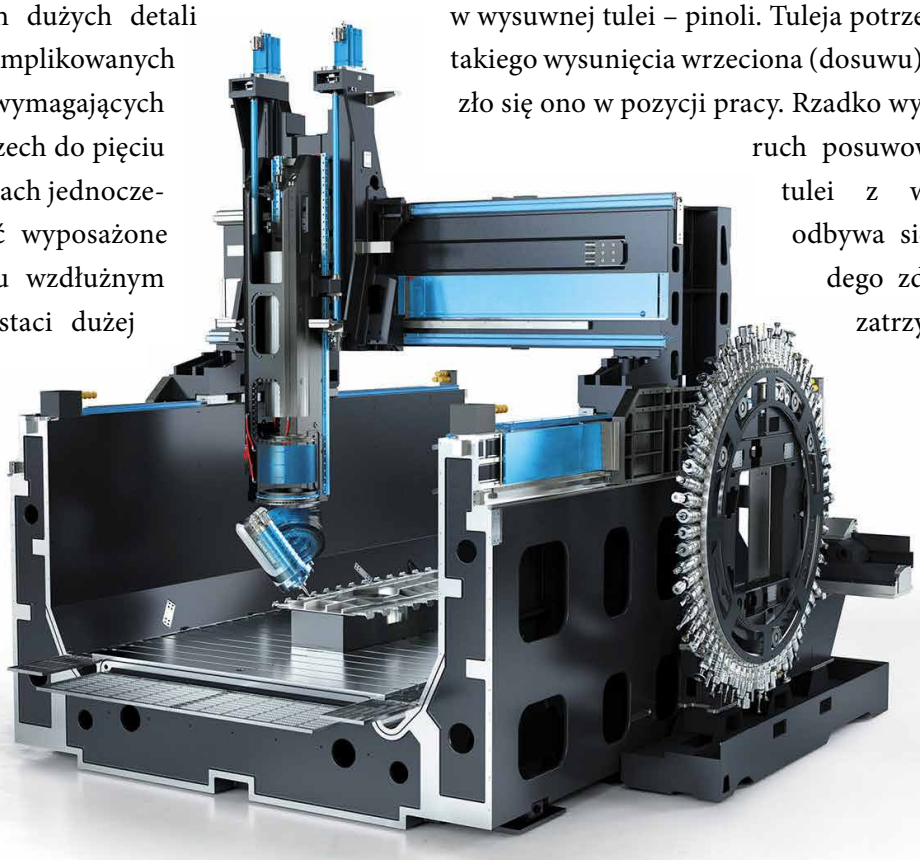
Frezarki bezwspornikowe, tzw. łożowe, mają podobne przeznaczenie jak frezarki wspornikowe. Mają jednak mocniejsza budowę, co umożliwia obróbkę większych i cięższych detali – do 2000 kg. Stół w tych frezarkach zamontowany jest na stałym korpusie – łożu. Z kolei wrzeciono frezarskie zamontowane jest we wrzecienniku, który wykonuje ruch pionowy przy pionowych frezarkach, a w frezarkach poziomych to stół wykonuje ruch poziomy. Najbardziej rozpowszechnione są frezarki bezwspornikowe ze stołem krzyżowym i stałym stojakiem.

Występują też frezarki łożowe wzdłużne bezstojakowe i stojakowe. W tych frezarkach stół przesuwa się bezpośrednio na łożu i ma przesuw tylko wzdłużny. Przesuw poprzeczny wykonuje tu narzędzie, poprzez wysuw tulei wrzecionowej (pinoli) z wrzeciennika na frezarkach poziomych lub przez poprzeczny lub wzdłużny przesuw wrzeciennika we frezarkach pionowych. Przy większych wymiarach stołów, powyżej

Fot. 3 Największa w Europie frezarka bramowa ze stołem stałym, z ruchomą belką poprzeczną (Waldrich Coburg), zamontowana w firmie H. Cegielski

630 mm, frezarki wzdłużne wykonywane są jako frezarki bramowe, czyli dwustojakowe, połączone na górze belką poprzeczną, tworząc bramę. Frezarki bramowe są obrabiarkami o wysokiej klasie dokładności, używanymi w tych gałęziach przemysłu, gdzie obrabia się wielkogabarytowe i skomplikowane korpusy, często bardzo precyzyjne, jak np. produkcja form, dużych tłoczników do karoserii samochodowych, korpusów obrabiarek i innych dużych detali o bardzo skomplikowanych kształtach, wymagających obrabiania w trzech do pięciu sterowanych osiach jednocześnie. Mogą być wyposażone w stół o ruchu wzdłużnym lub stół w postaci dużej płyty stałej, a ruch dosuwowy i posuwowy wykonuje wtedy brama – portal. Frezarki mogą mieć stałą lub przesuwną belkę poprzeczną. Z wyposażeniem specjalnym oraz odpowiednim sterowaniem obrabiarka tworzy frezarskie centrum obróbcze z automatyczną wymianą narzędzi i głowic narzędziowych oraz automatycznym pomiarem przedmiotu itp. Zapewnia kompleksową obróbkę detali w zakresie prac frezarskich, wytaczarskich i wiertarskich. Umożliwia obrabianie bardzo wielu materiałów, m.in. żeliwa, stali stopowej i stopów metali lekkich.

Frezowanie występuje też w obrabiarkach zadaniowych i zespołowych. Są znormalizowane zespoły frezarskie, jednak z praktyki wiadomo, że wrzeciennik frezarski na ogół projektowany jest za każdym razem, gdy jest potrzebny, jako specjalny. Bierze się to stąd, że detale obrabiane w takich obrabiarkach mają skomplikowane kształty i do innych operacji technologicznych zamontowane zostały w przyrządzie w sposób, który utrudnia proste frezowanie. W związku tym potrzebne są specjalne rozwiązania konstrukcyjne. Zespół frezarski do obrabiarki zespołowej składa się najczęściej z wrzeciennika, w którym wrzeciono frezarskie zamontowane jest w wysuwnej tulei – pinoli. Tuleja potrzebna jest do takiego wysunięcia wrzeciona (dosuwu), aby znalazło się ono w pozycji pracy. Rzadko wykonuje ona ruch posuwowy. Wysuw tulei z wrzecionem odbywa się do twardego zderzaka. Po zatrzymaniu na



Fot. 4 Odsłonięta struktura konstrukcyjna frezarki bramowej DMU 340 Gantry z żeliwnym, jednoczęściowym łożem o wysokiej sztywności (fot. DMG MORI)

GF Machining Solutions

+GF+

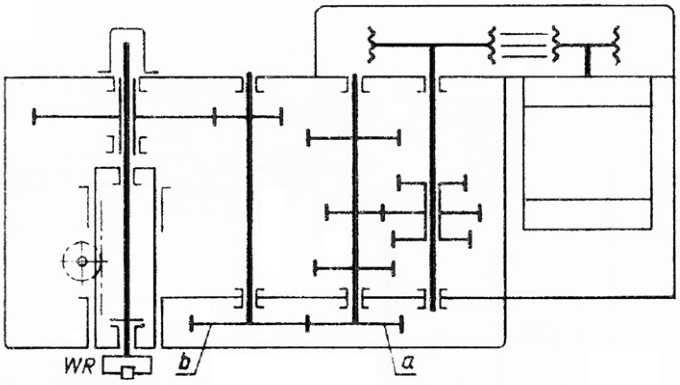
MILL P 800 U S

Frezarka, która rozwija się wraz z Twoimi potrzebami

Niezrównana wydajność, doskonała skalowalność

Osiągnij niezrównaną precyzję wykończenia powierzchni oraz wydajność usuwania materiału dzięki kompaktowej frezarce opartej na solidnej i symetrycznej konstrukcji portalowej. Zarówno obróbka wolna od ryzyka, jak i rozwój Twojej produkcji zostały wpisane w konstrukcję maszyny MILL P 800 U S. Poza systemem antykolizyjnym MSP, który czuwa nad bezpieczeństwem procesu, obrabiarka ta oferuje możliwość optymalnej integracji w zrobotyzowanym gnieździe produkcyjnym. Dzięki rozwiązaniu, które już dziś jest gotowe na wymagania przyszłości, zwiększysz swoją wydajność obróbki.

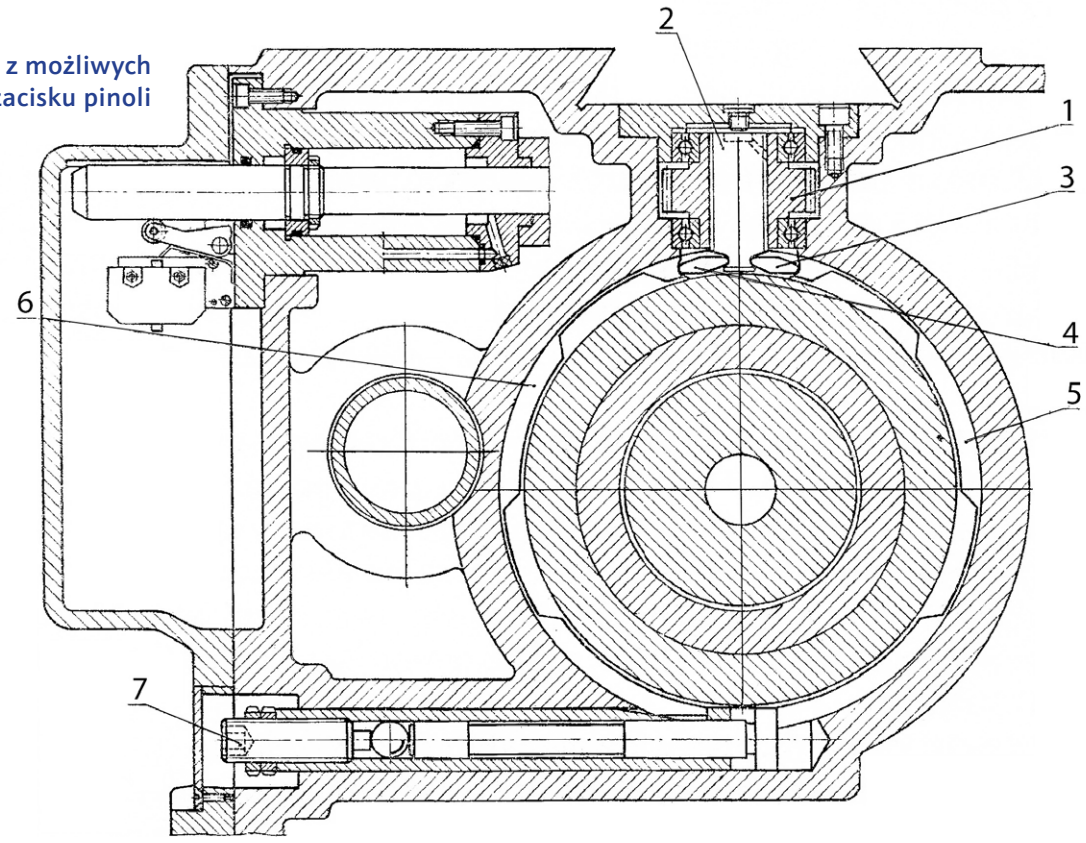
twardym zderzaku następuje zacisk pinoli, który musi zapewnić mocne i stabilne trzymanie pinoli podczas frezowania i emitowanych w związku z tym silnych drgań. Niekiedy pinole potrzebne są do stałego wysuwu i ustalenia położenia freza w różnych położeniach dla kilku przejść freza. Stosuje się wtedy przesuwny, stopniowy twardy zderzak. Ruch posuwowy realizowany jest wtedy przez zespół posuwowy. W niektórych rozwiązaniach konstrukcyjnych frezarek zadaniowych lub specjalnych wrzecienniki frezarskie zamontowane są po obu bokach stołu wzdłużnego, który realizuje ruch posuwowy. Najczęściej ruch dosuwowy, posuw i zacisk pinoli realizowane są za pomocą hydrauliki. Zdarzają się rozwiązania elektromechaniczne z mechanizmami śrubowymi. Na rysunku 6 pokazano schemat kinematyczny znormalizowanego zespołu frezarskiego. Zacisk pinoli może być rozwiązany prosto lub poprzez bardziej skomplikowany mechanizm. Proste rozwiązania to dwie szczęki uruchamiane siłownikiem hydraulicznym. Na rysunku 7 pokazano jedno z możliwych, lecz bardziej skomplikowane rozwiązanie zacisku pinoli. W rozwiązaniu tym wysuw pinoli odbywa się



Rys. 6 Schemat kinematyczny zespołu wrzecionowego frezarskiego stosowanego w obrabiarkach zespołowych; a, b – koła zębate wymienne. Wrzeciono zamontowane jest w wysuwnej tulei wrzecionowej (pinoli)

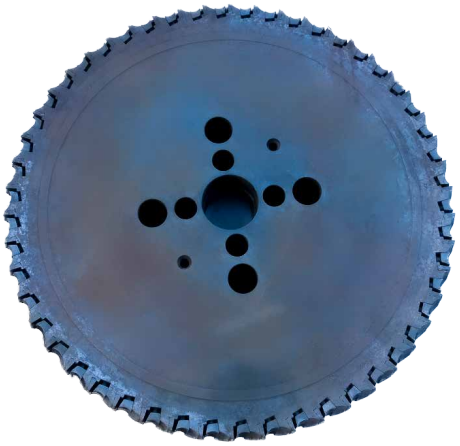
ręcznie, ale może być wysuw za pomocą mechanizmu śrubowego, albo siłownika hydraulicznego. Koło zębate 1 napędzane jest od ręcznej dźwigni. Koło zębate posiada gwintowany otwór z którego wysuwa się śruba 2, powodując rozsunięcie popychaczy 3 i 4, które powodują odkształcenia sprężystych segmentów 5 i 6 oraz zaciśnięcie tulei wrzecionowej w sześciu miejscach na obwodzie. Regulację siły zacisku dokonuje się śrubą – numer 7. Zabezpieczeniem przed samoodkręcaniem są dwie kontrnakrętki.

Rys. 7 Jedno z możliwych rozwiązań zacisku pinoli



W jednym z wcześniejszych numerów naszego czasopisma pokazaliśmy bardziej skomplikowany mechanizm wysuwu i zacisku pinoli za pomocą **pływającej śruby**.

Na wyposażeniu frezarek jest wiele narzędzi frezarskich, od prostych, dobrze znanych frezów, używanych od wielu lat we wszystkich frezarkach, po skomplikowane narzędzia wykonywane na specjalne zlecenie przez dobre narzędziownie. Jeszcze w latach osiemdziesiątych frezy specjalne, np. do obróbki ślimacznic czy kół zębatych, ale i głowice frezarskie, były specjalnie konstruowane i wykonywane w narzędziowni fabryki użytkującej frezarki. Szwedzkie firmy produkujące narzędzia opracowały szereg narzędzi, ostrzy i wkładek do budowy rozmaitych narzędzi skrawających składanych oraz w specjalnych rozwiązaniach. W Polsce w Jeleniej Górze zaczęto też produkować na wzór szwedzki różne narzędzia, np. wieloostrzowe



Fot. 5 Wydajna głowica frezarska drobnozębna – 54 ostrza. Jeżeli każde ostrze ścina 0,2 mm materiału, to na jeden obrót tej głowicy zbierana warstwa materiału wynosi 10,8 mm.

głowice frezarskie. Było to przełomowe nowe wykorzystanie i tak już wydajnych frezarek. Głowica frezarska 54-ostrzowa z Jeleniej Góry pokazana jest na fotografii 5.

Projektowanie i konstrukcja frezarek to zagadnienia bardzo obszerne. Podobnie jak wyposażenie frezarek, poszerzające ich możliwości produkcyjne.

Aleksander Łukomski

▪ REKLAMA

RICHO POLSKA®

CHCESZ dobrze zainwestować swoje pieniądze?

- Centrum obróbcze DM zwiększy wydajność Twojej produkcji
- Maszyna zapewnia szybkość i wysoką precyzję obróbki, przy zachowaniu całkowitej stabilności
- To najczęściej kupowana obrabiarka przez naszych klientów

Zadzwoń: 781 677 446 lub 58 350 90 43
Napisz: richo@richo.pl lub biuro@richo.pl

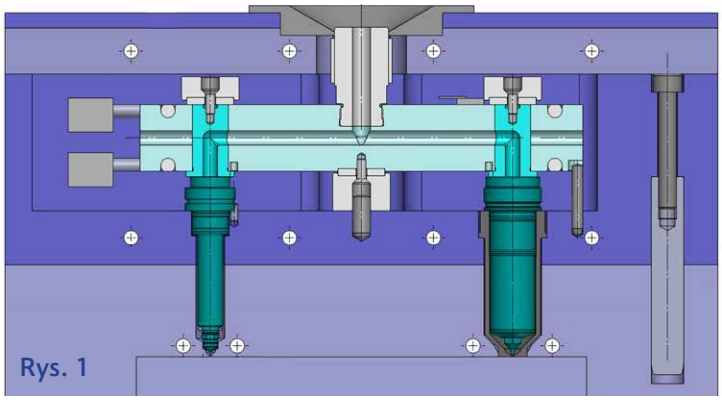
www.richo.pl

Projektowanie dyszy GK ze względu na gospodarkę cieplną

Podstawowym zadaniem systemu gorącokanałowego (GK) w formach wtryskowych jest utrzymanie tworzywa w stałej, właściwej temperaturze przetwórstwa, na całej długości kanałów. System GK (Rys. 1) składa się z rozdzielacza i dysz oraz elementów pomocniczych (wtrysk wielopunktowy), lub dyszy centralnej (wtrysk jednopunktowy). Jednym z podstawowych problemów, na jakie napotykali i napotykają konstruktorzy systemów GK jest prawidłowe ogrzewanie i prawidłowy rozkład temperatury dla całego systemu. Wynika to z faktu, że system GK podczas pracy narzędzia jest rozgrzany do temperatury 200-400 °C, a forma zwykle ma temperaturę od kilku do stu kilkudziesięciu stopni Celsiusza. Różnica temperatur pomiędzy zimną formą a gorącym systemem rzędu 100-200 °C może powodować duże straty energii cieplnej, a tym samym zakłócić pracę całego narzędzia, co skutkuje wadliwymi wypraskami (Rys. 2) i w efekcie stratami ekonomicznymi.

Wojciech Dziewulski

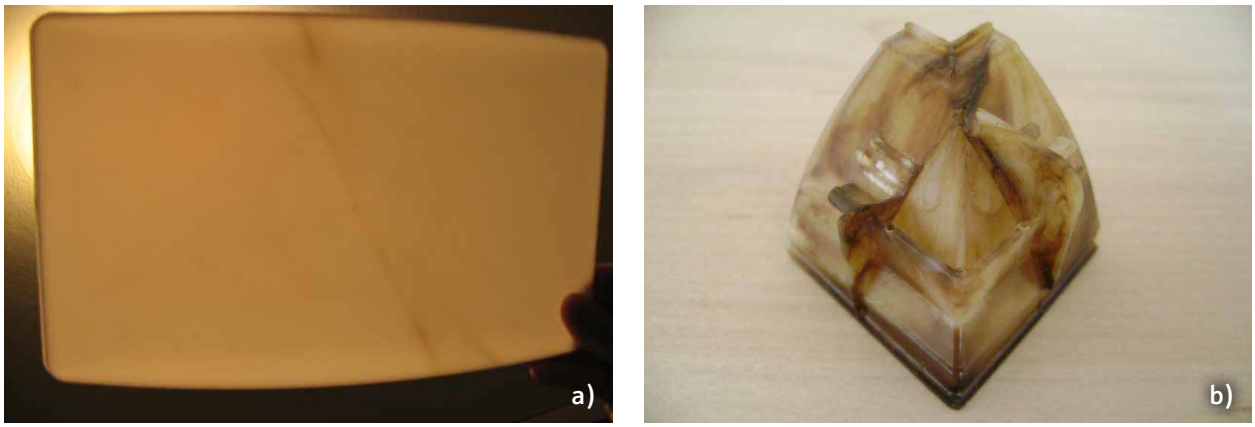
Problemy termiczne takich części form jak rozdzielacze i duże dysze zostały już dotąd rozpoznane i rozwiązane zadowalająco, natomiast rozkład temperatury wzdłuż kanału dyszy (szczególnie w dyszach o małej średnicy) sprawia konstruktorom wciąż najwięcej kłopotów.



Rys. 1

Najważniejszy elementem każdego systemu jest dysza GK. Przemysł opracował wiele różnych konstrukcji dysz GK, ale najbardziej popularnym rozwiązaniem są konstrukcje z komorą izolacyjną na obudowie (dysza po prawej stronie na rysunku 1), lub z komorą izolacyjną w obszarze przewężki (dysza po lewej stronie na rysunku 1).

Podstawowym warunkiem poprawnego działania całego systemu GK jest właściwe jego ogrzewanie i skuteczna separacja zawsze gorącego systemu od zimnej formy. Aby wyjaśnić istotę poprawnego działania dyszy zobaczmy na przykładzie, jak stopniowe



Rys. 2

doskonalenie gospodarki cieplnej doprowadziło do konstruktywnego rozwiązania, które dla tzw. trudnych termoplastów (PA 6.6, PBT, PC, POM, PPO, dodatki uniepalniające) zapewniło poprawne przetwórstwo (badanie przeprowadzono w latach 80-tych w firmie PSG). Tego rodzaju rozwiązanie jest uważane za dobre wtedy, gdy rozruch i przerwy w cyklu nie powodują termicznego uszkodzenia tworzywa. Oczywiste jest, że wymogi reologicznie i wytrzymałość mechaniczna prawidłowego funkcjonowania dyszy muszą być spełnione, ale ten problem nie jest tematem niniejszego artykułu.

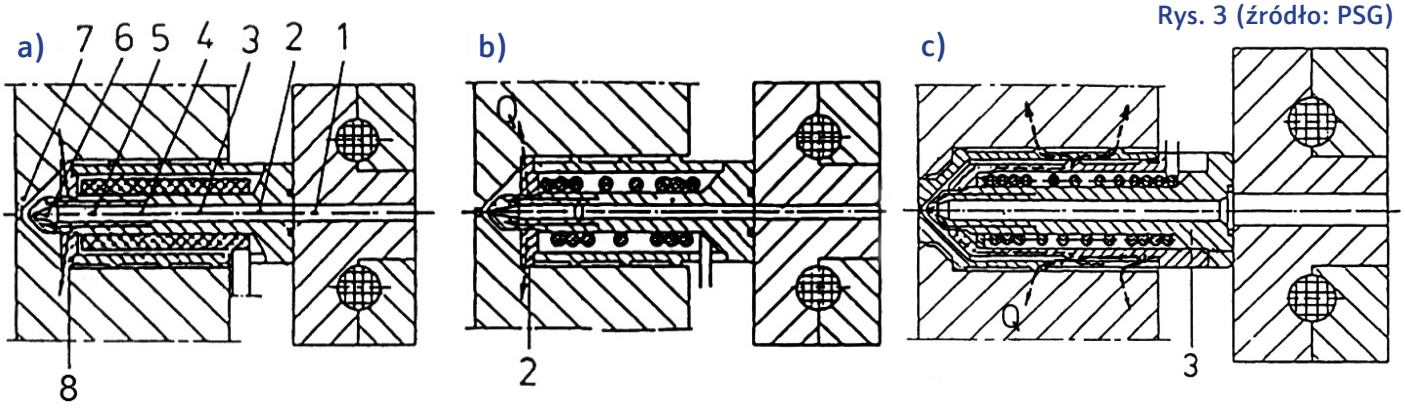
Badaniom poddano trzy typy dysz przedstawione na rysunku 3. Wszystkie typy miały rdzeń (centralny element z kanałem stopu) wykonany ze stopu CuBe (tylna część dyszy jest nagrzewana od rozdzielacza GK; 1-7 – punkty pomiarowe).

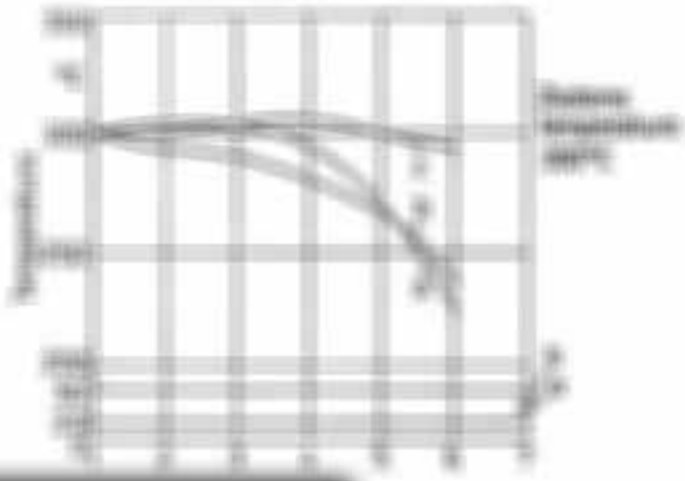
Pierwsza wersja dyszy (a) to konstrukcja z grzejnikiem otokowym, z termoelementem umieszczonym w czole grzejnika. Przednią część rdzenia podparto pierścieniem ze stali stopowej CrMo (8), co powodowało, że część strumienia ciepła płynącego do wylotu dyszy uciekała poprzez ww. pierścień do formy. Skutkiem tego wzdłuż drogi płynięcia (krzywa „a" na rysunku 4) powstawały różnice temperatur ok. 80 °C, co uniemożliwiało przetwórstwo tworzyw konstrukcyjnych.

Druga wersja dyszy (b na rysunku 3) to konstrukcja z dwoma ulepszeniami. Spirala grzejnika została rozciągnięta w środku, w celu spowodowania bardziej równomiernego rozkładu temperatury. Aby poprawić izolację, pierścień podporowy (2) wykonano ze stopu tytanu. Powyższe zmiany nie przyniosły jednak zadowalającego rezultatu (krzywa „b" na rysunku 4).

Trzecia wersja dyszy (c na rysunku 3) to konstrukcja znacząco ulepszona. Ponieważ pierścień podporowy powodował spadek temperatury u wylotu dyszy (6) o ok. 60 °C, zastąpiono go wewnętrzną tuleją podpartą (tzw. obudowa) w środkowej części dyszy, dzięki czemu na czole dyszy powstała komora izolacyjna. Przy pierwszym wtrysku tak utworzona komora wstępna napełnia się tworzywem. Obudowa, która nie styka się bezpośrednio z grzałką ma temperaturę niższą o ok. 150 °C niż wewnętrzny rdzeń dyszy. Znajdujące się w komorze wstępnej (izolacyjnej) tworzywo separuje dyszę termicznie.

Rys. 3 (źródło: PSG)

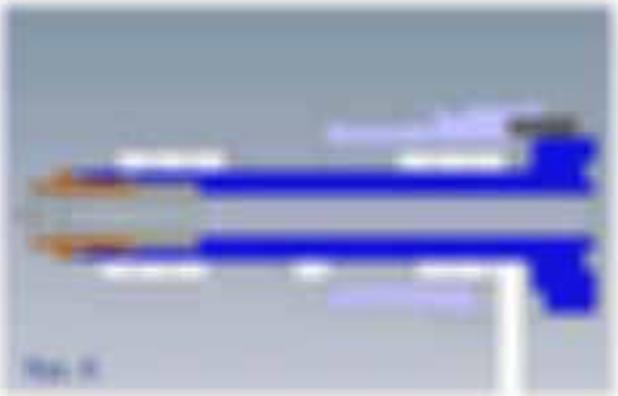




Artykuł dostępny w wydaniu płatnym

SPRAWDŹ
jak zamówić wydanie

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



BALINT® MOLDENA | Przetwórstwo tworzyw sztucznych

oerlikon balzers

Oerlikon Balzers, dostawca wyprzedzających rozwiązań powierzchniowych w przemyśle wprowadził na rynek nowoczesną powłokę BALINT® MOLDENA. Warstwa ta została opracowana w celu zwiększenia wydajności form wtryskowych i narzędzi do wytłaczania tworzyw sztucznych. Szczególny nacisk został położony na przetwórstwo polimerów pochodzących z recyklingu, z dodatkami organicznymi (WPC), wzmocnionych włóknem szklanym (GFRP) oraz materiałów o wysokiej zawartości uniepalniaczy. Zastosowanie BALINT® MOLDENA zapewnia dłuższą trwałość formy, przy utrzymaniu wysokiej jakości wypraski.

Propozycje Oerlikon odpowiadają światowym wymogom zrównoważonego rozwoju, BALINT® MOLDENA jest konkretną realizacją tych wytycznych. Stosowanie powłoki obniża zużycie energii i przyczynia się do oszczędności zasobów naturalnych. Powłoka gwarantuje dłuższą trwałość narzędzia oraz wysoką jakość produktów. Szczególnie rekomendowana jest również w przetwórstwie polimerów do recyklingu.

Twardość. Odporność na ścieranie i korozję

BALINIT®MOLDENA charakteryzuje się wysoką twardością, odpornością na ścieranie, obojętnością chemiczną, wysoką odpornością na korozję. Grubość powłoki wynosi 7 µm. W sposób szczególny rekomendowana jest przy przetwarzaniu polimerów z różnego rodzaju wypełniaczami, jak np. włókna szklane (GFRP). Dodatkami organicznymi np. WPC, zawartością uniepalniaczy lub materiałami po recyklingu. Wymienione tu cechy powłoki, biorąc pod uwagę również właściwości przetwarzanego materiału i jego wpływu na narzędzie pozwalają na znaczne wydłużenie trwałość formy wtryskowej oraz poprawę jakości produktu.

BALINIT®MOLDENA cieszy się dużą popularnością wśród klientów na całym świecie, a w szczególności w Polsce. Każdy odbiorca podkreśla korzyści jakie osiągnął z zastosowania tego rozwiązania. Współpraca z Oerlikon wygląda w ten sposób, że klient powierza nam narzędzie, Oerlikon Balzers poddaje je uszlachetnieniu poprzez nałożenie powłoki na powierzchnie robocze formy i odsyła z powrotem do odbiorcy. Usługa jest realizowana w sposób profesjonalny, z pełnym wsparciem technicznym i w krótkim czasie. Serdeczne zapraszamy do współpracy. Poniżej prezentujemy dwa konkretne przykłady, gdzie podkreślamy wymierne korzyści jakie uzyskał klient.

Eliminacja odpadów – produkcja uchwytów do patelni

Firma Krishna Krishna Design & Manufacturing (Pune, Indie) jest producentem artykułów gospodarstwa domowego i naczyń kuchennych. Do produkcji teksturowanych uchwytów patelni stosuje bakelit, który jak wiadomo działa korozyjnie na formę. Problemem były częste przestoje oraz narosty na narzędziu. Skutkiem tego był wysoki wskaźnik odpadów oraz rosnące koszty. Co 30 000 cykli należało wykonać przegląd formy. Zastosowanie BALINT® MOLDENA rozwiązało problematyczne zagadnienie. Wyeliminowano narosty, wydłużono czas pracy między przestojami. Wyniki są imponujące. Wskaźnik odpadów został zredukowany do zera. Przeglądy robione są co 50 000 cykli.

Większa wydajność – produkcja nóg doniczki, kompozyt z dodatkiem drewna

Prosperplast, wiodący polski producent wyrobów z tworzyw sztucznych dla domów i ogrodów, wykorzystuje kompozyt z dodatkiem drewna do produkcji nóg doniczkowych. Początkowo firma zmagała się z częstymi przestojami z powodu niskiej jakości powierzchni produktu oraz silnego odgazowania. Zastosowanie powłoki BALINIT® MOLDENA pomogło uzyskać wypraskę o wysokiej jakości, bez odpadów i przestojów na czyszczenie i polerowanie. Klient odnotował wymierne korzyści dzięki współpracy z Oerlikon Balzers.

 # Czy jakość wyrobu stanowi dla Ciebie problem?

Kontakt:
Grzegorz Kiliński
T: +48 785 400 065
@: grzegorz.kilinski@oerlikon.com
Zapraszamy!

RESTOMOD

klasyczne konstrukcje w nowych odsłonach

Jest wielce prawdopodobne, że zmiany zachodzące w przemyśle samochodowym, wykluczające wiele dotąd stosowanych rozwiązań technicznych z powodu wymogów produkcji wielkoseryjnej, spowodowały, że ogromna grupa klientów chce czegoś więcej ponad standardową ofertę rynkową. Pseudoekologiczna propaganda nie przekonuje wszystkich. Za to wielkim zainteresowaniem cieszą się legendarne samochody sprzed lat, łączące efektowne nadwozia z wysokimi osiągami.

Ryszard Romanowski

Potwierdzają to statystyki. Ostatni salon samochodowy IAA we Frankfurcie był triumfem klasyki. Odwiedzający zamiast oglądać nieliczne premiery koncernów, tłumnie odwiedzali ekspozycję firm zajmujących się renowacją samochodów klasycznych. Podczas po-lockdownowego, odnowionego IAA w Monachium zaobserwowano ten sam trend. Klasyki, supersamochody i repliki stały się dla wielu odtrutką na nachalnie lansowane najnowsze, coraz droższe konstrukcje.

Zapewne miał rację David Brown (zbieżność imienia i nazwiska z dawnym właścicielem Aston Martina) mówiąc podczas ekspozycji w Genewie, że budowane przez niego, wraz z grupą najlepszych rzemieślników, perfekcyjne wersje modelu DB5 i klasycznego Mini przynoszą porównywalną satysfakcję zarówno budowniczym, jak i klientom.

Szlachetne materiały i perfekcyjne wykonanie aut, które stały się motoryzacyjnymi legendami, a jednocześnie częściowe dostosowanie ich do wymagań XXI wieku, okazało się tym, czego oczekiwało wielu klientów. Powstał nowy termin – restomod, określający tego typu konstrukcje. Budową takich pojazdów zajęły się nie tylko małe manufaktury.

Volvo P1800 Cyan – ikona szwedzkiej motoryzacji w nowej odsłonie

Volvo P1800 Cyan – detal zawieszania typu *double wishbone* (tył)

Nowoczesne nadwozie z kompozytu węglowego

CYAN

Niewątpliwie Volvo P 1800 jest „ikoną" szwedzkiej motoryzacji. Samochód bardziej znany u nas z serialu „Święty" niż z obecności na drogach. Pelle Petterson zaprojektował nadwozie, które jakoś nie chce się zestarzeć. Firma Cyan Racing, znana od lat z budowy wyścigowych wersji Volvo, postanowiła dostosować klasyczny model do aktualnych wymagań.

Mimo że na rynku wtórnym występuje wiele ofert dawnych modeli P 1800, to w wielu wypadkach ich renowacja jest zupełnie nieopłacalna. Cyan wykorzystuje właśnie takie samochody. Pozostaje z nich niewiele części, głównie podwozie. Jest ono pieczołowicie odnowione i zabezpieczone antykorozyjnie. Poza tym, wszystkie inne części, od przełączników po wahacze i układ kierowniczy, są zabudowane od nowa. Wszystko, do czego użyte zostało aluminium, jest frezowane z bloków tego metalu. Wykonane z kompozytu węglowego nadwozie jest łączone z podwoziem za pomocą klejenia.

Nadwozie było wyzwaniem dla projektantów. Pomieszczenie podwójnie doładowanego silnika z Volvo S60 i V60 Polestar, o mocy ponad 420 KM i całego nowoczesnego układu napędowego oraz zawieszeń, wymagało sporych zmian w stosunku do oryginału. Największe zmiany to nieznaczne przesunięcie kabiny i obniżenie charakterystycznych płetw, w tylnej części samochodu. Gotowy pojazd waży 990 kg.

Układ jezdny i napędowy z podwójnie doładowanym silnikiem 2.0 L, pięciobiegową manualną skrzynią typu *dog-leg* i napędem na tylne koła

Artykuł dostępny w wydaniu płatnym

SPRAWDŹ
jak zamówić wydanie

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

Dynamika i poziom drgań łożysk

W ostatnich latach obserwuje się wzrost świadomości odnośnie zagrożeń związanych z hałasem, co częściowo wynika z pojawiających się regulacji prawnych. Trudno jest wyróżnić branżę, użytkownika czy dostawcę, którego to nie dotyczy.

Firma Timken, jako dostawca, może poszczycić się długą historią działań podejmowanych w celu oceny zagrożeń hałasem, wyprzedzających o wiele lat obecny nacisk na jego redukcję. Przykładem tej filozofii jest nie tylko szeroko zakrojony program badań poziomu hałasu w zakładach produkcyjnych, ale także ciągłe zaangażowanie w badania zarówno podstawowych, jak i praktycznych aspektów monitorowania dźwięków związanych ze stosowaniem łożysk.

Warto wyobrazić sobie łożysko jako element pełniący dwie role. Jedną z nich jest bierna rola przekaźnika, w ramach której łożysko jedynie zapewnia ścieżkę przenoszenia energii między elementem obracającym się a elementem nieruchomym. Druga, aktywna rola, polega na wzbudzaniu najbliższego bezpośredniego otoczenia w następstwie jego obrotu. Ważną umiejętnością jest rozróżnienie tych aspektów, szczególnie w sytuacjach wymagających postawienia diagnozy. Zasadniczo łożyska odgrywają znaczącą rolę w przenoszeniu drgań w urządzeniach obracających się, jednak zazwyczaj nie są dominującym źródłem drgań.

ŁOŻYSKO JAKO PRZEKAŹNIK

Mówiąc najprościej, łożysko można traktować jako bezmasową sprężynę/amortyzator łączący wał z jego obudową. Zazwyczaj interesuje nas określenie tego, w jaki sposób drgania są przenoszone z obudowy na wał lub odwrotnie. Na przykład wzbudzenie zazębiających się kół zębatych jest przenoszone wzdłuż wału przez łożysko, a następnie na powierzchnię obudowy, gdzie część energii jest przekształcana w drgania otaczającego powietrza i hałas.

Łożyska stożkowe i kulkowe skośne posiadają kilka cech niespotykanych w innych typach łożysk tocznych. W układzie tego typu łożysk konieczna jest regulacja luzu poosiowego, co wpływa na wielkość powstałej siły osiowej, a tym samym na sztywność łożysk i całego układu. Sama zmiana luzu poosiowego układu łożysk może spowodować przesunięcie wszelkich niepożądanych rezonansów poza interesujący nas zakres częstotliwości. W łożyskach stożkowych powszechnie spotykane są maksymalne sztywności wynoszące około 1,75 · 109 N/m (10 ·106 lbf/in).

Podczas regulacji sztywności układu istotne jest uwzględnienie sztywności podpór łożysk (obudowy). Prosta zależność to:

$$1/K_{układ} = 1/K_{łożysko} \cdot 1/K_{obudowa}$$

O ile przewidywanie sztywności łożysk jest w najlepszym razie kłopotliwe, o tyle zajmowanie się ich charakterystyką tłumienia jest jeszcze trudniejsze. Wykazano jednak, że regulacja luzu łożyskowego wpływa na zakres możliwego do uzyskania tłumienia.

ŁOŻYSKO JAKO WZBUDNIK

Potencjał wzbudzenia każdego łożyska tocznego zależy przede wszystkim od kształtu powierzchni tocznych. Przykładowo, jeśli w pracującym łożysku pojawiłoby się większe uszkodzenie np. w formie wyrwy materiałowej, mogłoby to spowodować powstanie dużego impulsu siły. Podobnie przy niewielkim uszkodzeniu, np. odcisków Brinella, zarysowań czy też odchyłek okrągłości elementów, prowadziłoby do mniejszych wahań siły dynamicznej. Zgodnie z teorią Hertza, nawet niewielkie odkształcenia mogą powodować powstawanie siły o znacznej wielkości. Jest to właśnie mechanizm powodujący, że łożysko działa jako wzbudnik.

Nierówności powierzchni różnego pochodzenia prowadzą do powstania sił dynamicznych. Siły te nie pozostają w miejscu, ale są dość łatwo przenoszone na konstrukcję nośną.

Zależność od wielu zmiennych uniemożliwia matematyczne określenie wielkości tych sił w łożysku. Ich częstotliwości można jednak bardzo dokładnie określić na podstawie wymiarów łożyska i jego prędkości obrotowej. W zależności od typu łożyska można określić trzy stałe w odniesieniu do kątów działania lub średnic łożyska:

$$K_1 = \frac{\sin\alpha}{\sin\alpha + \sin\beta} = \frac{D_0}{D_0 + d_0}$$

$$K_2 = \frac{\sin\beta}{\sin\alpha} = \frac{d_0}{D_0}$$

$$K_3 = \frac{\sin\beta}{\sin\nu} = \frac{d_0}{D_{w0}}$$

Takie stałe wraz z prędkością obrotową (S), liczbą elementów tocznych (Z) oraz indeksem harmonicznym (i) pozwalają na obliczenie określonych częstotliwości. Te z kolei identyfikują określone zakłócenia (tabela 1).

Zakłócenie	Częstotliwość (Hz)
Asymetria pierścienia obracającego się	$f_0 = S/60$
Owalizacja pierścienia obracającego się	$f_{1i} = i \cdot f_0$
Nieregularność powierzchni elementu tocznego, np. wyrwy lub zakaleczenia	$f_{2i} = 2 \cdot k_1 \cdot k_3 \cdot f_{1i}$
Nieregularność powierzchni bieżni wewnętrznej, np. wyrwy lub zakaleczenia	$f_{3i} = Z \cdot k_1 \cdot f_{1i}$
Nieregularność powierzchni bieżni zewnętrznej, np. wyrwy lub zakaleczenia	$f_{4i} = Z \cdot k_1 \cdot k_2 \cdot f_{1i}$
Rozrzut wielkości elementu tocznego (obracający się pierścień wewnętrzny)	$f_{5i} = k_1 \cdot k_2 \cdot f_{1i}$
Rozrzut wielkości elementu tocznego (obracający się pierścień zewnętrzny)	$f_{6j} = k_1 \cdot f_{1i}$

Tab. 1 Rodzaje uszkodzeń i wynikające z nich częstotliwości wzbudzenia

UWAGI DOTYCZĄCE POMIARÓW

Częstotliwości podane w tabeli 1 mają zastosowanie zawsze podczas wykonywania oceny łożyska. Typowe podejście zakłada wykorzystanie akcelerometru przymocowanego do łożyska lub znajdującego się w pobliżu. Poprzez przeprowadzenie wąskopasmowej analizy częstotliwościowej sygnału przyspieszenia można zwykle określić, czy łożysko jest uszkodzone, czy też spełnia określone przez użytkownika kryterium drgań.

Aby uniknąć niejasności podczas identyfikowania skoków przyspieszenia występujących przy powyższych częstotliwościach, szerokość pasma musi być wystarczająco wąska. Przykładowo, wraz ze spadkiem prędkości obrotowej zmniejsza się szerokość pasma.

Nierzadko obserwuje się modulację, zwłaszcza gdy sygnał jest uzyskiwany w kierunku prostopadłym do osi łożyska. W tych okolicznościach przeważające oznaki zostaną znalezione przy częstotliwościach $f_{2i} \pm f_{5j}$ lub $f_{2i} \pm f_{6j}$, gdzie „i” oraz „j” oznaczają indeksy harmoniczne.

Do tej pory przyjmowano, że łożysko pracuje w strefie obciążenia obejmującej 360°. Jeśli tak nie jest, na przykład podczas pracy z obciążeniem promieniowym i luzem wewnętrznym lub luzem wzdłużnym, elementy toczne wchodzące do strefy obciążenia i wychodzące z niej powodują pojawienie się widma, które ma tendencję do „rozmywania się”.

W ramach jednego z ostatnich kroków w programie zapewniania jakości firma Timken poddaje swoje łożyska analizie drgań na wysoce specjalistycznych maszynach wyposażonych w akcelerometr.

Ponadto stosuje się następujące uzasadnienie: „Poziom drgań (siły dynamicznej) łożyska, pracującego z określoną prędkością i przy określonym obciążeniu wstępnym, jest porównywany do określonej normy i musi ją spełniać. W takim przypadku niedoskonałości geometryczne są tak małe, że potencjał łożyska do działania jako wzbudnik jest uważany za akceptowalny”. Należy zauważyć, że oznacza to, że wpływ łożyska jest ściśle funkcją niedoskonałości geometrycznych, a nie prędkości i/lub obciążenia, i/lub obudowy łożyska. Sygnatura drgań może oczywiście różnić się w przypadku innych kombinacji prędkości i obciążenia.

IMPLIKACJE DLA AKUSTYKI

Energia mechaniczna w siłach dynamicznych generowanych przez łożysko i siłach przekazywanych łożysku z elementu obrotowego w celu przeniesienia na element nieruchomy zostanie najpierw przeniesiona na konstrukcję podtrzymującą łożysko. Energia ta następnie przenika przez strukturę i zostaje częściowo przekształcona w energię akustyczną po dotarciu do granicy faz powietrze/ciało stałe. W zależności od masy, sztywności, geometrii i przejść granicznych

charakteryzujących konstrukcję, energia mechaniczna będzie ulegać modyfikacjom. W wyniku tej funkcji przenoszenia przeważająca energia akustyczna, czyli dźwięk przenoszony przez powietrze, będzie funkcją nie tylko drgań mechanicznych łożyska, ale także charakterystyki tłumienia/wzmacniania każdej konkretnej konstrukcji.

Jedną z takich struktur jest system do zapewniania jakości stosowany przez firmę Timken. Łożyska bada się pod kątem drgań we względnie niezamkniętej konfiguracji, tj. takiej, w której duży procent powierzchni łożyska jest odsłonięty. Oczywiście ten stan różni się pod względem akustycznym od stanu, w którym łożysko jest całkowicie zamknięte, jak na przykład w obrabiarce.

Struktura ma duży wpływ na wynik pomiaru akustycznego. Ponieważ dźwięk jest powodowany głównie przez poprzeczne wibracje ścian obudowy, sztywniejsza obudowa jest zwykle mniej głośna niż mniej sztywna. Dlatego wszelkie porównania odmiennych struktur lub wnioski wyciągnięte

z takich porównań są, w najlepszym razie, przypadkowe. Projekt konstrukcji może mieć głęboki wpływ na ogólną charakterystykę hałasu generowanego przez układ. Jest to najważniejszy powód, dla którego nie dołącza się do łożysk specyfikacji poziomu natężenia dźwięku w dB(A).

□

Symbol	Opis	Jednostki
d_0	Średnica podziałowa bieżni wewnętrznej	mm, cale
D_0	Średnica podziałowa bieżni zewnętrznej	mm, cale
D_{w0}	Średnica podziałowa elementu tocznego	mm, cale
f	Częstotliwość	Hz
i	Indeks harmoniczny częstotliwości nośnej, 0, 1, 2, 3, ...	
j	Indeks harmoniczny częstotliwości modulacyjnej, 0, 1, 2, 3, ...	
K_1, K_2, K_3	Stałe związane z geometrią	
$K_{łożysko}$	Sztywność łożyska	N/m, lbf/in
$K_{obudowa}$	Sztywność obudowy	N/m, lbf/in
$K_{układ}$	Sztywność układu	N/m, lbf/in
S	Prędkość obrotowa	obr./min
Z	Liczba elementów tocznych	
	Kąty styku lub działania łożyska:	
α (alpha)	½ kąta bieżni p. zewn. (tylko łożyska stożkowe)	stopnie
β (beta)	½ kąta bieżni p. wewn. (tylko łożyska stożkowe)	stopnie
v (nu)	½ kąta tworzącej elementu tocznego (tylko łożyska stożkowe)	stopnie

Wytwarzanie przyrostowe ceramiki technicznej

Ceramika techniczna, obok metali i tworzyw sztucznych, stanowi jedną z głównych kategorii materiałów konstrukcyjnych. W myśl normy ISO 15165:2001 ceramika techniczna to wysokiej jakości, zaawansowane technologicznie, wysokowydajne materiały w znacznej części niemetalicznie i nieorganiczne o specyficznych własnościach funkcjonalnych. Zaawansowane materiały ceramiczne wykazują szereg zalet, dzięki czemu są cenione w wielu sektorach przemysłu. Przy czym generalnie są bardzo sztywne, twarde, a zarazem kruche, co w wysokim stopniu utrudnia poddawanie ich obróbce plastycznej czy skrawaniem. Jednocześnie charakteryzują się wysoką temperaturą topnienia, a także w niektórych przypadkach niską odpornością na szoki temperaturowe, stąd też ich spiekanie również jest bardzo wymagające.

Przełom technologiczny związany z opanowaniem i implementacją procesów produkcyjnych, pozwalających na uzyskanie żądanej geometrii i mikrostruktury zaawansowanej ceramiki przypadł na drugą połowę ubiegłego stulecia. Wyzwania technologiczne wynikające z właściwości ceramiki technicznej do dzisiaj stoją na przeszkodzie jej zastosowaniu w szerszym zakresie niż dotychczasowa praktyka przemysłowa. Tymczasem wraz z popularyzacją wytwarzania przyrostowego, przed ceramiką techniczną otwierają się nowe horyzonty.

Jacek Zbierski

Ze względu na specyfikę materiałową ceramiki technicznej w praktyce przemysłowej preferowane są surowce ceramiczne w postaci sproszkowanej. Parametry proszku dobierane są pod kątem danego procesu fabrykacji, a sam proces jest projektowany w celu osiągnięcia żądanej geometrii i mikrostruktury wyrobu w wyniku odpowiednio przeprowadzonego spiekania. Technologia ceramiczna musi uwzględniać wszystkie aspekty na każdym etapie produkcji, od przygotowania materiału, przez formowanie, spiekanie do gotowego produktu.

Inaczej niż w przypadku metali i tworzyw sztucznych, druk przestrzenny ceramiki w wielu przypadkach nie odbiega tak bardzo od konwencjonalnych metod fabrykacji. Części ceramiczne powstają w wieloetapowych procesach, a techniki przyrostowe zasadniczo nie zastępują całego procesu,

Podział technologii przyrostowych wg ISO/ASTM 52900		
	Vat Photopolymerization (SLA, DLP)	Fotopolimeryzacja w kadzi
	Sheet Lamination (CAM-LEM/LOM)	Laminowanie arkuszy
	Powder Bed Fusion (SLS, SLM)	Stapianie w łożu proszkowym
	Directed Energy Deposition (DED, LENS)	Depozycja skoncentrowaną wiązką energii
	Materials Jetting (Inkjet Printing)	Drukowanie natryskowe
	Binder Jetting	Natryskiwanie lepiszcza w łożu proszkowym
	Material Extrusion (FDM/FFF, DIW)	Ekstruzja filamentu/tuszu

tylko raczej sam etap kształtowania geometrii. Przygotowanie materiału, ewentualny debinding i spiekanie przebiegają na takiej samej zasadzie jak w przypadku technologii konwencjonalnych. Druk przestrzenny prezentuje się obiecująco w aspekcie swobody nadawania wyrobom złożonej geometrii, jednak konieczność pogodzenia parametrów technologicznych druku i parametrów odpowiadających za docelową strukturę ceramiki stanowi ambitne wyzwanie.

TECHNIKI DRUKU 3D

Na przestrzeni ostatnich dekad opracowano liczne metody druku przestrzennego z metali i tworzyw sztucznych. W ostatnich latach podjęte zostały próby adaptacji tych metod na potrzeby druku 3D materiałów ceramicznych. Wiele z rozwiązań w zakresie wytwarzania przyrostowego ceramiki technicznej pozostaje wciąż na etapie badań i rozwoju, ale niektóre z technologii wkroczyły w etap komercjalizacji i zaczynają być stosowane w przemyśle. Ogrom pracy, który stoi przed specjalistami od ceramiki technicznej i od druku przestrzennego również wynika z właściwości różnych materiałów ceramicznych – po prostu nie ma uniwersalnych rozwiązań, parametry materiałowe muszą być opracowywane konkretnie dla danej technologii, a parametry procesowe danej metody produkcji muszą być dostosowane do konkretnego materiału.

Norma ISO/ASTM 52900 wyróżnia siedem głównych gałęzi technologii przyrostowych, za którymi kryją się różne zasady działania, z których każda może zostać wykorzystana do fabrykacji ceramiki technicznej.

Laminowanie arkuszy wykorzystuje uprzednio przygotowany materiał w formie arkuszy, których nawarstwienie odpowiada za przyrost materiału w osi Z podczas fabrykacji. Geometrię płaskiego przekroju wyrobu uzyskuje się przycinając laserowo arkusze wzdłuż krawędzi zewnętrznych. Wariant technologii, w którym arkusze są najpierw docinane, a następnie układane w warstwy (CAM-LEM – *computer-aided manufacturing of laminated engineering materials*) pozwala na uzyskanie bardziej precyzyjnej geometrii. Drugi wariant, w którym kontury wyrobu wycina się w uprzednio spiętrzonych arkuszach (LOM – *laminated object manufacturing*) umożliwia wydajniejszą fabrykację części o prostszej

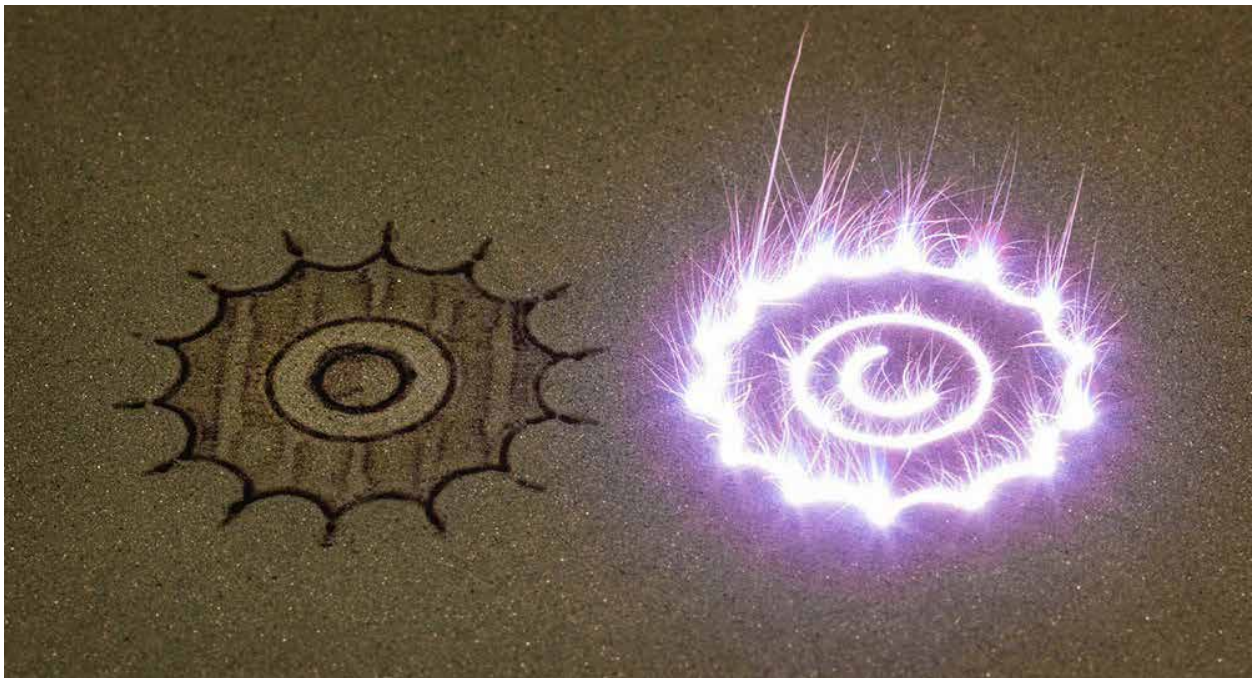
Dysza ceramiczna wydrukowana w procesie laminowania CAM-LEM z uwzględnieniem pustych kanałów wewnętrznych (fot. camlem.com)

geometrii. Dobór parametrów arkuszy materiału pozwala kontrolować strukturę i wysokość pojedynczej warstwy. Stosowane są arkusze papierowe, z polimerów preceramicznych i folii ceramicznych (uzyskiwane metodą *tape casting* lub ekstruzji). Dużą zaletą technologii laminowania jest możliwość stosowania arkuszy różnych materiałów w kolejnych warstwach wyrobu w celu otrzymania struktur kompozytowych. W wyniku laminowania powstaje „zielona" część, wymagająca wytopienia lepiszcza i finalnego wypalenia.

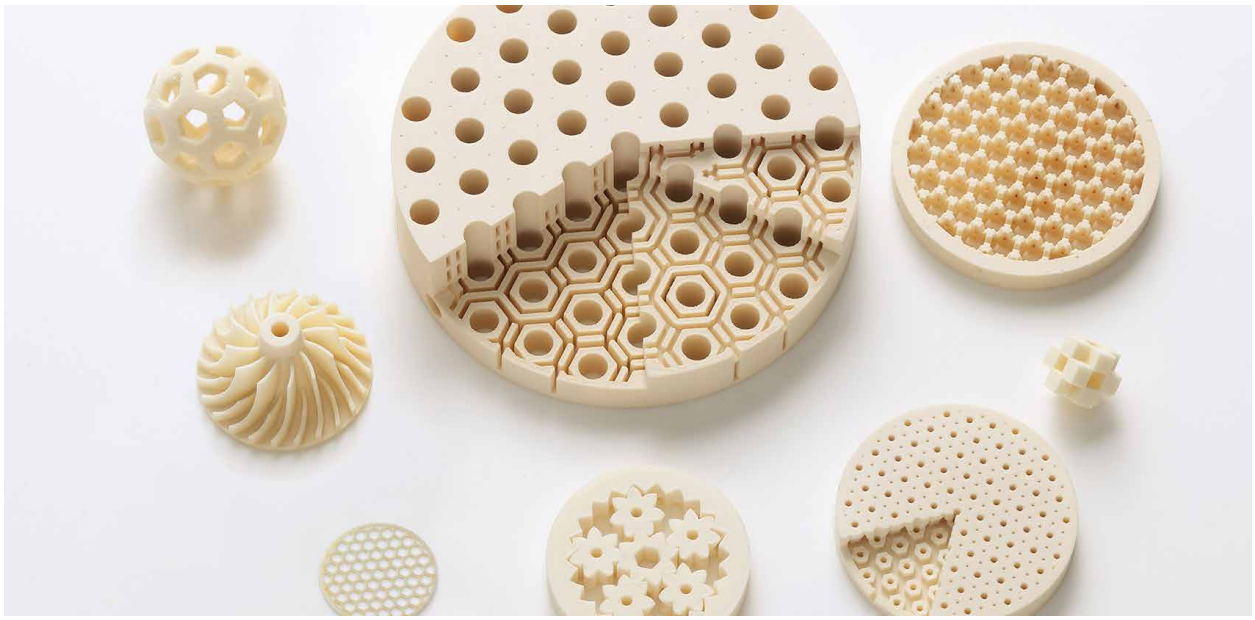
Dużym atutem wielu technologii addytywnych jest możliwość pracy z takim samym surowcem, jakiego używa się w konwencjonalnych procesach produkcyjnych, a więc z proszkami ceramicznymi. W ramach procesu **DED/LENS (*laser engineered net shaping*)** specjalna konstrukcja dyszy umożliwia aplikację proszku bezpośrednio w punkcie ogniskowania silnej wiązki laserowej. Proszek ulega stopieniu i osadzeniu na podłożu, a liniowy ruch głowicy po wytyczonych ścieżkach odpowiada za odwzorowanie geometrii wyrobu. W tak otrzymanej strukturze ceramicznej można zaobserwować formację kolumnowych kryształów układających się wzdłuż osi ruchu głowicy [5]. Żądane parametry wyrobu uzyskuje się kontrolując parametry lasera, ruchu głowicy i tempa przerobu materiału.

Dużą popularnością cieszą się technologie przyrostowe oparte na **spajaniu ceramiki w łożu proszkowym (*powder bed*)**. W ramach tego typu procesów platforma robocza pokrywana jest pojedynczą warstwą materiału, w obrębie której obrysowany zostaje przekrój wyrobu. Następnie nanoszona jest kolejna warstwa proszku i proces ulega powtórzeniu. Możliwe jest uzyskanie skomplikowanej geometrii wyrobu bez potrzeby stosowania podpór, których rolę spełnia proszek wypełniający obszar roboczy wokół części. Po ukończeniu druku może być konieczne usunięcie pozostałości niespieczonego proszku wokół wyrobu.

Technologia **SLM (*selective laser melting*)** wyróżnia się jako proces bezpośredniego stapiania drobin ceramiki w łożu proszkowym. Ze względu na wysoką temperaturę topnienia ceramiki, w procesie SLM stosowane są lasery dużej mocy, pozwalające na pełny przetop materiału. W rezultacie występuje rozległa strefa wpływu ciepła, niekorzystnie odbijająca się na jakości powierzchni wyrobu. Kolejnym mankamentem



Druk mikroturbiny z ceramiki SiC w procesie spajania w łożu proszkowym w ramach technologii CerAM L-PBF opracowywanej przez Fraunhofer IKTS



Złożone geometrycznie części wydrukowane metodą SLM i densyfikowane przed spieczeniem w ramach autorskiego procesu nasączania materiałem ceramicznym o niższej temperaturze topnienia, opracowanego przez Canon (fot. Canon)

tak uzyskiwanych wyrobów jest wysoka porowatość części o większych rozmiarach, dyskwalifikująca w wielu zastosowaniach konstrukcyjnych. Można jednak wymienić kilka przypadków, w których porowatość nie jest traktowana jako wada – są to m.in. protezy kostne, wymienniki ciepła i elementy układów katalitycznych. Proponowanym rozwiązaniem problemu może być densyfikacja metodą infiltracji.

Z kolei w technologii **SLS (*selective laser sintering*)**, proces fabrykacji rozdzielony jest na etapy. Ze względu na zastosowanie domieszki polimeru, topiącego się w znacznie niższej temperaturze, wytwarzane są „zielone" części, które następnie poddaje się chemicznemu lub termicznemu procesowi usunięcia lepiszcza. Tak uzyskane „brązowe" części wypala się następnie w wysokiej temperaturze. Powolne i stopniowe zmiany temperatury podczas wypalania pozwalają uzyskać gęste struktury ceramiczne praktycznie pozbawione porów i pęknięć.

Ze względu na problem z właściwym, odpowiednio gęstym i równomiernym upakowaniem drobin w suchych proszkach ceramicznych, a także na wynikającą z niego stosunkowo dużą porowatością wyrobów, negatywnie odbijającą się na wytrzymałości mechanicznej, czasami stosowane są półpłynne zawiesiny, zawierające znacznie mniejsze, submikronowe drobiny ceramiczne o bardziej równomiernym rozmieszczeniu [2, 8]. Dla optymalnych parametrów spiekania wymagane są ziarna wielkości 1 µm lub mniej, tak drobne proszki ceramiczne tracą jednak sypkość (zdolność płynięcia) [4]. Optymalne parametry płynięcia proszku uzyskuje się zaś przy rozmiarze kulistych ziaren rzędu 50 µm [6]. Stąd też, obok zawiesin stosuje się także inne rozwiązania, np. powlekanie drobin ceramicznych warstwą tworzywa, czy też granulat ze zlepku drobin ceramicznych i polimerowych. Takie kompozycje materiałowe zawierają odpowiednio niewielkie na potrzeby spiekania drobiny ceramiczne i odpowiednio duży pod kątem rozprowadzenia rozmiar ziaren proszku [1]. Duża część prac badawczo-rozwojowych w dziedzinie druku 3D ceramiki technicznej koncentruje się właśnie na opracowaniu optymalnej kompozycji materiałowej dla konkretnych procesów przyrostowych.

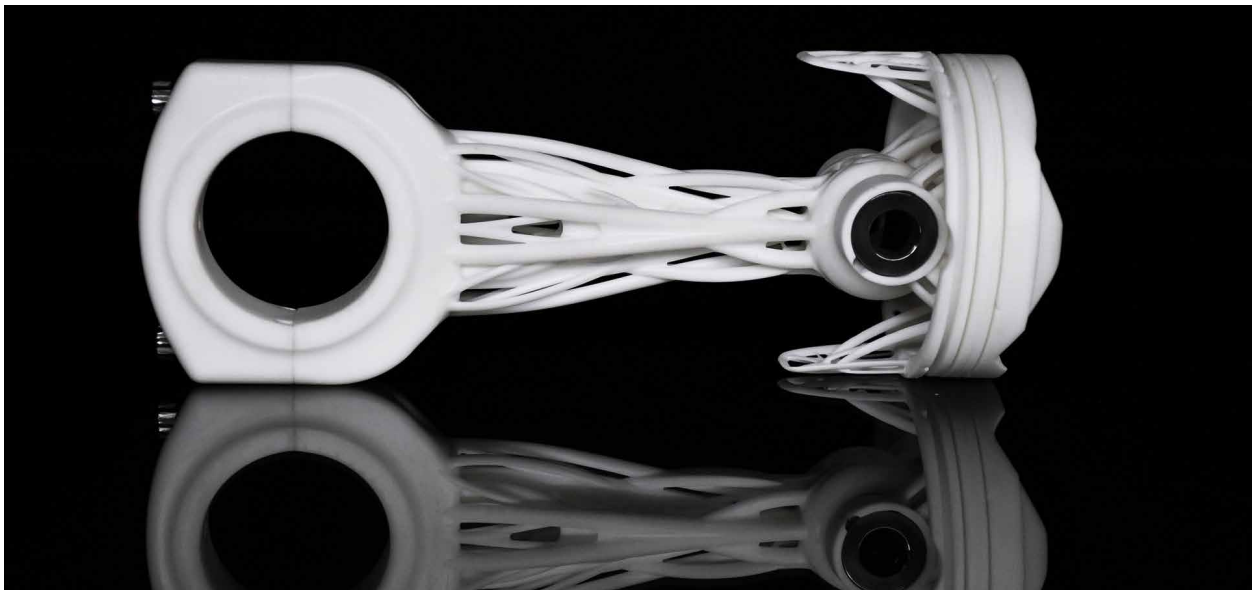
W technologii ***binder jetting*** spiekanie materiału zastąpiono spajaniem za pomocą lepiszcza, aplikowanego punktowo w łożu proszkowym. Lepiszcze zostaje utwardzone w temperaturze ok. 200 °C lub więcej [8], platforma robocza opuszcza

Ceramiczny detal wydrukowany w technologii *binder jetting* (CerAM BJT) (fot. Fraunhofer IKTS)

się umożliwiając aplikację kolejnej warstwy proszku, a następnie cały proces ulega powtórzeniu, aż do uzyskania gotowej „zielonej" części. Etapy usuwania lepiszcza i wypalania części są wspólne dla większości metod addytywnych.

Na podobnej zasadzie działają rozwiązania typu ***material jetting***, z tą różnicą, że przy braku łoża proszkowego, materiał mieszany jest z lepiszczem i dodatkami upłynniającymi i aplikowany poprzez natrysk kropelek na platformę roboczą. Przewaga takiego procesu tkwi w pico- i nanolitrycznych rozmiarach kropelek, pozwalających na osiągnięcie wysokiej precyzji geometrycznej i optymalnie gęstej struktury wyrobów.

Jednym z konwencjonalnych procesów fabrykacji ceramiki technicznej jest technologia CIM



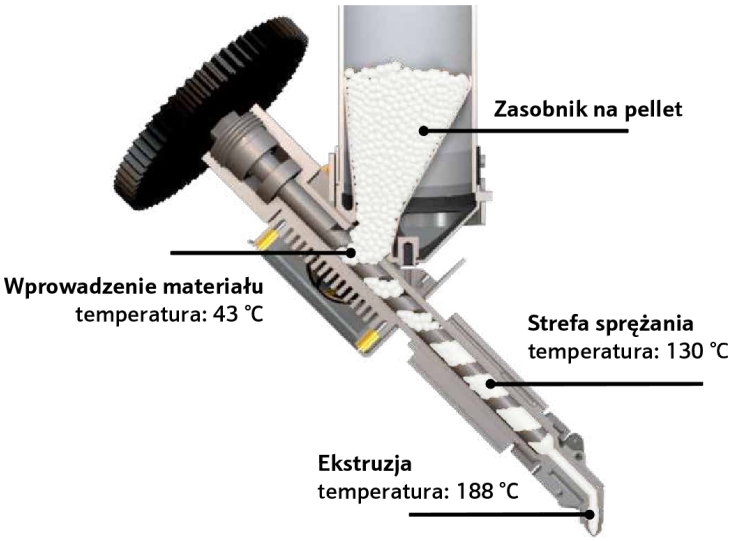
Tłok i korbowód o zoptymalizowanej topologicznie konstrukcji do silnika supersamochodu Chaos greckiej marki Spyros Panopoulos o mocy ponad 2000 KM, wydrukowany natryskowo z tlenku glinu (fot. XJet)

(*ceramic injection molding*), w której również stosuje się mieszaninę proszku ceramicznego z dodatkami plastyfikującymi. Rozwiązania bezpośrednio przeniesione z technologii CIM znajdziemy **w metodach druku przestrzennego opartych na procesie ekstruzji**. Układ uplastyczniający, znany z konstrukcji wtryskarek, może zostać bezpośrednio użyty do aplikacji przetopionego surowca w dyszy drukarki, lub też w rozwiązaniu pośrednim, do wytłaczania filamentu, nadającego się do zastosowania z powszechnie dostępnymi drukarkami typu **FFF/FDM (*fused filament fabrication*/*fused deposition modelling*)**.

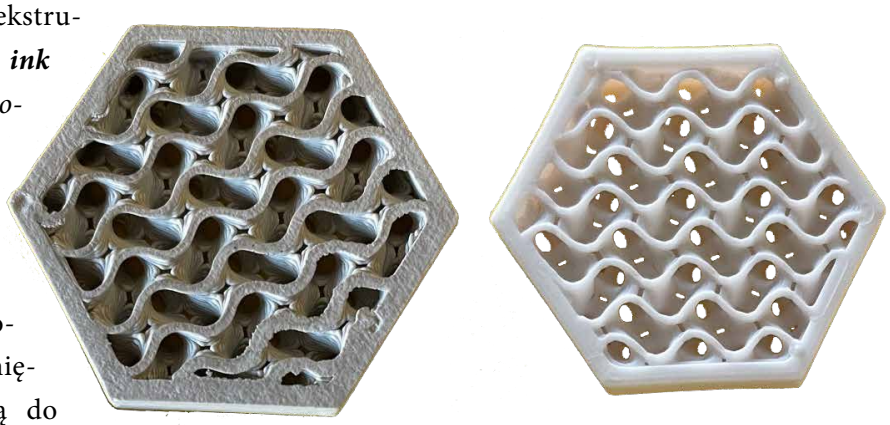
Istnieją także inne propozycje w zakresie druku 3D materiałów ceramicznych metodą ekstruzji. W ramach procesu **DIW (*direct ink writing*)**, określanego także jako *robocasting*, tusz o wysokiej zawartości ceramiki z domieszką substancji pomocniczych aplikowany jest na platformę roboczą za pomocą dyszy ekstruzyjnej, a następnie, po odparowaniu rozpuszczalnika, ulega zastygnięciu, tworząc „zieloną" część, gotową do typowego postprocessingu.

Ciekawym wariantem takiej technologii może być ekstruzja wewnątrz kadzi z gęstym żelem, czy też olejem, podtrzymującym aplikowany materiał w przestrzeni, co umożliwia druk drobnych, przestrzennych struktur bez potrzeby stosowania podpór (tzw. *supportów*).

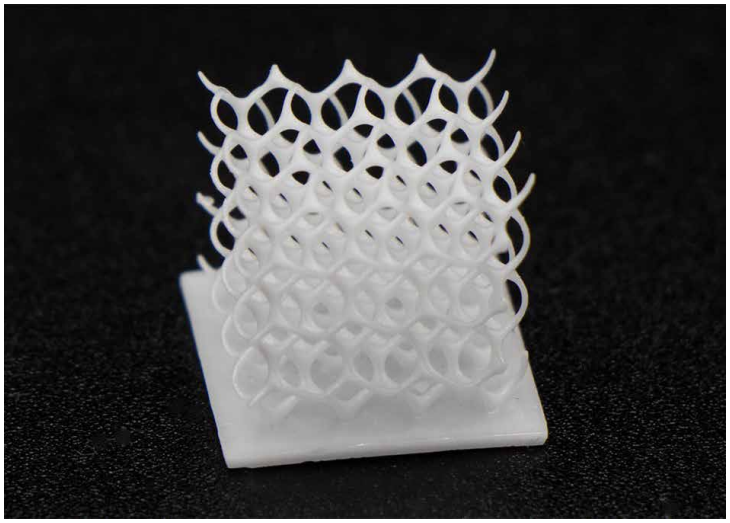
Kadź występuje także **w technologiach fotopolimeryzacji**. Światłoutwardzalna zawiesina o zawartości ok. 40-60 % ceramiki, wypełniająca naczynie, przy pomocy platformy roboczej przyjmuje wysokość jednej warstwy druku. W druku metodą **SLA (stereolitografia)** warstwa wyrobu jest rzutowana na platformę roboczą za pomocą precyzyjnie kierowanej wiązki światła ultrafioletowego. Z kolej w ramach techniki **DLP (*digital light processing*)** cały obraz pojedynczej warstwy wyrobu rzutowany jest jednocześnie przy użyciu metody DMD (*digital micromirror devices*), odpowiadającej za



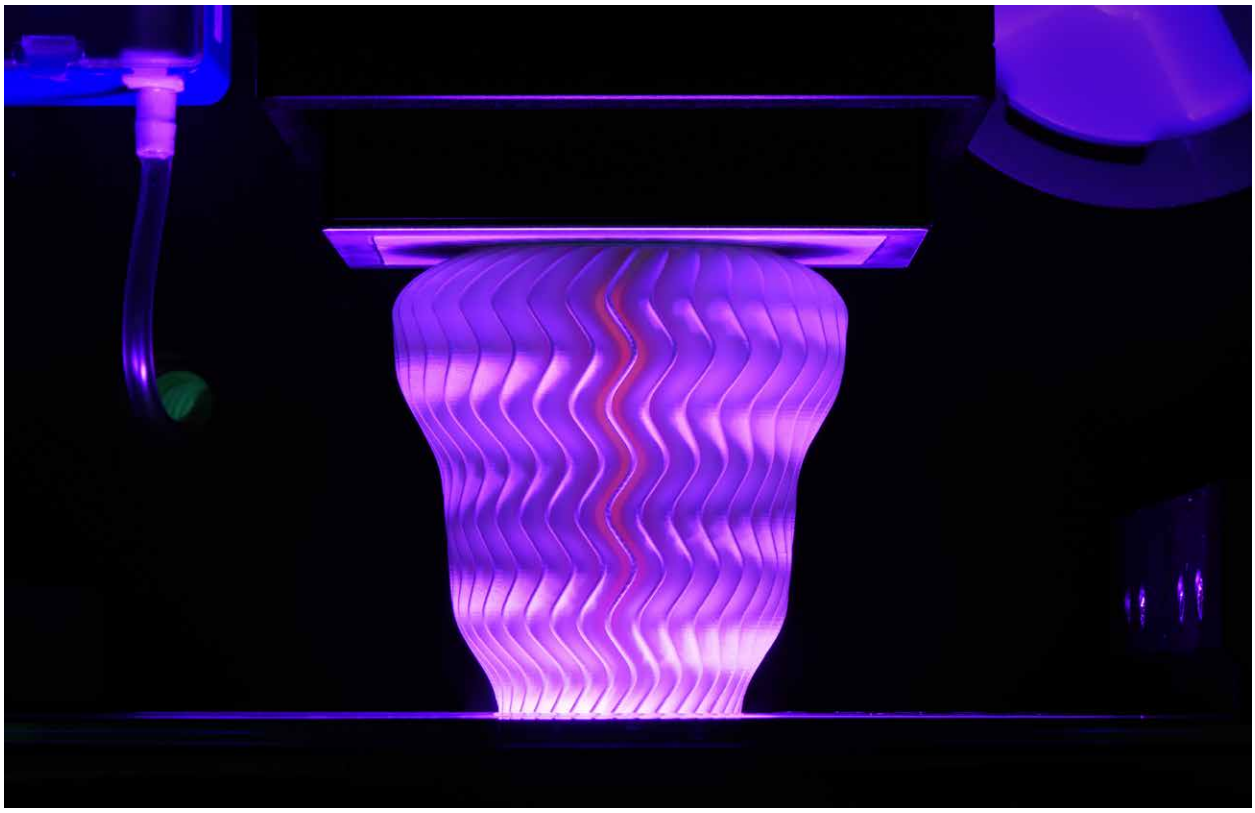
Schemat sytemu druku w technologii PAM (*Pellet Additive Manufacturing*) (rys. Pollen AM)



Część z wypełnieniem gyroidalnym, wydrukowana w technologii PAM z tlenku glinu. Po lewej „zielona" część, po prawej gotowa część po spieczeniu. Zauważalne skurczenie rozmiarów wyrobu o ok. 15% (fot. Pollen AM)



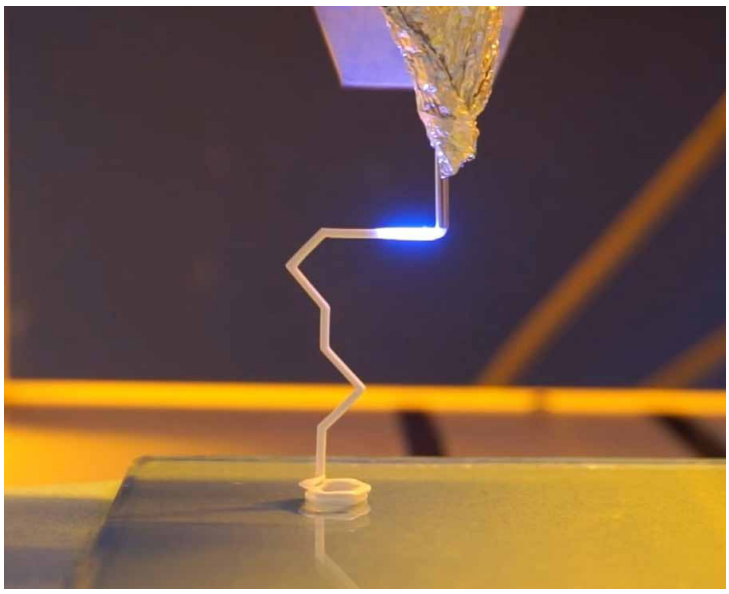
Miniaturowa struktura sieciowa wydrukowana z ceramiki technicznej metodą SLA (fot. Fraunhofer ISC, Center for High Temperature Materials and Design HTL)



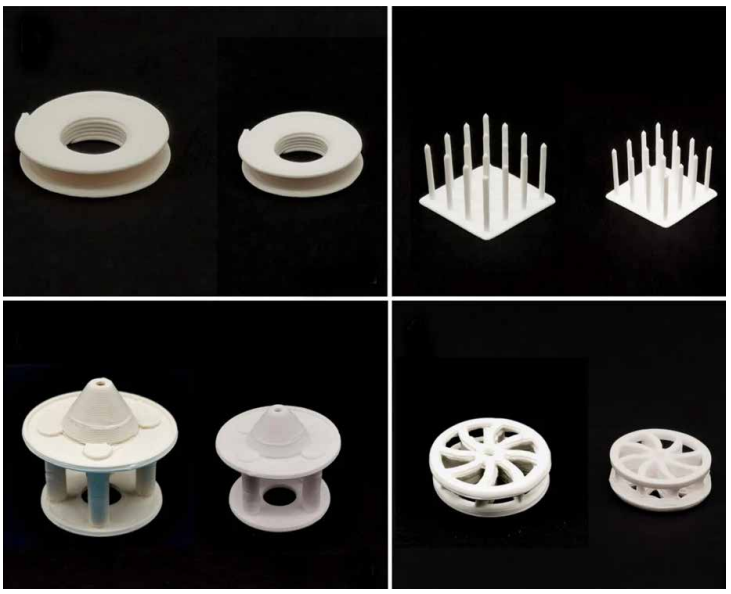
Drukowanie przestrzenne wyrobu ceramicznego metodą DLP (fot. Admatec)

sterowanie oświetleniem mikrometrycznych pikseli. Po utrwaleniu danej warstwy platforma robocza opuszcza się lub podnosi, w zależności od konstrukcji urządzenia, na wysokość kolejnej warstwy. Proces ulega powtórzeniu aż do ukończenia całej „zielonej" części, którą poddaje się następnie pirolizie i wypaleniu.

Niedawno zaprezentowano ciekawe połączenie druku przestrzennego metodą DIW z elementami fotopolimeryzacji. Pasta o zawartości 75% ceramiki w ujęciu masowym z dodatkiem materiału światłoutwardzalnego ulega utrwaleniu in-situ po opuszczeniu dyszy ekstruzyjnej pod wpływem światła laserowego w zakresie bliskiej



Technologia NIR-DIW (*near-infrared direct ink writing*) – przyszłość druku przestrzennego? (fot. SCMP)



Detale wykonane w technologii NIR-DIW. Każdy detal zaprezentowano w postaci „zielonej" części i jako gotowy wyrób po spieczeniu [9]

podczerwieni. Do osiągnięcia efektu szybkiego i głębokiego utrwalenia wykorzystano domieszkę nanocząstek z jonami lantanowców, wykazujących zdolność ultrafioletowej luminescencji pod wpływem promieniowania w bliskiej podczerwieni na zasadzie up-konwersji fotonów. Dzięki temu możliwe jest uzyskanie geometrii niedostępnych dla standardowych technik druku 3D bez użycia podpór.

PODSUMOWANIE

Każdy z przedstawionych procesów wytwarzania przyrostowego ma swoje zalety i wady, możliwości i ograniczenia, które należy zestawić z wymaganiami danej aplikacji. Dobór technologii druku musi uwzględniać następujące parametry:

- rodzaje wspieranych materiałów
- rozmiary elementu
- gęstość finalnego wyrobu
- jakość powierzchni
- porowatość

Istotne są również inne aspekty produkcyjne, takie jak:

- produkcja jednostkowa lub seryjna (skalowalność)
- dostępność i koszt surowca
- postprocessing

Ciągły rozwój technologii addytywnych, oferujących coraz lepszą wydajność i niezawodność druku, również w zakresie ceramiki technicznej, przekłada się na rosnące zainteresowanie potencjałem tych metod w zastosowaniach nie tylko prototypowych, ale i produkcyjnych. Szereg rozwiązań z dziedziny druku 3D ceramiki technicznej przeszedł długą drogę od badań laboratoryjnych do praktyki przemysłowej. Dalszy rozwój, obejmujący zarówno prace nad innowacyjnymi kompozycjami materiałów ceramicznych, jak i nad addytywnymi procesami technologicznymi ich kształtowania wymaga bliskiej współpracy inżynierów technologii ceramiki ze specjalistami od druku 3D. W rezultacie można spodziewać się nie tylko popularyzacji technologii przyrostowych, ale także i samej ceramiki technicznej w zastosowaniach przemysłowych.

Jacek Zbierski

Bibliografia:

1. An-Nan Chen et al.: *High-performance ceramic parts with complex shape prepared by selective laser sintering: a review*, Advances in Applied Ceramics, vol. 117, nr 2 (2018).
2. *Ceramic Injection Moulding and Ceramic Additive Manufacturing side by side: Opportunities and Challenges*, PIM International, vol. 12, nr 4 (2018).
3. Lakhdar Y. et al. Progress in Materials Science 116 (2021) 100736
4. *Making the business case: How sinter-based Additive Manufacturing can compete with Powder Injection Moulding*, PIM International, vol. 14 nr 2 (2020).
5. Niu, Fangyong et al.: *Directed-Energy Deposition for Ceramic Additive Manufacturing*, 10.31399/asm.hb.v24.a0006559
6. Ohji T.: *Additive manufacturing of ceramic components – towards innovation of ceramic industry*, Synthesiology, vol. 11, nr 2 (2018).
7. Valera-Jiménez J. F. et al.: *Additive Manufacturing of Functional Ceramics*, [w:] 3D Printing for Energy Applications, red. A. Tarancón, V. Esposito, The American Ceramic Society (2021).
8. Wenchao Du et al.: *Ceramic Binder Jetting Additive Manufacturing: A Literature Review on Density*, J. Manuf. Sci. Eng., vol. 142, nr 4 (2020).
9. Zhao Y. et al.: *3D printing of unsupported multi-scale and large-span ceramic via near-infrared assisted direct ink writing*, Nat Commun, vol. 14, 2381 (2023).

Analiza konstrukcji kompozytowych z wykorzystaniem MES w programie Midas NFX

Program Midas NFX to kompleksowe rozwiązanie analityczne do prowadzenia symulacji numerycznych w oparciu o metodę elementów skończonych dla optymalnego projektowania w wielu branżach. Midas NFX, bazujący na solverze Nastrana, umożliwia projektantom skuteczne przeprowadzanie różnych typów analiz strukturalnych, wymiany ciepła i płynów, wymaganych w procesie projektowania produktu.

Kamil Augustyniak

Program Midas NFX również umożliwia analizę konstrukcji kompozytowych. By wykonać te analizy nie są wymagane dodatkowe preprocesory, post-processory lub narzędzia, jak to miejsce w przypadku konkurencyjnych rozwiązań. W programie Midas NFX możliwa jest już w licencji Midas NFX Standard analiza materiałów kompozytowych jako: *shell, solid and solid layered composite modelling*.

Warstwowe elementy powłokowe (materiałów kompozytowych typu *shell*), dostępne w programie Midas NFX, służą do efektywnej analizy cienkich struktur laminatów zawierających różne materiały, z uwzględnieniem różnych kierunków głównych osi tych materiałów, takich jak materiały kompozytowe.

Podstawowa współrzędna układu, model powierzchni zakrzywionej i stopnie swobody, są identyczne jak w przypadku definicji ogólnych elementów powłokowych typu *shell*.

Warstwowy element powłokowy, służący do definicji laminatów, to trójkątny lub czworoboczny element, składający się z 3, 4, 6 lub 8 węzłów.

Warstwowy element powłokowy, który opiera się na teorii deformacji przy ścinaniu pierwotnym, charakteryzuje się tym samym sformułowaniem metody elementów skończonych, jak element powłokowy typu *shell*, ale jego równanie konstytutywne oparte jest o teorię laminatów.

W przeciwieństwie do materiału izotropowego, obliczeń sztywności w kierunku poprzecznym, które są oparte na współczynniku korekcji ścinania, nie można uogólnić dla laminowanego materiału kompozytowego. Dlatego pożądane jest obliczenie sztywności ścinania w kierunku poprzecznym za pomocą szeregu przyjętych kształtów deformacji i równań równowagi naprężeń.

Naprężenia w płaszczyźnie, oparte na teorii pierwotnego odkształcenia ścinającego i poprzeczne naprężenia ścinające, oparte na trójwymiarowych

równaniach równowagi naprężeń, są wyrażone w następujący sposób:

$$\begin{Bmatrix}\sigma_x\\ \sigma_y\\ \tau_{xy}\end{Bmatrix} = \mathbf{C}^{(k)}(\boldsymbol{\varepsilon}_o + z\boldsymbol{\kappa})$$

$$\begin{Bmatrix}\tau_{xz}\\ \tau_{yz}\end{Bmatrix} = \int_{\zeta=0}^{\zeta=z}\left(\begin{bmatrix}1 & 0 & 0\\ 0 & 0 & 1\end{bmatrix}\mathbf{C}^{(k)}(\boldsymbol{\varepsilon}_{o,x} + z\boldsymbol{\kappa}_{,x}) + \begin{bmatrix}0 & 0 & 1\\ 0 & 1 & 0\end{bmatrix}\mathbf{C}^{(k)}(\boldsymbol{\varepsilon}_{o,y} + z\boldsymbol{\kappa}_{,y})\right)d\zeta$$

Jeśli w równaniu konstytutywnym powłoki warstwowej (N = 0) pominie się skutki sił działających w płaszczyźnie, odkształcenie i krzywizna w płaszczyźnie neutralnej wyraża się następująco:

$$\boldsymbol{\varepsilon}_o = -\mathbf{A}^{-1}\mathbf{B}\boldsymbol{\kappa}$$

$$\boldsymbol{\kappa} = \mathbf{D}^{*-1}\mathbf{M} \qquad \text{Gdzie:} \quad \mathbf{D}^* = \mathbf{D} - \mathbf{B}^T\mathbf{A}^{-1}\mathbf{B}$$

Wykorzystując równanie przedstawione powyżej, poprzeczne naprężenia ścinające można ponownie wyrazić w następujący sposób:

$$\begin{Bmatrix}\tau_{xz}\\ \tau_{yz}\end{Bmatrix} = \begin{bmatrix}1 & 0 & 0\\ 0 & 0 & 1\end{bmatrix}\mathbf{F}(z)\mathbf{M}_{,x} + \begin{bmatrix}0 & 0 & 1\\ 0 & 1 & 0\end{bmatrix}\mathbf{F}(z)\mathbf{M}_{,y}$$

$$\mathbf{F}(z) = \left(\int_{\zeta=0}^{\zeta=z}\mathbf{C}^{(k)}d\zeta\,\mathbf{A}^{-1}\mathbf{B} - \int_{\zeta=0}^{\zeta=z}\zeta\mathbf{C}^{(k)}d\zeta\right)\mathbf{D}^{*-1}$$

Przy założeniu cylindrycznych oddziaływań zginających wokół osi x i y, wartości różniczkowe w płaszczyźnie i poprzeczne siły ścinające można wyrazić w prosty sposób:

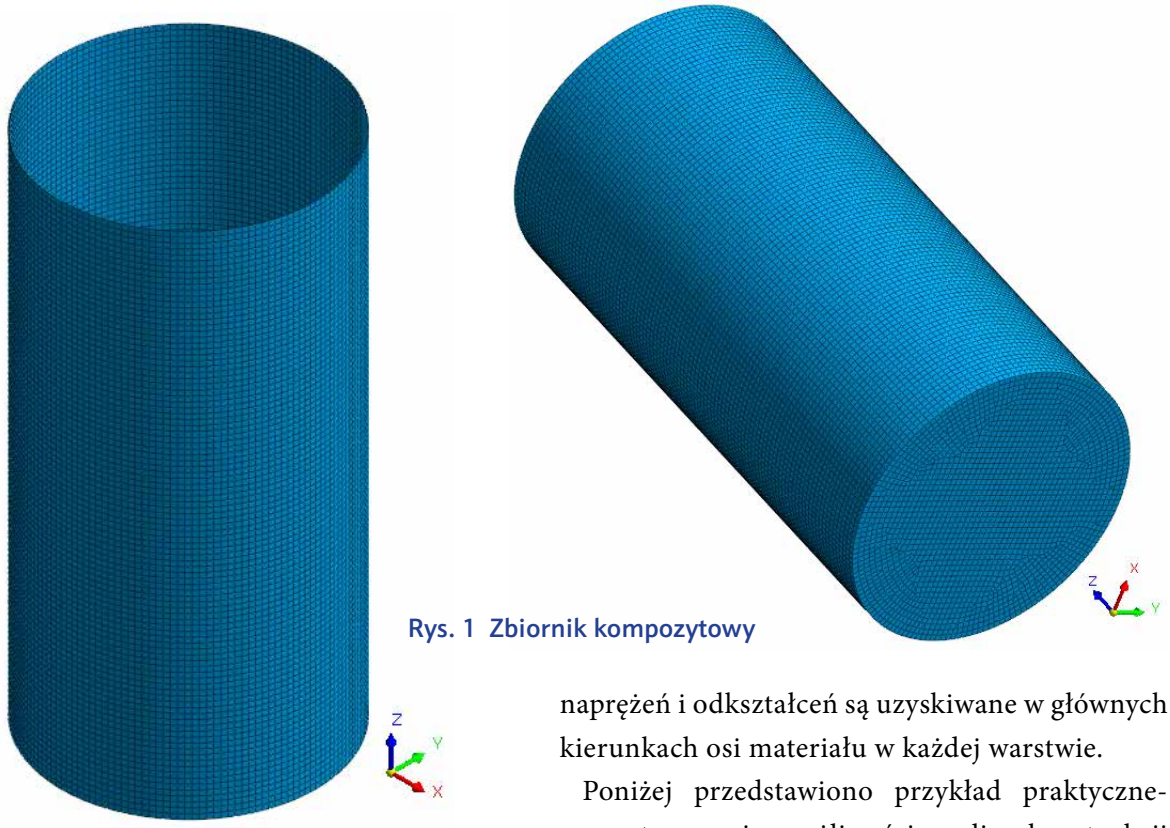
$$\begin{Bmatrix}Q_{xz}\\ Q_{yz}\end{Bmatrix} = -\begin{Bmatrix}M_{x,x}\\ M_{y,y}\end{Bmatrix}$$

Korzystając z powyższego, poprzeczne naprężenia ścinające wyraża się jako:

$$\begin{Bmatrix}\tau_{xz}\\ \tau_{yz}\end{Bmatrix} = \begin{bmatrix}F_{11} & F_{32}\\ F_{31} & F_{22}\end{bmatrix}\begin{Bmatrix}Q_{xz}\\ Q_{yz}\end{Bmatrix}$$

Oznacza to, że poprzeczne naprężenia ścinające są określone przez poprzeczne siły ścinające i funkcję kształtu F(z), która jest oparta na właściwościach, grubościach i kątach laminowania materiałów tworzących laminowaną powłokę. Korzystając z tego, sztywność na ścinanie poprzeczne G, która jest obliczana przez całkowanie w oparciu o teorię laminowania, można wyrazić w następujący sposób:

$$\tilde{\mathbf{H}} = \left[\int\begin{bmatrix}F_{11} & F_{32}\\ F_{31} & F_{22}\end{bmatrix}^T\mathbf{G}^{-1}\begin{bmatrix}F_{11} & F_{32}\\ F_{31} & F_{22}\end{bmatrix}\right]^{-1}$$

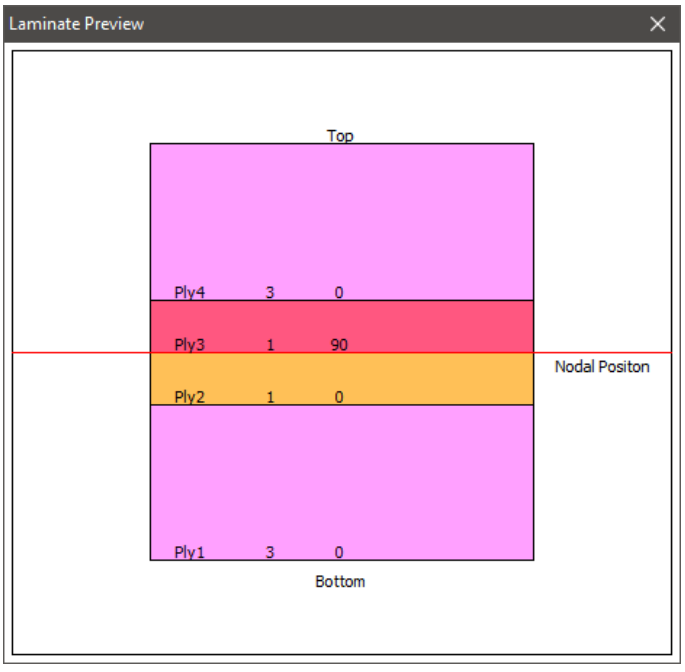


Rys. 1 Zbiornik kompozytowy

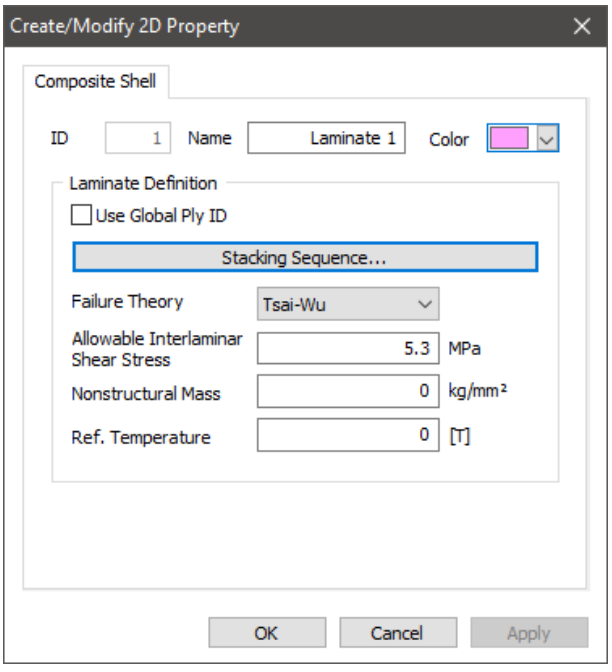
Warstwowe elementy powłoki w Midas NFX generują wyniki na środku lub na górze i na dole każdej warstwy w kierunku jej grubości. Wyniki obejmują również wartości maksymalne i minimalne całej laminowanej powłoki. Wyniki naprężeń i odkształceń są uzyskiwane w głównych kierunkach osi materiału w każdej warstwie.

Poniżej przedstawiono przykład praktycznego zastosowania możliwości analizy konstrukcji kompozytowych w programie Midas NFX.

Tematem analizy był zbiornik kompozytowy, obrotowo-cylindryczny, wykonany z warstw laminatu o różnych właściwościach, charakterystykach oraz kierunkach pracy.



Rys. 2 Formulacja kompozytu – przekrój kompozytu składającego się ze zdefiniowanych warstw



Rys. 3 Formulacja kompozytu – wskazanie analizy wg teorii Tsai-Wu oraz dopuszczalnej wartości naprężeń delaminacji

Stacking Sequence (from Bottom to Top)

Overall Laminate Symmetry | Bottom Fiber Distance: 0 mm | Total Thickness: 8 mm

	Material	Thickness	Orientation Angle	Output Request	Simpson Integra...
	2D Orthotropic-1	3.00	0.00	Yes	3
	2D Orthotropic-2	1.00	0.00	Yes	3
	2D Orthotropic-3	1.00	90.00	Yes	3
	2D Orthotropic-1	3.00	0.00	No	3
+					

Rys. 4 Formulacja kompozytu – zestawienie poszczególnych warstw laminatu, ich grubości oraz orientacji kątowej

Z uwagi na możliwość wykonywania analiz numerycznych w Midas NFX na wielu rdzeniach oraz na GPU bez dodatkowych kosztów w ramach zakupionej podstawowej licencji Midas NFX Standard, symulacje konstrukcji kompozytowych nie wymagają dużego nakładu czasu w oczekiwaniu na wyniki. Jest to niezwykle istotne w przypadku analiz skomplikowanych konstrukcji o wielu stopniach swobody.

Wyniki analiz konstrukcji kompozytowej zbiornika zaprezentowano na rysunkach 6-9.

2D Orthotropic-1 | Color

Linear

Structural
- Elastic Modulus 11: 9376.6 MPa
- Elastic Modulus 22: 9376.6 MPa
- Poission's Ratio 12: 0.4
- Shear Modulus 12: 2448 MPa
- Shear Modulus 23: 2663 MPa
- Shear Modulus 31: 2663 MPa
- Mass Density: 1.2312e-006 kg/mm³

Thermal Expansion
- Expansion Coeff. 11: 0
- Expansion Coeff. 22: 0
- Ref. Temperature: 0 [T]

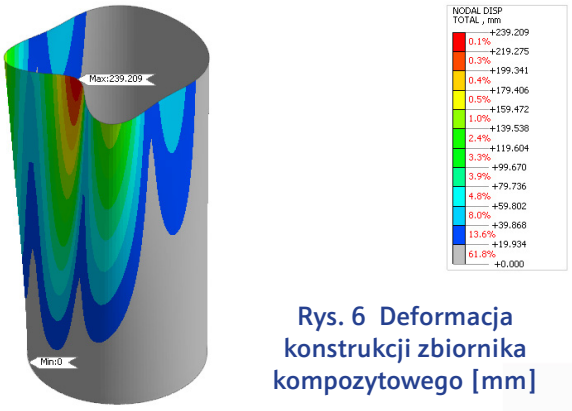
Thermal
Conductivity: 0 0 0 / 0 0 / 0
Symmetry
Unit: W/(mm·[T])
- Specific Heat: 0 J/(kg·[T])
- Heat Gen.Factor: 0
- Latent Heat

Electric Potential
Conductivity: 0 0 0 / 0 0 / 0
Symmetry
Unit: A/mm·V
- Energy Conversion Factor: 1

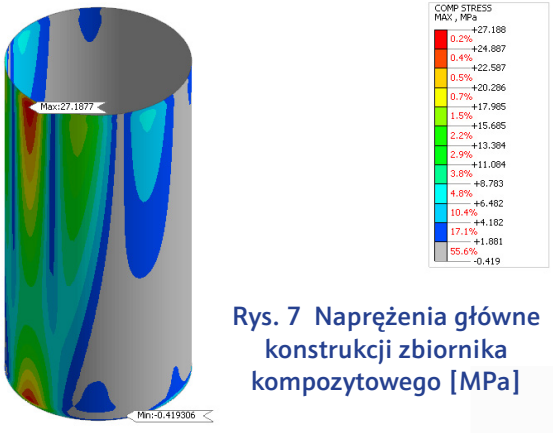
Out of Plane Property
- Elastic Modulus: 0 MPa
- Poission's Ratio 23: 0
- Poission's Ratio 31: 0

Damping Factors
- Mass Proportional Damping: 0 Hz
- Stiffness Proportional Damping: 0 sec
- Structural Damping Coefficient: 0

Failure Parameters...

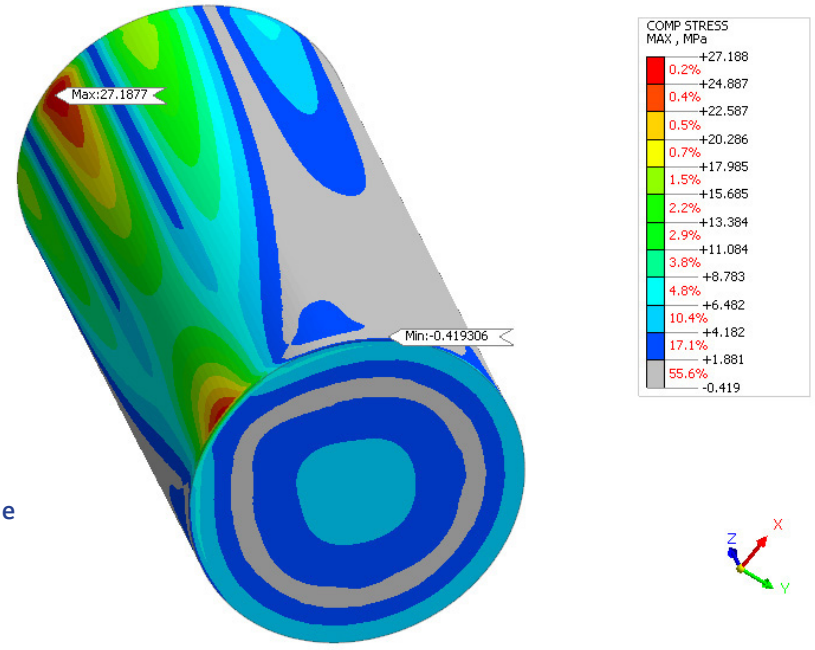


Rys. 6 Deformacja konstrukcji zbiornika kompozytowego [mm]



Rys. 7 Naprężenia główne konstrukcji zbiornika kompozytowego [MPa]

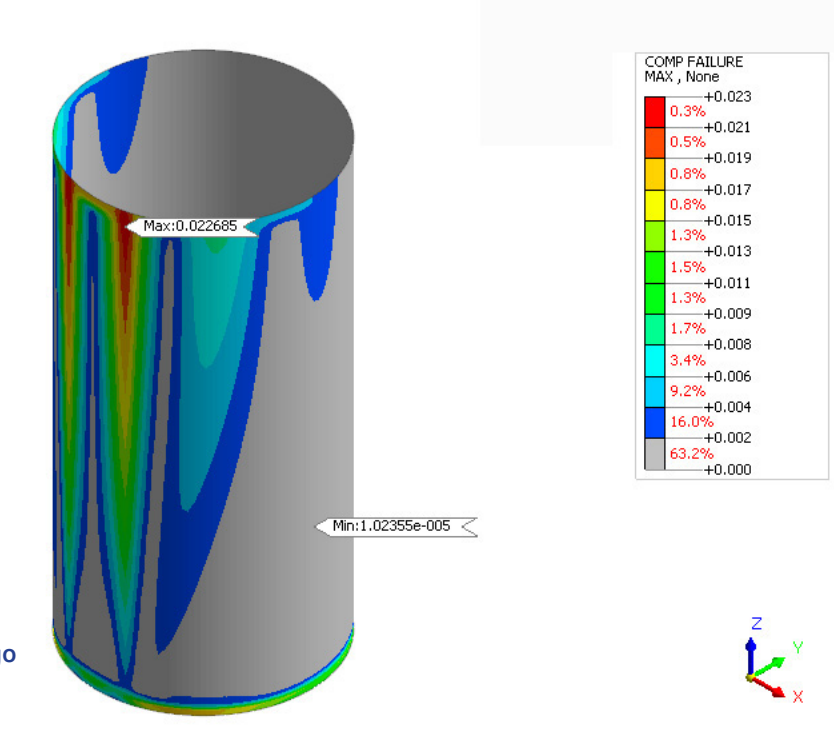
Rys. 5 Formulacja kompozytu – definicja materiału (po lewej stronie)



Rys. 8 Naprężenia główne konstrukcji zbiornika kompozytowego [MPa] – widok 2

Reasumując, program Midas NFX pozwala w prosty sposób zaimplementować niezbędne charakterystyki materiałowe i geometryczne konstrukcji kompozytowych tak, aby równocześnie łatwo i przystępnie przeprowadzić skomplikowane analizy liniowe i nieliniowe projektowanych konstrukcji. Przejrzysty sposób prezentacji wyników pozwala na kompleksową ocenę zachowania się konstrukcji pod wpływem zaistniałych oddziaływań.

mgr inż. Kamil Augustyniak
KOMES sp. z o.o.
Na Grobli 34 | 50-421 Wrocław



Rys. 9 Współczynnik wytężenia konstrukcji zbiornika kompozytowego [MPa]

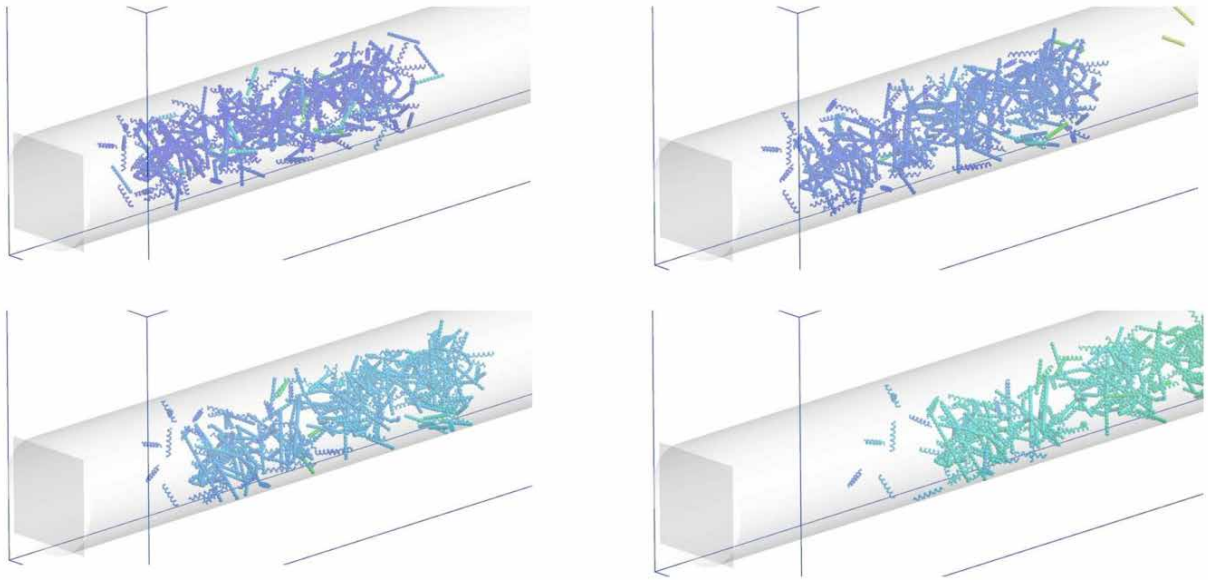
Analizy numeryczne DEM transportu elementów sypkich przez układy technologiczne

Discrete Element Method **(DEM) to metoda numeryczna stosowana w inżynierii i naukach fizycznych. Jest używana do modelowania interakcji i ruchu dużej liczby dyskretnych ciał, takich jak cząstki. Główne zastosowania tej metody obejmują symulacje zachowań materiałów granularnych, takich jak piasek, ziarna, skały, a nawet symulacje zderzeń ciał w astrofizyce.**

Paulina Broszko

W DEM każde ciało (np. cząstka) jest modelowane jako oddzielny byt, którego ruch i interakcje są śledzone w czasie. Interakcje między ciałami, takie jak kontakty mechaniczne i siły tarcia, są modelowane za pomocą różnych praw fizycznych i empirycznych. Często stosuje się tzw. prawa kontaktu, które opisują, jak ciała reagują na zderzenia i inne oddziaływania. W praktyce te prawa mogą obejmować modele sprężyste, plastyczne, tarcia, adhezji i innych oddziaływań. DEM jest potężnym narzędziem do badania złożonych systemów dyskretnych, jednak wymaga dużej mocy obliczeniowej, zwłaszcza w przypadku systemów z dużą liczbą cząstek.

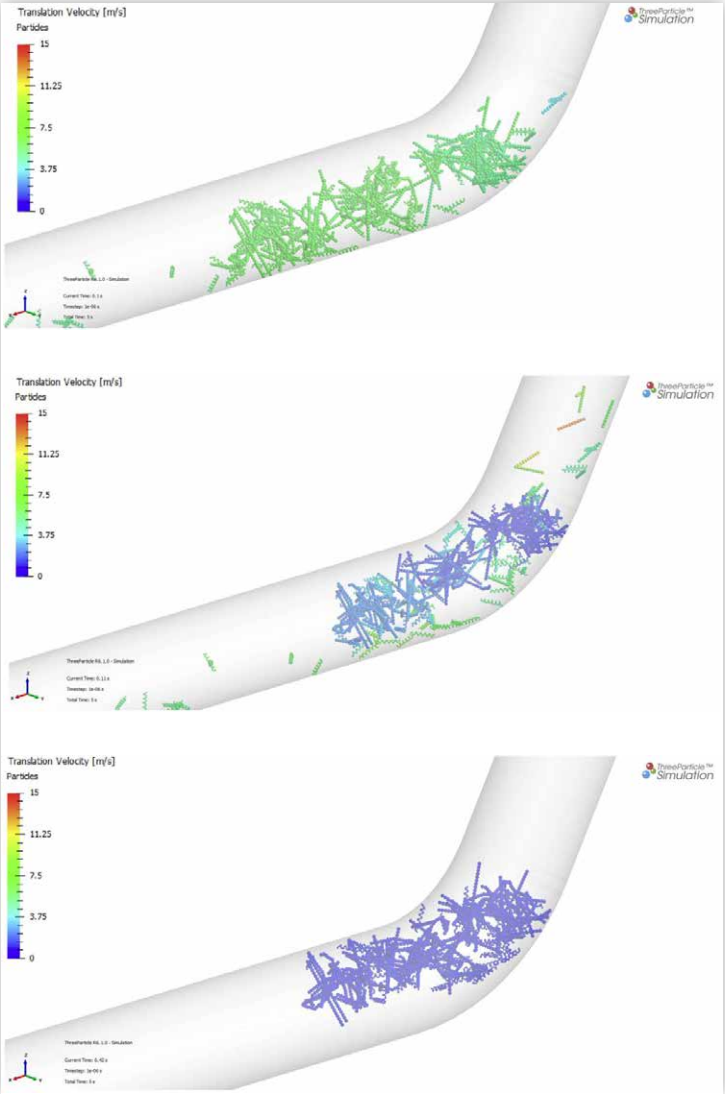
Poniżej przedstawiamy opis projektu, który dotyczył analizy przemieszczania się wiórów pochodzących z procesu obróbki skrawaniem



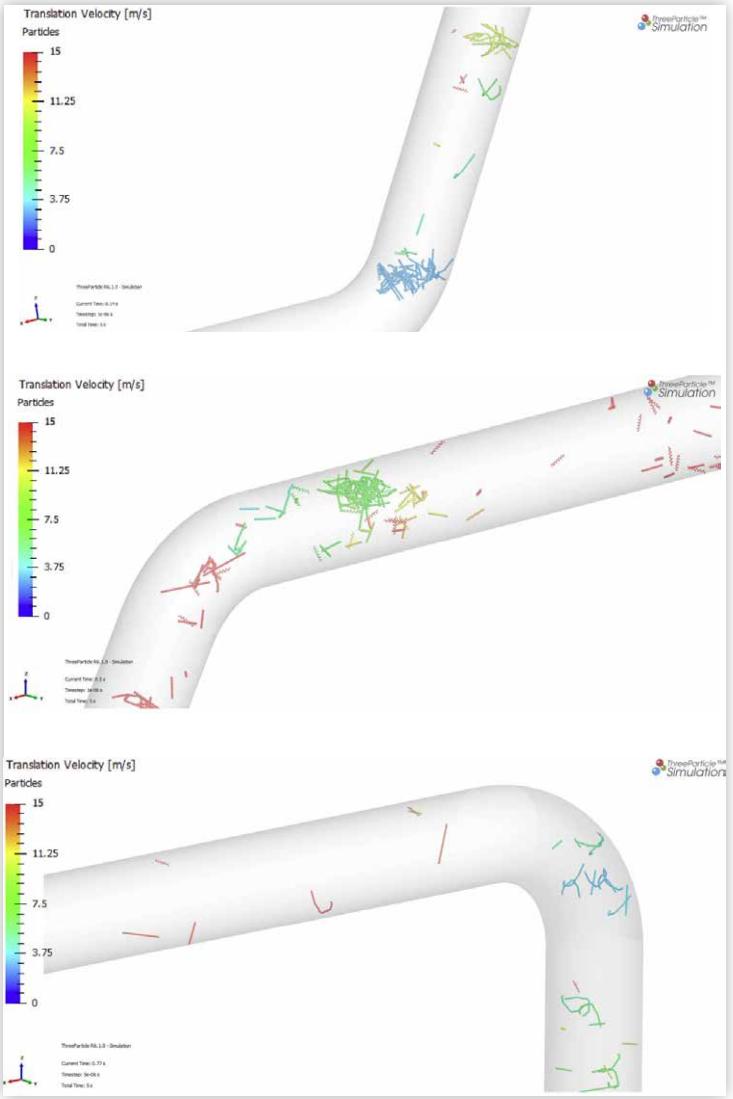
Rys. 1 Sposób generacji cząstek

przez układ rurociągów. Analiza ta realizowana była w programie Becker3D ThreeParticle (wersja 2023) i miała na celu stwierdzenie, czy przy rozważanych średnicach rur nie tworzą się zatory na kolankach układu.

Pierwszym etapem była sama generacja cząstek w początkowym odcinku rury (Rys. 1). Odwzorowana została mieszanina dłuższych i krótszych blaszek, jak również spiral i wygiętych odcinków wiórów. Już na wstępie można było zauważyć, że cząsteczki zaczęły się poruszać z różnym tempem odpowiadającym rzeczywistości – cięższe wiórki w kształcie spirali poruszały się jako ostatnie przez ich największą bezwładność, a lekkie odcinki krótkich blaszek poruszały się jako pierwsze, ze względu na ich najmniejszą masę.



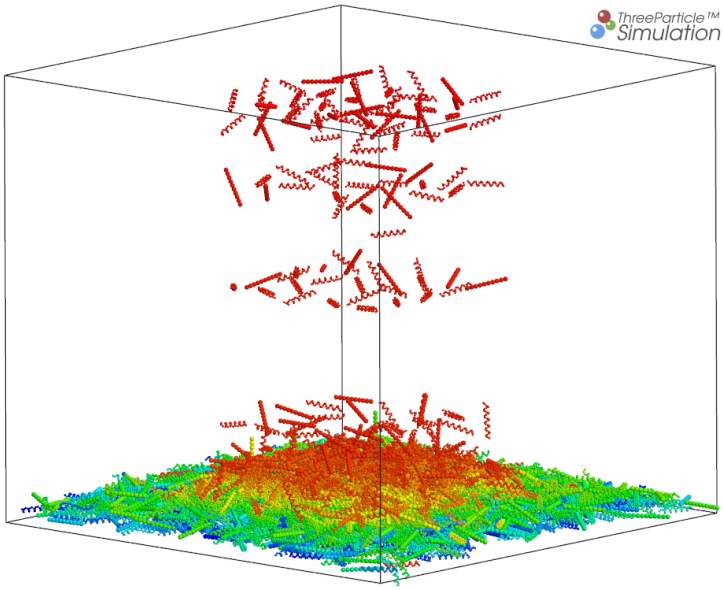
Rys. 2 Tworzenie zatoru w kolanie



Rys. 3 Swobodny przepływ wiórów przez układ FLOW

Na rysunku 2 można zauważyć tworzenie się zatoru podczas przejścia wiórów przez kolanko układu – część wiórów ulega zaplątaniu i blokuje przepływ. Blokada przepływu wynika w tym przypadku z kształtu wiórów i tworzenia zbiorowiska różnych kształtów cząstek przez zaczepianie się jedna o drugą. Powstałe w wyniku tego zablokowanie odcinka rury nie mogłoby zostać obliczone numerycznie bez uwzględnienia prawdziwego kształtu wiórów.

Powyższa analiza pomogła w optymalizacji projektu układu rurociągów w celu zminimalizowania problemów związanych z odprowadzaniem wiórów. W kolejnych iteracjach obliczeniowych zastosowana została większa średnica rurociągów, która pozwoliła na bezproblemowy przepływ wiórów (Rys. 3).



Rys. 4 Spadek swobody cząsteczek w celu analizy kąta stoku naturalnego

W przedstawionym przypadku analiza DEM pozwoliła na symulację interakcji między wiórami i ściankami rurociągów, co byłoby trudne do osiągnięcia za pomocą tradycyjnych metod analizy numerycznej, oraz pomogła w dobraniu średnicy układu rurociągów.

Należy jednak pamiętać, że analiza DEM ma również wady, takie jak:

- Złożoność obliczeniowa: DEM jest zasobożerną techniką, która wymaga dużej mocy obliczeniowej, szczególnie w przypadku systemów z dużą liczbą cząstek.
- Czas symulacji: Ze względu na złożoność obliczeniową, symulacje DEM mogą trwać bardzo długo.
- Wymóg kalibracji: Modelowanie DEM wymaga kalibracji, czyli dostosowania parametrów modelu do rzeczywistych pomiarów. Może to być trudne, szczególnie gdy nie ma dostępnych odpowiednich danych doświadczalnych.
- Założenia modelu: DEM opiera się na pewnych założeniach dotyczących zachowania cząstek, które mogą nie zawsze być prawdziwe w rzeczywistych warunkach.

Szczególnie ważnym aspektem jest wymóg kalibracji. Kalibracja w kontekście metody elementów dyskretnych DEM odnosi się do procesu dostosowywania parametrów modelu do rzeczywistych danych eksperymentalnych, w celu stworzenia modelu, który wiernie odwzorowuje rzeczywistość. Najczęściej dopasowuje się parametry, takie jak gęstość nasypowa, współczynniki tarcia, wartości sił kohezji, adhezji, tłumienia – do danych doświadczalnych. Jednym z często stosowanych sposobów na kalibrację modelu jest pomiar kąta stoku naturalnego, odczytanego ze spadku swobodnego wygenerowanych cząstek, i porównanie go do wartości normowych (Rys. 4).

Podsumowując, DEM pozwala na symulację zachowania materiałów granularnych, które są złożone z dużej liczby oddzielnych cząstek. To pozwala na przewidywanie takich rzeczy jak przepływ cząstek, tworzenie skupisk czy reakcje na różne bodźce. Metoda pozwala na modelowanie i analizę złożonych interakcji między cząstkami, takich jak tarcie, zderzenia, kohezja, adhezja. Dzięki temu poprawne zadanie warunków brzegowych oraz zbliżone do rzeczywistości odtworzenie kształtu cząstek i zadanie im rzeczywistych własności fizycznych pozwoli na otrzymanie poprawnych wyników i przewidzenie zachowania się analizowanego zjawiska, bez konieczności przeprowadzania testów na prawdziwej konstrukcji układu.

mgr inż. Paulina Broszko

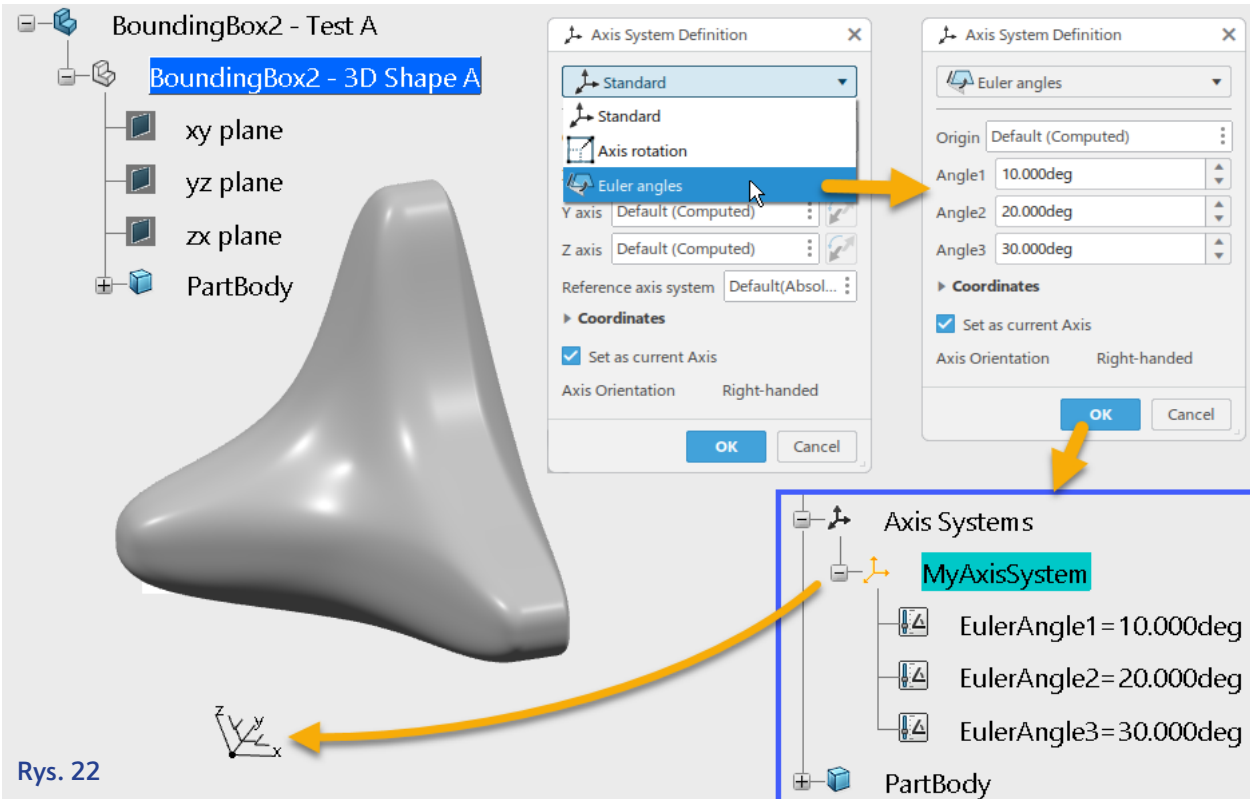
Komes sp. z o.o.

Wyznaczanie bryły brzegowej na potrzeby optymalizacji zużycia materiału cz. 2

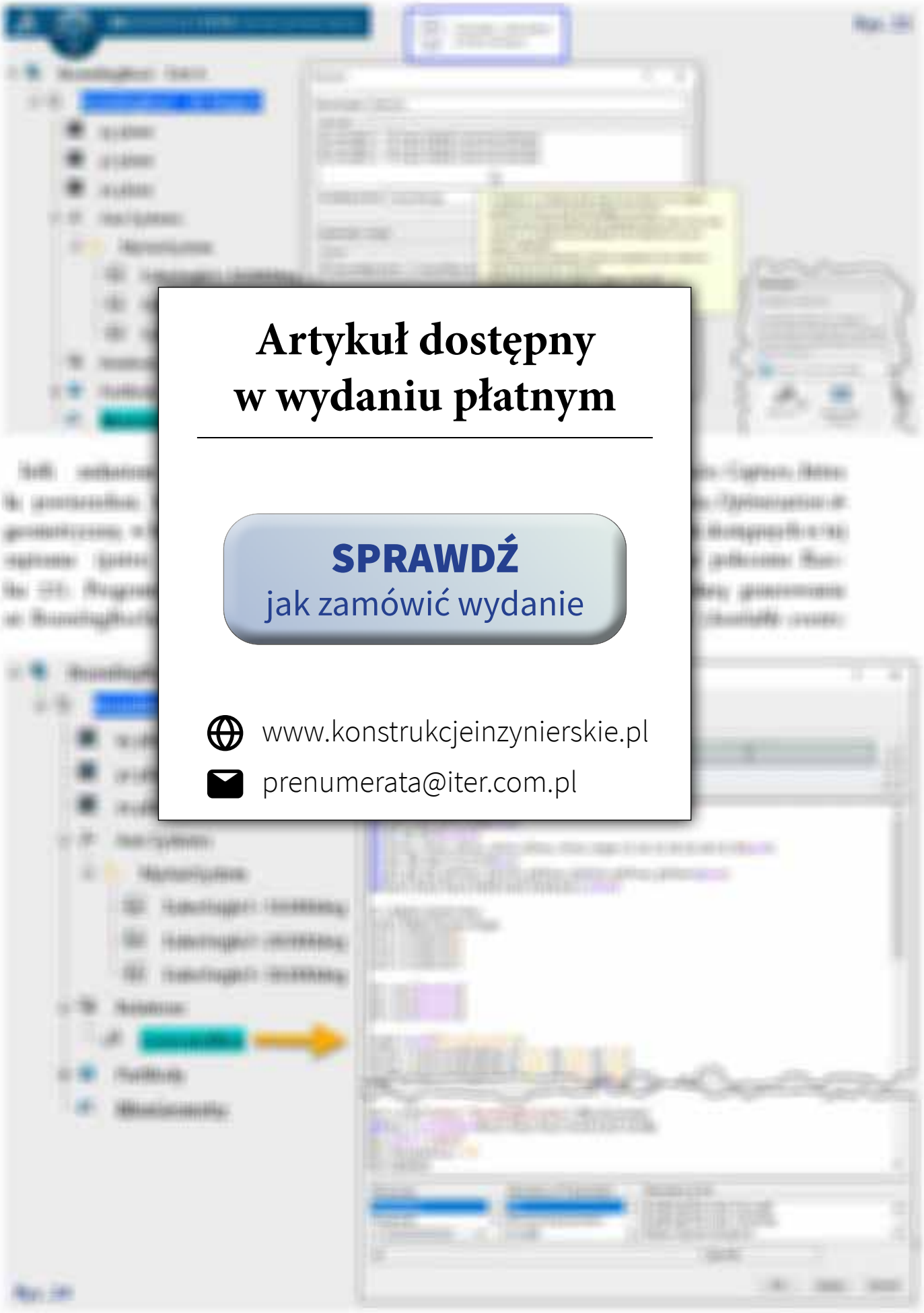
CATIA to narzędzie wspomagające definiowanie dowolnie złożonego modelu geometrycznego, ale zastosowanie typowych poleceń generujących różne obiekty geometryczne (na przykład *Point*, *Line*, *Pad* czy *Sweep*) nie jest jedyną metodą tworzenia modelu przestrzennego. Obiekty geometryczne mogą być także generowane za pomocą narzędzi z grupy *Knowledgeware*.

Andrzej Wełyczko

Kontynuując temat rozpoczęty w poprzednim odcinku tego cyklu proponuję rozważyć przykład generowania modelu powierzchniowego prostopadłościanu (w dalszej części nazwanego *BoundingBoxSurface*), zawierającego w całości wskazany komponent oraz optymalizację objętości tej powierzchni, bez tworzenia pomocniczych (zbędnych?) elementów geometrycznych. Z powodów wyjaśnionych wcześniej w pierwszym kroku trzeba zdefiniować układ współrzędnych, na przykład typu *Euler angles* (patrz: *MyAxisSystem* na rysunku 22).



Rys. 22



Artykuł dostępny w wydaniu płatnym

SPRAWDŹ
jak zamówić wydanie

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

Odpowietrzniki układów hydraulicznych w pojazdach – ewolucja postaci konstrukcyjnej

Układy hydrauliczne pojazdów to głównie hamulce sterowane hydraulicznie, ale i układy sterowania sprzęgłem. Płyn hydrauliczny, zwany również hamulcowym, wymaga okresowej wymiany i związanego z nią odpowietrzania układu.

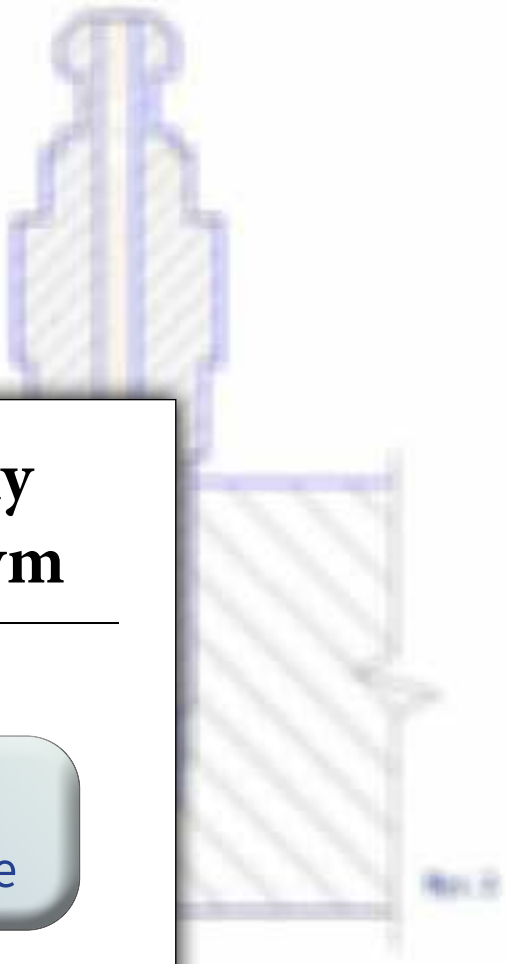
Jerzy Mydlarz

Każda porażka jest szansą, żeby spróbować jeszcze raz, tylko mądrzej.
Henry Ford

Powodów do wymiany płynu hamulcowego jest kilka. Najczęściej wymienianym jest jego higroskopijność i spowodowane tym obniżenie temperatury wrzenia. Dla zwykłych kierowców, nie planujących przeprawy przez przełęcze alpejskie, nie ma to większego znaczenia. Jeśli jednak ktoś uprawia taką turystykę lub startuje w zawodach albo intensywnie jeździ na torze, wówczas obniżenie temperatury wrzenia płynu hamulcowego ma znaczenie. Wrzący płyn wytwarza bowiem pęcherzyki gazu, które są ściśliwe i hamulce przestają działać. Wpływ zawartości wody w płynie na temperaturę wrzenia pokazano na rysunku 1.

Drugim powodem do wymiany zawodnionego płynu hamulcowego jest wzrost jego agresywności chemicznej i związana z tym korozja, w szczególności cylindrów w zaciskach wykonanych ze stopów aluminium. Na koniec trzeba też wspomnieć o produktach ścierania się tłoczków, cylindrów i uszczelnień.

Rys. 1 Wpływ zawartości wody w płynie na temperaturę wrzenia (źródło pl.trotec.com)



Artykuł dostępny w wydaniu płatnym

SPRAWDŹ
jak zamówić wydanie

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

Narzędzia do gratowania i fazowania otworów

Istnieje wiele różnych narzędzi tworzonych na użytek jakieś konkretnej operacji technologicznej. Spośród tej wielkiej liczby narzędzi, niektóre zasługują na specjalną uwagę. Do takich należy narzędzie do gratowania otworów po obróbkach wiertarskich (również po stronie przeciwnej od wrzeciona wiertarki). Szczególnie nadaje się ono do zastosowania w obrabiarkach zadaniowych i zespołowych, przy cyklu pracy automatycznym, ale może też znaleźć zastosowanie w obróbce otworów na wiertarkach ogólnego przeznaczenia.

Julian Kiełczewski, Aleksander Łukomski

Przy wierceniu, powiercaniu i rozwiercaniu otworów przelotowych, ale również w układzie otworów w korpusach, krzyżujących się lub łączących pod kątem, występuje problem gratu. Mamy z nim do czynienia także w innych obróbkach, np. frezowaniu płaszczyzn, struganiu, czy nawet toczeniu i wytaczaniu.

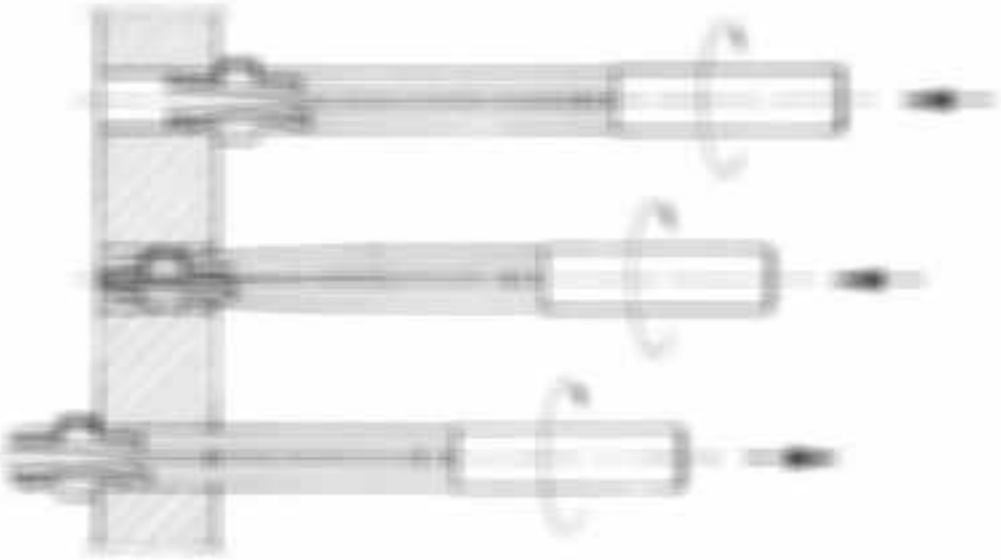
Nierówne, poszarpane, ostre krawędzie po obróbce sprawiają kłopoty podczas montażu. Pozostałe po obróbce zadziory mogą oderwać się w czasie eksploatacji. W przypadku np. aparatury pneumatycznej czy hydraulicznej, nawet niewielki luźny odłamek może stwarzać ryzyko uszkodzenia bądź zniszczenia maszyny. Z tych powodów usunięcie gratu jest koniecznością, zwłaszcza w przemyśle obrabiarkowym, motoryzacyjnym, lotniczym czy medycznym. Usuwanie zadziorów i wygładzanie krawędzi stanowi pozornie niewielki, ale istotny etap procesu produkcyjnego, który pochłania niekiedy 20% wszystkich kosztów wykonania detalu.

Rys. 1 Widok ogólny narzędzi do gratowania

Artykuł dostępny w wydaniu płatnym

SPRAWDŹ
jak zamówić wydanie

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



Kasperwing i latający skuter Henryka Dorucha

Niewielki statek powietrzny, który dzięki specjalnemu podwoziu może poruszać się nie tylko po niemal każdym terenie, lecz również na wodzie, może być konstruktorskim wyzwaniem dla wielkich i bogatych firm. Tymczasem tego typu projekt realizuje znany w środowisku lotniczym Henryk Doruch. Budowę finansuje ze swojej emerytury, a idea maszyny powstała około 2011 roku.

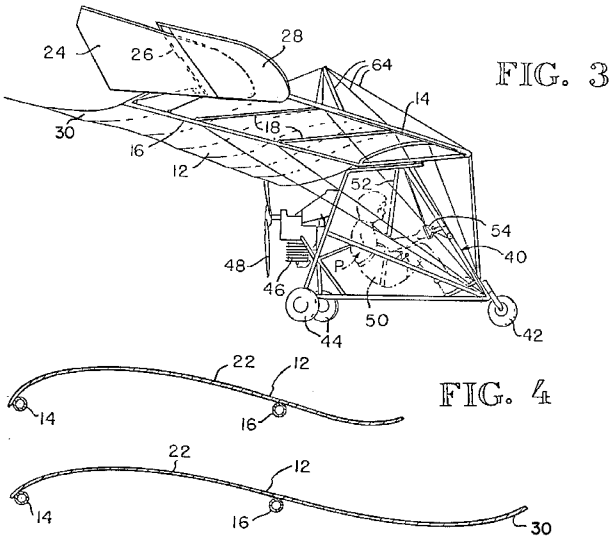
Ryszard Romanowski

Henryk Doruch to doświadczony lotniarz, który w swojej długiej karierze zdążył poznać większość rozwiązań i „patentów". Tym bardziej, że mieszka nieopodal wschodniej granicy i od lat wymienia doświadczenia z kolegami z dawnego ZSRR.

Największą inspiracją było chyba jednak latające skrzydło skonstruowane przez zmarłego w 1994 roku polskiego konstruktora, który po II wojnie znalazł się w Kanadzie – Witolda Kasprzyka. O ile rozwiązanie braci Horten jest powszechnie znane, to o konstrukcjach Kasprzyka wiedzą nieliczni. Szkoda, bo sam życiorys tego konstruktora mógłby być materiałem na scenariusz sensacyjnego filmu.

Władał dwunastoma językami i od 1958 pod nazwiskiem Witold Kasper rozpoczął pracę w firmie Boeing jako aerodynamik. Rozwijał konstrukcję własnego patentu latającego skrzydła, które w odróżnieniu od projektów braci Horten i późniejszych polskich konstrukcji SZD Wampir, miało zaskakujące właściwości. Miało stosunkowo małe wydłużenie i rozszerzające się końcówki, na których umieszczone były nietypowe „stery". Szybowiec z tym rozwiązaniem nie ulegał przeciągnięciu, a im wolniej leciał, tym stawał się bardziej stateczny. Potrafił latać na kątach natarcia około 35° przy prędkości opadania 0,5 m/s. Podczas prób, Kasprzyk będący już na emeryturze, prezentował zaskakujące manewry, takie jak przewrotki, pętle o zerowym promieniu, zarówno przez ogon, jak i przez dziób. Stosował lądowania bez dobiegu. Wszystko odbywało się bezpiecznie. Powstawała teoria opływu wirowego na górnej powierzchni płata. Eksperymentowano posługując się przyklejonymi do płata nitkami i kamerą filmową. Eksperymenty potwierdziły możliwość ponad trzykrotnego obniżenia prędkości startu

Motolotnia Kasperwing (fot. z kolekcji Wojciecha Monycza via: kasperwing.com)



Rysunki patentowe skrzydła projektu Witolda Kasprzyka

i lądowania. Jego skrzydło BKB otrzymało certyfikat amerykańskiej federacji FAA, pozwalający na akrobację bez ograniczeń wysokości. Wśród kilku konstrukcji prototypowych i projektów polskiego konstruktora jeden trafił do produkcji. W latach sześćdziesiątych, współpracując ze znanym konstruktorem lotniowym Steve'm Grossruck'iem, uruchomiono produkcję prostego samolotu ULM, a właściwie motolotni Kasperwing. Sterowanie balastowo-aerodynamiczne odbywało się przy pomocy wolanta. Maszyna charakteryzowała się niskim obciążeniem skrzydła – 10 kg/m^2, co pozwalało, po powstaniu wiru, na lot z bardzo małą prędkością, około 30 km/h, przy współczynniku siły nośnej Cz około 2,5, oraz na spadochronowe przyziemienie.

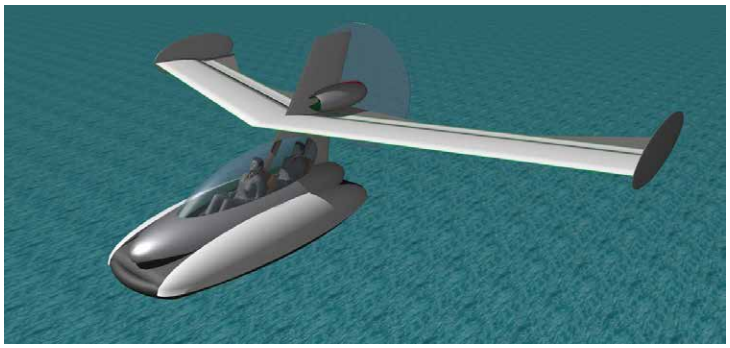
Trudno znaleźć dane o liczbie wyprodukowanych motolotni z różnymi silnikami, takimi jak Zenoach (242 ccm, 23 KM), Kawasaki 340 i 440, Rotax 277 (27 KM), Rotax 503 (48 KM). Historia również milczy na temat wypadków z udziałem tych motolotni.

Gdzieś około roku 2005 Henryk Doruch znalazł ogłoszenie o sprzedaży lotni Kasperwing. Maszyna stała w Teksasie. Nie było łatwo, ale w końcu udało się sfinalizować zakup. Lotnia, po rozłożeniu, przyleciała do Polski samolotem rejsowym jako... bagaż podręczny. Pierwsze loty odbyły się na lotnisku w Muchowcu z różnym powodzeniem. W końcu lotnia została oblatana w lipcu 2015 roku przez Pawła Wierzbowskiego. Jej właścicielem był wtedy dr Józef Grzybowski, później zaangażowany w odbudowę i próby sprowadzonego z Arizony szybowca Bekas.

Pan Henryk zbudował lotnię wzorowaną na oryginale, którą nazwał Doruch-Kasperwing Skowronek. Całą dokumentację stanowiły zdjęcia i amerykański wniosek patentowy. Pierwszy lot – jak wspomina konstruktor – nie był najłatwiejszy. Za drugim podejściem wylądował w krzakach.

Po głębokich analizach okazało się, że winę ponosił kąt ustawienia sterów na końcach skrzydeł. Bardzo trudno było go określić na podstawie tak szczupłych i niezbyt dokładnych materiałów. W Skowronku wynosił on 30°, a powinien 60°.

Jednak już wówczas uwagę konstruktora przykuwał głównie nowy projekt – obudowana motolotnia ze skrzydłem Kasprzyka. Kształt kadłuba wzorowano na Synergy Aircraft Johna McGinnisa. Projekt ewoluował. Obecnie budowana maszyna napędzana będzie dwoma wirnikami otunelowanymi, z których jeden, o większym ciągu, służyć będzie do startu, a drugi, ekonomiczny, o mniejszym ciągu, do normalnego lotu.



Wizja latającego skutera ze skrzydłem Kasprzyka

Kadłub i skrzydło to konstrukcja ze stalowych i duralowych rurek. Całość pokryta będzie poliwęglanem kanalikowym (komorowym), konstruktor rozważa również użycie materiału PET. Konstrukcja skrzydła ulegnie zmianie, ponieważ udało się zdobyć (tanio, z Białorusi) rurki z kompozytu

Wstępna przymiarka ramy z układem jezdnym

węglowego. Pan Henryk zyskał również nowe miejsce do pracy. Udostępniona przez jego kolegę hala bez przeszkód pozwala na rozłożenie 12-metrowego skrzydła. – To zaledwie 100 km od mojego domu – stwierdził. Już pierwsze próby zmiany rurek duralowych na kompozytowe wykazały znaczne zmniejszenie masy skrzydła.

W odpowiedzi na pytanie dlaczego nie zastosowano kompozytu opartego o włókna szklane lub węglowe stwierdził, że nie chodzi wyłącznie o budżet. Poliwęglan kanalikowy sprawdził się w konstrukcjach co najmniej pięciu lekkich samolotów zbudowanych przez rosyjskiego konstruktora. Ponadto niektórzy są uczuleni na żywice używane w procesie laminowania.

Skrzydło zamontowane będzie na zwężających się ku górze zastrzałach typu A i składane podczas jazdy. Czas jego złożenia nie przekroczy 3 minut.

Pięciołopatowe wentylatory budowane są również z duraluminium. Napędzane będą silnikiem z Suzuki Swift, dostosowanym i udostępnionym przez rajdowego mistrza Polski i twórcę dwóch w pełni sprawnych statków powietrznych pionowego startu i lądowania – Bogdana Wozowicza. Zastosowany również będzie silnik elektryczny o mocy 20 kW.

Podwozie jednotorowe z bocznymi kołkami podporowymi zawierać ma poduszkę powietrzną. Jej fartuchy i pływaki chowane będą podczas lotu. Powietrze do wytworzenia poduszki tłoczone będzie za pomocą dwóch wentylatorów napędzanych elektrycznie. Do jazdy po drodze służyć będzie zwykła kierownica motocyklowa.

Budowa trwa, co jakiś czas zmuszając konstruktora do stosowania rozwiązań, które pogodzą wymagania techniczne z niskim budżetem emeryta.

Ostatnio pan Henryk zainteresował się silnikiem Gun Engine Kazimierza Hołubowicza. To nigdy nie wprowadzone do produkcji seryjnej rozwiązanie pozwala uzyskać wysoką moc przy bardzo niewielkim zużyciu paliwa. Prywatny Chevrolet Hołubowicza, wyposażony w jego silnik, spalał podobno pół litra benzyny na 100 km. Jednostka wydaje się idealna do taniego w budowie i eksploatacji statku powietrznego. Dysk poruszający się nad tłokiem za pomocą poduszki sprężonego powietrza zamyka komorę spalania, gdzie następuje spalanie detonacyjne. Sprężone powietrze amortyzuje siły działające na tłok, a ten przekazuje na wał kilkakrotnie większy moment niż w klasycznych silnikach. Przy czym energia dawki paliwa wykorzystywana jest niemal do końca. Gun Engine nie potrzebuje układu chłodzenia pozbywającego się w klasycznym silniku spalinowym nadmiaru energii.

Pan Henryk zadbał również o bezpieczeństwo. Wzorując się na rozwiązaniach polskiego samolotu odrzutowego Flaris planuje obok spadochronu zastosowanie poduszek powietrznych. Wszystko to uruchamiane będzie przy pomocy sprężonego powietrza, bez żadnych materiałów wybuchowych, typowych w rozwiązaniach przemysłu motoryzacyjnego.

Wypada tylko obserwować postęp prac i liczyć na to, że budowany i finansowany przez emerytów latający skuter pomyślnie wzbije się w przestworza.

Ryszard Romanowski

samolotypolskie.pl

Hałas w środowisku pracy

Prawie połowę przypadków wszelkich zagrożeń dla pracowników w miejscu pracy stanowi hałas. W świetle ostatnich badań wpływ hałasu na zdrowie pracownika, ale też na każdego człowieka, jest bardzo duży. Jest wiele przepisów i norm, które ustalają dopuszczalne natężenie hałasu i starają się redukować jego negatywny wpływ, jednak efekty tych działań są na razie małe.

Aleksander Łukomski

Hałas określają dwa parametry: natężenie dźwięku, wyrażane w decybelach (dB) i częstotliwość (ciśnienie akustyczne), wyrażana w hertzach (Hz).

Na podstawie różnic w częstotliwości drgań można wyróżnić:

- hałas infradźwiękowy, odczuwalny mimo że nie możemy go usłyszeć; jego częstotliwości drgań są niższe od 20 Hz;
- hałas słyszalny, o częstotliwości z przedziału 20-20000 Hz;
- hałas ultradźwiękowy – podobnie jak infradźwiękowy jest niesłyszalny, o częstotliwości ponad 20000 Hz.

Jak wynika z danych GUS, na ogólną liczbę 590 tys. pracowników zatrudnionych w warunkach zagrożenia czynnikami szkodliwymi, około 230 tys. pracowników narażonych jest na hałas.

W wyniku długotrwałej, wieloletniej ekspozycji na hałas, o natężeniu dźwięku powyżej 80 dB, zazwyczaj dochodzi do nieodwracalnego, trwałego ubytku słuchu (trwały ubytek słuchu może być również efektem jednorazowej ekspozycji na hałas, jeśli jego szczytowy poziom ciśnienia akustycznego przekroczy wartość 135 dB).

Pozasłuchowe skutki oddziaływania hałasu na organizm ludzki prowadzą do zaburzeń funkcjonowania układu oddechowego, krążenia

W jednej z polskich fabryk zainstalowano nowy żeliwiak do odlewania nowoczesnego żeliwa. Dla prowadzenia tego procesu konieczny był intensywny nadmuch powietrza do pieca. Wentylator dużej mocy emitował hałas o małej częstotliwości, ok. 25 Hz, jak zbadano. Niby nie był to hałas zbyt głośny. Jednak jego natężenie oddziaływało na pracowników porażająco. W biurze konstrukcyjnym tej fabryki, ołówki dosłownie wypadały z rąk, nie można było skupić myśli. Praktycznie nie dało się pracować. Związki zawodowe wymogły, żeby nie włączano tego wentylatora na pierwszej zmianie. Ale o 14:00 wentylator włączano i był koniec pracy umysłowej.

A co z pozostałymi pracownikami na drugiej zmianie? Co z mieszkańcami (fabryka znajdowała się w dzielnicy mieszkaniowej)? Może nie zadawali sobie sprawy, że ich złe samopoczucie lub nawet – z czasem – stan chorobowy był spowodowany włączaniem wentylatora w odlewni pobliskiej fabryki.

(nadciśnienia), układu pokarmowego (np. choroba wrzodowa żołądka) i zaburzania działania innych narządów. Hałas oddziałuje również negatywnie na układ nerwowy. Ponadto hałas obniża percepcję różnych innych sygnałów dźwiękowych, co nie tylko utrudnia porozumiewanie się, ale przed wszystkim zwiększa ryzyko wypadków w hałaśliwym środowisku pracy.

Zgodnie z obowiązującymi przepisami podanymi w Rozporządzeniu MPiPS z dnia 29 listopada 2002 r. w sprawie najwyższych dopuszczalnych stężeń i natężeń czynników szkodliwych dla zdrowia w środowisku pracy (Dz. U. Nr 217, poz. 1833) oraz zgodnie z wymaganiami normy PN-N-01307:1994 dopuszczalne wartości hałasu ze względu na ochronę słuchu są następujące: poziom ekspozycji na hałas odniesiony zarówno do ośmiu godzin dziennie, jak i tygodnia pracy, nie może przekraczać 85 dB.

Decybele występują w skali logarytmicznej, co oznacza, że zmiana np. o 10 decybeli wywołuje wrażenie podwojenia głośności.

Istnieją dokumenty normatywne obligujące producentów, importerów i użytkowników maszyn do pomiarów hałasu i podejmowania stosownych działań technicznych do jego ograniczenia. Są to: Dyrektywa UE 2000/14/WE, wraz z późniejszymi zmianami zawartymi w Dyrektywie 2005/88/WE, wdrożona do prawa polskiego Rozporządzeniem Ministra Gospodarki z 21.12.2005 r. w sprawie zasadniczych wymagań dla urządzeń używanych na zewnątrz pomieszczeń w zakresie emisji hałasu do środowiska – Dz. U. z 2005 r. Nr 263, poz. 2202. Dyrektywa ta dotyczy maszyn i urządzeń używanych na zewnątrz pomieszczeń, emitujących hałas do środowiska naturalnego, podlegających ograniczeniu oraz oznaczeniu gwarantowanego poziomu mocy akustycznej, wyszczególnionych w załącznikach do tej dyrektywy oraz zapewnienia w produkcji seryjnej ustalonego dopuszczalnego poziomu hałasu.

Także w znanej Dyrektywie UE (maszynowej) 2006/42/WE, wdrożonej do prawa polskiego Rozporządzeniem Ministra Gospodarki z 21.10.2008 r. w sprawie zasadniczych wymagań dla maszyn (Dz. U. z 2008 r. Nr 199, poz. 1228) określa się wymagania dotyczące poziomu hałasu na stanowisku operatora wszelkich maszyn. Zawiera ona informacje dotyczące emitowanej przez maszyny i urządzenia mocy akustycznej, które należy zamieścić w ich dokumentacji.

Źródłem uciążliwego hałasu w zakładzie produkcyjnym mechanicznym są przykładowo sprężarki, wentylatory, pompy, obrabiarki do obróbki metali (zwłaszcza jeżeli jest ich dużo), prasy, młoty w kuźni, również nieszczelna instalacja sprężonego powietrza, a także narzędzia ręczne z napędem pneumatycznym i wiele innych maszyn, instalacji i urządzeń. Duże problemy z hałasem występują w drukarniach. Maszyny drukarskie, zwłaszcza o dużej wydajności, emitują trudny do ograniczenia hałas. W stolarniach największym źródłem hałasu są piły i frezarki do drewna, w młynach – mlewniki. W niektórych mechanizmach dochodzi do dużej emisji hałasu niejako z założenia, np. w hamulcach, różnych skrzynkach przekładniowych czy multiplikatorach.

Zdecydowana większość tych maszyn, narzędzi i urządzeń przeszła – podobno – procedurę oceny, ma wystawioną deklarację zgodności WE i oznakowanie CE, a ze względu na dyrektywę hałasową nie powinna ich mieć.

Podejmowane są próby przeciwdziałania nadmiernemu hałasowi. Buduje się osobne pomieszczenia sprężarkowni czy pompowni, gdzie umieszcza się sprężarki czy pompy, aby znajdowały się w innym miejscu niż zasilana przez nie maszyna. Większość maszyn ustawia się na wibroizolatorach, które są dość skuteczne w ograniczaniu przenoszenia drgań na posadzki. Pomieszczenia czy hale można dodatkowo jeszcze wygłuszyć materiałem izolacyjnym. Przekładnie zębate i multiplikatory umieszcza się w dobrze izolowanych szafach lub skrzyniach, a niekiedy stosuje się specjalne ekrany. Niestety nie zawsze można zastosować te osłony. Podejmowane też są próby zastosowania specjalnych wykładzin ścian takich pomieszczeń, poza znanym już korkiem czy płytami wygłuszającymi o odpowiednim

kształcie, np. osłonami w postaci jakby dużych materaców napełnianych powietrzem o niskim ciśnieniu. Rozwiązania te niekiedy trochę ograniczają hałas, nieco zmniejszając jego natężenie. Stosuje się też różne elementy ochrony słuchu osobiste, jak zatyczki do uszu czy specjalne słuchawki.

Wszystkie te działania są potrzebne, Jednak zacząć trzeba od działań najprostszych – od przestrzegania przepisów. Ktoś nakleił naklejkę ze znakiem CE na pile tarczowej, gdy tymczasem ona przekracza dopuszczalną emisję dźwięków; ktoś wydał świadectwo homologacji dla motocykla, czy samochodu ciężarowego, a pojazdy te nie spełniają norm i przepisów...

Może czas najwyższy podejść twórczo w biurach konstrukcyjnych i przedefiniować technologię cięcia drewna piłą tarczową? Może na początek zastąpić typową piłę tarczową tarczą drobnozębną o dużej liczbie zębów i zastosować niższe obroty. Może jest możliwe wynalezienie skutecznego tłumika dla silników spalinowych pił łańcuchowych i kosiarek. Dla wielu maszyn skutecznym rozwiązaniem w ograniczaniu hałasu może być zwiększenie dokładności wykonania np. kół zębatych i korpusów, które zmniejszyłyby luzy międzyzębne, bo te są przecież źródłem dużego hałasu. A może też ograniczyć przekładnie zębate na rzecz przekładni pasowych? A może konieczne będzie stosowanie większej liczby elementów gumowo-metalowych we wszelkich maszynach, skuteczniejszych w ograniczaniu drgań i hałasu?

Podczas dopuszczania maszyny do użytkowania obowiązkowo dokonuje się, wśród pakietu badań środowiskowych, badania wielkości hałasu i to na tle hali, w której ta maszyna ma pracować. Stosuje się też stanowiska do oceny hałasu emitowanego przez pojazdy. Są firmy budujące takie specjalne stanowiska dla przemysłu motoryzacyjnego, które umożliwiają badania pojazdów pod kątem emisji hałasu, szukania źródeł hałasu i podjęcia prób jego neutralizowania. Jednak w innych przemysłach raczej tego nie widać.

Niby są odpowiednie przepisy, są też instytucje monitorujące wszelkie sprawy związane z ochroną środowiska, a więc też poziom hałasu. Jednak wydaje się, że to nie wystarcza.

Potrzeba więc połączenia sił wielu różnych podmiotów i powszechnej woli do ograniczania hałasu w naszym życiu, nie tylko zawodowym.

Aleksander Łukomski

Sezon ogórkowy w likwidacji

Mimo że wakacje za pasem i zgodnie z odwiecznym zwyczajem powinien rozpocząć się właśnie kalendarzowy sezon ogórkowy, to wygląda na to, że jednak w naszych najdynamiczniejszych czasach w historii ludzkości i to ulegnie zmianie. Tak jak wszystko dookoła podlegając nieustannym przeobrażeniom, reformom, transformacjom, dostosowaniom i unowocześnieniom. Czyli mówiąc krótko – likwidacji.

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 (od 2023 r.): 20,25 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
Pojedyncze e-wydania archiwalne z lat 2020-2022 dostępne są w cenie: 17,50 zł
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