



FOT. BOBENG

Metale podbijają przestworza

Aluminium i stal nierdzewna od dawna są stosowane w aplikacjach dla lotnictwa i kosmonautyki. Z coraz większym powodzeniem – pisze **Zbigniew Brytan**, ekspert SSN, wykładowca Politechniki Śląskiej.

Sz szczególnie popularne we wspomnianych aplikacjach jest aluminium, zwłaszcza w konstrukcjach kadłubów samolotów. Dla wielu aplikacji metal ten jest wciąż najbardziej wytrzymałym i jednocześnie najlżejszym z możliwych do zastosowania materiałów. Dodatkowo można go łatwo przetwarzać różnymi technikami oraz umacniać przez obróbkę cieplną i plastyczną na zimno. Stopy aluminium są ponadto stosunkowo tanie w porównaniu z wieloma konkurencyjnymi (pod względem wskaźnika wytrzymałości

do masy) materiałami kompozytowymi lub stopami tytanu.

Najpopularniejsze stopy stosowane w aplikacjach lotniczych to EN AW-7075 (Al/Zn), AW-7475-02 (Al/Zn/Mg/Si/Cr), AW-6061 (Al/Mg/Si).

Zalety stali

Stale nierdzewne, choć są bardziej wytrzymałe niż stopy aluminium, są również od nich cięższe, co utrudnia ich szerokie wykorzystanie w aplikacjach lotniczych. Jednak elementy

wykonane ze stali nierdzewnych mają dwie główne zalety w porównaniu z aluminium. Po pierwsze bardzo wysoką odporność korozyjną w różnych środowiskach pracy. Po drugie lepsze własności wytrzymałościowe, w tym udarność i odporność na zużycie. Dodatkowo stale mają wyższą temperaturę topnienia niż stopy aluminium. Generalnie elementy ze stali nierdzewnej będą lepiej radzić sobie z zarysowaniami powierzchni i dynamicznymi uderzeniami niż elementy aluminiowe. Poza tym mają lepszą odporność korozyjną i wytrzymałość na niską i wysoką temperaturę.

W zastosowaniach lotniczych dla elementów o wymaganej odporności korozyjnej stosuje się klasyczne stale austenityczne, zarówno

typu 1.4301 (AISI 304), jak i z dodatkiem molibdenu typu 1.4401 (AISI 316). Dla zastosowań, w których odporność na utlenianie stanowi kluczowy czynnik doboru materiału, wykorzystuje się gatunki żaroodporne i żarowytrzymałe, np. 1.4818 (S30415), 1.4835 (S30815), 1.4833 (AISI 309) i 1.4845 (AISI 310). Szczególnie chętnie



Stal nierdzewna jest coraz częściej stosowana w aplikacjach lotniczych i kosmicznych, szczególnie w przypadku części o wymaganej wysokiej wytrzymałości, odporności korozyjnej i odporności na niską i wysoką temperaturę.

nie wykorzystuje się także grupę stali nierdzewnych umacnianych wydzieleniowo, które w innych sektorach przemysłu są mało znane. Materiał ten zawiera dodatki miedzi (Cu), aluminium (Al) lub tytanu (Ti), które podczas obróbki cieplnej tworzą drobne wydzielenia powodujące utwardzenie i wzrost wytrzymałości. Stale tej grupy osiągają własności mechaniczne na poziomie wytrzymałości na rozciąganie rzędu 2000 MPa przy wydłużeniu do zerwania 6 – 8 proc. Do najczęściej stosowanych w lotnictwie stali tej grupy należą gatunki 1.4548 (17-4 PH), 1.4542 (17-7 PH), 1.4594 (15-5 PH), 1.4534 (13-8 PH), z których wytwarza się elementy podwozia (wały, trzpienie), elementy turbin, wsporniki i prowadnice kłap, siłowniki, łoża silników, sprężyny, elementy złączne, elementy grodzi i wiele innych.

Nierdzewna rakieta

O stali nierdzewnej w aplikacjach kosmonautycznych zrobiło się głośno po doniesieniach z 2019 r. Biznesmen celebryta Elon Musk, który kieruje pracami amerykańskiej spółki SpaceX, ogłosił, że konstruowana przez nią nowa rakieta Super Heavy oraz statek kosmiczny Starship zostaną zbudowane, z chromowo-niklowej stali typu AISI 301. Ma ona zastąpić elementy wykonane z kompozytów z włókien węglowych. Skąd ta decyzja? Powodów jest kilka.

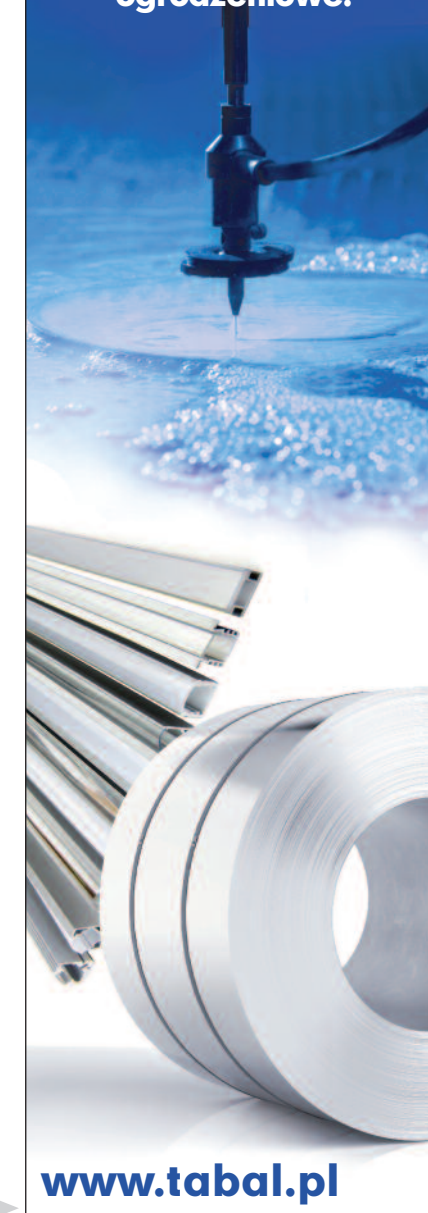
Oczywistą przewagą kompozytów węglowych nad stalą nierdzewną jest ich niska waga i wysoki wskaźnik wytrzymałości do masy. Nie jest to jednak jedyny parametr brany pod uwagę w doborze materiałów. Stal nierdzewna charakteryzuje się wysoką wytrzymałością i udarnością w temperaturze kriogenicznej. Paliwo rakietowe, jakim jest ciekły tlen o temperaturze -200°C , wymaga materiału, który nie będzie tracił plastyczności i nie stanie się kruchy, co dzieje się w przypadku kompozytów węglowych. Stale austenityczne Cr-Ni, w tym gatunek typu AISI 301, wykazują wzrost wytrzymałości wraz z obniżaniem temperatury, nawet o 50 proc. w temperaturze -200°C , w porównaniu z temperaturą pokojową, oraz zachowują wysoką plastyczność w takich warunkach. W przypadku kompozytów węglowych własności mechaniczne pogarszają się w temperaturze kriogenicznej.

Stosowany w raketach materiał musi być też odporny na temperatury dochodzące do kilkuset stopni, powstające w wyniku sprężenia powietrza na drodze pojazdu w trakcie startu oraz lądowania. Wymagany jest więc materiał o bardzo szerokim zakresie temperatury pracy, stal nierdzewna spełnia te kryterium.

**Dostarczamy
stale kwasoodporne,
metale nieżelazne,
profile aluminiowe.**

**Oferujemy usługi cięcia
wodą oraz obróbki
skrawaniem.**

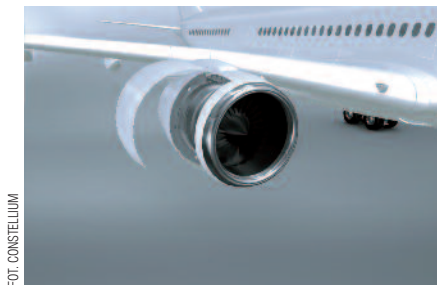
**Produkujemy systemy
ogrodzeniowe.**



REKLAMA

Nowe możliwości

Zastosowanie stali nierdzewnych w kosmonautyce nie jest nowe, sięga lat 50. XX w. Wytwarza się z nich różne stopnie rakietowe współczesnych konstrukcji, np. górny stopień rakietowy typu Centaur służący do wynoszenia ładunków na orbitę geostacjonarną. Potencjał aplikacyjny stali nierdzewnych zwiększył się także dzięki rozwojowi technologii obróbki plastycznej na zimno w temperaturze kriogenicznej. Dzięki temu procesowi uzyskuje się lepsze



FOT. CONSTELLUM

własności mechaniczne przy zachowaniu wysokiej ciągliwości, poprawia się twardość i odporność. Dostępny jest więc materiał umocniony zgniotem, z którego można budować cienkościennie konstrukcje o wysokiej wytrzymałości na niskie i wysokie temperatury.

Kolejna zaleta stali nierdzewnych to odporność na temperaturę. Dużo wyższa niż materiałów kompozytowych i stopów aluminium, które wymagają efektywnych osłon termicznych z materiałów ceramicznych. Dla rakiety ze stali nierdzewnej firma SpaceX planuje użycie konstrukcji płaszczowej wykonanej również z tego materiału. Już sama powierzchnia stali nierdzewnej odbija część promienio-

wania cieplnego. Między warstwami stali będzie krążyło chłodziwo (ciekły metan), efektywnie obniżające temperaturę wewnętrzną powłoki rakiety w trakcie ponownego wchodzenia w atmosferę, kiedy to wspomniana temperatura może przekraczać 1500°C.

Istotnym czynnikiem w każdej działalności komercyjnej są koszty, a w przypadku kosmonautyki są one wysokie. Wynika to przede wszystkim ze stosowania zaawansowanych materiałów i technologii przetwarzania, niejednokrotnie korzystających z rzadkich i przez to drogich pierwiastków lub czasochłonnych metod produkcji, które jako jedyne mogą zagwarantować pożądane własności.



W nowoczesnych samolotach pasażerskich kompozyty stanowią ponad 50 proc. wszystkich materiałów, a stopy aluminium jedynie 20 proc., natomiast różnego rodzaju stale to 10 proc.

W przypadku kompozytów węglowych koszty materiałowe są bardzo wysokie (130 dol./kg). Ponadto proces produkcji elementów jest bardzo czasochłonny, co wynika z samej technologii kształtowania (powstające z włókien wielowarstwowe laminaty). Dodatkowo technologia produkcji kompozytów z włókien jest mało efektywna. Straty materiałowe sięgają 35 proc., co dodatkowo podnosi koszty.

W przypadku stali nierdzewnych koszty materiałowe są ok. 60 razy niższe. Materiał jest łatwo dostępny i szybki w przetwarzaniu. Nic więc dziwnego, że firma SpaceX do nowej konstrukcji rakiety wybrała stal nierdzewną zamiast kompozytów węglowych.

Jak już zostało powiedziane, stal nierdzewna jest wykorzystywana w przestworzach już od bardzo dawna. Międzynarodowa stacja kosmiczna (International Space Station, ISS), obecna na orbicie od ponad 20 lat, nie mogłaby prawidłowo funkcjonować bez tego materiału. Ze stali nierdzewnej wykonane są liczne instalacje rurowe, np. transportu wody pitnej i nieczystości, oraz mniejsze elementy, np. zawory wodne. Modułowa konstrukcja stacji kosmicznej wymaga także ochrony przed krążącymi w przestrzeni kosmicznej mikrometeoritami oraz masą śmieci kosmicznych różnej wielkości (fragmenty satelitów, cząstki paliwa stałego rakiet i wiele innych). Najbardziej niebezpieczne są te o wielkości poniżej 1 cm, ponieważ trudno śledzić ich trajektorię, a ponadto ich energia kinetyczna jest na tyle duża (wynika z prędkości, z jaką się poruszają: 3 - 18 km/s), że mogą przebić poszycie stacji i doprowadzić do jej rozszczęlnienia.

Dla ochrony przed takimi cząstkami opracowano osłony antybalistyczne, które są mocowane na konstrukcji stacji w miejscach szczególnie narażonych na uderzenie. Osłony przeciwko mikrometeoritom składają się od stro-

ny wewnętrznej z 1,5 mm blachy aluminiowej, następnie z 10 cm wyłożenia z kewlaru (włókna aramidowe) lub nextelu (włókna z tlenku aluminium). Zewnętrzna warstwa zbudowana jest ze stali nierdzewnej, gdyż ma ona zdolność pochłaniania dużej energii w trakcie uderzenia i z tego względu stanowi ważny element tarczy chroniącej konstrukcję stacji kosmicznej.

Stal nierdzewna jest wykorzystywana do budowy lekkich elementów konstrukcyjnych, wielowarstwowych paneli, zaworów, instalacji rurowych i wielu innych, zarówno na ziemi, jak i w przestrzeni kosmicznej. Ponadto można z niej łatwo wytwarzać elementy metodą druku 3D o dobrych własnościach, które znajdują coraz więcej zastosowań w lotnictwie i kosmonautyce. Możliwość tworzenia porowatych konstrukcji szkieletowych o niskiej wadze, wysokiej wytrzymałości i, co ważne, wysokiej odporności korozyjnej to wciąż atuty stali nierdzewnej. Warto podkreślić, że technika druku 3D ma być podstawową metodą wytwarzania drobnych elementów (np. narzędzi) w przypadku budowy stałych baz kosmicznych lub długotrwałych lotów, np.

w trakcie kolonizacji Marsa. W tym zakresie trwają już prace nad drukiem z proszków stali nierdzewnych w warunkach zerowej grawitacji. Pierwsze doniesienia o druku 3D w warunkach lotu parabolicznego (w trakcie którego uzyskuje się efekt nieważkości) wskazują na możliwość łatwego wytwarzania drukowanych elementów ze stali nierdzewnej, których własności nie odbiegają od tych wytwarzanych w warunkach grawitacji ziemskiej.

LITERATURA

1. Stal nierdzewna w lotnictwie, www.stalnierdzewne.pl
2. SpaceX, www.spacex.com
3. ElonX.net, Starship Compendium, www.elonx.net
4. SpaceX.com.pl
5. International Space Station, www.wikiwand.com
6. European Space Agency (ESA), www.esa.int
7. 3D Printing in Space: Metal Printing in μ – Gravity Shows Promise, 3dprint.com
8. Enabling the 3D Printing of Metal Components in μ – Gravity, <https://doi.org/10.1002/admt.201900506>

REKLAMA

29 września - 1 października 2020

Centrum Targowo-Konferencyjne **expoSilesia**
www.exposilesia.pl

Międzynarodowe Targi Obrabiarek, Narzędzi i Technologii Obróbki

TOOLEX
www.toolex.pl

WSPÓLNIE NAPĘDZAMY GOSPODARKE!

Zespół Targów: tel. kom. +48 510 031 684 | +48 510 030 472
ul.Braci Mieroszewskich 124 | 41-219 Sosnowiec | tel. +48 32 78 87 519 | toolex@exposilesia.pl

www.toolex.pl

REKLAMA

DIENES

- KOMPLETY NARZĘDZI DO AGREGATÓW CIĘCIA
- SERWIS SZLIFIERSKI
- CamB 5 – PROGRAM KOMPUTEROWY SŁUŻĄCY DO OBLICZANIA ZABUDOWY WAŁÓW KLATKI TNĄCEJ
- DORADZTWO W ZAKRESIE TECHNIKI CIĘCIA
- SEMINARIA SZKOLENIOWE

• LINIE DO CIĘCIA WZDŁUŻNEGO

• LINIE DO CIĘCIA POPRZECZNEGO

• PROSTOWNICE

• LINIE DO PRZEWIJANIA

NOVASTILMEC S.p.A.

Dienes Polska Sp. z o.o. • 88-100 Inowrocław • ul. Budowlana 15
tel. +48 52 357 70 33 • fax +48 52 357 93 10 • e-mail: biuro@dienes.com.pl

www.dienes.com.pl
www.novastilmec.com