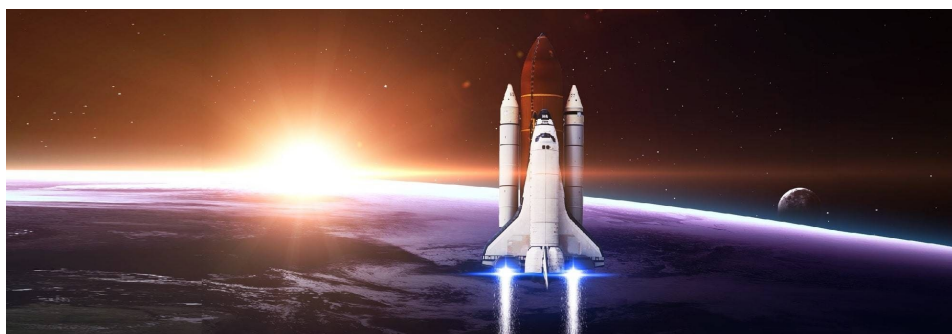


Ілон Маск схвалює: сталь та інші матеріали у ракетобудуванні

«Краща ракета - після моєї - це «Зеніт»», - так влітку 2017 року Ілон Маск, один з найбільших підприємців сучасності, відгукнувся про ракету-носії українського виробництва.



Американський бізнесмен відомий не лише завдяки своєму

[електромобілю Tesla](#)

, але й компанії SpaceX, яка з 2002 року займається космічними програмами, розробкою ракет-носіїв і планує відправити людину на Марс. «Зеніт» - це продукт заводу «Південмаш» з Дніпра, який має зокрема й власний металургійний комплекс. Адже сучасна ракета складається з безлічі різних матеріалів. У космосі знайшлося місце і для сталі.

Перші розробки у космонавтиці

Історія сучасної аерокосмічної галузі почалася наприкінці 1930-х років. Тоді німецькі вчені та підприємці одними з перших почали розробку й виробництво ракет на рідкому паливі. Потенціал такої техніки, яка використовувалася у військових цілях і могла вражати об'єкти, розташовані за 200-250 км, розглядали противники Німеччини. Вони зрозуміли, що творіння німецьких вчених можна використовувати для чогось більшого. В середині сорокових років минулого століття СРСР, США та Великобританія влаштували справжню гонку у спробі роздобути один з секретів гітлерівської Німеччини - креслення та фахівців, які займалися розробкою ракети V-2 (ФАУ-2). Німецький конструктор Вернер Фон Браун прийняв рішення переїхати до США. Разом з ним на інший континент вирушили й всі зразки ракет, що збереглися та на основі яких створювалася американська космічна програма. А ось СРСР так не пощастило. Країні лишилися лише окремі деталі та елементи конструкцій. Під керівництвом житомирянина Сергія Корольова по крихах відновили ФАУ-2 та удосконалили її, створивши власну ракету Р-1. Її перший запуск відбувся у жовтні 1948 року.

Радянська ракета помітно відрізнялася від німецького прототипу. Це було пов'язано з конструкторськими можливостями, умовами роботи та доступністю матеріалів. Адже Німеччина створювала свою ракету фактично у розпал війни. Навіть використання спирту як ракетне паливо було вимушеним, бо країна воювала на два фронти та не мала достатнього запасу нафти.

Унаслідок цього, Р-1 мала дещо інший набір матеріалів, зокрема й металів. Для ФАУ-2 використовували 87 марок і видів сталі та 59 кольорових металів, для радянської - відповідно 32 і 21. Наприклад, баки для палива та окислювача були зроблені з алюміній-магнієвого сплаву. А ось кожух ракети, який ховав під собою всі її основні компоненти, - зі сталевих листів.

Примітно, що виробництво нащадків ФАУ-2 освоїли саме на Південмаші. Це були перші спроби використати сталь у космонавтиці.

Які метали використовують у ракетах



Різні метали складають конструкційну основу сучасної космічної техніки. «Крилатий метал» алюміній перейшов з авіації до ракетобудування. Але виявилось, що тут його властивості не повністю задовольняють потреби конструкторів. Він хоч легкий та пластичний, але недостатньо міцний. Тому частіше використовують дуралюмін або дюралюміній, який було розроблено у Німеччині на початку ХХ століття. Цей сплав (а точніше - група сплавів) містить не лише алюміній, але й достатню кількість міді та марганцю, які підвищують його міцність та жорсткість. Однак такий матеріал погано зварюється. Дюралюмінієві частини зазвичай скріплюють клепами та болтами, що не гарантує герметичності. Тому дуралюмін застосовують у так званих «сухих» відсіках ракет.

У космонавтиці частіше використовують сплави алюмінію з магнієм (до 6%), які можна деформувати та зварювати. З подібного сплаву був створений корпус першого штучного супутника землі - тієї самої кульки, яку в жовтні 1957 року вивели на орбіту Землі. Також з алюміній-магнієвого сплаву були виготовлені баки Р-7 - двоступеневої балістичної ракети, яка стала першою радянською ракетою-носієм.

Космічні перегони між СРСР і США призвели до розробки й появи великої кількості більш міцних сплавів на основі алюмінію, у складі яких було до десятка компонентів. Але найбільш міцними і легкими виявилися сплави з алюмінію та літію.

Хоча сплави «авіаційного металу» залишаються №1 за обсягом використання у космічній техніці, все ж таки й сталь для авіаційно-космічної промисловості є незамінним матеріалом як у минулому, так і зараз. Від цільних сталевих корпусів, як у ФАУ-2, відмовилися після початку виробництва ракет, що складаються з декількох ступенів. Проте й зараз є космічна сталь - це різні марки «нержавійки».

Цей метал переважає алюмінієві сплави за показником жорсткості. Конструкції з нержавіючої сталі, які повинні витримувати космічні навантаження і не деформуватися, виявляються більш компактними й легкими. До того ж, сталь, навіть найекзотичніших марок, дешевше.



З нержавіючої сталі наразі виробляють баки для ракетного палива. Водночас стінки цих величезних конструкцій дуже тонкі. Наприклад, американський розгінний блок Centaur має товщину стінок 0,51 мм. Щоб цей виріб заввишки 12,68 м і діаметром 3,05 м не згинався під власною вагою, його форму підтримують завдяки штучно створеному внутрішньому тиску. Фактично його надувають як повітряну кульку.

Третій за поширенням метал, який використовують у ракетах, - це мідь. Він важкий і дорогий, але має

фантастичну теплопровідність. Тому з мідних сплавів (зазвичай, це хромиста бронза) роблять внутрішню стінку ракетного двигуна. Вона витримує жар у 3000°C, який виривається з сопел під час старту.

Серед інших металів, які знайшли своє місце у ракетній техніці, можна виділити титан і срібло. Вони важливі з технологічного погляду. Але обсяги використання досить незначні. Адже при виведенні космічного корабля на орбіту важливий кожен кілограм, а питома вага титану в 1,6 рази більше за вагу алюмінію. До того ж, металевий титан і його сплави, так само як і срібло, набагато дорожчі за сталь та алюмінієві сплави.



Перспективи сталі у ракетобудуванні

У сучасному світі метали й сплави (зокрема сталі) все частіше замінюють склом і вуглепластиком. Космічна сфера - не виключення. Наприклад, корпуси американських багаторазових космічних човників (шатлів) мали систему теплового захисту з семи різних волокнистих і керамічних матеріалів.

Ще одна новація - використання великих 3D-принтерів, які можуть створювати цілісні елементи космічних кораблів складної форми. Акцент на таку можливість роблять деякі приватні космічні фірми. Але примітно те, що серед використовуваних матеріалів є різні металеві сплави. Нова технологія дозволяє уникнути зварювання, гнуття та інших операцій, які, як ми пам'ятаємо, неможливі з деякими легкими металами.

А що ж думає Ілон Маск про майбутнє космонавтики? Чи можна використовувати сталь для космічних апаратів?



Наприкінці 2018 року

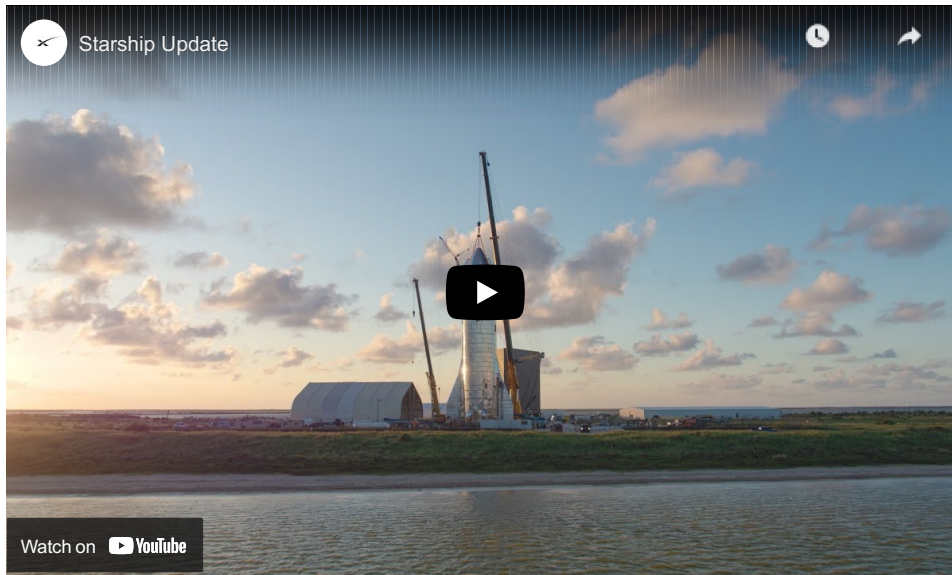
[одному з інтерв'ю він повідомив](#)

, що надважку ракету-носії Starship, яка зможе забезпечити доставку вантажів на Місяць і Марс, буде створено з нержавіючої сталі. Це простіше, дешевше й швидше.

За його словами, один кілограм вуглецевого волокна коштує 135 доларів США. А з урахуванням відбракування - до 200 доларів США. До того ж, його потрібно дуже багато. Натомість один кілограм сталі коштує близько трьох доларів США. Вона не є дефіцитом, оскільки у світі багато виробників

. Вже розроблені і випробувані спеціальні сплави, які добре витримують перепади температур. Вони стійкі до зовнішніх факторів і не утворюють мікротріщин, які можуть призвести до поломок і аварій. Нержавіюча сталь з додаванням хрому та нікелю добре витримує й наднизькі температури ракетного палива.

Ілон Маск впевнений, що сучасні металургійні технології дозволять йому впоратися з поставленими задачами. В цьому йому допоможе AISI 301 – високоміцна хромнікелева сталь.



Унаслідок досліджень, у березні 2019 року на заводі Маска демонтували багатомільйонне обладнання для виробництва вуглепластикового корпусу ракети, на який спочатку було зроблено ставку. А 29 вересня того ж року під час презентації повномірного прототипу Starship від компанії SpaceX, Маск сказав, що завдяки використанню сталі, на матеріали для однієї ракети буде витрачено не 400-500 мільйонів доларів США, а лише 10 мільйонів! Це будуть кораблі багаторазового використання.

Тому для космосу сталь ще довго залишатиметься ключовим матеріалом.