



Сумський державний університет
Кафедра електроніки, загальної та
прикладної фізики



МАТЕРІАЛИ ДЛЯ КОСМІЧНИХ КОРАБЛІВ

доц. Шумакова Н.І.

СУМИ 2021



МАТЕРІАЛИ ДЛЯ КОСМІЧНИХ КОРАБЛІВ МАЙБУТНЬОГО ДАЛЕКОГО І НЕ ДУЖЕ

У 2020 році пілотований космічний корабель Crew Dragon здійснив успішну посадку в водах Мексиканської затоки, і тим самим ознаменував черговий успіх Ілона Маска. Ця тест-місія була найбільш інтригуючою за всю історію космосу, адже можливо, саме вона стане першим кроком людства на шляху колонізації Марса.

При створенні Crew Dragon використовувалися найрізноманітніші матеріали: від композитних на основі вуглеволокна й титану до легованої сталі 301 й залізонікелевого сплаву Inconel. Наступні серії міжпланетних човнів Starship, як спочатку анонсував Ілон Мак, повинні були мати корпус з карбону.

Але вже на початку 2019 року публіка дізналася, що дизайн пілотованого корабля зазнав значних змін і його обшивка буде виготовлятися з нержавіючої сталі. Таке конструктивне рішення Ілон Маск пояснив занадто великою вартістю вуглеволокна. В інтерв'ю журналу Popular Mechanics він уточнив, що цей матеріал дуже складний в обробці, особливо, коли треба його компілювати в 60 ... 120 шарів. Причому при роботі зі складними формами він дає до 35% відходів, а вартість його за кілограм становить 135 доларів.

Зваживши всі за та проти в компанії було прийнято рішення замінити карбонове полотно на спеціальний нержавіючий сплав та, як показало тестування, такий підхід виправдав себе за всіма пунктами.

- **Легована сталь** з дуже високим вмістом хрому й нікелю технологічна в застосуванні. Вона демонструє високу механічну міцність, пластичність та корозійну стійкість й, головне, стійко витримує вплив екстремально високих та криогенних температур, що є ідеальною якістю для космічної галузі. При цьому вона ще добре зварюється й формується.

Наприклад, якщо вуглецеву сталь охолодити рідким азотом, вона розлітається на осколки подібно склу навіть від легкого точкового удару. Углеволокно, що становить основу карбону, здатне витримувати в повітряній атмосфері до $+370^{\circ}\text{C}$, а композитні смоли, що роблять його монолітом, починають плавитися і при меншій температурі. У той час, як сталь 301 при температурах $+1000^{\circ}\text{C}$ знижує свою межу міцності в 8...10 разів, а при більш «комфортних» $+600^{\circ}\text{C}$ всього менш, ніж в 2 рази.

Поки Ілон Макс не розкриває всієї інтриги та не дає остаточного ствердної відповіді про те, який же саме сталевий легований сплав буде використовуватися для остаточного будівництва зорельота Starship. Поки він тільки зробив заяву, що сталь 301 компанія буде замінювати на іншу й, що можливо це буде сталь 304. Але, як то кажуть, час покаже. Адже все ж космос може піднести ще чимало сюрпризів. Будь-який літальний апарат, що стартує з Землі, спочатку проходить крізь щільні атмосферні шари, від тертя з якими його обшивка розігрівається до кількох сотень градусів Цельсія. А потім він пілотує в холодному космосі, де температура на хвилиночку становить -270°C . При цьому, та частина корабля, яка потрапляє в зону сонячного випромінювання нагрівається, в той час, як протилежна, залишається холодною. Така контрастність є ключовою проблемою, над якою б'ються космічні інститути всього світу.

- Як тільки людство знайде відносно недорогі матеріали, здатні витримувати екстремально високі й криогенні температури, не втрачаючи своєї міцності та пластичності, це стане потужним кидком в розвитку нашої цивілізації та дозволить розірвати пута земного тяжіння й відправитися на ознайомлення з безмежним простором Всесвіту.
- Крім спеціальних вимог до таких продуктів пред'являють і ряд загальних. Це висока технологічність, оптимальна вартість і легковажність, бо кожен грам збільшує навантаження на силову установку. Для відсіків, де підтримується стабільні й помірні температури застосовуються такі конструктивні матеріали як алюміній, титан, берилій. Не зважаючи на масові наукові розробки метали були, є та залишаться на найближчий час основними матеріалами для аерокосмонавтики.

Металеві матеріали, які застосовуються для створення літальних апаратів

Металлы		
Назва	Позначення	Примітка
Алюміній	AL	кольоровий легкий
Берилій	Be	твердий міцний
Золото	Au	дорогоцінний
Кадмій	Cd	м'який ковкий
Магній	Mg	легкий
Мідь	Cu	кольоровий пластичний
Нікель	Ni	пластичний перехідний
Платина	Pt	благородний
Срібло	Ag	благородний
Свинець	Pb	важкий легкоплавкий
Титан	Ti	легкий міцний
Сплавы		
Інконель	Inconel	високоміцний хроможелезонікелевий
Монель	Monel	високоміцний нікелемедний

- **Індій** Використовується в термоелектричних генераторах. Завдяки його використанню вчені змогли синтезувати термоелектричний сплав, який допоможе безпосередньо перетворювати теплову енергію в електричну. Такі матеріали мають складну багатокомпонентну структуру, за що й отримали назву скуттерудіти (skut-ta-Ru-dites).
- **NiTi-Hf** Корозійностійкий сплав на основі нікелю, титану і гафнію. Є розробкою НАСА і широко використовується для підшипників аерокосмічних додатків. Поки основне застосування сплав знаходить в центрифугах орбітальних туалетів, адже те, що в повсякденному житті норма, в умовах космосу – проблема. Можливо саме завдяки сплаву NiTi-Hf інженери зможуть значно підвищити комфорт на космічних човниках.
- **Cu-MMC** Інноваційний сплав на основі міді. Володіє самозмащувальними властивостями та стійко витримує температури вище +200°C. Завдяки чому представляє відмінну альтернативу для виготовлення підшипників та пар тертя ковзання й кочення, що функціонують в глибокому вакуумі.

- **В-АІ** Композитний боралюмінієвий сплав. Волокна бору виконують функцію армуючого каркаса, а метал алюмінію виступає зв'язуючим. Така комбінація визначила його міцність, легковажність, термостійкість та прецизійну стійкість до старіння.
- **І знову сталі** На найближчу перспективу найбільш жароміцними матеріалами як і раніше залишаються метал та сталі, леговані хромом, нікелем та молібденом. Вони стійкі до корозії, вібрацій, радіаційного та ультрафіолетового випромінювання. Також стійко витримують критично високі та низькі температури та їх перепади. До того ж листова сталь з високою здатністю до зварювання, пластичністю та технологічністю дозволяє створити багатошарові конструкції: сендвічі з шестигранною чарункою й стрингери, які є найбільш ефективним рішенням для обшивки.

Легуючі елементи та їх позначення в маркуванні сталей					
Хімічний елемент	Азот	Алюміній	Бор	Ванадій	Вольфрам
Позначення в маркуванні	А	Ю	Р	Ф	В
Хімічний елемент	Кобальт	Кремній	Марганець	Мідь	Молібден
Позначення в маркуванні	К	С	Г	Д	М
Хімічний елемент	Нікель	Ніобій	Селен	Титан	Хром
Позначення в маркуванні	Н	Б	Е	Т	Х



- **Композити Chain mail («кольчуга»)** У Лабораторії реактивного руху США була розроблена космічна кольчуга, яку планується використовувати для захисту кораблів та астронавтів від радіаційного випромінювання. Назва і формула матеріалу ще тримаються в секреті, а розробники повідомили, що з зовнішньої частини він покритий срібними пластинками, що відображають до 95% випромінювань різної природи, а внутрішній шар ефективно поглинає теплову енергію. До того ж, як і традиційна кольчуга, інноваційний продукт, створений і з застосуванням 3D-друку, здатний захистити від пошкоджень при зіткненнях з космічним сміттям й метеоритом.
- **Гранульований діатоміт** Володіє унікальними теплоізоляційними властивостями й легковажністю. Це робить діатоміт чудовою альтернативою при будівництві марсоходів та міжзоряних літальних апаратів.
- **Силікони** Ці кремнійорганічні речовини мають дуже різноманітні хімічні варіації з різними властивостями. Так, модифікація RTV-S 691 використовується для захисту елементів сонячних батарей: меандрів, шин та дзеркал.

НАНОТЕХНОЛОГІЇ

- Як показують теоретичні розрахунки, найбільш ефективним зовнішнім захистом для космічних кораблів була б не металева обшивка, а воднева або гелієва оболонка. Але реалізувати в життя таке рішення є неможливим, ну або майже неможливим. Вчені завершують дослідження зі створення нано-трубок, саме які на думку фахівців дозволять створити оболонковий захист космічних човнів в майбутньому.
- Варто зауважити, якщо ще в кінці минулого століття основна прерогатива з освоєння космосу належала США та РФ, то сьогодні їм складають гідну конкуренцію Китай, Індія, Арабські емірати та Іран. Ці країни намагаються не афішувати використовувані технології. Цілком можливо, що набір матеріалів, що оптимально підходять для космічних кораблів, вже існує або, як мінімум, знаходиться в стадії розробки, тому епоха масового освоєння космосу і міжзоряного туризму може початись набагато раніше, ніж ми всі очікуємо.



Перший пілотований політ Starship запланований на 2024 рік. Раніше Ілон Маск допустив використання зорельота не тільки для подорожей на Марс, але і в якості “ракетного таксі” для швидкого переміщення між континентами.

ПЛІВКА З ВУГЛЕЦЕВИХ НАНОТРУБОК

- Вуглецеві нанотрубки вже досить тривалий час привертають увагу матеріалознавців. На мікроскопічному рівні вони дуже міцні і еластичні. Однак при створенні з них різних матеріалів, властивості нанотрубок трохи знижуються. Пояснюється це тим, що трубки в цьому випадку розташовуються випадковим чином, в той час як для досягнення їх максимальної міцності необхідно, щоб вони розташовувалися паралельно один одному. **Команда дослідників з Східного китайського університету науки і техніки знайшли спосіб виробництва плівки, в якій нанотрубки розташовуються саме так, як того вимагає створення міцного матеріалу.**
- Як повідомляють вчені, даний спосіб виробництва дещо схожий на ті методи, які застосовуються в складувній справі. **За допомогою потужного спрямованого потоку з газу азоту вчені проштовхували шар вуглецевих нанотрубок уздовж поверхні спеціальної основи, яка розташовувалася усередині печі з температурою 1149 градусів Цельсія. На виході з печі матеріал буквально обволікав трубчасту основу. Після цього вчені остуджують його. В результаті виходить двошарова плівка. Далі плівку розкочують і вирівнюють за допомогою системи спеціальних роликів.**

- **Межа міцності отриманої плівки становить 9,6 гігапаскаля. Для порівняння: межа міцності кевларових волокон становить всього 3,7 гігапаскаля, а міцність вуглецевого тягла дорівнює приблизно 7 гігапаскаля.** Крім цього, матеріал вийшов досить еластичний. Він може розтягуватися приблизно на 8 відсотків від початкової довжини, що дещо більше, ніж можливості вуглецевого волокна, яке здатне розтягнутися до 6 відсотків від початкової величини.
- Вчені відзначають, що отриманий матеріал, при додаванні різної кількості додаткових шарів, може знайти своє застосування в самих різних сферах. **Наприклад, на його основі можна створювати міцні покриття для суден і частин космічних апаратів, а також для виробництва нових видів броні для військових цілей.** Або дуже і дуже якісних пакетів для сміття.





У США РОЗРОБЛЯЮТЬ БРОНЕЖИЛЕТ НА ОСНОВІ ПАВУЧОГО ШОВКУ

- *Нитка павука в 30 раз тонша за людську волосину і в 6 разів міцніше сталі і нейлону. Її еластичність унікальна: вона може розтягуватися до 30% і потім повертатися у вихідне положення.*
- **Хіміки з дослідницької лабораторії ВПС та Університету Пердью взялися за розробку штучного павучого шовку.**
- На його основі планується розробити новий тип бронежилету, оскільки штучний шовк павуків значно міцніший за кевлар та легший за нейлон.
- Вчені кілька десятків років досліджують павуковий шовк і намагаються створити його штучний аналог. Справа в тому, що матеріал володіє незвичайною теплопровідністю – віддає більше тепла, ніж поглинає.
- Ця властивість укупі з легкістю і міцністю дозволяє використовувати його в різних областях – від виробництва бронежилетів і електроніки до виготовлення протезів для корекції грудей.
- У разі, якщо військовим вдасться отримати синтетичний матеріал на основі павучого шовку, крім бронежилетів з нього будуть виготовляти намети і парашути. Однак штучний павучий шовк буде коштувати вдвічі дорожче, ніж кевлар і нейлон, прогнозують дослідники.

ДЯКУЮ ЗА УВАГУ!