

Выводы. Таким образом, разработан и принят комплекс мероприятий, который был реализован в стендовых условиях при имитации штатной технологии заправки РН «Циклон-4» топливных баков и подтвердил свою эффективность, понизив гидравлический удар до 10 кгс/см², что в пересчете на компонент не превышает максимально-допустимых значений из условий работоспособности системы.

В заключение автор выражает благодарность за содействие инженерам, участникам испытаний заправочного макета РН «Циклон-4» Кривовичеву Д. Ю., Лизенко Ю. П. и Назаренко Е. П.

Библиографические ссылки

1. ГП «КБ «Южное». Программа автономных испытаний гидравлических трактов Программа автономных испытаний пневмогидравлической системы подачи компонентов топлива заправки баков РН «Циклон-4» [Текст] / ГП «КБ «Южное»». – 14.7788.123 ПМ, 2006. – 7 с.
2. ГП «КБ «Южное»». Технический отчет по результатам анализа испытаний гидравлических трактов систем заправки баков окислителя и горючего РН «Циклон-4» [Текст] / ГП «КБ «Южное»». – 2Ц41.21.17978.123 ОТ, 2015. – 63 – 78 с.
3. Мошкин, Е. К. Нестационарные режимы работы ЖРД. [Текст] / Е. К. Мошкин. – М.: Машиностроение, 1970. – 128 с.
4. Беляев, Н. М. Пневмогидравлические системы. Расчет и проектирование [Текст] / Н. М. Беляев. – М.: Высш. шк., 1988. – 42 с.

Надійшла до редколегії 29.05.2015

УДК 621.7

**Т. М. Ніколайчук, І. В. Щелокова, І. О. Мамчур, С. І. Мамчур,
Н. Е. Калинина, Т. В. Носова**

Дніпропетровський національний університет імені Олеся Гончара

ОПТИМІЗАЦІЯ ХІМІЧНОГО СКЛАДУ СПЛАВУ Т15К6 ТА СТАБІЛІЗАЦІЯ ЙОГО МЕХАНІЧНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ ЗА ДОПОМОГОЮ МЕТОДУ МАТЕМАТИЧНОГО МОДЕЛЮВАННЯ

Розглянуто найбільш поширені інструментальні матеріали. Вивчено технологію виготовлення прохідного різця з різальною пластиною із твердого сплаву Т15К6. Проведено дослідження властивостей спечених пластин: твердість, міцність у разі вигину, щільність, пористість, аналіз макро- і мікроструктури. Установлено, що у структурі матеріалу наявні мікропори.

Ключові слова: швидкорізальна інструментальна сталь, термічна обробка, металокерамічний твердий сплав, твердість за Вікерсом.

Рассмотрены наиболее распространенные инструментальные материалы. Изучена технология изготовления проходного резца с режущей пластиной из твердого сплава Т15К6. Проведены исследования свойств спеченных пластин: твердость, прочность при изгибе, плотность, пористость, анализ макро- и микроструктуры. Установлено, что в структуре материала присутствуют микропоры.

Ключевые слова: быстрорежущая инструментальная сталь, термическая обработка, металлокерамический твердый сплав, твердость за Викерсом.

Are considered tool materials are most widespread. The manufacturing techniques of a cutter through passage with a cutting plate from a firm alloy of T15K6 are studied. Researches of properties of the baked plates are conducted: hardness, durability at a bend, density, porosity, the analysis macro – and microstructures. It is established that at structure of a material there are micropores.

Key words: high-speed instrumental steel, heat treatment, ceramet carbology, hardness on Vikers.

Вступ. Основними властивостями металокерамічних твердих сплавів, які визначають галузі та умови їх застосування, є твердість, міцність і пластичність; найважливішими фізичними властивостями є також теплопровідність, коерцитивна сила і коефіцієнт лінійного розширення. Особливе значення мають експлуатаційні властивості – стійкість до зношування і різальна здатність.

Титановольфрамкові сплави з малим вмістом кобальту і великим вмістом карбиду титану зношуються в основному через крихке сколювання. Процес зносу вольфрамівих сплавів з високим вмістом кобальту проходить певною мірою через пластичну деформацію зв'язки. На процес зносу суттєво впливає злипання твердого сплаву з оброблюваним матеріалом. За великого злипання на інструменті з твердого сплаву утворюються нарости, що і призводить до підвищеного його зносу.

Зносостійкість вольфрамівих сплавів нижча, ніж титановольфрамівих.

У межах одного типу сплавів зносостійкість підвищується у разі збільшення вмісту карбідної фази і підвищення дисперсності структури сплаву.

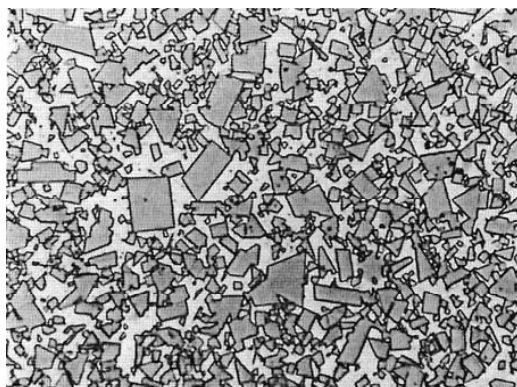
Постановка завдання. Метою даного дослідження є вирішення актуальної проблеми сучасності – розробка технологій підвищення працездатності інструмента у важких умовах праці та підбір матеріалів, які б задовольняли умови роботи та були більш економічно вигідними.

Методи та способи дослідження. Методи дослідження структури та властивостей металокерамічних сплавів включають у себе мікроструктурні методи вимірювання мікротвердості та механічні випробування.

Результати. У результаті проведених досліджень встановлено, що структура металокерамічних твердих сплавів складається з частинок твердих з'єднань і ділянок зв'язуючого металу, розміри яких становлять 0,5... 10 мкм, що визначає ряд специфічних властивостей вказаних сплавів: висока твердість, зносостійкість та червоність за порівняно високої міцності.

Докладний аналіз характеру залежності властивостей міцності від вмісту кобальту, виду руйнування, температури випробувань, складу фази карбиду і розмірів її частинок, а також від виду навантаження дозволяє зробити висновок, що характеристики міцності двофазних твердих сплавів WC – Co визначають в основному властивості і характер руйнування зв'язки. Для сплавів, у яких межа міцності з підвищенням вмісту кобальту підвищується, міцність визначається переважно пластичною деформацією кобальтової фази, а для сплавів, у яких межа міцності з підвищенням вмісту кобальту знижується, – пластичною деформацією кобальтової фази, що передує руйнуванню, відповідно до теорій дисперсійного зміцнення. Збільшення розміру зерен карбідів для перших сплавів приводить до підвищення міцності, а для других – до зниження, причому максимум міцності на графіках залежності $\sigma_{\text{виг}}\%$ Co із збільшенням розміру частинок карбиду зміщується вбік зменшення вмісту кобальту. Вказана теорія міцності виходить з передумови, що в сплавах WC–Co відсутній суцільний каркас із зерен карбиду вольфраму, тоді як у сплавах WC–TiC–Co до певного вмісту кобальту передбачена наявність двох каркасів: каркаса з твердого розчину TiC–WC і вставленого в нього каркаса з кобальту. Наявність каркаса з твердого розчину TiC–WC зумовлює відсутність залежності міцності від вмісту кобальту і незначну залежність міцності і твердості від температури.

Зносостійкість твердих сплавів визначають як їх структурою, так і складом. За збільшення вмісту зв'язки і розмірів частинок карбиду зносостійкість твердих сплавів знижується (Рис. 1.) Зносостійкість сплавів WC-Co у разі тертя об сталевий диск за малих швидкостей (до 1,7 м/сек) вища, ніж зносостійкість сплавів WC-TiC-Co, натомість за високих швидкостей (вище 1,7 м/сек) вона у сплавах WC-Co значно нижча, ніж у сплавах WC-TiC-Co.



75WC-25Co

KOH+Na₂CO₃Рис. 1. Збільшення вмісту кобальту, $\times 1500$

У результаті обробки масиву статистичних даних отримано коефіцієнти кореляції впливу титану і кобальту на модуль пружності, $\sigma_{\text{вип}}$, твердість і теплопровідність. Вплив інших елементів, які входять до складу твердого сплаву, на механічні властивості та взаємодію їх між собою розглядати не доцільно, тому що вибірка по C, W і домішках, що входять до складу титанового порошку, не суттєва для підрахунку коефіцієнтів кореляції та побудови рівняння регресії. Масив статистичних даних наведений у табл. 1 – 4.

Масиви статистичних даних

Таблиця 1

Ti, %	Co, %	$\sigma_{\text{вип}}$, МПа
2,5	5	1375
2,5	6	1470
2,5	10	1762
2,5	13	1962
2,5	15	2060
4,5	5	1275
4,5	10	1570
4,5	15	1765
12	6	1130
12	8	1275
12	10	1375
12	15	1470
16	5	981
16	6	1060
16	8	1177
16	9	1177
16	10	1225
16	13	1325
25	6	785
25	13	833

Таблиця 3

Ti, %	Co, %	HRA
2,5	5	90,5
2,5	6	90,5
2,5	10	89,5
2,5	13	88
2,5	15	87
4,5	5	91
4,5	10	89,5
4,5	13	89
4,5	15	87,4
12	6	90,5
12	8	90
12	10	89,5
12	15	88,5
16	5	91
16	6	91
16	7	90,5
16	8	90,5
16	9	90
16	10	89,5

Таблиця 2

Ti, %	Co, %	E, МПа
5,6	6	578
5,4	9	544
5,2	12	520
5,0	15	505
4,7	20	470
4,5	25	436
14,2	6	545
13,7	9	510
13,2	12	475
12	20	436
24	4	495
23,5	6	470

Таблиця 4

Ti, %	Co, %	λ , Вт/(м*К)
5	6	28,9
5	8	31,8
10	10	30,5
15	6	27,2
15	8	28,5
21	6	22,6
21	8	22,2

Отримані значення коефіцієнтів кореляції впливу титану і кобальту на механічні властивості наведено в табл. 5.

Таблиця 5

Значення коефіцієнтів кореляції за впливом титану і кобальту на механічні властивості

	E	HRA	λ	$\sigma_{\text{виг}}$
Ti	$K_{r_{TiE}} = -0,472$	$K_{r_{TiHRA}} = 0,429$	$K_{r_{Ti\lambda}} = -0,897$	$K_{r_{Ti\sigma_{\text{виг}}}} = -0,855$
Co	$K_{r_{CoE}} = -0,747$	$K_{r_{CoHRA}} = 0,929$	$K_{r_{Co\lambda}} = 0,393$	$K_{r_{Co\sigma_{\text{виг}}}} = 0,591$

Крім того, для кращого сприйняття коефіцієнти кореляції (Рис. 2) зобразимо у вигляді гістограми.

Методом множинної кореляції побудовано графічні залежності впливу хімічних елементів (Ti – Co) на механічні властивості, такі як модуль пружності (E), $\sigma_{\text{виг}}$, твердість (HRA) і теплопровідність (λ). Результати зображено на Рис. 3.

Незалежними змінними є титан і кобальт, функцією відгуку є та чи інша механічна властивість. Для знаходження коефіцієнтів кореляції будуємо рівняння множинної регресії у порівнянні з лінійною кореляцією, де розглядатимемо вплив одного фактора на функцію відгуку.

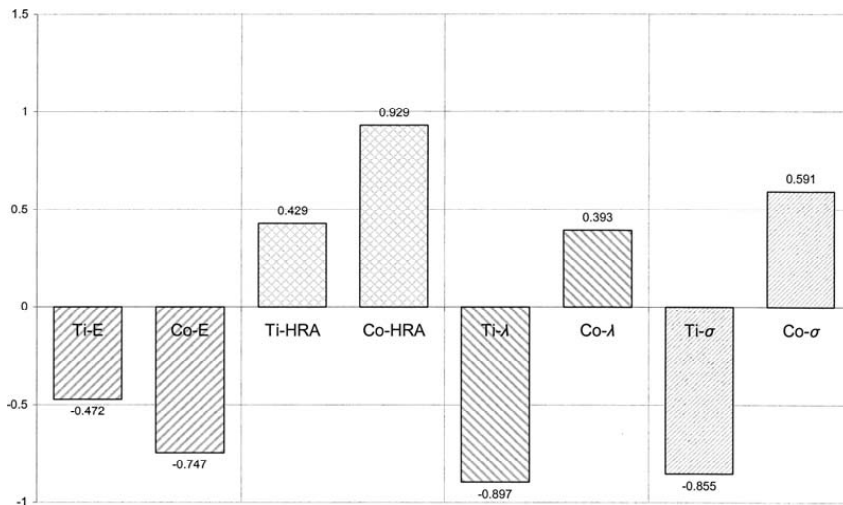


Рис. 2. Гістограма коефіцієнта кореляції

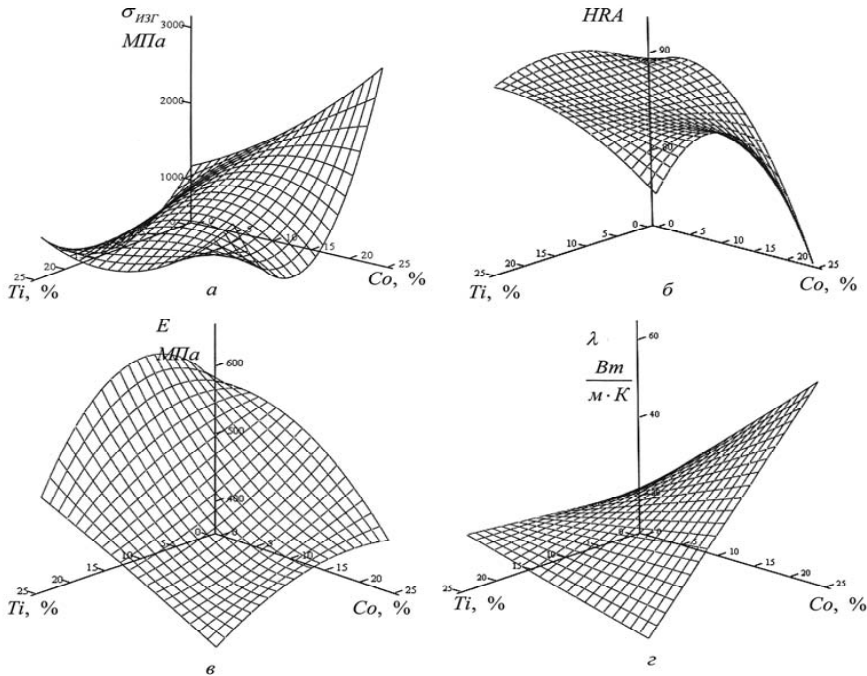


Рис. 3. Вплив хімічного складу сплаву на механічні властивості

Статистичні дані обробляли із застосуванням методу математичного аналізу. Програму будували за методикою ортогоналізації матриць і розв'язання матричного рівняння вигляду

$$B = (XX')^{-1} X'Y,$$

де B – вектор-стовпець коефіцієнтів регресії;

X – матриця вихідних факторів;

Y – вектор-стовпець функції відгуку;

X' – матриця трансформації.

Оригінальність методу розв'язання даної задачі полягає в тому, що інформаційна матриця попередньо ортогоналізується, що дозволяє виконувати завдання практично з будь-якими матрицями, у тому числі й з погано обумовленими. Розрахунок коефіцієнтів множинної кореляції здійснюємо за формулою

$$R = \sqrt{1 - \frac{\sum (y_i - \bar{y})^2}{\sum (y_i - y')^2}}.$$

Побудовано криві мінімаксу і знайдено відповідні значення функцій відгуку, які відповідають вимогам до механічних властивостей твердого сплаву Т15К6.

Як видно з Рис. 3, в, збільшення вмісту титану і кобальту не забезпечує мінімакс, а свідчить про те, що титан має низьку теплопровідність, натомість кобальт – підвищує її. На Рис. 3, а, б, г чітко простежується «сідло», яскраво виражений мінімакс. Досить невеликий вміст Ti і Co, за якого отримано високі значення HRA-91, E-500 ГПа, ($T_{\text{виг}} - 1150$). Саме у разі такого масового співвідношення Ti і Co (модуль пружності Т15К6-500 ГПа) максимальний вміст

Ti – 23,5%, а Co – 25%. Не обов'язково вводити такий великий вміст титану і кобальту, натомість необхідно враховувати їх розчинність, здатність утворювати ті чи інші хімічні сполуки. Достатньо вводити їх за оптимального співвідношення

для твердого сплаву T15K6 C – 6%, Ti–15%. Знайдено коефіцієнти кореляції, що підтверджує висновок про те, що співвідношення елементів титану і кобальту дає стабільні механічні властивості.

Дослідження мікроструктури сплаву T15K6 виконували на спечених пластинах. На Рис. 4. зображено мікроструктуру твердого сплаву T15K6.

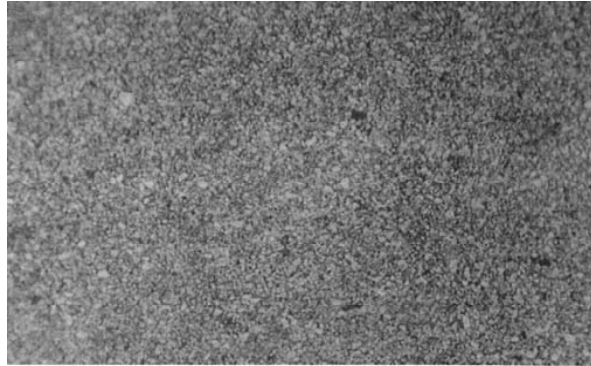


Рис. 4. Мікроструктура твердого сплаву T15K6, x400

У крупнозернистих карбідів межа міцності на вигин вища, але на твердість – нижча. Однак підвищення вмісту кобальту понад 15% порушує суцільний каркас із зерен карбиду і різко знижує межу міцності на вигин.

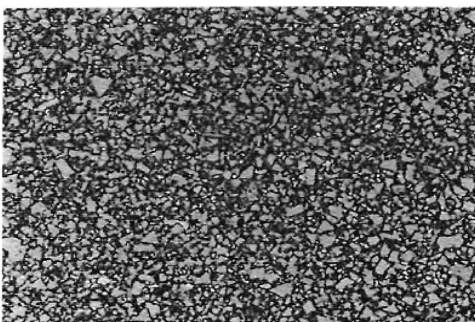
У разі зменшення вмісту кобальту і застосування дрібнозернистих карбідів, які краще розчиняються в кобальті, в'язкість та межа міцності на вигин знижуються, але твердість і зносостійкість збільшуються.

Питома вага сплаву характеризує його ступінь пористості. Висока теплопровідність сприяє відведенню тепла від різальної кромки і збільшує стійкість інструмента.

Мікроструктура титановольфрамкобальтового сплаву T15K6 складається із трьох фаз (Рис. 5, 6):

- світлі плоскі багатогранники в перетині шліфа являють собою карбід вольфраму;
- сіра кругляста структурна фаза – твердий розчин TiC – WC;
- темна проміжна речовина – зв'язувальна речовина Co.

Чим дрібніше і рівномірніше розподілені світлі зерна фази WC, тим кращі різальні властивості й міцність твердого сплаву T15K6. Гарним різальним властивостям сплаву відповідає мікроструктура із середніх або крупних зерен титанової фази.

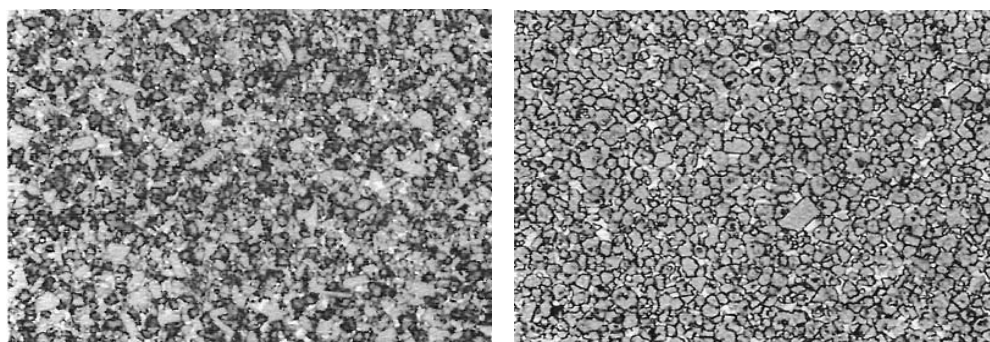


94WC-2(Ta,Nb,Ti)C-4Co



75WC-25Co

Рис. 5. Структура сплаву зі збільшенням вмісту кобальту, x1500



82WC-11(Ta,Nb,Ti)C-6.5Co

60WC-11(Ta,Nb,Ti)C-9Co

Рис. 6. Структура сплаву зі збільшенням вмісту кобальту і зменшенням карбіду вольфраму, $\times 1500$

З даної мікроструктури видно, що світлі зерна карбіду вольфраму мають достатньо малі розміри й рівномірно розподілені. Титанова фаза має середній розмір зерна. Отже, дана пластина має гарні різальні властивості й твердість. Пористість виробу складає приблизно до 3%, що є допустимим значенням.

Висновки. У даній роботі розглянуто інструментальні матеріали: швидкорізальні сталі, керамічні матеріали і тверді сплави та досліджено хімічний склад і механічні властивості твердих сплавів.

Запропоновано виготовлення прямого прохідного різця з різальною пластиною із твердого сплаву T15K6.

Обрано метод прокату як більш технологічний і економічний для виготовлення корпусу інструмента.

Матеріал робочої частини (твердий сплав T15K6) обрано з урахуванням умов роботи інструмента і забезпечення необхідних властивостей.

Крім того, обрано метод напайки для з'єднання різальної частини з корпусом прямого прохідного різця.

У науковій частині проведено дослідження впливу різноманітних домішок, а саме N, O₂, H₂, C, Si на механічні властивості титану, що входить до складу твердого сплаву.

Обрано також масив експериментальних даних для оптимізації і стабілізації хімічного складу і механічних властивостей твердого сплаву за допомогою методу кореляційно-регресійного аналізу нелінійної множинної кореляції з графічною табуляцією моделі за двома факторами.

Проведено аналіз макро- і мікроструктури пластин. Виявлено мікропори у всьому об'ємі, пористість виробу складає приблизно до 3%, що не впливає на різальні властивості твердого сплаву. Мікроструктура свідчить, що зерна карбіду вольфраму й титанової фази рівномірно розподілені у всьому об'ємі і мають дрібні та середні розміри від 3 до 5 мкм, що сприяє забезпеченню високих механічних та експлуатаційних властивостей, тому дані пластини придатні до використання.

Бібліографічні посилання

1. **Бабич, Б. Н.** Металлические порошки и порошковые материалы [Текст]: справочник / Б. Н. Бабич, Е. В. Вершинина, В. А. Глебов. – М.: ЭКОМЕТ, 2005. – 520 с.
2. **Большаков, В. И.** Технология термической обработки и комбинированной обработки металла продукции / В. И. Большаков. – Днепропетровск, 2002. – 387 с.
3. **Федорченко, И. М.** Свойства порошков металлов тугоплавких соединений и спеченных материалов [Текст]: информ. справ. / И. М. Федорченко – К.: Наук. думка, 1980. – 286 с.

4. **Подгорков, В. В.** Резание металлов [Текст] / В. В. Подгорков. – Иваново, 2000. – 87 с.
5. **Калинина, Н. Е.** Специальные сплавы с особыми свойствами для авиа- и ракетостроения [Текст]: учеб. пособие / Н. Е. Калинина, В. Т. Калинин, Т. В. Носова, С. И. Мамчур, М. В. Грекова. – Д: ДНУ, 2014. – 120 с.
6. **Щелокова, І. В.** Вплив пористості на властивості матеріалів [Текст] / І. В. Щелокова, Т. М. Ніколайчук, С. І. Мамчур, Т. В. Носова // Вісн. Дніпропетр. ун-ту. Сер. Ракетно-космічна техніка.–2013. – Т. 21. – №4. – С. 208 – 212.
7. **Щелокова, І. В.** Обґрунтування вибору марки сталі для виготовлення робочої частини різального інструмента [Текст] / І. В. Щелокова, Т. М. Ніколайчук, С. І. Мамчур, Т. В. Носова // Вісн. Дніпропетр. ун-ту. Сер. Ракетно-космічна техніка. – 2014. – Т. 22. – № 4. – С. 16 – 24.

Надійшла до редколегії 20.05.2015

УДК 669.295.04

Т. В. Носова, С. І. Мамчур, А. В. Луговська

Дніпропетровський національний університет імені Олеся Гончара

РОЗРОБКА ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ ВИГОТОВЛЕННЯ ТЕПЛОІЗОЛЯЦІЇ ТРИШАРОВОЇ КОНСТРУКЦІЇ ДЛЯ ГОЛОВНОГО ОБТІЧНИКА ЛІТАЛЬНОГО АПАРАТА

Доведено, що теплоізоляція є необхідний елемент не тільки в ракетобудівній, а й інших галузях народного господарства. Подано характеристики теплоізоляційних матеріалів на композитах, які забезпечують необхідний ступінь теплового захисту за значного зниження маси конструкції.

Ключові слова: підобтічна порожнина, теплоізоляційні матеріали, композитні матеріали.

Доказано, что теплоизоляция является необходимым элементом не только ракетостроительной отрасли, но и других отраслей народного хозяйства. Даны характеристики теплоизоляционных материалов на композитах, обеспечивающих необходимую степень тепловой защиты при значительном снижении массы конструкции.

Ключевые слова: подобтекаемая полость, теплоизоляционные материалы, композитные материалы.

Thermal insulation is an essential element not only rocket bulding industry, but also other sectors of the economy. There is widespread the thermal insulation materials based on composite materials, which provide the necessary degree of thermal protection while greatly reduction structure mass.

Key words: under-streamlined space, termal insulation , composite materials.

Вступ. Композитні матеріали на даний час застосовують у багатьох галузях. Крім авіаційно-космічної, ракетної, суднобудівної і інших спеціальних галузей техніки, композиційні матеріали можуть бути успішно застосовані в енергетичному турбобудуванні, в автомобільній промисловості – для виготовлення деталей двигунів і кузовів автомашин, у машинобудуванні – для корпусів і деталей машин, у хімічній промисловості – для виробництва посудин для зберігання і перевезення нафтопродуктів та ін. Багато композиційних матеріалів (КМ) перевершують традиційні матеріали і сплави за своїми механічними властивостями. Одним із видів композиційних матеріалів є стільниковий заповнювач (СЗ). СЗ виготовля-