

Маніло

Дослідження впливу термічної обробки на структуру та властивості деталей газотурбінних двигунів з двофазних титанових сплавів

РЕФЕРАТ

ПЗ: 122с., 30 рис., 8 табл., 24 джерела.

Об'єкт досліджування – двофазні титанові сплави, що використовують при виготовленні деталей газотурбінних двигунів.

Мета роботи – дослідження впливу термічної обробки на структуру та властивості деталей газотурбінних двигунів з двофазних титанових сплавів та проектування технології термічної обробки дисків зі сплавів VT3-1, VT8, VT9. .

В роботі вивчені особливості впливу легування та термічної обробки на структуроутворення двофазних титанових сплавів та його вплив на експлуатаційні властивості виробів. Обрано матеріали та методи дослідження. Проведено дослідження впливу термічної обробки на структуру матеріалу було запропоновано варіант раціональної термічної обробки яка б забезпечувала найкращі співвідношення властивостей. Розглянуто основні процеси термічного оброблення, які відбуваються в даному відділенні і обладнання, яке для цього використовується: основне і допоміжне. Розрахунок собівартості термічних процесів в термічному відділенні. Аналіз та заходи по забезпеченню безпеки роботи в термічному відділенні.

ТЕРМІЧНЕ ВІДДІЛЕННЯ, ПОДВІЙНИЙ ВІДПАЛ, ГАРТУВАННЯ,
ВІДПУСК, ВАКУУМНА ПІЧ, ОБЛАДНАННЯ, ТЕХНОЛОГІЯ,
ТЕМПЕРАТУРА, КОНТРОЛЬ

ЗМІСТ

Вступ.....	5
1 Аналітичний огляд	7
1.1 Перспективи використання сплавів титану в газотурбобудуванні.....	7
1.2 Особливості легування двофазних сплавів титану.....	9
1.3 Можливі варіанти термічної обробки для деталей ГТД з двофазних титанових сплавів.....	23
1.4 Особливості структури двофазних титанових сплавів у залежності від рівня легування та режимів термічної обробки	33
2 Матеріали та методи дослідження.....	42
2.1 Матеріали дослідження	42
2.2 Методи дослідження	45
2.2.1 Метод випробування твердості за Брінелем.....	45
2.2.2 Випробування на розтяг	45
2.2.3 Випробування на ударну в'язкість	46
2.2.4 Випробування на повзучість	46
2.2.5 Випробування на довготривалу міцність.....	47
3 Оцінка впливу хімічного складу та термічної обробки на структуру та властивості	48
3.1 Розгляд структури та властивостей після різних варіантів термічної обробки (BT3-1 після гарту та старіння та двоступеневого відпалу) .	48
3.2 Розгляд структури та властивостей двофазних титанових сплавів з різним рівнем легування.....	61
3.3 Раціоналізація вибору матеріалу для деталей ГТД у залежності від умов експлуатації.....	70
4 Розробка технології термічної обробки	73

4.1 Номенклатура титанових дисків та маршрутна технологія їх виготовлення	73
4.2 Розробка режимів та технології термічної обробки для дисків компресора	76
4.3 Вибір та розрахунки кількості обладнання	85
4.3.1 Річна виробнича програма	85
4.3.2 Режим роботи термічного підрозділу та річний фонд роботи обладнання	86
4.3.3 Розрахунки кількості обладнання по завантажувальним відомостям	87
4.4 Технічний контроль, попередження та випрелення дефектів для дисків компресора	88
5 Охорона праці та безпека у надзвичайних ситуаціях	92
5.1 Аналіз потенційних небезпек	92
5.2 Заходи по забезпеченню безпеки	93
5.3 Заходи по забезпеченню виробничої санітарії та гігієни праці	95
5.4 Заходи з пожежної безпеки	99
5.5 Заходи безпеки у надзвичайних ситуаціях	101
6 Економічна частина	104
6.1 Розрахунок капітальних вкладень в основні фонди	104
6.2 Матеріальне забезпечення	107
6.3 Праця і заробітна плата	107
6.4 Собівартість термообробки	110
Висновки	117
Перелік використаної літератури	119

ВСТУП

Для авіаційного двигунобудування дотепер актуальна проблема підвищення експлуатаційної надійності й ресурсу двигунів, відповідальні вузли й деталі яких тривалий час працюють в умовах циклічних навантажень і підвищених температур. На практиці дана проблема вирішується шляхом створення сучасних конструкцій, застосування матеріалів з підвищеними фізико-механічними характеристиками, а також широкого впровадження у виробництво прогресивних методів обробки виробів.

Номенклатура титанових сплавів, застосовуваних у вітчизняній промисловості для дисків газотурбінних двигунів, представлено всіма марками титанових сплавів з робочою температурою до 350-600°C. При цьому для дисків першого ступеню компресора (вентилятора) і компресора низького тиску в ГТД 3-4 покоління застосовуються сплави трьох марок – ВТ3-1, ВТ6, ВТ8, для модифікацій серійних і при розробці нових ГТД рекомендується застосовувати сплави ВТ6 і ВТ8-1. Для робочих температур понад 450 до 500°C раніше застосовувалися сплави ВТ8, ВТ9 і ВТ25, на сьогодні рекомендується їхня заміна на сплав ВТ25У в інтервалі температур 500-550°C. Останнім часом проведені роботи з удосконалення технології виготовлення напівфабрикатів зі сплаву ВТ8-1 - модифікації сплаву ВТ8 з аналогічною областю застосування. Проведені дослідження показали, що, з одного боку, сплав ВТ8-1 має більш високу технологічність у металургійному виробництві (на операціях гарячої деформації), більш високими характеристиками міцності й тріщиностійкості в порівнянні зі сплавом ВТ6 при виготовленні великогабаритних штампувань (кувань) для дисків вентилятора, а з іншого - забезпечує більш високі характеристики жароміцності при температурі 500°C у порівнянні зі штампуваннями дисків зі сплаву ВТ9. Це дозволяє розглянути можливість

уніфікації роторів компресора по застосовуваних титанових сплавах, забезпечити більш високі питомі характеристики виробу й знизити його собівартість.

Таким чином, у даній роботі будуть розглянуті особливості титанових сплавів застосовуваних при виробництві газотурбінних дисків і запропонована серійна технологія термічної обробки дисків.

При виборі матеріалу слід звертати увагу не тільки на забезпечення високої надійності матеріалу та довговічності, але й економічності.

Найбільш відомою операцією яка дозволяє отримати потрібний рівень надійності є термічна обробка. В зв'язку з цим в дипломному проекті розглядається також технологія термічної обробки титанових сплавів.

1 АНАЛІТИЧНИЙ ОГЛЯД

1.1 Перспективи використання сплавів титану в газотурбобудуванні

Дослідження й розробка титанових сплавів для потреб авіаційної техніки, включаючи авіаційні газотурбінні двигуни, тривають протягом більш 50 років. Спочатку маса титанових деталей становила 5-10% від загальної маси газотурбінного двигуна, у сучасних конструкціях вагова частка титанових сплавів становить близько 40% [1]. Висока питома міцність і корозійна стійкість титанових сплавів при температурах до 550-600°C зробили титанові сплави основним конструкційним матеріалом для деталей компресора газотурбінного двигуна.

Титанові сплави, завдяки високим механічним властивостям, знайшли широке застосування при виготовленні відповідальних деталей газотурбінних двигунів, які в процесі роботи зазнають впливу значних статичних і змінних напружень при порівняно високих температурах. Наприклад, жароміцні сплави BT3-1, BT8 і BT9 використовують для виготовлення дисків, лопаток і кілець компресора. Основною областю застосування листових сплавів типу ВІД-4, а також сплаву BT20 підвищеної міцності є пустотілі лопатки напрямних апаратів і корпусні деталі компресора. Висока чутливість титанових сплавів до концентрації напружень при змінних навантаженнях вимагає ретельного обліку умов роботи деталей, вибору режимів і способів їх обробки.

На цей час можна назвати наступний комплекс основних механічних властивостей, яким задовольняють титанові сплави, застосовувані для деталей авіаційних двигунів [2].

1. Високий опір проти втоми при кімнатної й підвищеній температурах. Ця характеристика особливо важлива для лопаток компресора, які в процесі роботи випробовують змінні навантаження. Границя витривалості гладких

зразків при температурі 20°C повинен становити не менш 45% межі міцності, а при температурі до 400°C - не менш 50% межі міцності для відповідних температур.

2. Висока короткочасна й тривала міцність у всьому інтервалі робочих температур. Межа міцності при кімнатній температурі – 1000-1200 МПа; короткочасна й 100-годинна міцність при 400°C - 750 МПа, 100-годинна міцність при 500°C - 650 МПа.

3. Термічна стабільність. Сплав повинен зберігати свої пластичні властивості після тривалого впливу високих температур і напруг. Він не повинен окрихчуватися не тільки після 100-годинного нагрівання при будь-якій температурі в інтервалі 20-500°C, але й після впливу температур і напружень у заданих умовах протягом часу, що відповідає максимальному заданому ресурсу роботи двигуна.

4. Задовільні пластичні властивості при кімнатній температурі: відносне подовження 10%, поперечне звуження 30%, ударна в'язкість 0,3 МДж/м².

5. Високий опір повзучості. Ця характеристика особливо важлива для дисків компресора, що працюють під впливом значних розтягувальних напружень.

Залежно від умов роботи деталі перевага надається тому або іншому з перерахованих властивостей при збереженні відповідних оптимальних значень інших.

На цей час, частка титанових сплавів у сучасному авіаційному двигуні становить більш 30% (рис. 1.1) [3], що пояснює не тільки значимість титанових сплавів для розвитку вітчизняного двигунобудування, але й глибокий науковий і практичний інтерес до даного класу матеріалів.

Одним з головних факторів, що лімітують, при розробці титанових сплавів стала вимога по підвищенню робочої температури деталей компресора високого тиску ГТД до 550-650 С. При певних умовах (тиску та концентрації кисню) при виникненні свіжого зламу, коли поверхня не захищена окисною

плівкою, стає можливим спалахування титану на повітрі. Це явище має назву “титанова пожежа”. З метою запобігання цього явища використовують оптимальний вибір зазорів між деталями та підбір пар “титан-сталь” замість небезпечного поєднання “титан-титан”.

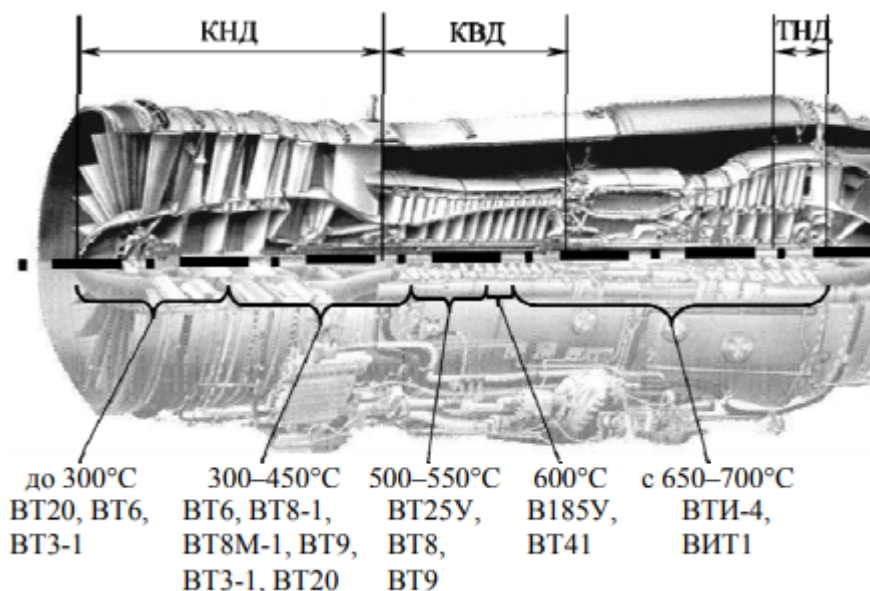


Рисунок 1.1 - Области застосування жароміцних титанових сплавів у конструкції ГТД

Із цієї причини створення жароміцних титанових сплавів з високим опором малоциклової втоми й повзучості є однією з найбільш актуальних задач сучасного двигунобудування.

1.2 Особливості легування двофазних сплавів титану

Оскільки для жароміцних титанових сплавів вирішальне значення мають фазові перетворення, в основу класифікації легувальних елементів покладено їх вплив на поліморфізм титану. Враховується також особливість твердих розчинів,

що утворюються (впровадження або заміщення), їх вплив на евтектоидне перетворення (або його відсутність) і можливість існування інтерметалідних фаз.

Легуючі елементи можуть підвищувати (Al) або знижувати (Mo) температуру поліморфного перетворення титану або ж мало впливати на неї. Елементи останнього типу можна назвати нейтральними зміцнювачами (за класифікацією С. М. Глазунова).

Найбільш перспективними легуючими елементами для отримання жароміцних термічно стабільних титанових сплавів є алюміній, галій, індій, що підвищують температуру поліморфного перетворення, цирконій і олово, які майже не впливають на температуру фазового перетворення, потім молібден, ванадій, ніобій і тантал, що не мають із титаном евтектоїдної взаємодії; мідь і кремній, з якими евтектоїдне перетворення проходить дуже швидко (за мартенситною схемою), і, нарешті, залізо й хром.

Температура плавлення титану догрівноює 1665°C , що дозволяє віднести його до тугоплавких металів. Однак жароміцність звичайних титанових сплавів у порівнянні з нікелевими менша, хоча нікель має більш низьку температуру плавлення. Це пояснюється поліморфізмом титану, і, коли при $882,5^{\circ}\text{C}$ відбувається алотропічне ($\alpha \rightarrow \beta$)-перетворення, показники міцності титану різко знижуються через збільшення рухомості атомів. Звідси випливає, що для одержання жароміцних титанових сплавів необхідно застосовувати легуючі елементи, що підвищують $T_{\text{пл}}$. Для цієї мети найкраще підходить алюміній, який крім підвищення абсолютної жароміцності підвищує й питому, знижуючи щільність сплаву. Крім того, алюміній значно дешевше титану. При досить високому вмісті алюмінію можна отримати інтерметалідні сплави, які за жароміцністю можуть перевершувати нікелеві. У цьому випадку шкідливий вплив поліморфного перетворення зникає, так само як і обидві алотропічні модифікації титану, оскільки основою сплаву стає хімічна сполука TiAl («гама»). У менш легованому інтерметалідному сплаві Ti_3Al («альфа-2»)

поліморфізм існує, але $T_{\text{пп}}$ перевищує 1100°C , що значно вище рекомендованої температури практичного застосування цього сплаву (рис. 1.2) [4].

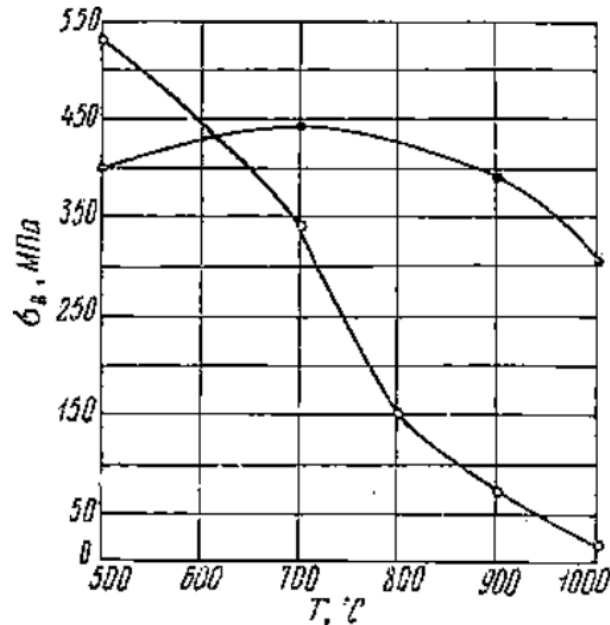


Рисунок 1.2 - Порівняльна жароміцність сплаву ВТЗ-1 (о) і інтерметалідного сплаву «гама» (•)

До жароміцних титанових сплавів відносять твердорозчинні α - і β -титанові сплави, в яких утворюється деяка кількість хімічної сполуки, що дозволяє підвищити характеристики жароміцності без істотного зниження їх пластичності. Елементами, що утворюють із титаном хімічні сполуки, які підвищують їхню жароміцність, є Al, Si, C, B і деякі інші.

Багаторічні фундаментальні дослідження й досвід експлуатації різних типів титанових сплавів в авіакосмічних конструкціях показали, що найбільш перспективними (як конструкційний матеріал) є титанові двофазні (α - β) сплави. Сплави з α + β -структурою забезпечують найкраще співвідношення характеристик міцності, пластичності, тріщиностійкості й інших показників, що забезпечують зменшення матеріалоемності, ресурс і надійність виробу.

Основи легування й обумовлені їм твердорозчинні й дисперсійні процеси зміцнення, а також основи деформації у зв'язку з легуванням є головними для

розуміння потенційних можливостей і перспектив створення й застосування титанових сплавів.

Проведені раніше дослідження, дозволили встановити теоретичні основи для створення жароміцних титанових сплавів:

1. Сплави повинні ґрунтуватися на системі Ti-Al.
2. У якості додаткових легуючих елементів повинні використовуватися елементи типу ізоморфних β -стабілізаторів (молібден, ніобій) і нейтральні зміцнювачі (олово, цирконій).
3. У багатокомпонентних сплавах можна використовувати й евтектоїдні β -стабілізатори (хром, залізо), але з обов'язковою присутністю достатньої кількості ізоморфних β -стабілізаторів для запобігання реакції евтектоїдного розпаду, що викликає крихкість.
4. Для додаткового підвищення жароміцності застосовується мікролегування кремнієм і вуглецем.
5. Сплави з високим вмістом гексагональної модифікації α -титану більш жароміцні, ніж сплави з більшою кількістю кубічної β -фази.

Суттєво підвищують жароміцність сплавів цього типу й тверді розчини, утворені з такими елементами, як Al, Zr, Sn і ін. У табл. 1.1 наведені хімічний склад і механічні властивості жароміцних промислових титанових сплавів у відпаленому стані в порядку збільшення в їхній структурі кількості β -фази, а в табл. 1.2 - характеристики жароміцності [6].

Великий обсяг досліджень дозволяє сформулювати основні положення комплексного легування високоміцних термічно зміцнювальних, зварних титанових сплавів і визначити головні фактори, що сприяють підвищенню міцності основного матеріалу й зварених з'єднань. Міцність титанових сплавів визначається вмістом α - і β -фаз, співвідношенням їх кількості, ступенем дисперсності й однорідності структури.

Таблиця 1.1 - Хімічний склад і механічні властивості жароміцних титанових сплавів (пруток діаметром 10-100 мм)

Марка сплаву	Середній хімічний склад, %	σ_B	$\sigma_{0,2}$	δ_5	ψ	Ресурс, год
		МПа		%		
BT18B	Ti-6,7 Al-4 Zr-2,5 Sn-0,7 Mo-1 Nb	1000	930	10	20	500 (550-600°C)
BT36	Ti-6,2 Al-3,6 Zr -2,0 Sn -0,7 Mo-5,0 W-0,15 Si	1050	950	5	8	
BT8	Ti -6,3 Al-1,2 Zr -1,2 Sn -3,2 Mo-0,15 Si	1050	970	9	25	600 (500°C)
BT9	Ti -6,4 Al-1,5 Zr -3,0 Mo-0,25 Si	1050	980	9	25	500 (500°C)
BT8M	Ti -5,4 Al-1,2 Zr -1,1 Sn -4,0 Mo-0,15 Si	1050	980	10	25	
BT3-1	Ti -6,5 Al-2,5 Mo-1,5 Cr-0,5 Fe -0,3 Si	1000	930	10	30	2000(450°C)
BT25	Ti -6,5 Al-3,7 Zr -1,7 Sn -4,0 Mo-1,0 Fe-0,2 Si	1050	950	10	20	3000(550°C)

Примітка. У дужках наведені граничні температури експлуатації.

Таблиця 1.2 - Характеристики жароміцності відпалених титанових сплавів

Марка сплаву	σ_B , МПа			σ_{100} , МПа			$\sigma_{0,2}^{100}$, МПа		
	500°C	550°C	600°C	500°C	550°C	600°C	500°C	550°C	600°C
BT18B	880	825	770	675	500	315	370	120	110
BT36	750	700	650	680	520	335	440	260	—
BT8	750	720	680	525	390	—	250	100	—
BT9	805	715	685	570	—	—	350	160	—
BT3-1	670	600	540	400	—	—	280	—	—
BT25B	875	825	675	725	440	240	360	170	70

Комплексне легування сплавів зміцнює α - і β -тверді розчини й зменшує різницю їх характеристик міцності. Це сприяє зниженню нерівномірності деформації й більш повної реалізації міцності α - і β -фаз, а також зменшенню дії гострих пластинчастих структурних елементів як концентраторів напружень. Рекомендується одночасно легувати титан β -стабілізуючими елементами з коефіцієнтами розподілу більше й менше одиниці для забезпечення сталості

сумарної кількості таких елементів у різних зонах, більш рівномірного зміцнення твердого розчину завдяки рівномірному розподілу й поліпшеної морфології фазових складових.

Слід зазначити, що коефіцієнт розподілу ізоморфного β -стабілізуючого елемента - молібдену - більше одиниці, ванадію - близький до одиниці, тоді як коефіцієнт розподілу евтектоидоутворюючих легуючих елементів - хрому й заліза - менше одиниці. Враховуючи розподіл легуючих елементів, а також умови запобігання евтектоїдному розпаду, для титанових сплавів рекомендується здійснювати легування при співвідношенні кількості ізоморфних і евтектоидоутворюючих легуючих елементів, вираженому у величинах, еквівалентних вмісту молібдену (від 2/1 до 1/1). По мірі зростання впливу на поліпшення механічних властивостей сплавів і їх зварених з'єднань β -стабілізуючі елементи можна розташувати в наступній послідовності: Cr, Fe, Cr+Fe, Mn, V+Fe, Mo, Mo+Fe, Mo+V, Mo+Cr, Mo+V+Cr+Fe [9].

Таким чином, кращим є комплексне легування, при якому кожна група елементів, виконуючи свою функцію, підсилює позитивну дію іншої функціональної групи елементів для досягнення необхідних властивостей сплаву.

Першим, широко застосовуваним серійним жароміцним титановим сплавом, розробленим в 1957 р., став $(\alpha+\beta)$ -сплав ВТЗ-1 (Ti-6,7Al-2,5Mo-1,8Cr-0,5Fe-0,25Si). Сплав застосовується для деталей ГТД, що довготривало працюють при температурах до 450°C. Слідом за цим для більш високих робочих температур 500 і 550°C у 60-і роки були розроблені й впроваджені $(\alpha+\beta)$ -сплави ВТ8 (Ti-6,8Al-3,5Mo-0,32Si) і ВТ9 (Ti-6,8Al-3,2Mo-2,0Zr-0,3Si) [5].

Трохи пізніше, у зв'язку з потребою в підвищенні міцності при температурах до 550°C, для виробів військової техніки був розроблений $(\alpha+\beta)$ -сплав ВТ25 (Ti-6,8Al-2,0Mo-2,0Zr-2,0Sn-1,0W-0,3Si). У цей період за рубежом найбільше поширення отримав сплав ІМІ 550 (Ti-4,0Al-0,0Mo-2,0Sn-0,5Si), що довгостроково працює при температурах до 400°C. Необхідно відзначити, що

для більш високих температур за рубежом застосовують сплави псевдо- α -класа. При цьому сплав ІМІ 550 у нових двигунах за рубежом замінюють на $(\alpha+\beta)$ -сплави Ti-6246 (6,0Al-2,0Sn-4,0Zr-6,0Mo) і Ti-17 (5,0Al-2,0Sn-2,0Zr-4,0Mo-4,0Cr), що не містять кремній [5].

Для розуміння впливу легуючих елементів на властивості титанових сплавів, розглянемо основні напрямки їх легування. У роботі [10] розглянуті основні напрями щодо поліпшення експлуатаційних характеристик титанових сплавів за рахунок вибору легуючих елементів. Автор відзначає доцільність застосування для легування Zr і Sn, які широко використовуються для збільшення високотемпературної міцності в титані за рахунок твердорозчинного зміцнення, тому що вони не виявляють істотного впливу на температуру поліморфного перетворення, крім того, олово підвищує опір повзучості [11].

Для стабілізації α -фази використовують Al і Sn. При цьому застосування Sn дозволяє зміцнити α -фазу без окрихчування. Zr є нейтральним елементом по відношенню до стабілізації α -фази й при кількості до 5% також зміцнює матеріал при кімнатній і проміжних температурах.

Однак такий підхід до легування неминуче приводить до зниження пластичності титанових сплавів і в результаті α -сплави, що мають найбільші властивості при високій температурі як правило характеризуються зниженою пластичністю.

Одним з перспективних напрямків є введення β -стабілізаторів разом з α -стабілізаторами, що сприяє збільшенню міцності при високій температурі, за рахунок гетерогенізації структури й можливості проведення гартування й старіння, з відповідним формуванням необхідної морфології структури й розподілом дисперсно-зміцнювальних часток.

Основні β -стабілізатори - це молібден і ванадій, більш рідко використовується Nb. Metали, з якими титан утворює евтектоїди ($\beta \rightarrow \alpha + \text{TiM}$) і які, як правило, окрихчують сплав, є Cr, Fe, W і використовуються в межах стабільного розчинення в β -фазі.

Рекомендації з легування титанових сплавів наведені в роботі [12], де було відзначено, що при використанні концепції зміцнення титанового сплаву частками, останні повинні задовольняти наступним вимогам:

- Розчинятися в розплаві титану й мати малу розчинність у твердій фазі;
- Мати низький коефіцієнт дифузії при 300-1000°C;
- Мати можливість сформувати термодинамічно стабільний склад.

До елементів, що утворюють такі частки відносяться В, С и Si.

У залежності від впливу на поліморфізм титану всі легувальні елементи поділяють на три основні групи:

1. Елементи, що сприяють розширенню α -області: α -стабілізатори (Al, Ga, В, С, N, Zn), вони підвищують температуру поліморфного перетворення (рис. 1.3)

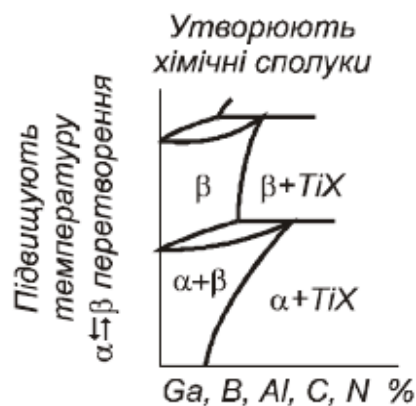


Рисунок 1.3 – Вплив елементів першої групи на поліморфізм титану [6]

2. Елементи β -стабілізатори (Mo, V, Mn, Cr, Fe, Ni, Si, Ta, Co, Nb). Ці елементи знижують температуру поліморфного перетворення, збільшують β -області (рис.1.4).

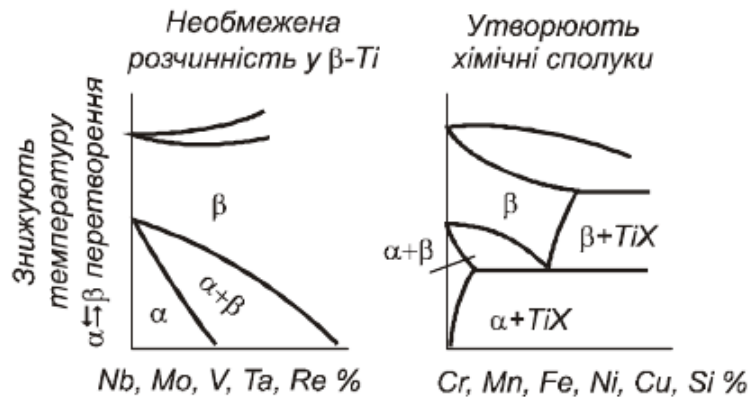


Рисунок 1.4 – Вплив елементів другої групи на поліморфізм титану [6]

3. Нейтральні елементи, що не впливають на температуру поліморфного перетворення: Hf, Zr, Sn, Ge.

Для отримання в сплавах змішаної $\alpha+\beta$ -структури вводять певну кількість як α - так і β -стабілізаторів. При відсутності α -стабілізаторів велика кількість β -стабілізаторів призведе до утворення стабільної β -структури, що є небажаним, бо призведе до окрихчування.

Сплави VT3-1, VT8, VT9 леговані наступними елементами: Al, Mo, Cr, Zr, Si. Вплив легувальних елементів на властивості титану наведений на рисунку 1.5. За інтенсивністю підвищення границі плинності легувальні елементи розташовуються в ряд: Nb, Ta, Zr, Al, V, Sn, Cu, Si, Mn, Co, Fe, Mo, Cr.

Алюміній переважно розчиняється в α -фазі та зміцнює її. Алюміній – основний легувальний елемент. Перевага алюмінію в порівнянні з іншими легувальними елементами: він широко доступний та дешевий; густина алюмінію менше ніж густина титану, тому підвищується питома міцність; ефективно зміцнює сплави при збереженні задовільної пластичності; зі збільшенням вмісту алюмінію підвищується жароміцність; підвищує модуль пружності; з підвищенням вмісту алюмінію зменшується схильність до водневої крихкості. Однак з підвищенням вмісту алюмінію зростає чутливість титанових сплавів до сольової корозії, а також зменшується технологічна пластичність.

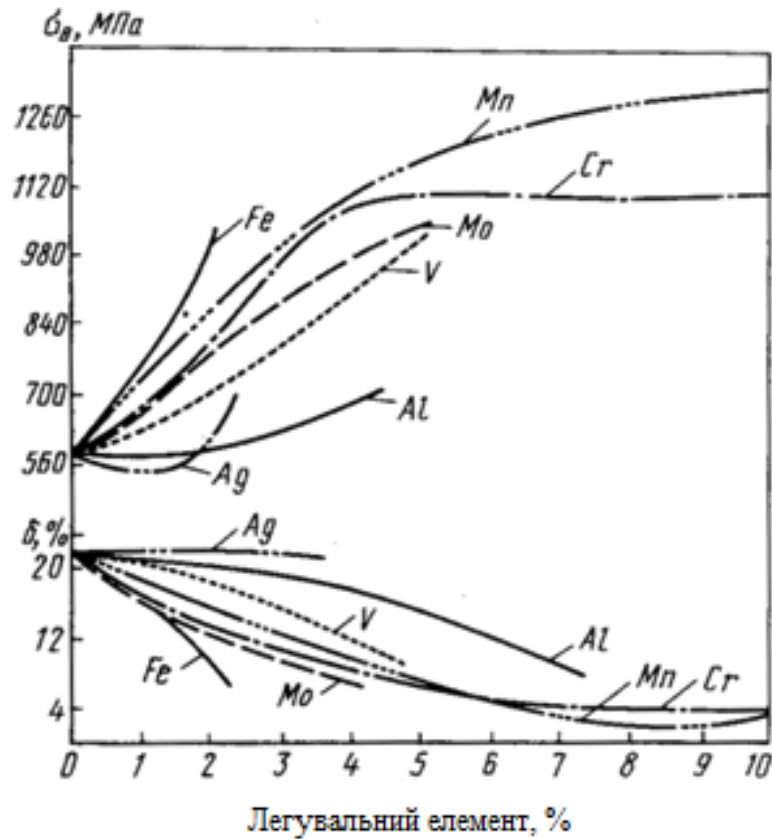


Рисунок 1.5 - Вплив легувальних елементів на механічні властивості титану [6]

Молібден утворює з β -модифікацією титану безперервний ряд твердих розчинів та обмежено розчиняється в α -модифікації. Молібден є ізоморфним β -стабілізатором, який у процесі гарячої обробки призводить до збільшення кількості пластичної β -фази. Легування молібденом ефективно підвищує міцність як і при кімнатній так і при підвищених температурах, крім того збільшує термічну стабільність сплавів, легованих хромом та залізом. Перевага молібдена – відсутність інтерметалідних фаз, які можуть окрихчувати сплав.

Хром у титанових сплавах забезпечує високу міцність при добрій пластичності та ефективність зміцнювальної термічної обробки. Але наявність евтектоїдного розпаду β -фази, яку може відбутися при тривалих нагріваннях загартованого сплаву при температурі нижче евтектоїдної, але вище 350°C

призводить до окрихчення титанових сплавів через наявність інтерметалідної сполуки $TiCr_2$.

Залізо та кремній обмежено розчиняються як в β - так і в α -модифікаціях титану та при концентраціях більших за граничну утворюють з титаном інтерметалідні сполуки Ti_5Si , $TiFe$, $TiFe_2$, Ti_2Fe . Залізо відносно мало впливає на механічні властивості титану. Однак при збільшенні вмісту заліза міцність зростає, пластичність знижується, що пояснюється утворенням при прискореному охолодженні мартенситних структур. При повільному охолодженні з β -області знижується й міцність, і пластичність внаслідок так званої β -крихкості. Підвищення вмісту кремнія на 0,1% призводить до зростання міцності, однак пластичність і, особливо, в'язкість при цьому суттєво знижуються. Кремній підвищує жароміцність та жаростійкість титанових сплавів.

Цирконій дуже слабкий зміцнювач у порівнянні з іншими легувальними елементами, однак при підвищених температурах зміцнювальний вплив цирконію зростає. Тому його вводять до складу жароміцних титанових сплавів. Підвищення жароміцності титанових сплавів відбувається завдяки невеликому твердорозчинному зміцненню, яку не зменшує сили міжатомного зв'язку. Крім того, цирконій збільшує розчинність β -стабілізаторів в β -фазі, що дозволяє додатково зміцнити жароміцні β -сплави.

Як ізоморфні, так і евтектоїдоутворюючі β -стабілізатори знижують температуру мартенситного перетворення в титані.

При збільшенні вмісту β -стабілізатору відбувається збільшення кількості β -фази при суттєвому подрібненні структури. Ці фактори визначають зміну властивостей титану при збільшенні концентрації β -стабілізаторів.

При цьому ступінь зниження границі текучості й граничної пластичності при переході від дрібнозернистої структури до грубозернистої, як правило, зростає при збільшенні вмісту β -стабілізатора (посилується схильність до «крихкості»). Таким чином, використання двофазного сплаву може забезпечити

помітний вигаш у пластичності при однаковій міцності з однофазними α -сплавами лише за наявності в них дрібнозернистої структури. [6]

Наявність змішаної $\alpha+\beta$ -структури в сплавах обумовлює додатковий опір ковзанню дислокацій внаслідок переходу дислокацій від α до β структури, тобто β -фаза може відігравати роль зміцнювальної фази. Водночас краща пластичність β -складової структури обумовлює кращу пластичність $\alpha+\beta$ -сплавів.

Одним з напрямків збільшення високотемпературної міцності є збільшення коефіцієнта дифузії в β -фазі. Прикладом такого сплаву є Ti-6% Al-5% Mo-25% Nb. При цьому пластичність при кімнатній температурі становить близько 4%, 100-годинна міцність при 600°C складає 550 МПа, а при 700°C 350 МПа. Однак, слід зазначити, що застосування як легуючі елементи металів з високою щільністю (Nb) сприяє зниженню питомої міцності сплаву й для запропонованої композиції становить близько 24%, таким чином міцність у перерахуванні на щільність сплаву ІМІ -834 при 700°C складе близько 260 МПа.

Для збільшення короткочасної міцності при підвищених температурах застосовують Mo (приклад сплав Ti-6246). Nb застосовують для стабілізації поверхні при високій температурі, знижуючи при цьому окиснення. Невелика кількість Si збільшує міцність сплавів на всьому інтервалі температур, однак його кількість не перевищує 0.5% у закордонних сплавах. У зв'язку з тим, що Cr, Ni, Fe, Co знижують високотемпературні властивості сплаву, їх кількість лімітується в межах до 0.01 %. На сьогоднішній день температурна межа титанових сплавів 590°C (сплав ІМІ 834), який можливо трохи побільшати при додаванні в сплав Ta і V. Поліпшити властивості титанових сплавів до більш високих температур можливо при введенні дисперсоїдів, при швидкій рекристалізації, таких як Y, Er, Nd, Gd, C і B. Однак проблемним фактором є досягнення однорідного розподілу часток і їх здрібнювання. Уведення силіцидів (Ti₅Si₃) дозволяє побільшати температуру експлуатації до 800°C однак при цьому пластичність падає до 0.4% при кімнатній температурі. Підкреслимо, що

для досягнення практичного застосування титанових сплавів при високій температурі пластичність при кімнатній температурі повинна бути не менш 10..12%, ударна в'язкість не менш 60 МПа/м^{1/2} і температура окиснення не менш температури експлуатації.

Перспективним напрямком для збільшення високотемпературної міцності титанових сплавів є застосування дисперсного зміцнення. Показник ступеня n для дисперсно зміцнених сплавів має більшу величину, $n > 7$ [13]. Таким чином, при високих температурах і напругах такі сплави характеризуються високим зміцненням і низькими швидкостями деформації.

Модифікацію частками TiB шляхом механічного холодного й гарячого пресування вивчали автори роботи [14]. При цьому такий підхід до легування сплаву VT6 дозволив збільшати енергію активації пластичної деформації до 440 кДж/моль.

До дисперсно зміцнювальних часток також відносяться карбіди титану (TiC), вплив яких на високотемпературні властивості сплаву вивчали в роботах [15,16].

Прикладом використання методу дисперсного зміцнення рідкісноземельними металами (РЗМ) є сплав VT38 [17]. У ньому досягаються високий рівень міцності й границі текучості при температурі 600°C за 100 годин: 240 і 60 МПа відповідно, що перевищує ці характеристики найбільш жароміцного листового сплаву VT20 в 3-6 раз.

Вивченню впливу легуючих елементів на пластичність титанових сплавів від легування присвячене дослідження [16]. На рисунку 1.6 представлені графіки залежності пластичності від хімічного складу сплавів. Видно, що збільшення вмісту Al приводить до зниження пластичності сплавів, особливо при температурі від 550 до 800°C. Таке окрихчування сплаву зв'язують із наявністю облямівки в $\alpha+\beta$ структурі.

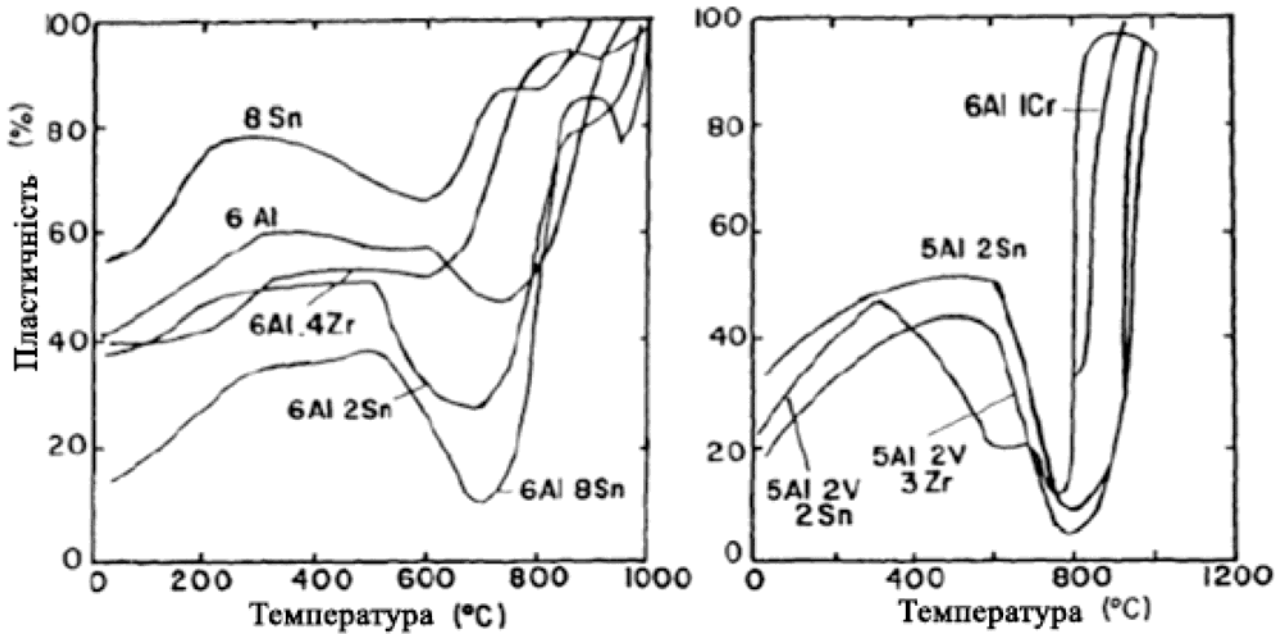


Рисунок 1.6 - Залежність пластичності від хімічного складу сплавів

Подальших перспектив на підвищення робочої температури титанових сплавів залишається вкрай мало. Справа в тому, що при температурі 620°C принципово міняється механізм окиснення α -фази титану. Кисень починає дифундувати через оксидну плівку й проникати в товщу металу, змінюючи його властивості в гіршу сторону. Можливості легування з метою гальмування проникаючого окиснення практично вичерпані, а захисні покриття при таких температурах і наявності повітряних суспензій або розчиняються в матеріалі деталей, погіршуючи його властивості, або здуваються із нього за рахунок ерозійного зношування. Слід помітити, однак, що повної ясності в області застосування захисних покриттів поки немає [7].

По названих причинах основний напрямок пошуку нових жароміцних композицій усе більш чітко зміщується у бік вивчення властивостей інтерметалідів титану.

1.3 Можливі варіанти термічної обробки для деталей ГТД з двофазних титанових сплавів

Оскільки двофазні ($\alpha+\beta$)-титанові сплави можуть зміцнюватись термічною обробкою, є можливість додатково підвищити їхню міцність.

Оптимальними режимами термічної обробки з урахуванням ресурсу 2000 год є: для сплаву ВТЗ-1 гартування у воду з температури 850-880° С н наступне старіння при 550° С протягом 5 год з охолодженням на повітрі; для сплаву ВТ8 — гартування у воду з температури 920° С и наступне старіння при 550° С протягом 6 год з охолодженням на повітрі; для сплаву ВТ9 гартування у воду з температури 925° С и наступне старіння при 570° С протягом 2 год і охолодження на повітрі.

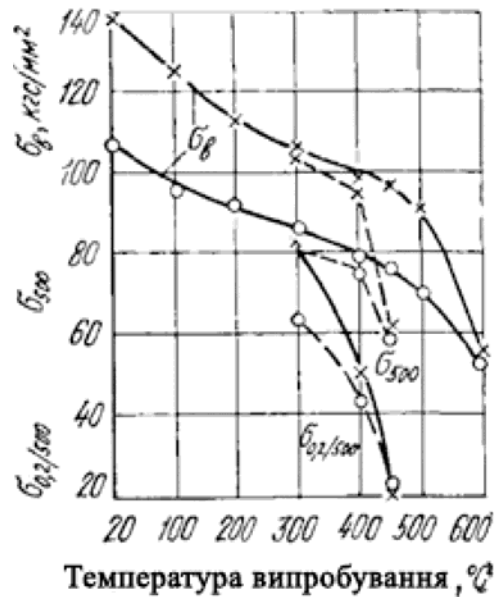
Були проведені дослідження із впливу зміцнювальної термічної обробки на механічні властивості й структуру сплаву ВТЗ-1 при температурах 300, 400, 450° С и при 450 і 500° С для сплаву ВТ8 за 100, 500 і 2000 год, а також на термічну стабільність після витримки до 2000 ч.

Ефект зміцнення від термічної обробки при короткочасних випробуваннях сплаву ВТЗ-1 зберігається до 500° С і становить 25-30% у порівнянні з ізотермічним відпалом, а при 600°С межа міцності загартованого й зістареного матеріалу дорівнює межі міцності відпаленого матеріалу (рис. 1.7) [11].

Застосування зміцнювального режиму термічної обробки також підвищує межу тривалої міцності за 100 год на 30% при 300° С, на 25% при 400° С и 15% при 450°С (рис. 1.8, а).

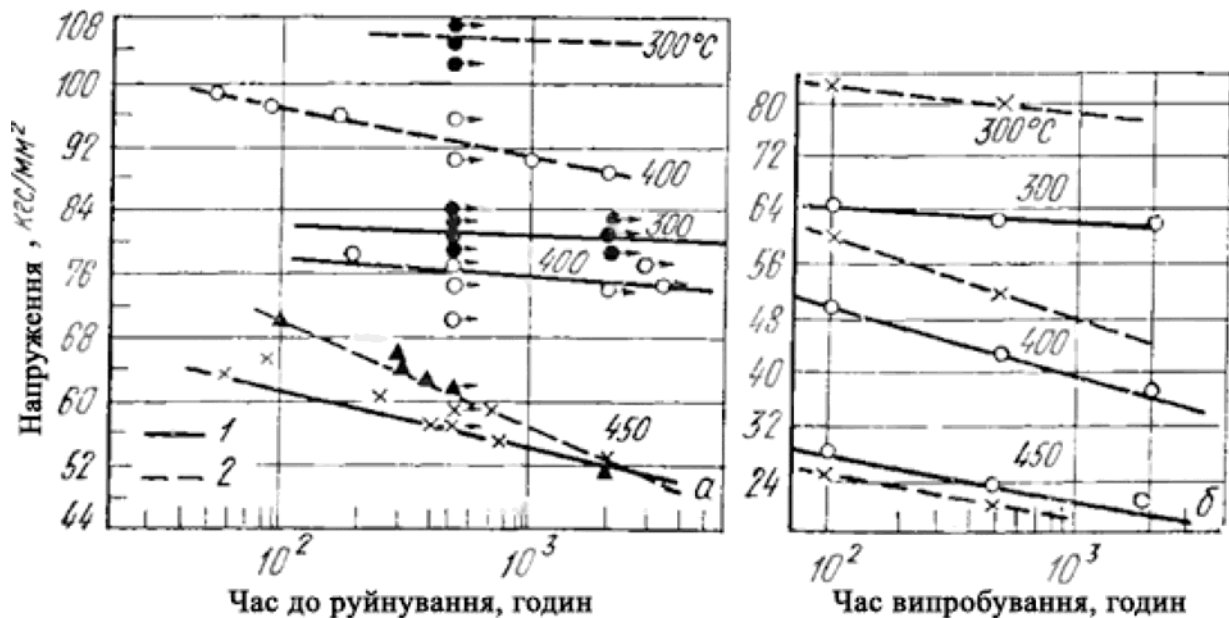
Зі збільшенням ресурсу від 100 до 2000 год тривала міцність при 300° С майже не змінюється як після ізотермічного відпалу, так і після загартування й старіння. При 400° С загартований і зістарений матеріал знеміцнюється більшою мірою, ніж відпалений. Однак абсолютні значення тривалої міцності за 2000 год у загартованих та зістарених зразків вище, ніж у відпалених (880 і 750 МПа

відповідно). Найбільш різко знижується тривала міцність при 450° С, і при випробуванні протягом 2000 год переваги від термічного зміцнення не залишається.



○ — ізотермічне відпалення; × - гартування+ старіння

Рисунок 1.7 - Зміна механічних властивостей сплаву ВТЗ-1 залежно від температури випробування:



1 — ізотермічний відпал; 2 — гартування + старіння

Рисунок 1.8- Зміна тривалої міцності (а) і границі повзучості (б) сплаву ВТЗ-1

Аналогічна картина спостерігається й при випробуванні сплаву на повзучість (рис. 1.8,б). Після зміцнювальної термічної обробки межа повзучості при 300° С вище на 30% і при 400° С — на 20%, а при 450° С навіть нижче, ніж у відпаленого матеріалу.

Також підвищується й витривалість гладких зразків при 20 і 400°С на 15-20% (рис. 1.9, а, б). При цьому після загартування й старіння відзначена більша вібраційна чутливість до надрізу (1,45 у порівнянні з 1,25 після ізотермічного відпалу).

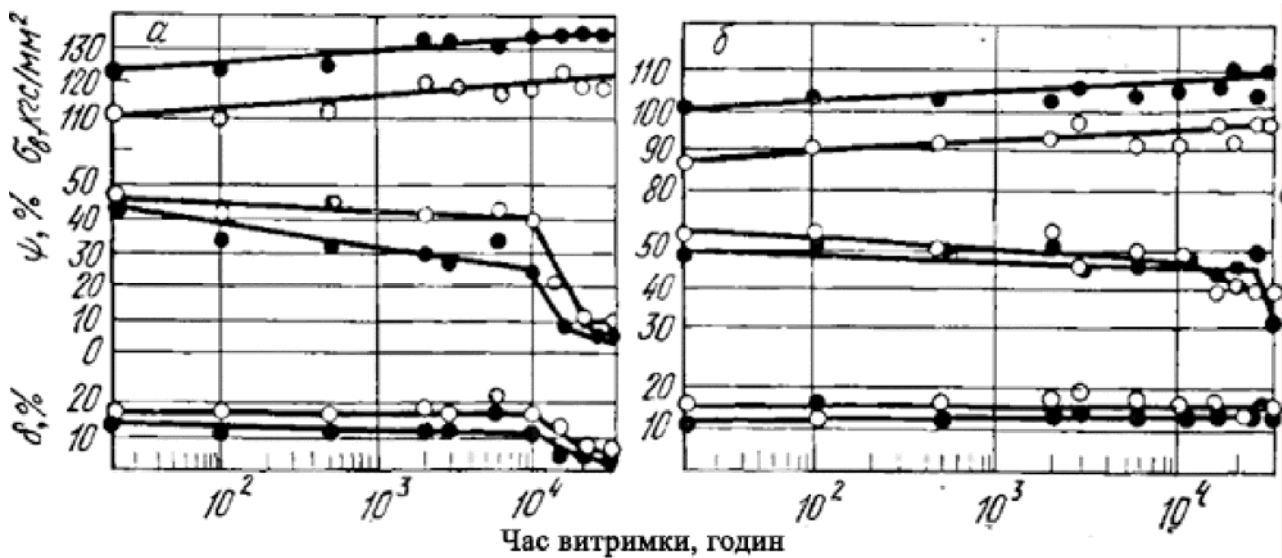


а — при 20° С; б — при 400° С; × — 870° С, 1 год + 650° С, 2 год;
○ — 880° С, 1 год, вода + 550° С, 5 год, повітря

Рисунок 1.9- Зміна границь витривалості сплаву VT3-1

Після тривалої витримки (до 30000 ч) при 400° С та випробування зразків при 20° С- пластичні властивості сплаву у відпаленому стані зберігаються на рівні вихідного матеріалу (рис. 1.10, а). У сплаві, підданому зміцнювальній термічній обробці, трохи знижуються поперечне звуження й ударна в'язкість, однак абсолютні значення після 30000 год витримки залишаються досить

високими ($\psi=25\%$ і $KCU=30\text{Дж/см}^2$). З підвищенням температури витримки до 450°C знижується пластичність сплаву в зміцненому стані після 20000 год витримки, поперечне звуження падає з 25 до 15%. Зразки, витримані 30000 год при 400°C і випробувані при тій же температурі, мають більш високі значення міцності в порівнянні з вихідним станом (до нагрівання) при збереженні пластичності (див. рис. 1.10, б).



а — випробування при 20°C ; б - при 400°C ; \circ - ізотермічне відпалення,
 \bullet — гартування + старіння

Рисунок 1.10- Властивості сплаву ВТЗ-1 після нагрівання протягом 30 000 год при 400°C :

У таблиці 1.3 наведені узагальнені дані за рівнем механічних властивостей сплаву ВТЗ-1 при 20 і 400°C після двох режимів термічної обробки, додаткової витримки зразків протягом 2000 год при 400°C без напруги й під граничною напругою 750МПа для відпалених зразків і 850МПа для загартованих і зістарених.

Таблиця 1.3 - Механічні властивості сплаву ВТЗ-1 після двох режимів термічної обробки

Властивості	Стан матеріалу	Без напруги при 20 °С	Під напруженням 750-850МПа при температурі	
			400 °С	20 °С
σ_b , МПа	Відпал	1100	900	1200
	Загартування+старіння	1300	1000	1400
δ , %	Відпал	12	12	12
	Загартування+старіння	8	8	6
ψ , %	Відпал	35	45	35
	Загартування+старіння	20	35	20
КСУ Дж/см ²	Відпал	35	-	-
	Загартування+старіння	25	-	-

За допомогою рентгеноструктурного фазового аналізу й електронноструктурного мікродослідження встановлено, що зміцнення при термічній обробці двофазних ($\alpha+\beta$)-сплавів досягається за рахунок утворення при гартуванні метастабільних β -, α'' - і α' -фаз і розпаду їх при наступному старінні з виділенням дисперсних часток α - і β -фаз.

Встановлено цікаве явище істотного підвищення тривалої міцності сплаву ВТЗ-1 після попередньої витримки зразків при менших навантаженнях. Так, при напруженні 800МПа і температурі 400° С зразки руйнуються вже при навантаженні, а після попередньої 1500 год витримки при 400° С під напруженням 730МПа вони витримують напруження 800МПа протягом 2800 ч. Це створює передумови для розробки спеціального режиму термічної обробки під напруженням для підвищення тривалої міцності.

Зміцнювальна термічна обробка застосовна до деталей, що працюють до 400° С.

До деталей, виготовлених зі сплавів ВТ8 і ВТ9 і працюючих при температурах до 400-500° С, також можна застосувати зміцнювальну термічну й

термомеханічну обробку, що дає можливість підвищити показники міцності й жароміцні властивості цих сплавів, аналогічно сплаву ВТЗ-1.

Підвищення характеристик міцності твердорозчинних сплавів досягається шляхом зміцнення легуванням α - і β -твердих розчинів, а також дисперсійним зміцненням суміші α - і β -фаз у процесі термічної обробки - загартування й старіння (рис. 1.11) [8].

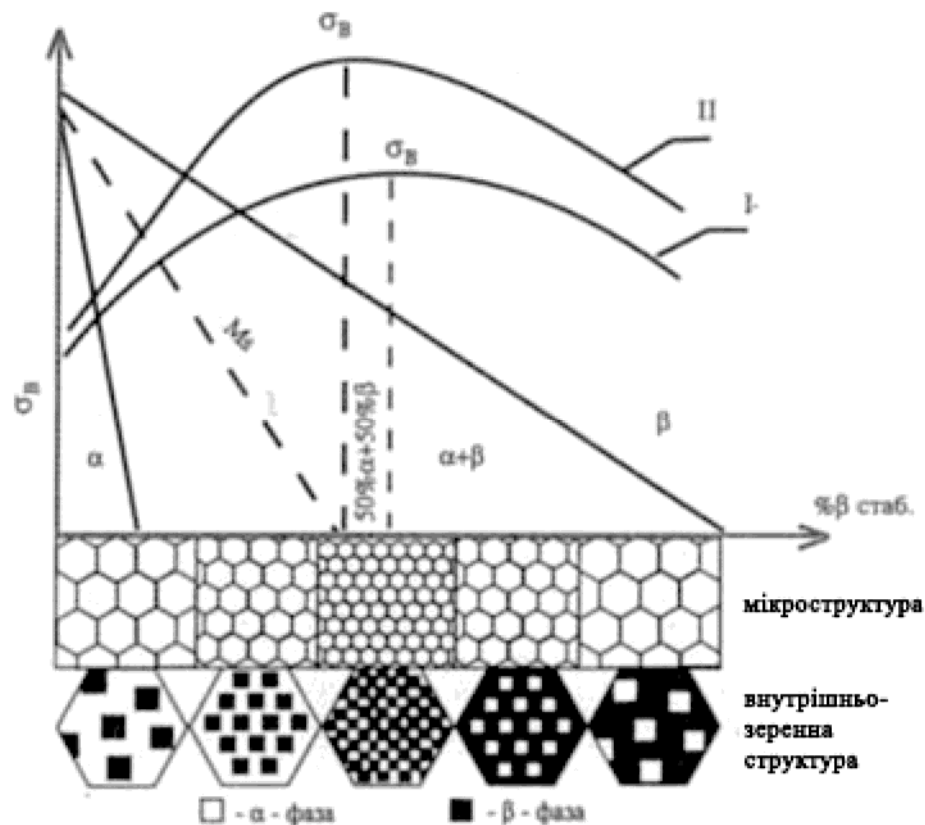


Рисунок 1.11 - Схематичний зв'язок між вмістом β -стабілізуючих елементів, термічною обробкою й структурою твердорозчинних ($\alpha+\beta$)-титанових сплавів [8]

Максимум по міцності у відпалених сплавах припадає на склад, що забезпечує приблизно рівну кількість α - і β -фаз, що обумовлене максимальною гетерогенізацією мікро- і макроструктури.

У сплавів у загартованому й зістареному стані максимум по міцності спостерігається в сплавах, заскладом близьких до критичного, коли утворюється максимальний обсяг дисперсних складових. Оскільки зміцнення сплаву складається в основному з названих вище механізмів, то можна вважати, що найбільш здатними до зміцнення сплавами є $\alpha + \beta$ -титанові сплави з коефіцієнтом стабілізації β -фази (K_β) у межах від 0,8 до 1,4. Сюди ставляться також сплави ВТ16 ($K_\beta = 0,8$), ВТ23 ($K_\beta = 0,8$), ВТ22 ($K_\beta = 1,05$), ВТ35 ($K_\beta = 1,45$) і деякі інші.

На рисунку 1.12 проілюстровано можливість одержання високої міцності у титановому сплаві перехідного типу ВТ22 (пруток $\varnothing 20$ мм).

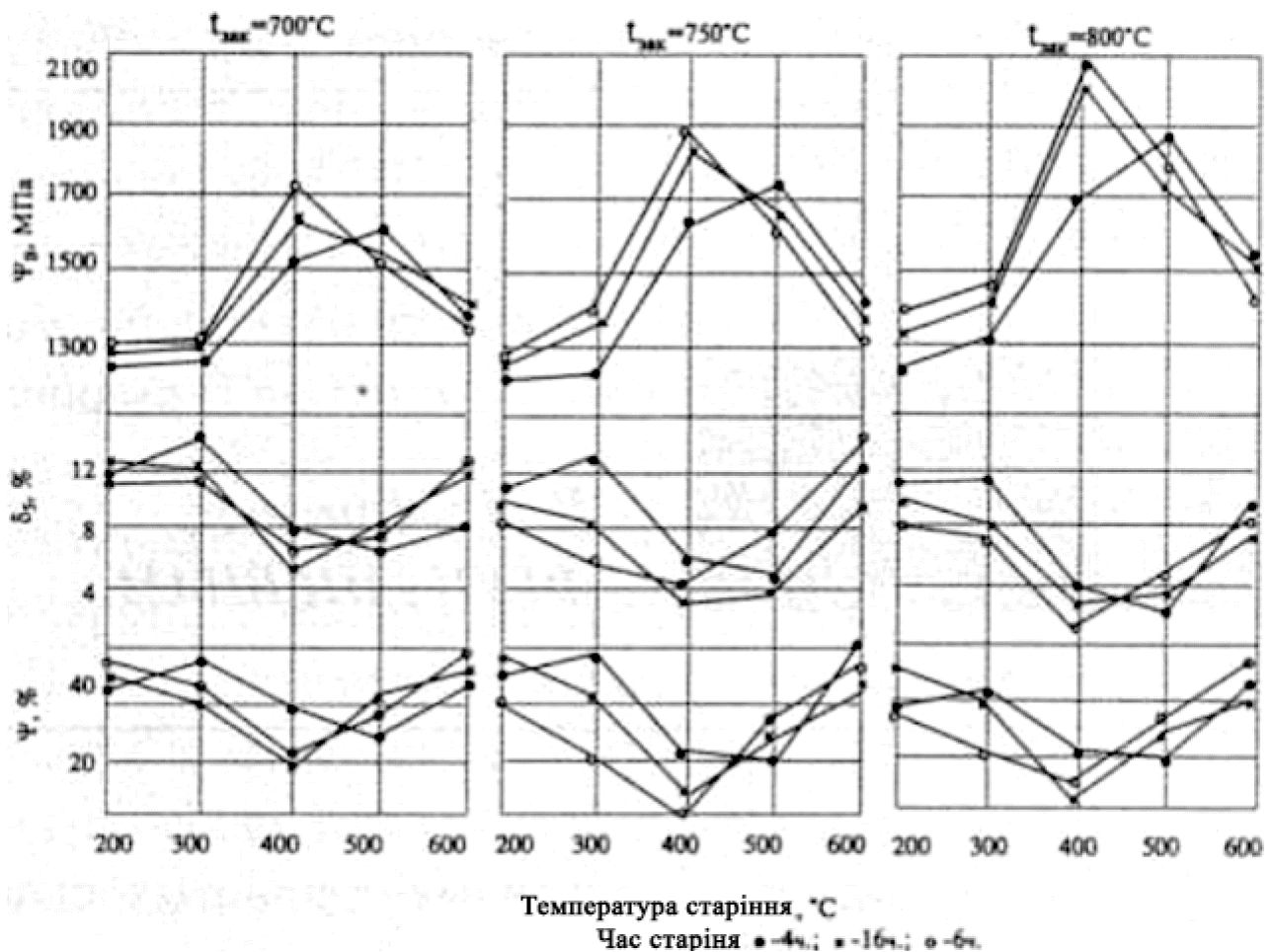


Рисунок 1.12 - Механічні властивості сплаву ВТ22 (пруток $\varnothing 20$ мм) після різних режимів зміцнювальної термічної обробки

Як випливає з наведених даних, сплав такого типу може досягати високу міцність (до 2000 МПа), однак з підвищенням міцності суттєво знижуються характеристики пластичності.

Тенденція до зниження характеристик пластичності й тріщиностійкості, підвищення чутливості до концентрації напруг зі збільшенням міцності спостерігається у всіх титанових сплавів і є основною проблемою при освоєнні високоміцних титанових сплавів.

Зв'язок між величиною міцності й характеристиками пластичності, тріщиностійкості й чутливості до концентраторів напружень ілюструється даними, наведеними на рисунках 1.13 і 1.14.

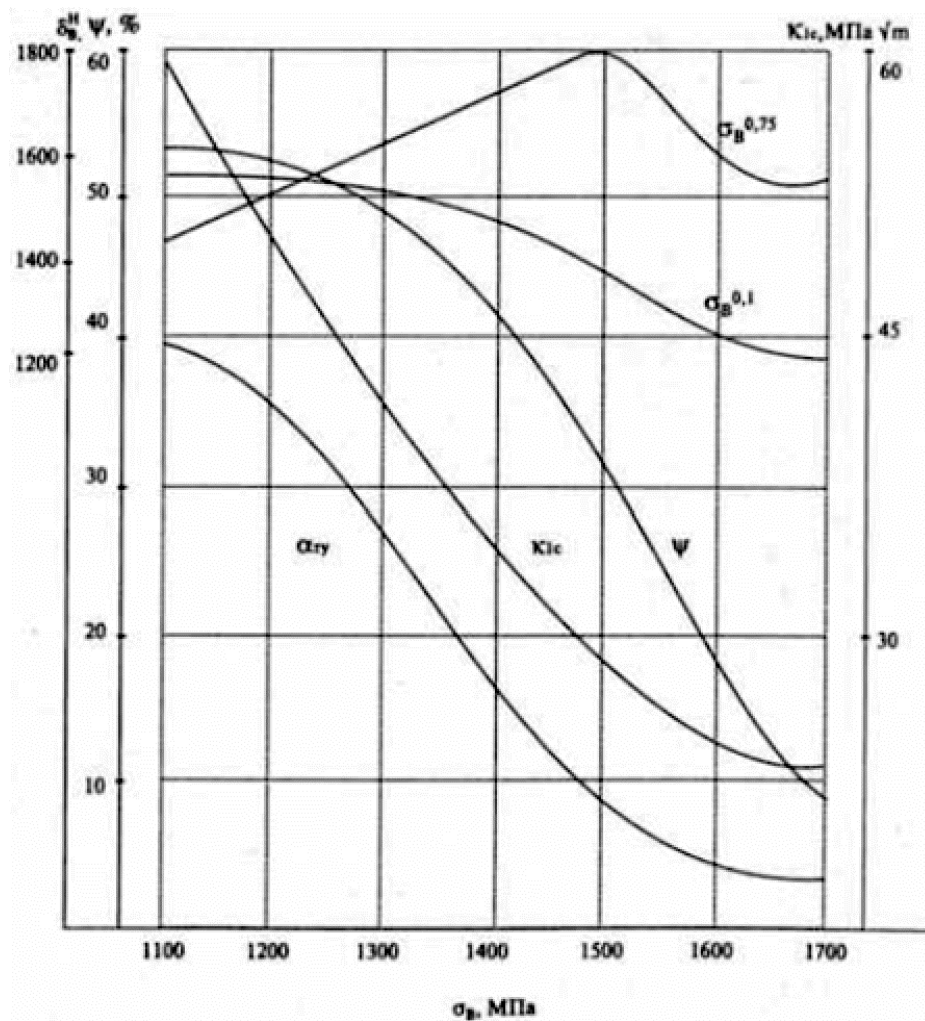


Рисунок 1.13 - Зв'язок межі міцності, отриманої термічною обробкою, з іншими механічними властивостями титанового сплаву VT22

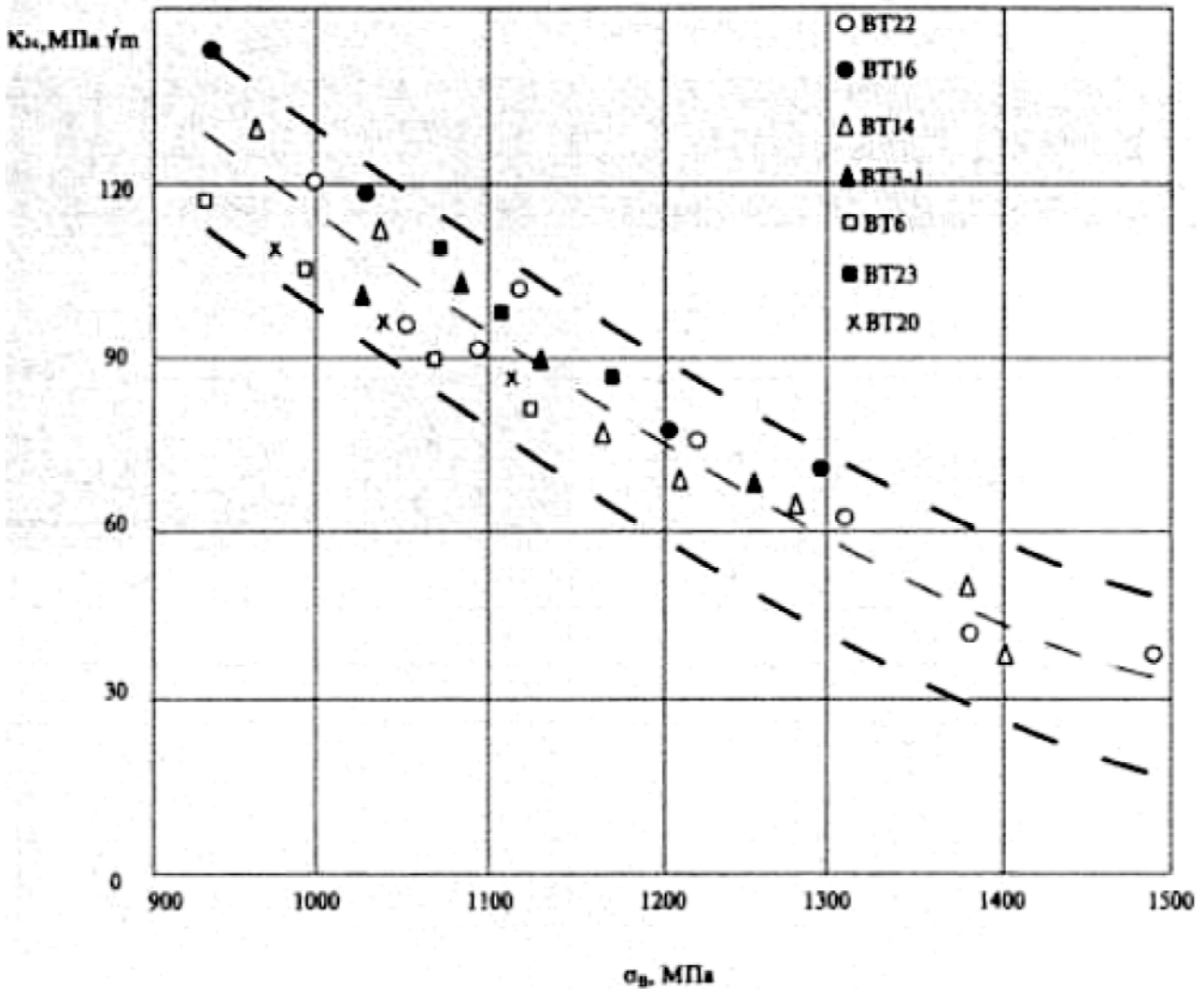


Рисунок 1.14 - Залежність в'язкості руйнування різних титанових сплавів від рівня міцності

Тут виникає складне й багатопланове питання критеріїв, що визначають можливість використання сплавів з більшим або меншим рівнем міцності в тих або інших деталях і конструкціях авіакосмічної техніки, а також припустимих норм по пластичності, тріщиностійкості, чутливості до концентраторів і іншим службовим характеристикам, що визначають ресурс і надійності.

Найчастіше це питання вирішується шляхом аналізу умов роботи виробу, наявного досвіду експлуатації аналогічних виробів і деякими іншими факторами. З іншого боку, проводиться оцінка різних характеристик

пропонованого до використання титанового сплаву, що включає характеристики міцності, пластичність, тріщиностійкість і інші службові характеристики [8].

Важливою характеристикою високоміцних титанових сплавів є їх прогартовуємість, тобто здатність зміцнюватись до заданого рівня в певному перерізі шляхом гартування й старіння.

Прогартуємість твердорозчинних $(\alpha+\beta)$ -титанових сплавів залежить від ряду факторів: легування сплаву β -стабілізуючими елементами, температури загартування, температури й тривалості старіння.

На рисунку 1.15 представлена залежність між перетином, що прогартовується (у мм) і вмістом β -стабілізуючих елементів, виражених через K_β , при зміцненні сплавів на рівень, передбачений технічною документацією.

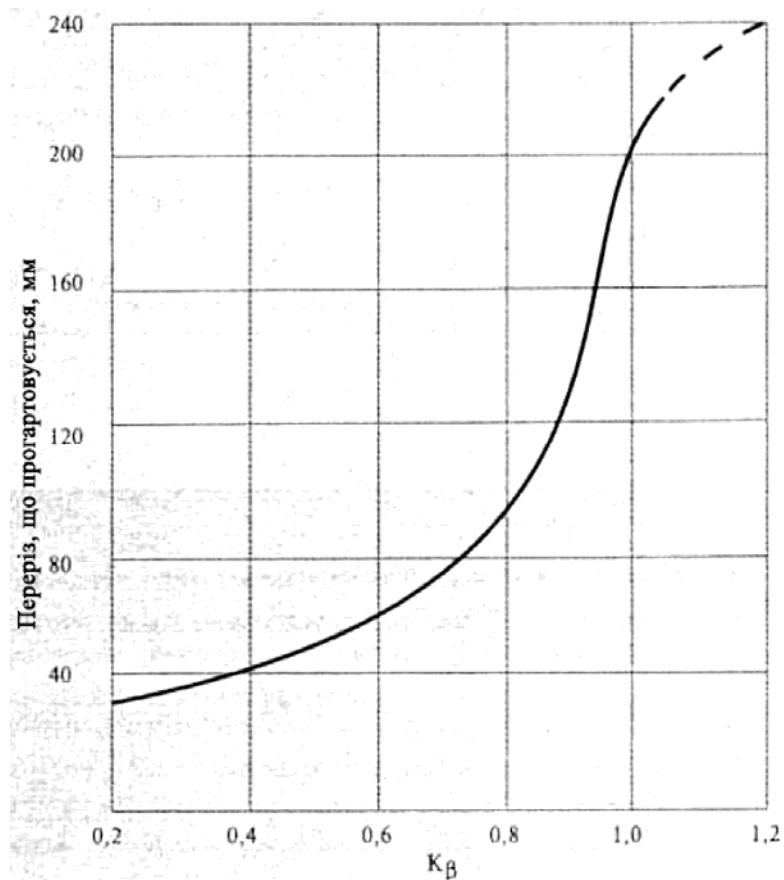


Рисунок 1.15- Залежність прогартованості від коефіцієнта стабілізації β -фази (K_β).

У титанових сплавів з $K_{\beta} > 1,0$, через збільшення вмісту β -стабілізуючих елементів, β -фаза зберігається при всіх швидкостях охолодження. Завдяки цьому, можливим є технологічний процес зміцнювальної термічної обробки деталей і конструкцій без переносу в гартівне середовище, коли метастабільна β -фаза зберігається при швидкостях охолодження $5-10^{\circ}\text{C}/\text{хв}$, тобто при швидкостях, порівнянних зі швидкістю охолодження садки разом з піччю. Наступне старіння підвищує міцність металу, наприклад, сплаву VT22 до 1150-1250 МПа. Така технологія дозволяє виготовляти великогабаритні нежорсткі авіаційні конструкції, у тому числі й зварені, шляхом зміцнювальної термічної обробки в печах із захисною атмосферою неокисненими й без короблень. Як показала практика, конструкції, виготовлені за такою технологією, мають підвищений ресурс і надійність завдяки усуненню залишкових напружень.

1.4 Особливості структури двохфазних титанових сплавів у залежності від рівня легування та режимів термічної обробки

На відміну від сталі структура титанових сплавів формується в процесі гарячої деформації, а перегріта структура не виправляється термічною обробкою. Тому при виготовленні напівфабрикатів з титанових сплавів приділяється велика увага термомеханічним режимам деформування матеріалу [11].

При освоєнні технологічного процесу виготовлення напівфабрикатів з титанових сплавів залежно від умов деформації було отримано велике різноманіття структур, а отже, і різні механічні властивості їх. Проведений аналіз і порівняльне дослідження структури й механічних властивостей залежно від умов деформації дозволили О. П. Солониною класифікувати мікроструктуру зазначених вище сплавів на три типи (рис. 1.16). Така класифікація структури

покладена в основу при розробці спеціальних шкал для оцінки структури напівфабрикатів.

I тип мікроструктури (так звана рівновісна $\alpha+\beta$ структура) являє собою рівномірно розподілену суміш, що складається з первинної α -фази (світлі ділянки) і суміші α - і β -фаз (темні ділянки) і отримується при деформації сплавів у двофазній $\alpha+\beta$ -області при температурах на $30-50^\circ$ нижче їхньої температури поліморфного перетворення.

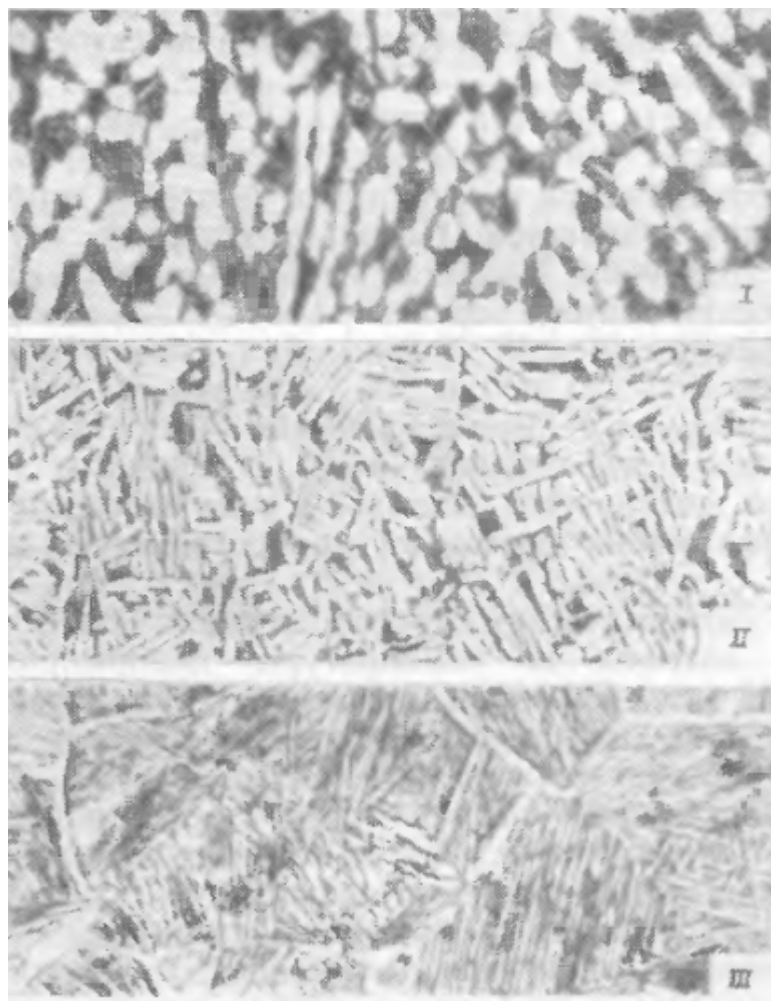


Рисунок 1.16 - Основні типи мікроструктур двофазних титанових сплавів, отриманої в різних умовах деформації (I — тип — рівновісна $\alpha+\beta$; II — тип — кошикового плетива; III — тип — грубогольчата)

При нагріванні металу в β -області й закінченні деформації в $(\alpha+\beta)$ -області утворюється II тип структури кошикового плетива. Світлі ділянки первинної α -фази витягнуті у вигляді пластин, а між ними розташовується суміш фаз $(\alpha+\beta)$ (темні ділянки). Характерна риса цієї структури — пластинчаста будова типу кошикового плетива збережених зерен первинної β -фази.

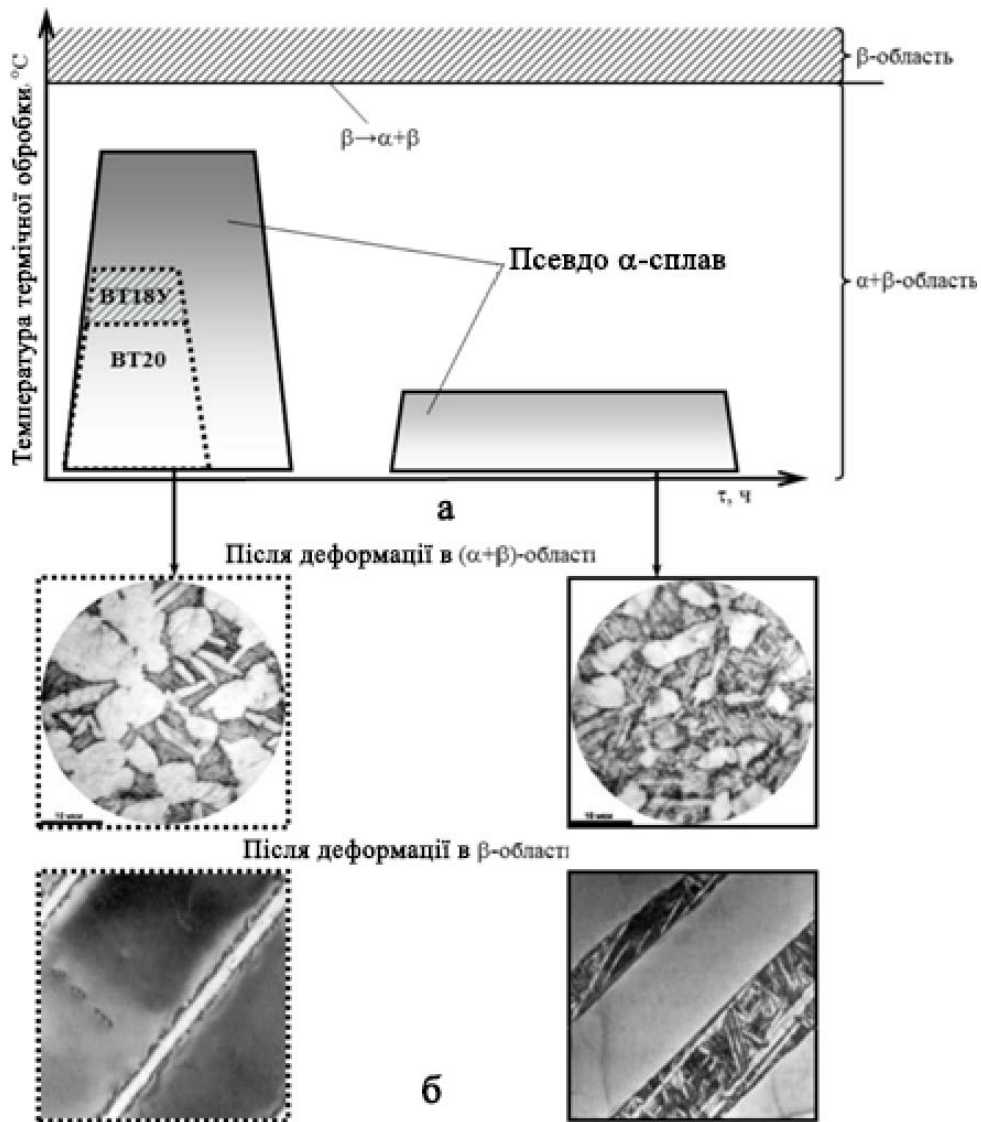
У результаті нагрівання металу й деформації в β -області, а також внаслідок недостатнього перероблення литої структури при виготовленні заготовок у процесі деформації з'являється III тип структури із крупними зернами первинної β -фази й грубо- або тонкогольчастою будовою усередині зерен.

За останній час широко застосовуються нові види технологічних процесів, такі як ВТМО (високотемпературна термомеханічна обробка) і ізотермічне деформування. У процесі ВТМО структура фіксується гартуванням у воді безпосередньо після деформації. У цьому випадку зберігається спрямованість структури.

При ізотермічному деформуванні (заготовка й штампи нагріті до температури деформування) створюються умови однорідного прогрівання матеріалу за всім перетином, при цьому спостерігається значне подрібнювання структури.

Досвід по розробці й удосконалюванню жароміцних псевдо- α - і $(\alpha+\beta)$ -титанових сплавів [14-17] дозволяє зробити висновок, що комбінація твердорозчинного й дисперсійного зміцнення може забезпечити значне підвищення міцностних характеристик сплавів, що містять ізоморфні β -стабілізатори й кремній. Термічна обробка в цьому випадку повинна проводитись по режиму подвійного відпалу. Перший щступінь відпалу необхідно проводити при температурах, близьких до температури повного поліморфного перетворення $\alpha+\beta \rightarrow \beta$, - для забезпечення найбільшого твердорозчинного зміцнення, одержання пересиченого твердого розчину α -фази й метастабільної β -фази, більш повної рекристалізації α - і β -фаз. Відпал на

другому ступені проводиться при відносно низьких температурах, при яких відбуваються розпад метастабільних твердих розчинів і дисперсійне зміцнення матеріалу. Відмінності в режимах термічної обробки при одноступінчастому й подвійному відпалі схематично наведені на рис. 1.17.



■ ■ ■ ■ - серійний режим відпалу; — - подвійний відпал

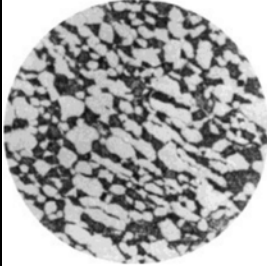
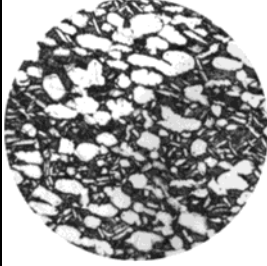

Рисунок 1.17 - Режими термічної обробки (а) і типи мікроструктур (б)

Слід зазначити, що при термічній обробці по режиму подвійного відпалу одним з істотних факторів, що впливають на мікроструктуру й механічні

властивості, є фактична швидкість охолодження напівфабрикату після першого ступеню відпалу.

Як приклад приведемо механічні властивості при застосуванні подвійного відпалу замість одноступінчастого або процесу ТМО (виправлення/калібрування при температурах $(\alpha+\beta)$ -області з наступним старінням) кувань (штампувань) масою 2-2,3 кг, перетином 15-25 мм зі сплаву ВТ20, отриманих шляхом осадження вихідного катаного прутка при температурах $(\alpha+\beta)$ -області. Узагальнені результати випробувань зразків, вирізаних уздовж і поперек волокна напівфабрикатів, наведені в табл. 1.4.

Таблиця 1.4 - Порівняльні властивості кувань зі сплаву ВТ20

Вид обробки	Мікроструктура	σ_b	$\sigma_{0,2}$	δ	ψ	$\sigma_b^{500^\circ}$
		МПа		%		МПа
Одноступінчастий відпал (серійний режим)		980-1020	895-975	14-17,2	48,7-55,4	675-715
Термомеханічна обробка (ТМО)		1000-1080	930-980	12-16,8	46,2-53	700-745
Подвійний відпал		1045-1110	915-985	13,6-18	38,4-43,3	720-750

З даних табл. 1.4 видно, що застосування подвійного відпалу приводить до підвищення характеристик міцності поковок зі сплаву ВТ20 при деякому зниженні відносного звуження.

Мікроструктура виготовлених по різних технологічних схемах кувань із досліджуваного сплаву типу ВТ20 після подвійного відпалу в порівнянні з типовими структурами жароміцних ($\alpha+\beta$)-титанових сплавів ВТ8-1 і ВТ25У у відпаленому стані наведена на рис. 1.18.

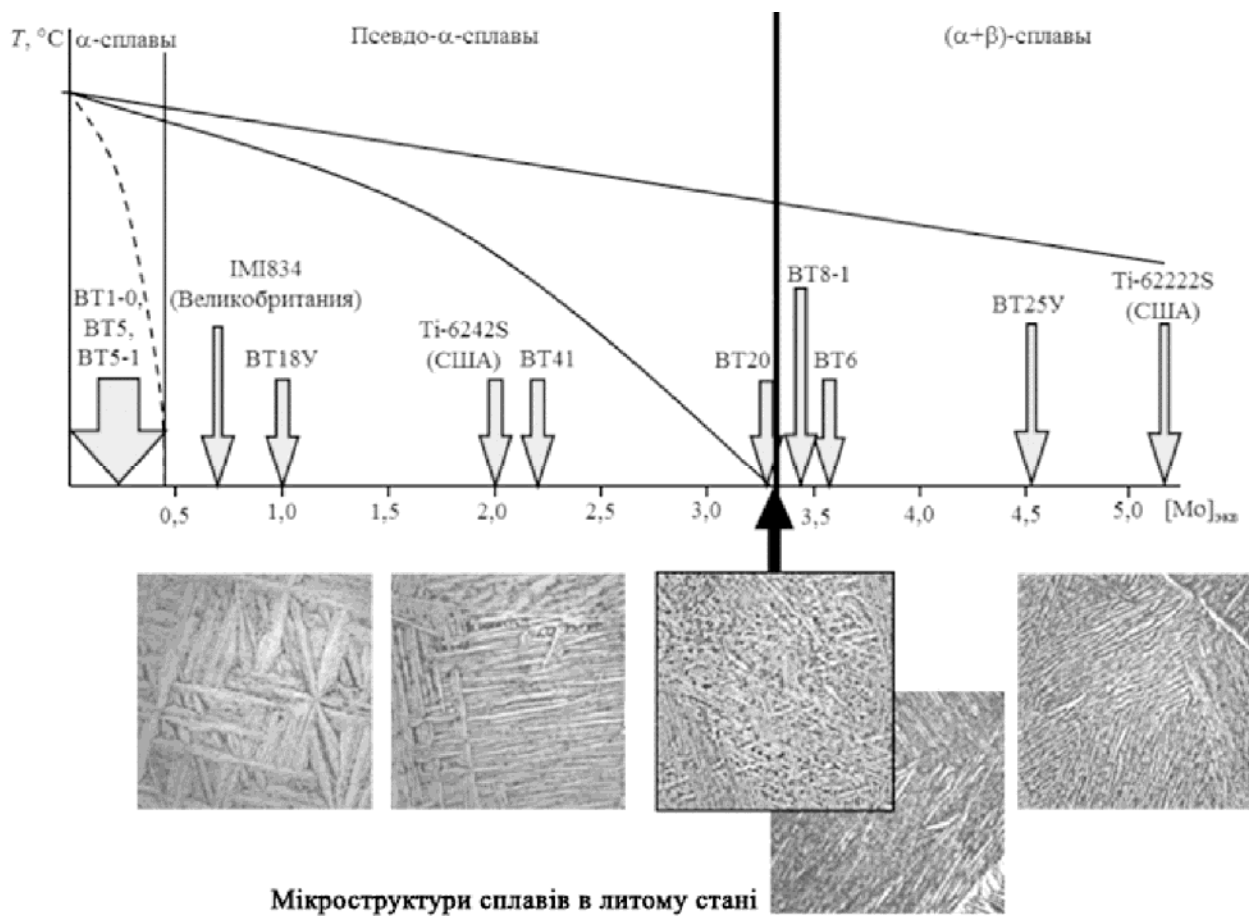
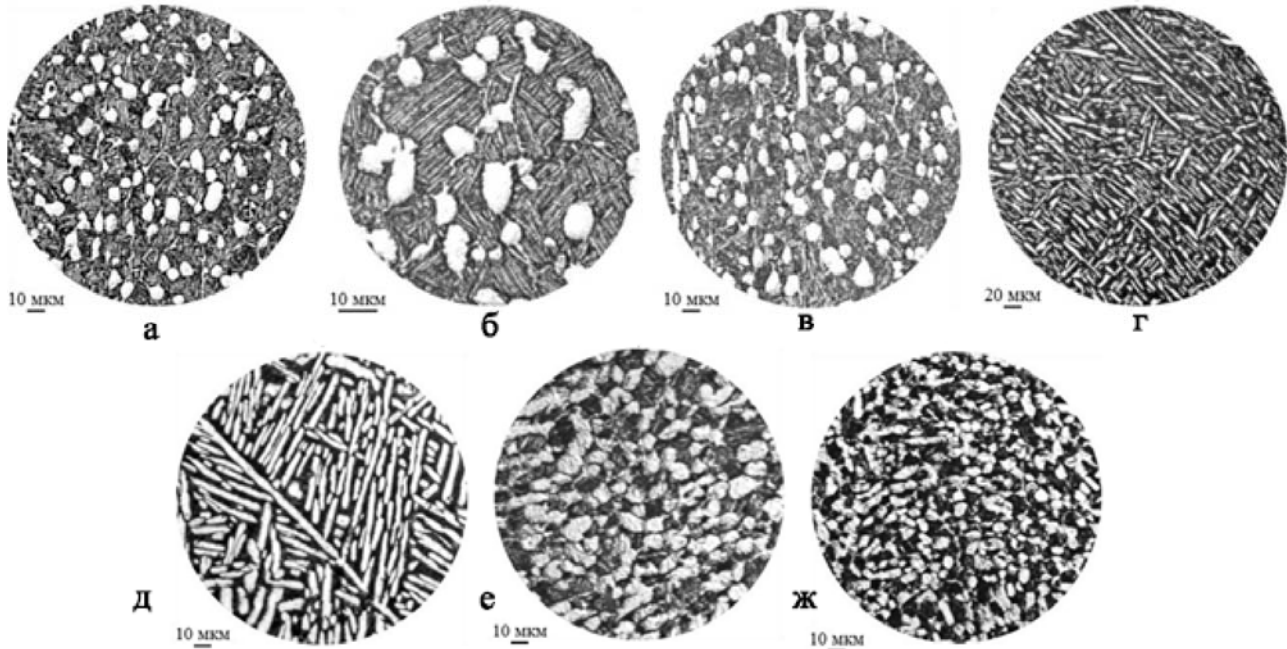


Рисунок 1.18– Рівень легування псевдо- α - і ($\alpha+\beta$)-титанових сплавів, наведений по змісту до молібденового еквівалента

Мікроструктура виготовлених по різних технологічних схемах кувань із дослідженого сплаву після подвійного відпалу в порівнянні з типовими

структурами жароміцних $(\alpha+\beta)$ -титанових сплавів ВТ8-1 і ВТ25У у відпаленому стані наведена на рис. 1.19.



а, б - після деформації в $(\alpha+\beta)$ -області (поперечний напрямок волокна); в - після деформації в $(\alpha+\beta)$ -області (поздовжній напрямок волокна); г, д - після деформації в β -області (поперечний напрямок волокна); е - типова структура штампування зі сплаву ВТ8-1; ж - типова структура штампування зі сплаву ВТ25В

Рисунок 1.19 - Мікроструктури титанових сплавів, отримані методом оптичної мікроскопії

Мікроструктура поковки із псевдо α -сплаву після деформації в $(\alpha+\beta)$ -області й подвійного відпалу за ступенем дисперсності складових (глобулей первинної α -фази, пластинок вторинної α -фази) займає проміжне положення між $(\alpha+\beta)$ -титановими сплавами ВТ8-1 і ВТ25В, що обумовлене обраною композицією сплаву.

Мікроструктури досліджуваних поковок, отримані за допомогою растрового електронного мікроскопа, наведені на рис. 1.20.

Висока дисперсність вторинної (перетвореної) α -фази після подвійного відпалу сприяє збільшенню характеристик міцності матеріалу поковки із досліджуваного сплаву. Тривала міцність кувань із досвідченого сплаву після $(\alpha+\beta)$ -деформації й подвійного відпалу при 550°C наведена на рис. 1.21.

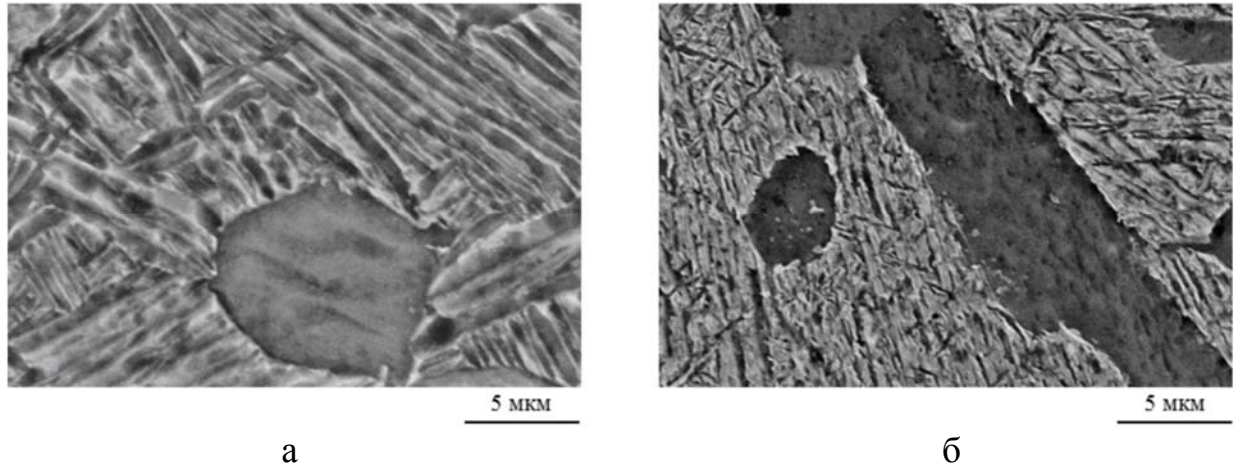


Рисунок 1.20 - Мікроструктура кування після деформації в $(\alpha+\beta)$ -області й подвійного відпалу (а) і деформації в β -області й подвійного відпалу (б)

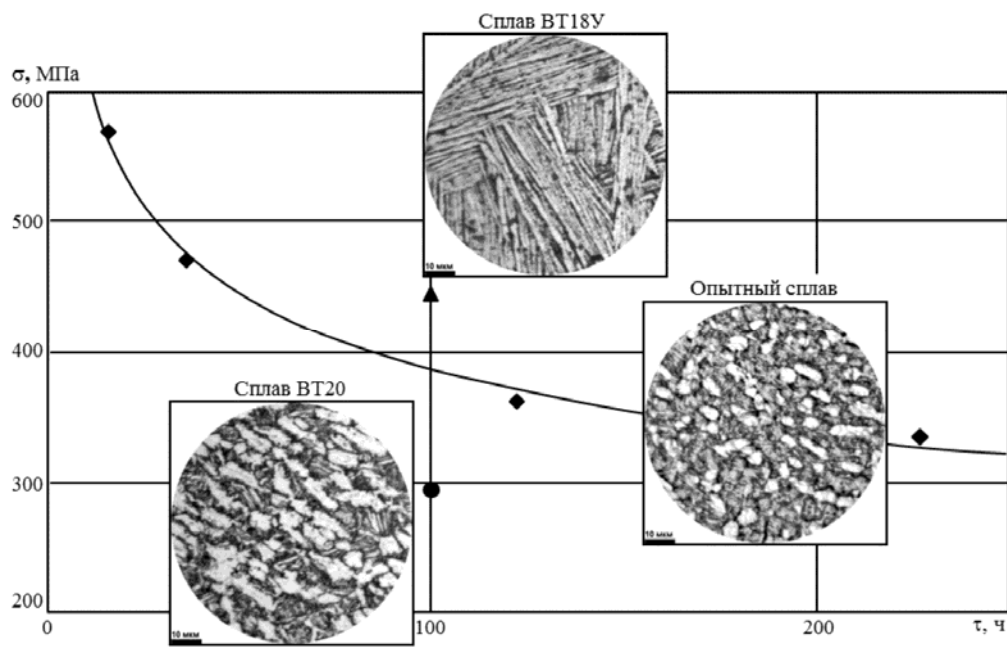


Рисунок 1.21 - Тривала міцність жароміцних псевдо- α -титанових сплавів після деформації в $(\alpha+\beta)$ -області й подвійного відпалу при температурі 550°C

Після β -деформації тривала міцність досліджуваного сплаву порівнянна з міцністю сплаву VT18У за тих самих умов випробувань.

Таким чином, одержувана структура матеріалу значно впливає на службові властивості титанових сплавів, що необхідно враховувати при розробці технології термічної обробки.

2 МАТЕРІАЛИ ТА МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕННЯ

2.1 Матеріали дослідження

Характеристика сплаву ВТ6. Призначення - для виготовлення великогабаритних зварних і збірних конструкцій літальних апаратів, для виготовлення балонів, що працюють під внутрішнім тиском в широкому інтервалі температур від 196 до 450 °С, і цілого ряду інших конструктивних елементів; клас по структурі $\alpha + \beta$. Сплави добре деформуються в гарячому стані. Сплав зварюється всіма традиційними видами зварки, у тому числі і дифузійною. При зварці міцність зварного шва практично дорівнює міцності основного матеріалу, що вигідно відрізняє цей сплав від ВТ22.

Хімічний склад та механічні властивості сплаву ВТ6 після термічної обробки наведено в табл.2.1 та 2.2 відповідно[11].

Таблиця 2.1 – Хімічний склад, % (ГОСТ 19807 - 91)

Ti	Al	V	Zr	Si	Fe	O	H	N	C	Інші добавки
86,45 – 90,9	5,3 – 6,8	3,5 – 5,3	до 0,3	до 0,1	до 0,6	до 0,2	до 0,015	до 0,05	до 0,1	0,3

Таблиця 2.2 – Механічні властивості

Стан постачання	Термічна обробка	σ_{100}^{450} , МПа	$\sigma_{0,2/500}$, МПа	δ , %	КСУ, кДж/м ²
пруток	Ізотермічний відпал: нагрів до 800-875°С, охолодження з піччю до 550°С, витримка 2 год ,	570	220	8	392

	охолодження на повітрі				
--	------------------------	--	--	--	--

Характеристика сплаву ВТ8. Призначення - застосовується в деталях ГТД (дисках, лопатках компресора низького тиску, деталях кріплення вентилятора). Максимальна робоча температура до 480°C. Титановий сплав з високою корозійною стійкістю. Сплав ВТ8 забезпечує вищі жароміцні властивості в порівнянні із сплавом ВТ6 за рахунок високого вмісту алюмінію і легуванням кремнію. Сплав ВТ8 (і ВТ8-1 і ВТ8-1М) перевершує сплави ВТ3-1 і ВТ9 по термічній стабільності, пластичності, технологічності і характеристикам тріщиностійкості. Подвійний і ізотермічний відпал забезпечує оптимальне поєднання властивостей; вміст β - фази в сплаві, що відпалює, приблизно 10%. Сплав термічно зміцнюється. Сплав задовільно деформується в гарячому стані. Технологічні властивості при обробці тиском гірші, ніж в сплаву ВТ6. Зварка сплаву ВТ8 не рекомендується.

Хімічний склад та механічні властивості сплаву ВТ8 після термічної обробки наведено в табл. 2.3 та 2.4 відповідно.

Таблиця 2.3 – Хімічний склад, % (ГОСТ 19807 - 91)

Ti	Al	Mo	Zr	Si	Fe	O	H	N	C	Інші добавки
87,55- 90,9	5,8-7	2,8- 3,8	до 0,5	0,2- 0,4	до 0,3	до 0,15	до 0,015	до 0,05	до 0,1	0,3

Характеристика сплаву ВТ3-1. Призначення - ковані і штамповані деталі, що працюють при температурі до 400°C (6000 ч) і до 450°C (2000 ч); клас по структур $\alpha+\beta$. Сплав ВТ3-1 системи Ti-Al-Mo-Cr-Fe-S і відноситься до високоміцних ($\alpha+\beta$) -сплавам мартенситного класу. Алюміній в сплаві ВТ3-1 зміцнює α і β -фази і зменшує щільність сплаву. β -стабілізатори хром, залізо і

Таблиця 2.6 – Механічні властивості

Стан постачання	Термічна обробка	σ_{100}^{450} , МПа	$\sigma_{0,2/500}$, МПа	δ , %	КСУ, кДж/м ²
пруток	Ізотермічний відпал: нагрів до 870-920°C, витримка, охолодження з піччю до 550-600°C, витримка 2-5 год, охолодження на повітрі	510	195	7	294

2.2 Методи дослідження

2.2.1 Метод випробування твердості за Брінелем

При стандартному вимірюванні твердості за Брінелем (ГОСТ 9012 – 59 «Метод измерения твёрдости по Бринелю») використовували прилад типу ТШ-2, що широко використовується в лабораторній практиці.

2.2.2 Випробування на розтяг

Випробування на розтяг при кімнатних температурах проводиться за ГОСТ 1497 – 73 «Методыиспытания на растяжение», а при підвищених температурах відповідно ГОСТ 9651 – 73 «Методыиспытания на растяжение при повышенных температурах».

Випробування на розтяг дало змогу за результатами одного випробування оцінити декілька важливих характеристик матеріалу, які є критеріями його якості та необхідні для конструкторських розрахунків.

2.2.3 Випробування на ударну в'язкість

Випробування для визначення властивостей матеріалу в умовах динамічного навантаження проводиться відповідно ГОСТ 9454-78 «Методыиспытаний на ударный изгиб при пониженных, комнатной и повышенных температурах». Використовується стандартний зразок 8 типу довжиною $L = 55$ мм, висотою $H = 10$ мм, висотою робочого перетину $H_1 = 5$ мм та шириною $B = 10$ мм.

2.2.4 Випробування на повзучість

Основною метою стандартних випробувань на повзучість при розтягуванні (ГОСТ 3248-81 «Метод испытания на ползучесть») є визначення границі повзучості матеріалу σ при заданій температурі T , коли рівень деформації δ досягається за період часу τ ($\sigma_{\delta/\tau}^T$). Випробування проводяться на плоских зразках з головками з розрахунковою довжиною 100 мм, а загальною довжиною 200 мм.

2.2.5 Випробування на довготривалу міцність

В результаті випробування на довготривалу міцність (ГОСТ 10145-81 «Метод испытания на длительную прочность») визначають границю довготривалої міцності або довговічність матеріалу.

Методика проведення випробування близька до методики випробування на повзучість. Використовуються ті ж схеми навантаження (розтяг) і ті ж випробувальні машини.

2.2.6 Дослідження мікроструктури

Мікроструктуру досліджували з допомогою оптичного мікроскопу CarlZeiss. З його допомогою було визначення особливості структури двофазних титанових сплавів. Для дослідження зразки шліфували, полірували і піддавали щавленню в спеціально підготовлених розчинах кислот.

3 ОЦІНКА ВПЛИВУ ХІМІЧНОГО СКЛАДУ ТА ТЕРМІЧНОЇ ОБРОБКИ НА СТРУКТУРУ ТА ВЛАСТИВОСТІ

3.1 Розгляд структури та властивостей після різних варіантів термічної обробки (BT3-1 після гарту та старіння та двоступеневого відпалу)

Для правильної оцінки умов утворення тієї або іншої структури, а також установлення впливу її на властивості, було проведено спеціальне дослідження, присвячене одержанню різної структури й виявленню впливу її на комплекс основних властивостей сплавів: механічні властивості при 20°C, термічну стабільність після витримки при робочих температурах, тривалу міцність, повзучість і витривалість сплаву BT3-1.

Відомі два режими термообробки, що позитивно впливають на механічні властивості характеристики надійності двофазних титанових сплавів. Перший - двоступінчастий відпал - призначений для створення мікроструктур, що полягають із глобулярних часток α -фази, рівномірно розподілених у матриці з α -пластин, розділених β -прошарками, і зменшення кількості α_2 -фази, що окрихчує (далі цей режим будемо називати спеціальним, а одержувану з його допомогою мікроструктуру — глобулярно-пластинчастою). Другий режим - термоциклічна обробка (ТЦО), при якій проводять багаторазове нагрівання й охолодження металу без ізотермічних витримок в інтервалі температур, частково або, що повністю включає в себе поліморфне перетворення. При такій обробці утворюється полігональна структура.

Відпал титанових сплавів проводять для вирівнювання структури й фазового складу, зниження міцності й підвищення пластичності, а також усунення внутрішніх напружень, що виникли в результаті обробки тиском, зварювання або механічної обробки. Відпал ($\alpha+\beta$)-сплавів поєднує елементи

відпалу першого роду, заснованого на рекристалізаційних процесах, і відпалу другого роду, заснованого на фазовій перекристалізації.

За технологією проведення відпалу розрізняють простий, ізотермічний і подвійний відпал. У призначенні режимів відпалу промислових титанових сплавів значну роль відіграють такі фактори, як: — чутливість до швидкості охолодження; — чутливість до перегріву; — температура рекристалізації; — температура поліморфного перетворення; — окислення при нагріванні на повітрі [11]. VT3-1 досить чутливий до швидкості охолодження, і тому швидкість їх охолодження з температури відпалу регламентується. Із цією метою застосовують відпал з наступним охолодженням з піччю з регламентованою швидкістю до певної температури, а потім на повітрі або ступінчастий відпал, який може бути подвійним або ізотермічним.

Подвійний відпал складається з нагрівання до температур вище температури рекристалізації, витримки, охолодження на повітрі й наступного нагрівання при певній температурі, витримки й охолодження на повітрі. Ізотермічний відпал включає нагрівання до температур вище температури рекристалізації, витримки, потім переносу в піч із певною температурою, витримки й охолодження на повітрі.

Подвійний відпал дозволяє підвищити міцнісні властивості сплаву на 80–100 МПа в порівнянні з ізотермічним відпалом при незначному зниженні пластичності. Також трохи підвищуються жароміцні властивості при збереженні термічної стабільності [11]. У всіх випадках, коли застосовується відпал з наступним охолодженням сплаву в печі, температура, при якій проводиться охолодження на повітрі, повинна забезпечити стабільність α - і β -складових не тільки при охолодженні при кімнатній температурі, але й при його наступній експлуатації в інтервалі робочих температур [11]. Тому режими відпалу для титанових сплавів вибирають не тільки з погляду одержання оптимального співвідношення характеристик міцності й пластичності, але й з погляду незмінності фізико-механічних властивостей у процесі експлуатації.

Так, для всіх титанових сплавів з $(\alpha+\beta)$ - структурою нагрівання при температурах вище повного поліморфного перетворення небажаний у зв'язку з різким ростом зерна, зміною будови внутрізеренної структури й погіршенням механічних властивостей. При цьому структуру й механічні властивості, як правило, не вдається поліпшити наступної термічною обробкою. Крім того, при високих температурах відпалу утворюється значний окислений шар. Температури початку й кінця рекристалізації для титанового сплаву ВТЗ-1 коливається в інтервалі 880-950 °С, а температура повного поліморфного перетворення 960-1000 °С. Коливання цих температур пов'язано насамперед з кількістю легуючих елементів у сплаві.

Режими відпалу для титанових сплавів вибирають не тільки з погляду одержання оптимального співвідношення характеристик міцності й пластичності, але й з погляду незмінності фізико-механічних властивостей у процесі експлуатації [18].

Досліджували вплив режимів відпалу зразків зі сплаву ВТЗ-1 (рис. 3.1) на механічні характеристики зразків, хімічний склад яких змінювався в дозволених межах (табл. 3.1).

Таблиця 3.1 Хімічний склад різних зразків ВТЗ-1

Легувальні елементи	Ti, %	Cr, %	Mo, %	Fe, %	Si, %	Al, %	інші, %
ГОСТ 19807-91	85,95-91,05	0,8-2	2-3	0,2-0,7	0,15-0,4	5,5-7	не більш 0,5
За даними вхідного контролю							
Зразок №1	89,02	1,49	2,23	0,40	0,39	6,47	-
Зразок №2	89,12	1,47	2,10	0,44	0,38	6,49	-
Зразок №3	89,23	1,88	2,51	0,37	0,33	5,68	-
Зразок №4	88,44	1,92	2,79	0,63	0,20	6,02	-

Зразки № 1 були піддані відпалу при температурі 830 °С із охолодженням на повітрі. У результаті випробування отримані характеристики міцності, що

зіставляються з вимогами підприємства (табл. 3.2). Структура сплаву наведена на рис. 3.1.

Після такого відпалу сплав відрізняється достатньою міцністю і пластичністю, структура сплаву відповідає вимогам підприємства.

Таблиця 3.2 - Механічні властивості зразка №1 після отжига

	σ_b , МПа	δ , %	ψ , %	КСУ, Дж/см ²	Діаметр відбитка по Бринелю, мм	Твердість по Бринелю, НВ, МПа
Зразок	1010	14,8	32,2	3,4	3,2	3630
№1	1012	15,0	32,6	3,3	3,2	3630
ОСТ 190000-70	1000-1200	8	20	3	3,2-3,7	3630-2690

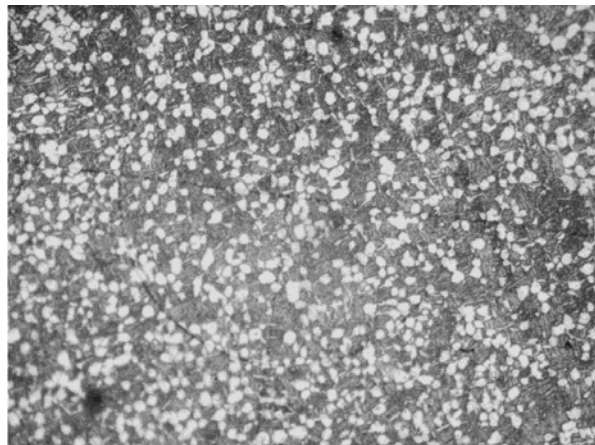


Рисунок 3.1 - Мікроструктура зразка № 1 після відпалу (x450)

Але при цьому при експлуатації при температурах вище 200 °С спостерігається значне знеміцнення (рис. 3.2). У зв'язку з тим, що деталь експлуатується протягом тривалого часу при температурі 300-450 °С, даний відпал не рекомендується використовувати, що як не забезпечує термічної стабільності структури [10].

Зразки № 2, № 3, № 4 минулого піддані ізотермічному відпалу. Температура першого ступеню ізотермічного відпалу визначалася виходячи з

наступних вимог. Нижня межа ізотермічного відпалу повинна бути вище температури рекристалізації титанового сплаву. Т. к. температури початку й кінця рекристалізації для титанового сплаву ВТЗ-1 різних хімічних складів може коливатися в інтервалі 880–950 °С, то температура нижньої межі ізотермічного відпалу приймалась рівною $T_{\text{н}}^{\text{із.о.}} = 900$ °С.

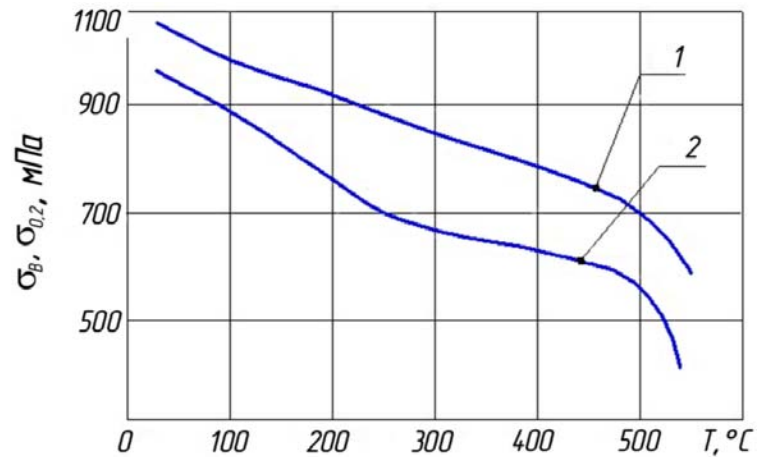


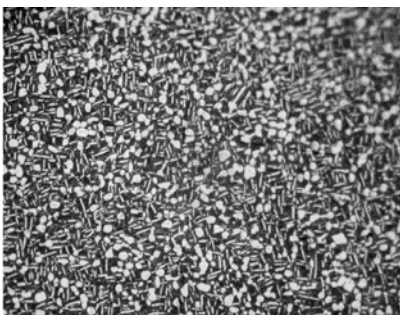
Рисунок 3.2 - Зміна механічних характеристик сплаву ВТЗ-1 у відпаленому стані залежно від температури: 1 — границя міцності $\sigma_{\text{в}}$, 2 — границя текучості $\sigma_{0,2}$

Верхня границя температури ізотермічного відпалу повинна бути нижче температури поліморфного перетворення на 30 °С. При цьому дана температура не повинна перевищувати 950 °С, у зв'язку з тим, що при перегріванні понад цю температуру спостерігається швидкий і значний ріст зерна, що викликає різке зниження характеристик міцності й пластичності. Витримка при температурі відпалу виходячи з маси й конфігурації деталі становить 1 год 20 хв. За цей час перетин напівфабрикату повністю прогріється й відбудуться необхідні перетворення. Потім відбувалось охолодження з піччю до температури 600 ± 10 °С, призначене для забезпечення достатньої стабільності α - і β -складових і витримкою при цій температурі протягом 2 год (± 5 хв). Механічні властивості, отримані в результаті відпалу, наведені в табл. 3.3 [3].

Таблиця 3.3 Механічні властивості зразків №2-4 після відпалу

	σ_B , МПа	δ , %	ψ , %	КСУ, Дж/см	Діаметр відбитка по Бринелю, мм	Твердість по Бринелю, НВ, МПа
Зразок №2	1133	18,8	42,3	3,2	3,35	3310
	1104	18,8	40,7	3,0	3,35	3310
Зразок №3	1250	6,8	18,3	2,7	3,15	3750
	1265	6,6	18,7	2,6	3,15	3750
Зразок №4	1260	6,0	17,6	2,5	3,15	3750
	1275	6,2	17,4	2,5	3,15	3750
ОСТ 190000-70	1000-1200	8	20	3	3,2-3,7	3630-2690

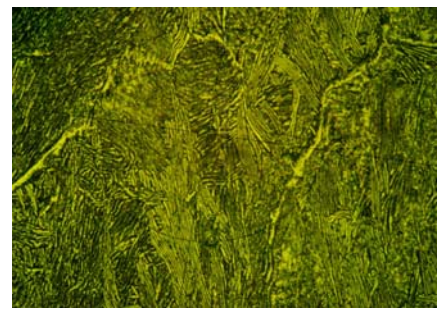
Показники механічних випробувань за зразком № 2 відповідають заводському стандарту, а зразків № 3 і 4 — не відповідають. Для оцінки причин браку були проведені дослідження мікроструктури зразків (рис. 3.3). У результаті було виявлено, що в мікроструктурі зразків № 3 і № 4 спостерігається підвищений вміст β -фази, що також не відповідає вимогам заводського стандарту.



а



б



в

Рисунок 3.3 - Мікроструктури зразків № 2 (а), № 3 (б), № 4 (в) після ізотермічного відпалу

Аналіз хімічного складу зразків плавок № 2 і 3 показав підвищене в порівнянні з виправленнями № 1 і 2 зміст хрому й молібдену, що приводить до підвищення міцності й зниженню пластичності за рахунок інтерметаллідного з'єднання $TiCr_2$ [11].

Для усунення $TiCr_2$ необхідно прискорене охолодження. Оскільки при подвійному відпалі охолодження до кімнатної температури відбувається на повітрі, оцінювалася можливість застосування даного виду термічної обробки для усунення виниклого браку.

Режим термічної обробки наведений на рис. 3.4. У результаті зміни термічної обробки отримані дані, наведені в табл. 3.4.



Рисунок 3.4 - Режим подвійного відпалу зразків зі сплаву ВТЗ-1

Була досліджена мікроструктура зразків у поверхневому шарі після зламу (рис. 3.5). Отримані після повторного нагрівання показники зразків № 3 і № 4 відповідають заводському стандарту, що підтверджує стабільність механічних властивостей після зміни режиму термічної обробки.

Таблиця 3.4 Механічні властивості зразків плавок № 3 і № 4 після повторного відпалу

	σ_b , МПа	δ , %	ψ , %	КСУ, Дж/см ²	Діаметр відбитка по Бринелю, мм	Гвердість по Бринелю, НВ, МПа
Зразок №3	1100	16,6	34,0	3,3	3,25	3520
	1110	16,0	34,4	3,2	3,25	3520
Зразок №4	1111	16,2	36,2	3,3	3,25	3520
	1115	16,4	36,0	3,4	3,25	3520
ОСТ 190000-70	1000-1200	<8	<20	<3	3,2-3,7	3630-2690



а



б

а — зразок № 3, б — зразок № 4

Рисунок 3.5 - Мікроструктури зразків після повторного відпалу

Таким чином, збільшення вмісту хрому робить β -фазу більш міцної, але менш пластичної, чим β -фаза, стабілізована тільки Мо. Підвищення вмісту молібдену утрудняє утворення хімічної сполуки $TiCr_2$, що сприяє підвищенню крихкості сплаву. Підвищена кількість Cr і Мо у цілому, збільшує кількість β -фази, що впливає на міцнісні характеристики. При досягненні вмісту Cr і Мо верхніх границь, припустимих ОСТ [12], необхідно проводити подвійний відпал, що сприяє зменшенню кількості β -фази й відновленню пластичності.

На рисунку 3.6 наведені механічні властивості при 20° С зразків з різною мікроструктурою після ізотермічного відпалу і зміцнювальної термічної обробки, де I позначає рівновісну $\alpha+\beta$ структуру (I тип мікроструктури), а III-грубогольчасту з наявністю крупних зерен первинної β фази (III тип мікроструктури).

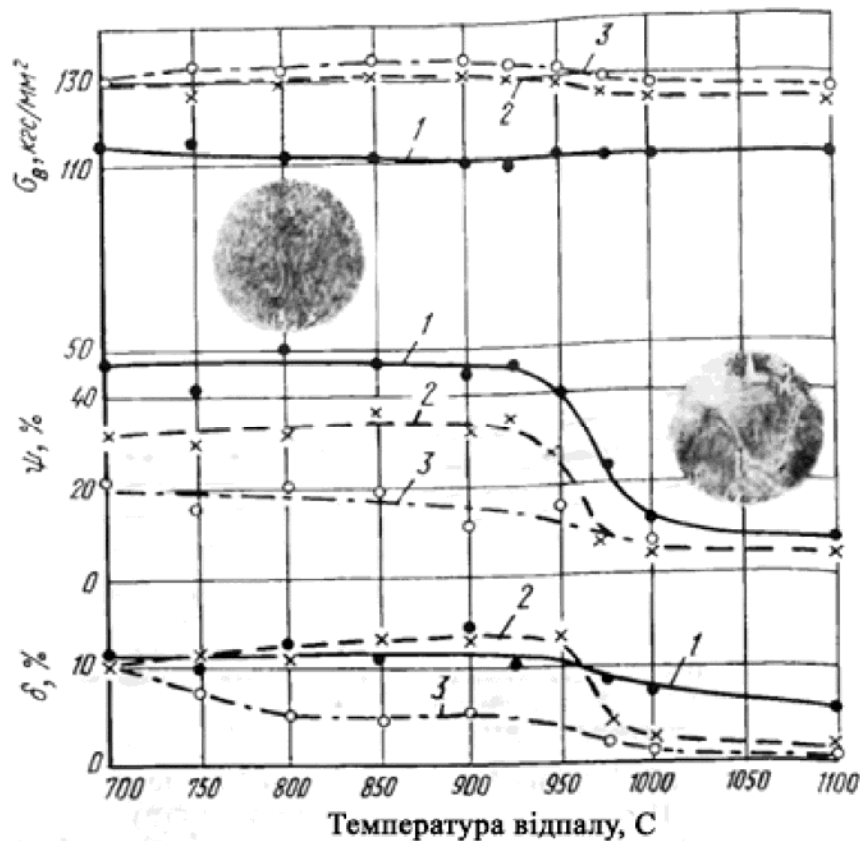


Рівновісна $\alpha+\beta$ -структура (I тип) забезпечує більш високі пластичні властивості, особливо відносно звуження при трохи меншому значенні ударної в'язкості, ніж грубогольчаста структура (III тип).

Сплав з рівновісною структурою має більш високі пластичні властивості після додаткової витримки готових зразків протягом 100, 500 і 1000 год при температурах 400 та 450° С, ніж із грубоголчастою структурою (рис. 3.6,б).

Вплив вихідної структури особливо помітно позначається на пластичних властивостях сплаву ВТЗ-1, після зміцнювальної термічної обробки. Зокрема, відносне звуження зразків із грубогольчастою структурою в 2-3 рази нижче, ніж з рівновісною $\alpha + \beta$ -структурою.

На рисунку 3.7 показана зміна структури під дією нагрівання без наступної деформації і її вплив на механічні властивості зміцненого сплаву ВТЗ-1. Заготовки під зразки нагрівали при температурах від 700 до 1100°C протягом 1 год і охолоджували на повітрі. Потім їх гартували з температури 840° С у воді й піддавали старінню при 550° С протягом 5 год з охолодженням на повітрі.



1 — відпал + 840° С, 1 год., вода; 2 - те ж + 550° С, 5 год. повітря;
3 — те ж, +450° С, 100 год

Рисунок 3.7 - Вплив температури попереднього нагрівання на структуру й механічні властивості сплаву ВТЗ-1, підданого гартуванню й старінню

Попереднє нагрівання при температурах до 925°C перед зміцнювальною термічною обробкою зберігає двофазну рівновісну структуру, що забезпечує гарну комбінацію міцності й пластичності ($\sigma_{\text{в}}=1300\text{МПа}$, $\delta=12\%$, $\psi=30\%$). Подальше підвищення температури (особливо вище границі $\alpha+\beta\rightarrow\beta$ перетворення) викликає зміну структури й інтенсивне зростання зерен первинної β фази.

Це приводить до різкого падіння пластичності при деякому зниженні міцності ($\sigma_{\text{в}}=120\text{ кгс/мм}^2$, $\delta=2-5\%$, $\psi=5-10\%$). Отже, рівновісна $\alpha+\beta$ -структура поряд зі зміцненням забезпечує високі пластичні властивості, а грубоголчаста — низькі пластичні властивості.

Зміна тривалої міцності (до 100 ч) при 450°C залежно від структури й термічної обробки (ізотермічний відпал або загартування з наступним старінням) наведено на рис. 3.8.



_____ - ізотермічний відпал; - - - - - гартування + старіння

Рисунок 3.8 - Зміна тривалої міцності сплаву ВТЗ-1 залежно від типу структури й термічної обробки

Тривала міцність найбільша у сплаву зі структурою II типу, найменша у сплаву зі структурою I типу. Загальний рівень тривалої міцності після зміцнювального режиму термічної обробки вище в порівнянні з ізотермічним

відпалом за інших рівних умов (однотипність структури, температура й час випробування).

Перегрів металу без наступної деформації також знижує тривалу міцність. Наприклад, границя тривалої міцності за 100 год при 450° С зразків, попередньо нагрітих при температурі 1000° С без наступної деформації, становить 52 кгс/мм², а після деформації зі ступенем 70% — він досягає 60 кгс/мм².

Виявлено значний вплив вихідної структури й режиму термічної обробки на витривалість сплаву ВТЗ-1 (табл. 3.5).

Таблиця 3.5 - Границі витривалості зразків сплаву ВТЗ-1 з різною структурою (куті прутки діаметром 14-35 мм)

Тип мікро-структури	20°С		450°С	
	гладкі	с надрізом	гладкі	с надрізом
I	53	45	46	34
	62	48		
II	50	36	42	31
	59	43		
III	45	32	38	26
	53	40		

Якщо зразки із двофазною рівновісною мікроструктурою після ізотермічного відпалу мають границя витривалості (на базі 10⁷ циклів) 53 кгс/мм² гладкі й 45 кгс/мм² з надрізом, то після зміцнення ці значення підвищуються до 62 і 48 кгс/мм² відповідно. У той же час на зразках зі структурою корзинового плетива й грубоголчастою отримані більш низькі значення границі витривалості, так, для гладких зразків відповідно: 50 і 45 кгс/мм² після ізотермічного відпалу і 59 і 53 кгс/мм² після зміцнювального режиму термічної обробки.

Практика роботи зі сплавом ВТЗ-1 показала, що не завжди вдається одержати однорідну структуру бажаного типу, особливо у великих куваннях і

штампуваннях. При недостатній потужності ковальсько-пресового встаткування заготовки перед деформацією іноді нагрівають при більш високих температурах, чим передбачене, або в процесі деформації роблять додаткові не передбачені підігриви з невеликою наступною деформацією. Тому у зв'язку із призначенням матеріалу й умовами роботи деталей слід рекомендувати й режими гарячої деформації, що забезпечують відповідний тип структури, які необхідно строго дотримувати. Зокрема, для лопаток, що випробовують вібраційні навантаження, необхідна двофазна рівновісна $\alpha + \beta$ -структура, яка показала більш високі значення пластичності, границі витривалості й найменшу вібраційну чутливість до надрізу.

При цьому слід мати й виду деяке зниження тривалої міцності. Така структура може бути отримана при деформації у двофазній $\alpha + \beta$ -області (на 30-50°C нижче температури $\alpha + \beta \rightarrow \beta$ -перетворення). Для деталей, що довгостроково працюють в умовах розтягувальних напружень і підвищеній температурі (диски й інші деталі), потрібна структура корзинового плетива, що забезпечує найбільш високі значення жароміцності, опір повзучості при гарній комбінації пластичності, витривалості й термічної стабільності. Одержати таку структуру можна при нагріванні заготовок в β -області з наступною деформацією на 50-70% за останнє нагрівання й закінченням деформації в $\alpha + \beta$ -області (не нижче 850°C).

Грубоголчаста структура забезпечує більш низькі пластичні властивості, особливо після застосування зміцнювального режиму термічної обробки. Однак навіть при грубоголчастій структурі пластичні властивості сплаву VT3-1 значно вище, чим у сплавів VT8 та VT9.

Отже, щоб забезпечити надійну роботу лопаток компресора з більшим ресурсом, потрібно прагнути одержати двофазну рівновісну $\alpha + \beta$ -структуру й використовувати додаткове зміцнення термічною або термомеханічною обробкою.

Застосування зміцнювальної термічної обробки (загартування й старіння) дозволяє при будь-якій структурі підвищити в порівнянні з ізотермічним віджитому межу міцності сплаву VT3-1 при 20° С, на 20-30%, межа тривалої міцності при 400° С на 15-20%, границя витривалості на базі 10⁷ циклів на 15-20% зі збереженням пластичності на достатньому рівні при структурі I типу й деякому зниженні пластичності при структурі II і III типів.

Зокрема, при визначенні витривалості при 20° С гладких зразків, вирізаних з лопаток з мікроструктурою I і II типів, отримані наступні границі втоми: 56 і 52 кгс/мм² на базі 2·10⁷ циклів відповідно.

Результати дослідження прутків з мікроструктурою II і III типів ряду промислових плавів показали, що границя тривалої міцності зразків зі структурою II типу при 450°С становить 65 кгс/мм² (після ізотермічного відпалу) і 70 кгс/мм² (після зміцнювального режиму), а зі структурою III типу 60 і 65 кгс/мм² відповідно.

Що стосується дисків, то при гарному проробленні заготовок під штампування й здійсненні штампування з достатнім ступенем деформації можна одержати досить однорідну структуру з високими механічними властивостями, як при деформації у двофазній $\alpha+\beta$, так і однофазної β -області.

3.2 Розгляд структури та властивостей двофазних титанових сплавів з різним рівнем легування

Загальновідомий вплив структури на механічні властивості й характеристики працездатності титанових сплавів. В зв'язку з цим велике значення набуває встановлення оптимального режиму термообробки, що задовольняє вимогам роботи елементів конструкції в умовах безпечної пошкоджуваності.

Механічні властивості повинні відповідати вимогам ОСТ1 90197 «Кування дисків і валів кути й штамповані з титанових сплавів. Загальні технічні вимоги».

Гарантовані значення характеристик міцності при кімнатній температурі відповідно до технічних умов на поставку напівфабрикатів наведені в табл. 3.6.

Таблиця 3.6 - Гарантовані значення характеристик міцності при кімнатній температурі

Сплав	Маса кування, кг	σ_b , МПа	δ	ψ	КСУ	КСТ
			%		Дж/див ²	
BT8-1	До 50	980	10	25	35	13
	Понад 100 до 200	960	9	25	35	13
	Понад 200 до 500	940	8	22	35	13
BT6	До 100	930	10	25	40	15
	Понад 100 до 200	900	9	25	40	15
BT9	До 50	1030	8	22	30	8

При виготовленні великогабаритних штамповок дисків зі сплаву BT6 характеристики міцності матеріалу мають значну дисперсію, причому в центральних зонах штампувань міцність матеріалу може знижуватися на 90-100 МПа незалежно від режиму термічної обробки. На більшій штамповці диска вентилятора зі сплаву BT8-1 у відпаленому стані забезпечуються стабільно високі характеристики міцності, пластичності, ударній в'язкості при збереженні досить високих значень питомої роботи руйнування зразків із тріщиною.

Порівняльні характеристики втомної міцності й тріщиностійкості штампувань дисків зі сплавів BT6 і BT8-1 наведені в табл. 3.7 і 3.8.

Матеріал штамповокдисків зі сплаву BT8-1 має більшу малоциклову утому в порівнянні зі сплавом BT6, що пояснюється більшою міцністю сплаву BT8-1.

Таблиця 3.7 - Характеристики втомної міцності штампувань дисків зі сплавів ВТ6 і ВТ8-1

Матеріал штампування диска	МЦУ: σ_{\max} , МПа (при N=104 цикл),		МнЦУ: σ_{\max} , МПа (при N=2 107 цикл),	
	зразків		зразків	
	гладких	з надрізом ($\alpha\sigma=3,35$)	гладких	з надрізом ($\alpha\sigma=2,33$)
ВТ8-1	1000	490	480	220
ВТ6	900	450	480	220

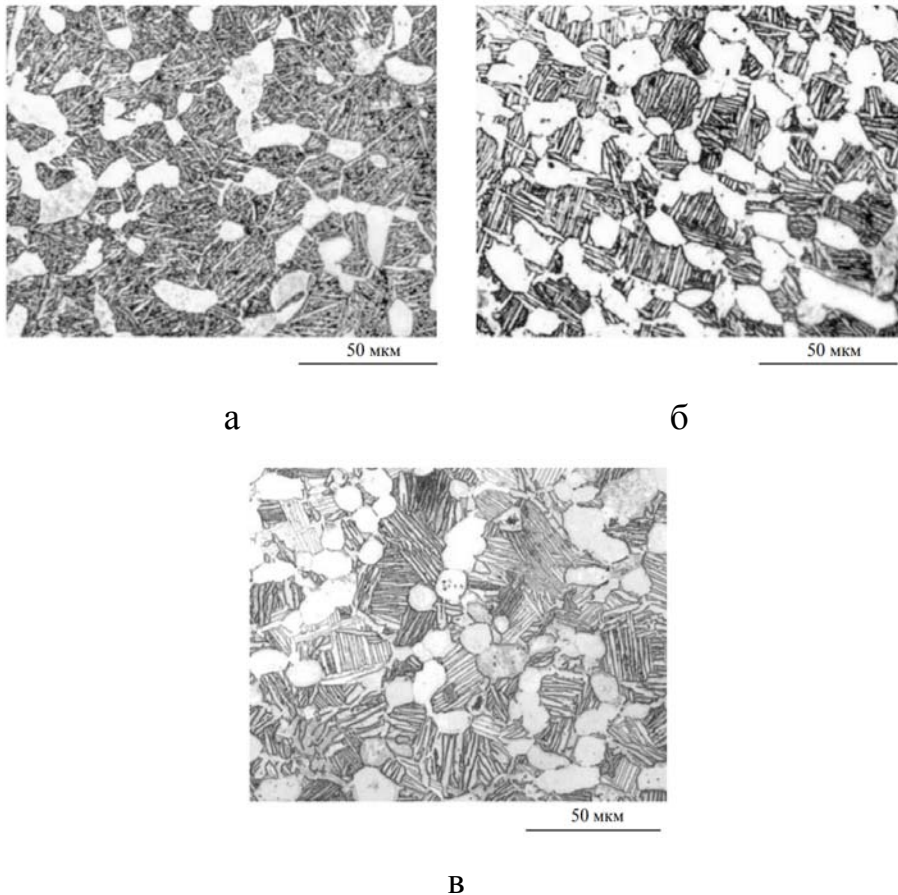
Таблиця 3.8 - Характеристики тріщиностійкості штампувань дисків (відпалений стан) зі сплавів ВТ6 і ВТ8-1

Матеріал штамповки диска	K_{Ic} , МПа $\sqrt{м}$ (радіальне/тангенціальне напрямок вирізки зразка)	СРТУ: мм/цикл, при розмаху коефіцієнта інтенсивності наруження ΔK , МПа $\sqrt{м}$		
		21	31	41
ВТ8-1	85/98	$0,17 \cdot 10^6$	$0,46 \cdot 10^6$	$2,4 \cdot 10^6$
ВТ6	77/93	$0,15 \cdot 10^6$	$0,82 \cdot 10^6$	-

Жароміцний титановий сплав ВТ8-1 у порівнянні зі сплавом ВТ6 має високий рівень в'язкості руйнування й тріщиностійкістю, а також забезпечує стабільний ріст тріщини при більших значеннях розмаху коефіцієнта інтенсивності напружень.

Типова мікроструктура штампувань дисків зі сплавів ВТ6 і ВТ8-1 наведена на рис. 3.9 і 3.10.

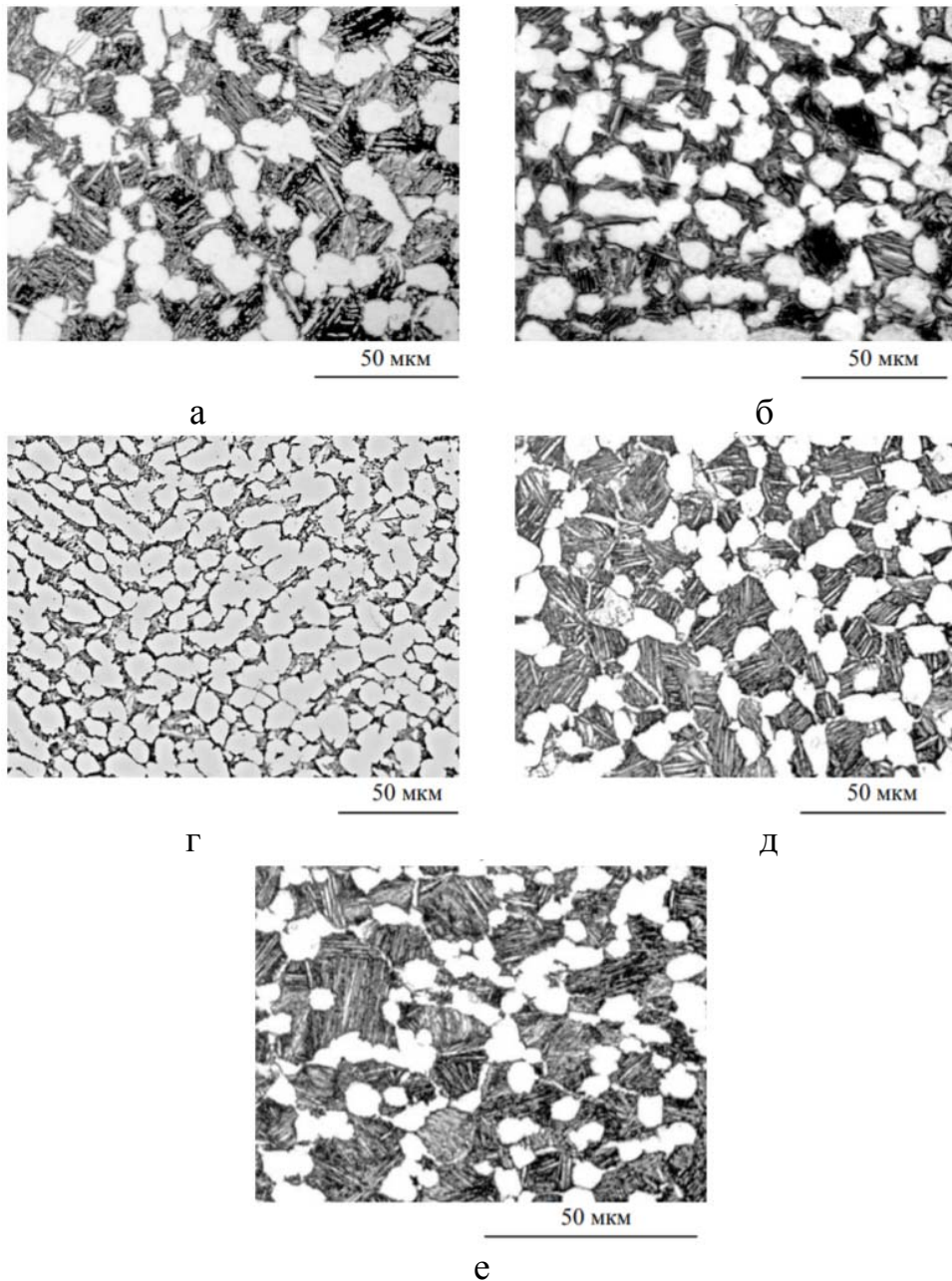
Для деформованих напівфабрикатів зі сплаву ВТ6 характерної є мікроструктура з більшими виділеннями первинної й вторинної α -фази. Після загартування у воді сплаву ВТ6 вдається зафіксувати мінімальна кількість первинної α -фази при максимальній дисперсності пластин вторинної α -фази (рис. 3.9, а), однак у центральній зоні великих штампувань дисків ефект від швидкого охолодження у воді значно знижується (рис. 3.9, б), що приводить до відмінності механічних властивостей у периферійних і центральних зонах.



а - периферійна зона; б - центральна зона; в - типова структура після відпалу з охолодженням на повітрі

Рисунок 3.9 - Мікроструктура штампувань дисків зі сплаву ВТ6 (велика штамповка після охолодження у воді з наступним відпалом)

Для великогабаритних штамповок дисків зі сплаву ВТ8-1 при охолодженні на повітрі морфологія виділення α -фази залежно від товщини перетину також може суттєво змінюватися (рис. 3.10). Однак навіть при несприятливій структурі матеріалу (рис. 3.10, в) характеристики міцності й ударна в'язкість при кімнатній температурі залишаються на високому рівні ($\sigma_b=1010$ МПа, $\delta=16\%$, $\psi=32\%$, $KCU=41$ Дж/див², $KCT=20$ Дж/див²).



а, б - типова на периферії й у центральній зоні; в - нетипова в центральній зоні після відпалу штампування при температурі $T_{\text{ПП}}-40^{\circ}\text{C}$ на першій ступені (штампування дисків КНД і КВД); г - типова для штампування диска КНД; д - типова для штампування робочого колеса при температурі відпалу $T_{\text{ПП}}-25^{\circ}\text{C}$

Рисунок 3.10 - Мікроструктура великих штампувань дисків зі сплаву ВТ8-1 після відпалу при температурах першого ступеню відпалу $T_{\text{ПП}}-(20-30)^{\circ}\text{C}$, охолодження на повітрі

Вплив товщини перетину на швидкість охолодження штампувань дисків з титанових сплавів представлено на (рис. 3.11) [19]. Вимірювання фактичних швидкостей охолодження штампування з максимальною товщиною перетину 80 мм із титанового сплаву ВТ8 при охолодженні на повітрі в умовах ВІАМ показали практично ідентичні результати.

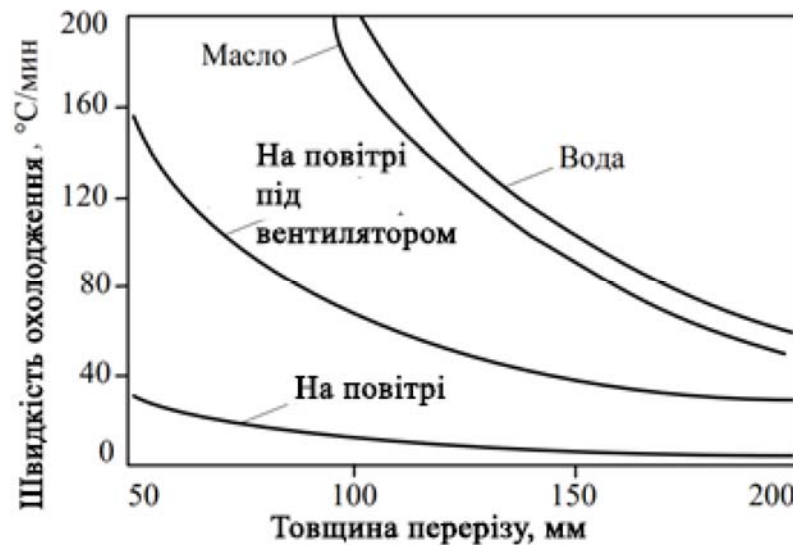


Рисунок 3.11 - Зміна фактичної швидкості охолодження жароміцних титанових сплавів залежно від величини перетину [2]

Для одержання регламентованої глобулярно- пластинчастої структури у великих напівфабрикатах зі сплаву ВТ8-1 доцільно проводити попередню механічну обробку для одержання мінімальної товщини перетину під термічну обробку, високотемпературний відпал при температурах не менш $T_{III}-30^{\circ}\text{C}$ із наступним охолодженням під вентилятором.

Наведені порівняльні характеристики механічних властивостей матеріалу штампувань дисків зі сплавів ВТ8-1 і ВТ6 показують, що сплав ВТ8-1 у відпаленому стані забезпечує стабільно високі значення міцностних і втомних характеристик при більших перетинах штамповок, високу в'язкість руйнування й тріщиностійкість, що дозволяє рекомендувати його для заміни інших серійних сплавів, включаючи сплав ВТ6 [20].

Розглянемо можливості застосування сплаву ВТ8-1 (замість сплаву ВТ9) для дисків КВД із робочою температурою до 500°C. Відзначимо, що до основних переваг сплаву ВТ9 можна віднести більш високий рівень короткочасної міцності й багаточислової втоми при кімнатній температурі випробувань, при цьому характеристики тріщиностійкості в сплаву ВТ9 суттєво нижче, чим у сплавів ВТ6, ВТ8 і ін. На рис. 3.12 наведені залежності зміни характеристик механічних властивостей при розтяганні від температури випробувань, на рис. 3.13 і 3.14 - характеристики тривалої міцності й повзучості.

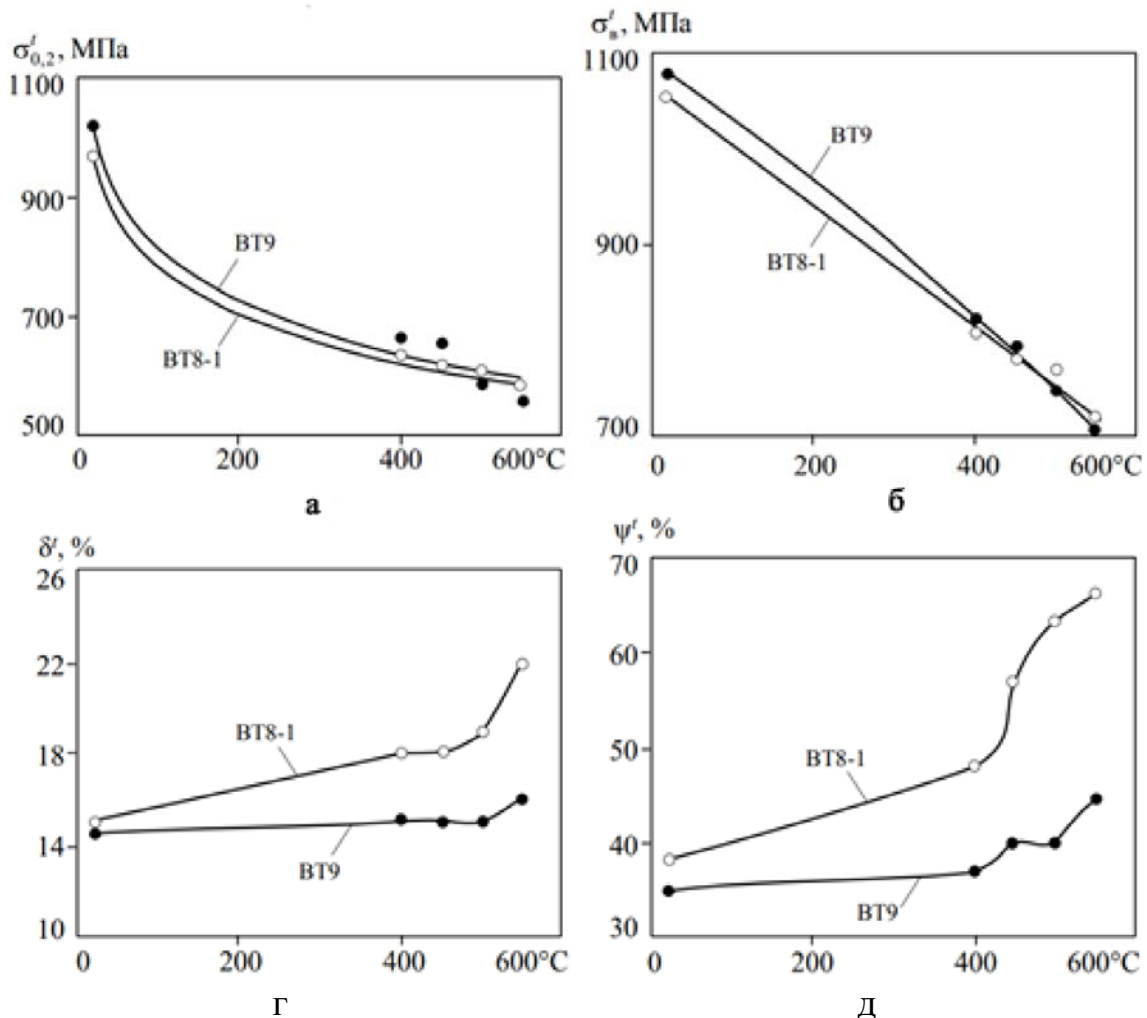


Рисунок 3.12 - Умовна границя плинності (а), границя міцності (б), відносні подовження (в) і звуження (г) матеріалу штамповок дисків зі сплавів ВТ8-1 і ВТ9 (середні значення) залежно від температури випробувань

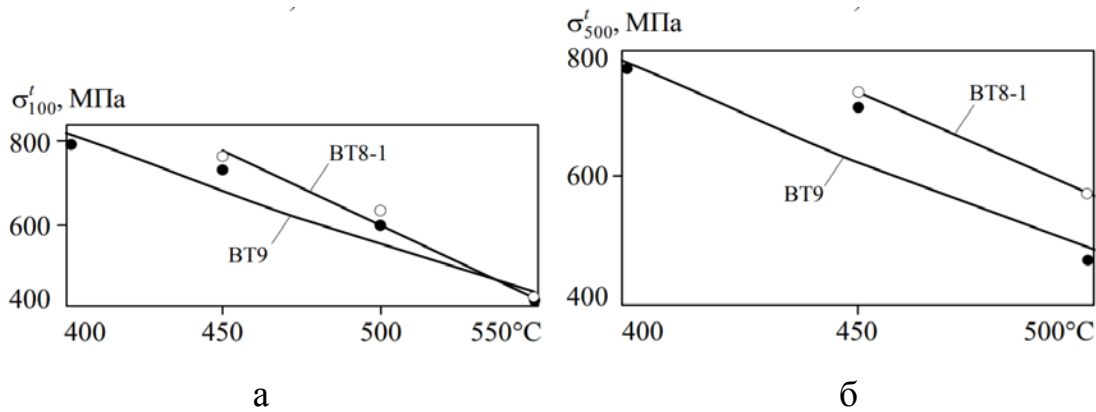


Рисунок 3.13 - Тривала міцність за 100 (а) і 500 год (б) матеріалу штамповок дисків зі сплавів ВТ8-1 і ВТ9 залежно від температури випробувань

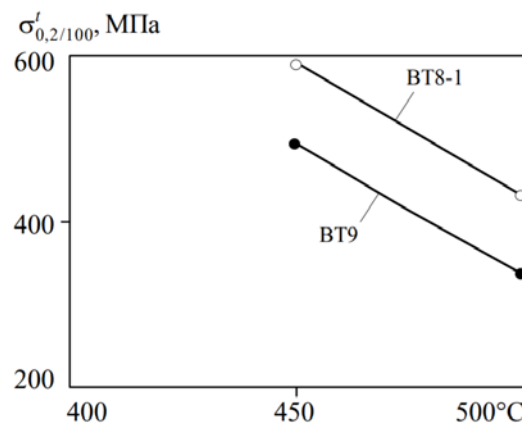


Рисунок 3.14 - Опір повзучості за 100 год при залишковій деформації 0,2% матеріалу штампувань дисків зі сплавів ВТ8-1 і ВТ9 залежно від температури випробувань

Видно, що короткочасна міцність сплаву ВТ9 до температури 450°C включно вище короткочасної міцності сплаву ВТ8-1 на -20-40 МПа при більш високих характеристиках пластичності у всьому інтервалі температур випробувань. При температурі 500°C міцність сплавів однакова, а при температурі випробування 550°C міцність сплаву ВТ8-1 трохи вище міцності сплаву ВТ9. Крім того, по всіх жароміцних характеристиках при температурах 450 і 500°C сплав ВТ8-1 також має перевага перед сплавом ВТ9.

Характеристики ударної в'язкості, тріщиностійкості й в'язкості руйнування матеріалу штамповок дисків зі сплавів ВТ8-1 і ВТ9 наведені в табл. 3.9.

Таблиця 3.9 - Механічні характеристики штампувань диска (відпалений стан) зі сплавів ВТ9 і ВТ8-1

Матеріал штамповки диска	КСУ	КСТ	K_{Ic} , МПа $\sqrt{м}$ (радіальне/тангенціальне напрямок вирізки зразка)	СРТУ: мм/цикл, при $\Delta K=31$ МПа $\sqrt{м}$
	Дж/см ²			
ВТ8-1	52	22	85/98	$0,46 \cdot 10^6$
ВТ9	41	12	58/71	$2,8 \cdot 10^6$

Сплав ВТ8-1 має значно більші характеристики ударної в'язкості й тріщиностійкості в порівнянні зі сплавом ВТ9. Крім того, існує можливість підвищення мінімальних характеристик міцності на штамповках дисків зі сплаву ВТ8-1 за рахунок оптимізації технології термомеханічної й термічної обробки при збереженні високих показників тріщиностійкості. Як приклад можна привести експериментальні роботи з виготовлення штампувань робочих коліс типу «блиск» зі сплаву ВТ8-1 [21]. Подібні можливості забезпечуються як композицією самого сплаву, так і одержанням регламентованої глобулярно-пластинчастої структури в матеріалі. У порівнянні з жароміцними сплавами ВТ3-1, ВТ8, ВТ9, сплав ВТ8-1 містить меншу кількість легуючих елементів (алюміній, кремній), що знижують в'язкість матеріалу. Підвищенню характеристик міцності сприяють невеликі добавки таких елементів, як нейтральні зміцнювачі (олово й цирконій), які підвищують рівень твердорозчинного зміцнення α - і β -фаз. Необхідно відзначити, що роботи з удосконалювання промислових титанових сплавів найчастіше носять прикладний і фундаментальний характер, тому що при проведенні досліджень фазового й хімічного складу фаз більш докладно досліджуються процеси

фазових перетворень у багатокомпонентних системах [11]. Так, для сплаву VT8-1 отримані попередні дані, що дозволяють якісно й кількісно описати величину зміцнення різних α -твердих розчинів первинної й вторинної α -фази, а також α -облямівки умовного β -зерна в глобулярно-пластинчастій структурі [21]. Одержання нових даних по якісному й кількісному опису структури матеріалу дозволить прогнозувати його властивості, проводити оптимізацію хімічного складу, а також розробляти нові композиції сплавів з поліпшеними характеристиками.

Роботи з удосконалювання технології виготовлення промислових штампувань дисків зі сплаву VT8-1 дозволили розкрити потенціал сплаву, одночасно підвищуючи міцностні й жароміцні властивості, а також витривалість і тривалу міцність, при збереженні максимальних характеристик в'язкості й тріщиностійкості, що особливо важливо для нових вичокоресурсних двигунів V покоління.

3.3 Раціоналізація вибору матеріалу для деталей ГТД у залежності від умов експлуатації

Титанові сплави, що мають комбінацію ряду унікальних властивостей, знаходять усе більш широке застосування не тільки в конструкції планера, але й в авіаційних двигунах. Розширення температурного діапазону їх застосування дозволить збільшити вагову віддачу на 15-20% і, отже, поліпшити експлуатаційні характеристики двигуна. Створені жароміцні титанові сплави для робочих температур 550-600°C, з високими характеристиками властивостей - границею міцності, малоциклової втоми, тривалій міцності й повзучості. Сплави рекомендуються для виготовлення лопаток, дисків (блисків) компресорів низького й високого тиску (КНД, КВД) авіаційних двигунів.

Серійні високотехнологічні сплави ВТ8-1 і ВТ8М-1 рекомендовані на тривалу роботу (до 10 тис. год) при температурах 400-450°C. Сплави ВТ25У и ВТ18У вже впроваджені в цілому ряді виробів і напрацювали в конструкціях не один десяток років. У цей час проводяться роботи з удосконалення цих сплавів з метою одержання більш високих експлуатаційних характеристик і поліпшення їх технологічних властивостей.

Остання розробка цієї серії сплавів - сплав ВТ41 - дозволяє використовувати його при температурах до 600°C протягом тривалого часу.

Подальшою розробкою титанових сплавів є інтерметалідний сплав ВТИ-4, який має підвищену міцність і жароміцністю й рекомендований для застосування до температур 700°C як у монолітному варіанті, так і у варіанті матричного матеріалу композиційних матеріалів.

Створена широка гама титанових конструкційних сплавів. Вона забезпечує практично всі запити конструкторів і дозволяє одержувати деталі із практично всіх видів напівфабрикатів із заданим рівнем властивостей. При цьому існуючий діапазон властивостей дуже широкий, що дозволяє конструкторові зробити оптимальний вибір сплаву для відповідних умов роботи деталі.

Сучасні високоміцні титанові конструкційні сплави (ВТ22, ВТ23 і ін.) у цей час забезпечують рівень міцності більш 1300 МПа, тому їх використання в таких конструкціях, як елементи шасі, пілони, лонжерони, шпангоути дає досить значний вигаш. Так, наприклад, застосування сплаву ВТ22 у літаках ИЛ-76, ИЛ-86, ИЛ-96 дозволило знизити масу конструкцій приблизно на 20%.

Залежно від вимог, пропонованих до деталей і виробам з титанових сплавів, для них можуть бути запропоновані різні схеми ТМО, ефективність застосування яких залежить від фазового состава сплавів. Максимальна міцність і найбільше поліпшення механічних властивостей після високотемпературної термомеханічної обробки (ВТМО) спостерігається в ($\alpha+\beta$)-сплавів докритичної концентрації типу: Ti—3% Al- 5% Mo; Ti-3% Al-5%Cr і Ti-3% Al-3%Fe (вміст

хрому й заліза еквівалентно вмісту 5-8% Mo). Максимальне значення міцності ($\sigma_b=1600$ МПа) після ВТМО отримане для ($\alpha+\beta$)-сплаву (BT23).

Ускладнення конструкції вузлів силового набору висунуло нове завдання по створенню високоміцних титанових сплавів для литих деталей. У рамках розв'язку цього завдання створений ливарний високоміцний титановий сплав BT40L, що відрізняється ощадливим багатоконпонентним легуванням. Він має межу міцності більш 1000 МПа, має гарні втомні властивості й добре зварюється, що робить його придатним для виготовлення рівноміцних зварювально-литих конструкцій, і основним завданням у даній області дослідження залишається завдання вдосконалювання технології виготовлення деталей і відпрацювання режимів їх термообробки.

4 РОЗРОБКА ТЕХНОЛОГІЇ ТЕРМІЧНОЇ ОБРОБКИ

4.1 Номенклатура титанових дисків та маршрутна технологія їх виготовлення

В данному розділі наводяться данні деталей-представників, щодо їх розмірів, маси та вимоги до матеріалів, які наведені в таблиці 4.1.

Таблиця 4.1 – Номенклатура виробів

Назва виробу	Матеріал виробу	Маса виробу, кг	Розміри виробу, мм			
			b	l	h	d
Диск	BT8	15			54,5	435
	BT6	2,5			23,5	284
	BT3-1	22			147	809

До першої групи відносяться диски, які виготовлені з титанових сплавів. На рис. 4.1 показано ескіз диска зі сплаву BT8.

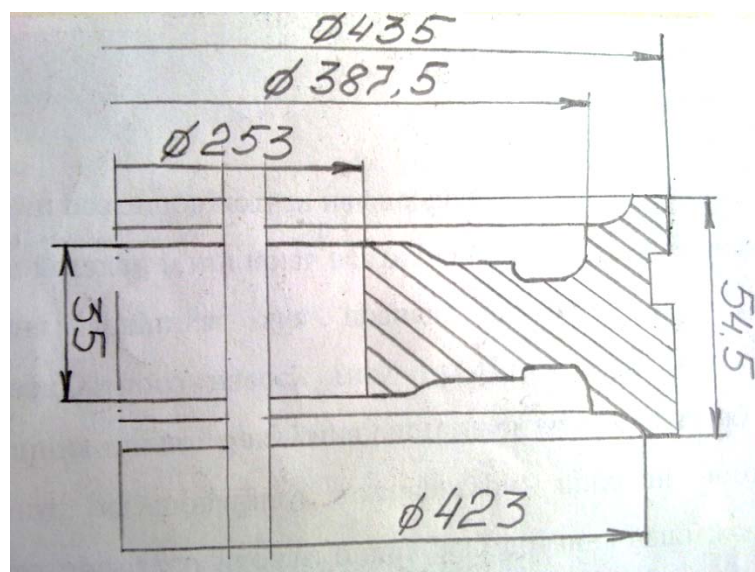


Рисунок 4.1 – Ескіз диска зі сплаву ВТ8.

На рис. 4.2 показано ескіз диска зі сплаву ВТ6

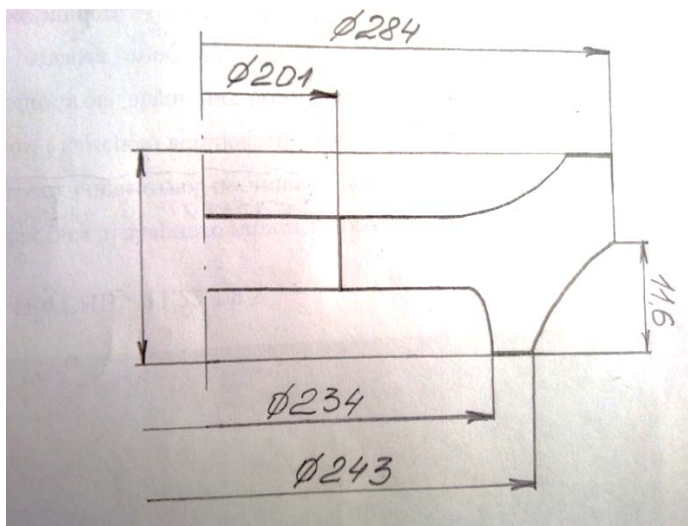


Рисунок 4.2 – Ескіз диска зі сплаву ВТ6

На рис.4.3 показано ескіз диска зі сплаву ВТ3-1.

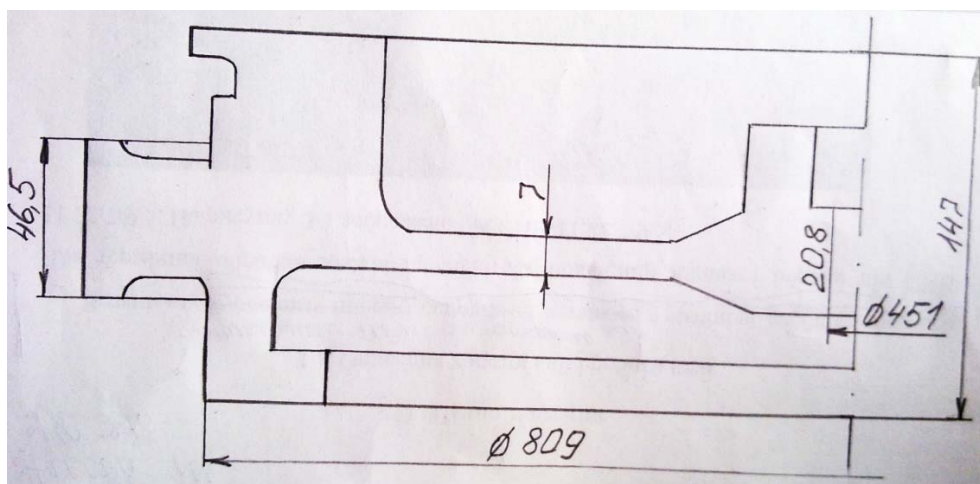


Рисунок 4.3 - Ескіз диска зі сплаву ВТ3-1.

Технологія виготовлення виробів на підприємствах газотурбобудуванні уявляє собою логічну послідовність технологічних операцій, виконання яких

дозволяє отримати якісні вироби із відповідними характеристиками та властивостями матеріалу. При виготовленні виробу його можуть піддавати термічній обробці декілька разів. В цьому випадку у маршрутній технології передбачається попередня, основна та додаткова термічна обробка.

Маршрутна технологія уявляє собою рух заготовок по цехам та відділенням підприємства, в ній зазначаються виконувані операції, які можуть повторюватися, але мати різне призначення, режими та забезпечувати зміну форми, розмірів, шорсткості поверхні, мікроструктури та властивостей.

В таблиці 4.2 наведена схема маршрутної технології виготовлення диска.

Таблиця 4.2 – Схема маршрутної технології виготовлення диска.

№ п/п	Назва операції	Цех (дільниця) де виконується операція	Призначення операції
1	2	3	4
1.	Вхідний контроль	Заготівельний цех або заготівельна дільниця пресового цеху	Контроль хімічного складу, розмірів, макроструктури, відсутності дефектів прокату
2.	Заготівельна	Заготівельний цех	Отримання заготовок із прокату для наступної операції
3.	Гаряче пресування	Пресовий цех	Надання необхідної форми, розмірів та створення сприятливої макроструктури
4.	Механічна обробка	Механічний цех	Надання заготовці необхідної форми та розмірів
4.	Термічна обробка	Термічний цех	Отримання заданих робочим кресленням властивостей матеріалу, виконання вимог щодо геометрії заготовки
5.	Остаточна механічна обробка	Механічний цех	Надання виробу остаточних розмірів, геометрії, шорсткості у відповідності із робочим кресленням
6.	Вихідний контроль	Заготівельний цех або дільниця пресового	Контроль параметрів, які зазначені на кресленні: міцність, в'язкість, границя

	цеху	тривалої міцності, границя витривалості
--	------	---

Вхідний контроль проводиться для контролю хімічного складу, розмірів, макроструктури та відсутності дефектів заготовок.

Гаряче пресування проводять для надання необхідної форми, розмірів та створення сприятливої мікроструктури заготовки.

Основне термічне оброблення проводиться для отримання необхідної структури та властивостей.

4.2 Розробка режимів та технології термічної обробки для дисків компресора

Технологія термічної обробки – складова частина технологічного процесу виготовлення виробу, яка забезпечує отримання необхідної структури, механічних та експлуатаційних властивостей, якості цього виробу. До типових технологічних процесів першої групи деталей відносяться подвійний відпал.

Подвійний відпал - деталі нагрівають до температури 920-950°C , витримують і охолоджують на повітрі. Потім повторно нагрівають до 500-650°C , витримують і охолоджують на повітрі. Подвійний відпал в порівнянні з ізотермічним відпалом підвищує межу міцності при незначному зниженні пластичності і скорочує тривалість обробки. При подвійному відпалі розпад β - фази відбувається при охолодженні на повітрі від температури першого відпалу і в процесі другого відпалу, який в даному випадку є фактично старінням; дрібнодисперсні продукти розпаду, що утворюються, зміцнюють сплав.

Визначення тривалості процесів

Загальна тривалість операції $\tau_{\text{заг}}$ визначається за формулою:

$$\tau_{\text{заг}} = \tau_{\text{н}} + \tau_{\text{в}} + \tau_{\text{охол}},$$

де $\tau_{\text{н}}$ – час нагрівання до заданої температури, хв;

$\tau_{\text{в}}$ – час витримки при технологічній температура, хв;

$\tau_{\text{охол}}$ – час охолодження, с.

Час нагрівання визначається за формулою:

$$\tau_{\text{н}} = S * K * f * L_{\text{N}},$$

де S - характеристичний розмір виробу, мм;

K – коефіцієнт форми;

f – коефіцієнт розташування виробів в нагрівальному пристрої, що впливає на час нагрівання, хв;

L_{N} – коефіцієнт легування сталі.

S обирається за робочим кресленням і залежить від товщини виробу.

Коефіцієнт K обирається за додатком А.

Коефіцієнт f обирається за додатком Б.

Коефіцієнт L_{N} обирається за додатком В.

$\tau_{\text{в}}$ визначається за додатком Д.

Розраховуємо титанові диски:

Для подвійного відпалу використовується піч СНВ 11.22.7/9,5.

C – електрична, H – камерна, B – вакуумна, з шириною 1100мм, довжиною 2200мм, висотою 700мм робочого простору з максимальною температурою нагріву до 950°C.

Розраховуємо кількість виробів що поміщуються по довжині робочого простору печі СНВ 11.22.7/9,5:

BT8:

$$n_{\text{д}} = L / (l + l/2)$$

де L – довжина робочого простору, 2200мм;

l – довжина заготовки, 435мм;

$$n_d = 2200 / (435 + 217,5) = 3 \text{ шт}$$

Розрахуємо кількість виробів, що поміщуються по ширині робочого простору печі:

$$n_{ш} = Ш / (d + d/2)$$

де $Ш$ – ширина робочого простору, 1100мм;

d – ширина заготовки, 435мм;

$$n_{ш} = 1100 / (435 + 217,5) = 1 \text{ шт}$$

Тоді в одному ярусі розташовується: $n_{яр} = n_d * n_{ш} = 3 * 1 = 3$ шт. виробів.

Розраховуємо кількість виробів робочого простору по висоті:

$$n_b = B / (b + b/2)$$

де B – висота робочого простору, 700мм;

b – висота заготовки, 54,5 мм;

$$n_b = 700 / (54,5 + 27,25) = 8 \text{ яр}$$

Кількість виробів в печі розраховуємо за формулою:

$$N = n_{яр} * n_b = 8 * 3 = 24 \text{ шт}$$

Маса садки $M_c = N \cdot m_{\text{виробу}}$

$$M_c = 24 \cdot 15 \text{ кг} = 360 \text{ кг}$$

Тривалість процесу подвійного відпалу:

$$S = 17,5 \text{ мм}$$

$$K = 4$$

$$f = 1,4$$

$$L_{\text{л}} = 1,6$$

$$\tau_{\text{н}} = 17,5 \cdot 4 \cdot 1,4 \cdot 1,6 = 2,61 \text{ год}$$

$$\tau_{\text{в}} = 2 \text{ год}$$

Охолодження виробів аргоном, тобто:

$$\tau_{\text{охол}} = (t_{\text{ВП}} - t_{\text{ВК}}) / V_{\text{ОХОЛ}}$$

$$V_{\text{ОХОЛ}} = 70^\circ\text{C/хв}$$

$$\tau_{\text{охол}} = (930 - 20) / 70 = 13 \text{ хв} = 0,22 \text{ год}$$

Другий нагрів до 590°C :

$$L_{\text{л}} = 2,35$$

$$\tau_{\text{н}} = 17,5 \cdot 4 \cdot 1,4 \cdot 2,35 = 3,84 \text{ год}$$

$$\tau_{\text{в}} = 1 \text{ год}$$

Охолодження виробів відбувається на повітрі, тобто:

$$\tau_{\text{охол}} = (t_{\text{ВП}} - t_{\text{ВК}}) / V_{\text{ОХОЛ}}$$

$$V_{\text{ОХОЛ}} = 5^\circ\text{C/с}$$

$$\tau_{\text{охол}} = (590 - 20) / 5 = 114 \text{ с} = 1,9 \text{ хв} = 0,03 \text{ год}$$

$$\tau_{\text{заг}} = 2,61 + 2 + 0,22 + 3,84 + 1 + 0,03 = 9,7 \text{ год}$$

ВТ6:

$$n_{\text{д}} = L / (l + l/2)$$

де L – довжина робочого простору, 2200мм;

l – довжина заготовки, 284мм;

$$n_{\text{д}} = 2200 / (284 + 142) = 5 \text{ шт}$$

Розрахуємо кількість виробів, що поміщуються по ширині робочого простору печі:

$$n_{\text{ш}} = \text{Ш}/(d+d/2)$$

де Ш – ширина робочого простору, 1100мм;

d – ширина заготовки, 284мм;

$$n_{\text{ш}} = 1100/(284+142) = 2 \text{ шт}$$

Тоді в одному ярусі розташовується: $n_{\text{яр}} = n_{\text{д}} * n_{\text{ш}} = 5 * 2 = 10$ шт. виробів.

Розраховуємо кількість виробів робочого простору по висоті:

$$n_{\text{в}} = V/(b+b/2)$$

де V – висота робочого простору, 700мм;

b – висота заготовки, 23,5 мм;

$$n_{\text{в}} = 700/(23,5+11,75) = 19 \text{ яр}$$

Кількість виробів в печі розраховуємо за формулою:

$$N = n_{\text{яр}} * n_{\text{в}} = 19 * 10 = 190 \text{ шт}$$

Маса садки $M_{\text{с}} = N * m_{\text{виробу}}$

$$M_{\text{с}} = 190 * 2,5 \text{ кг} = 475 \text{ кг}$$

Тривалість процесу ізотермічного відпалу:

$$S = 5 \text{ мм}$$

$$K = 4$$

$$f = 1,4$$

$$L_{\text{л}} = 1,6$$

$$\tau_{\text{н}} = 5 * 4 * 1,4 * 1,6 = 0,74 \text{ год}$$

$$\tau_{\text{в}} = 1 \text{ год}$$

Охолодження виробів відбувається з піччю, тобто:

$$\tau_{\text{охол}} = (t_{\text{ВП}} - t_{\text{ВК}}) / V_{\text{охол}}$$

$$V_{\text{охол}} = 50^{\circ}\text{C}/\text{год}$$

$$\tau_{\text{охол}} = (840 - 550) / 50 = 5,8 \text{ год} = 5,8 \text{ год}$$

Тривалість витримки після охолодження з піччю до 550°C:

$$\tau_{\text{в}} = 2 \text{ год}$$

Охолодження виробів відбувається на повітрі, тобто:

$$\tau_{\text{охол}} = (t_{\text{ВП}} - t_{\text{ВК}}) / V_{\text{ОХОЛ}}$$

$$V_{\text{ОХОЛ}} = 5^{\circ}\text{C}/\text{с}$$

$$\tau_{\text{охол}} = (550 - 20) / 5 = 106 \text{ с} = 1,76 \text{ хв} = 0,03 \text{ год}$$

$$\tau_{\text{заг}} = 0,74 + 1 + 5,8 + 2 + 0,03 = 9,57 \text{ год}$$

ВТЗ-1:

$$n_{\text{д}} = L / (l + l/4)$$

де L – довжина робочого простору, 2200мм;

l – довжина заготовки, 809мм;

$$n_{\text{д}} = 2200 / (809 + 202,25) = 2 \text{ шт}$$

Розрахуємо кількість виробів, що поміщуються по ширині робочого простору печі:

$$n_{\text{ш}} = Ш / (d + d/2)$$

де $Ш$ – ширина робочого простору, 1100мм;

d – ширина заготовки, 809мм;

$$n_{\text{ш}} = 1100 / (809 + 202,25) = 1 \text{ шт}$$

Тоді в одному ярусі розташовується: $n_{\text{яр}} = n_{\text{д}} * n_{\text{ш}} = 2 * 1 = 2$ шт. виробів.

Розраховуємо кількість виробів робочого простору по висоті:

$$n_{\text{в}} = В / (b + b/2)$$

де $В$ – висота робочого простору, 700мм;

b – висота заготовки, 147 мм;

$$n_{\text{в}} = 700 / (147 + 73,5) = 3 \text{ яр}$$

Кількість виробів в печі розраховуємо за формулою:

$$N = n_{\text{яр}} * n_{\text{в}} = 3 * 2 = 6 \text{ шт}$$

Маса садки $M_{\text{с}} = N * m_{\text{виробу}}$

$$M_{\text{с}} = 6 * 22 \text{ кг} = 132 \text{ кг}$$

Тривалість процесу подвійного відпалу:

$$S = 23,25 \text{ мм}$$

$$K = 4$$

$$f = 1,4$$

$$L_{\text{л}} = 1,6$$

$$\tau_{\text{н}} = 23,25 * 4 * 1,4 * 1,6 = 3,47 \text{ год}$$

$$\tau_{\text{в}} = 1 \text{ год}$$

Охолодження виробів відбувається з піччю, тобто:

$$\tau_{\text{охол}} = (t_{\text{ВП}} - t_{\text{ВК}}) / V_{\text{ОХОЛ}}$$

$$V_{\text{ОХОЛ}} = 50^{\circ}\text{C}/\text{год}$$

$$\tau_{\text{охол}} = (900 - 575) / 50 = 6,5 \text{ год}$$

Тривалість витримки після охолодження з піччю до 575°C :

$$\tau_{\text{в}} = 3 \text{ год}$$

Охолодження виробів відбувається на повітрі, тобто:

$$\tau_{\text{охол}} = (t_{\text{ВП}} - t_{\text{ВК}}) / V_{\text{ОХОЛ}}$$

$$V_{\text{ОХОЛ}} = 5^{\circ}\text{C}/\text{с}$$

$$\tau_{\text{охол}} = (575 - 20) / 5 = 111 \text{ с} = 1,85 \text{ хв} = 0,03 \text{ год}$$

$$\tau_{\text{заг}} = 3,47 + 1 + 6,5 + 3 + 0,03 = 14 \text{ год}$$

Карта технологічного процесу термічної обробки – це основний технологічний документ, котрий дозволяє здійснювати термічну обробку виробів і забезпечувати необхідну якість продукції та її відповідність технічним вимогам. Якісно розроблена і складена карта дозволяє виконавцям (термістам, операторам, контрольним майстрам) здійснювати свої виробничі функції. За її використанням виконавець повинен здійснювати термічне оброблення без консультації із розробником. Карта технологічного процесу термічної обробки для титанового диска наведена в таблиці 4.3.

Таблиця 4.3 – Карта технологічного процесу термічного оброблення диску

			Технічні вимоги			
			Матеріал	Властивості	Структура	
			BT8	$\sigma_{100}^{450} = 568 \text{ МПа,}$ $\sigma_{0,2/500} = 235 \text{ МПа,}$ $\delta = 10\%,$ $KCU = 343 \text{ кДж/м}^2$	$\alpha + \beta$	
№	Назва операції	Прилади, інструменти, обладнання	Умови нагрівання	Умови охолодження	Прийоми контролю	Умови оброблення, контроль
1	2	3	4	5	6	7
1.	Вхідний контроль	Стилоскоп, лінійка, штангенциркуль, твердомір				Хімічний склад, стан поверхні, розміри, геометрія, твердість.
2. 2.1	Подвійний відпал Перше нагрівання	СНВ-11.22.7/9, 5	$t_n = 930 \pm 10^\circ\text{C}$ $\tau_n = 2,61 \text{ год}$		1100 x 2200 мм 10 виробів в одному ярусі (садка на 190 деталей) маса садки = 475 кг	$\tau_n;$ $t_n + \text{середовище, його склад та витрати}$
2.2	Витримка	СНВ-11.22.7/9, 5	$t_v = 930 \pm 10^\circ\text{C}$ $\tau_v = 2 \text{ год}$		1100 x 2200 мм 10 виробів в одному ярусі (садка на 190 деталей) маса	$\tau_v;$ $t_v + \text{середовище, його склад та витрати}$

					садки= 475кг	
--	--	--	--	--	--------------	--

Продовження табл. 4.3

1	2	3	4	5	6	7
2.3	Охолодження	аргон		$\tau_{\text{ох}} = 0,22$ год	1100 x2200мм 10 виробів в одному ярусі(садка на 190 деталей) маса садки= 475кг	
2.4	Друге нагрівання	СНВ- 11.22.7/9, 5	$t_{\text{н}} = 590$ $\pm 10^{\circ}\text{C}$ $\tau_{\text{н}} = 3,84$ год		1100 x2200мм 10 виробів в одному ярусі(садка на 190 деталей) маса садки= 475кг	$\tau_{\text{н}}$; $t_{\text{н}}$ +середовищ е, його склад та витрати
2.5	Витримка	СНВ- 11.22.7/9, 5	$t_{\text{в}} = 590$ $\pm 10^{\circ}\text{C}$ $\tau_{\text{в}} = 1$ год		1100 x2200мм 10 виробів в одному ярусі(садка на 190 деталей),маса садки= 475кг	$\tau_{\text{в}}$; $t_{\text{в}}$ +середовищ е, його склад та витрати
2.6	Охолодження	На повітрі		$\tau_{\text{ох}} = 0,03$ год		
3.	Контроль вихідний	Мікроско п, твердомір				Контроль твердості, мікроструктур и,

4.3 Вибір та розрахунки кількості обладнання

Вибір типу обладнання для термообробки виробів визначається характером виробництва, технологічним процесом, геометрією та розмірами виробів.

Вихідні данні для розрахунків кількості обладнання — річна виробнича програма, режим роботи термічного підрозділу, річний фонд часу роботи обладнання, режим термообробки виробів, карти технологічних процесів термообробки.

4.3.1 Річна виробнича програма

До програми входять: номенклатура виробів, маса та габаритні розміри виробів, кількість та загальна маса кожного виробу, який проходить обробку. Загальна кількість та маса виробів складають виробничу програму підрозділу. Річна виробнича програма наведена в табл. 4.4.

Таблиця 4.4 — Річна виробнича програма

Назва виробу	Матеріал виробу	Маса виробу, кг	Розміри виробу, мм	Виробнича програма	Виробнича програма
				шт.	кг
1	2	3	4	5	6
Диск	BT8	15	H = 54,5;d =435;	14021	210312,5

Диск	BT6	2,5	H = 23,5;d =284;	42063	105156,25
Диск	BT3-1	22	H = 147;d =809;	4780	105156,25

4.3.2 Режими роботи термічного підрозділу та річний фонд роботи обладнання

Кількість виробничих змін на дільниці, у відділенні, цеху залежить від характеру виробництва, об'єму продукції, використаного обладнання, його продуктивності, від прийнятих технологічних процесів термообробки.

Річний фонд часу роботи обладнання.

Календарний річний фонд часу Φ_k , год., визначається із урахуванням кількості днів в році та тривалості доби:

$$\Phi_k = 365 \cdot 24 = 8760.$$

Дійсний фонд часу роботи обладнання Φ_d залежить від прийнятого режиму роботи, тривалості зміни, втрат часу.

$$\Phi_d = (365 - D_{\text{вих}} - D_{\text{св}}) \cdot K_{\text{зм}} \cdot T_{\text{зм}} \cdot K_{\text{вик}},$$

де $D_{\text{вих}}$ — кількість вихідних змін за рік;

$D_{\text{св}}$ — кількість святкових днів за рік;

$K_{\text{зм}}$ — кількість змін за добу;

$T_{\text{зм}}$ — тривалість однієї зміни, год.;

$K_{\text{вик}}$ — коефіцієнт використання часу роботи обладнання (для немеханізованого обладнання $K_{\text{вик}} = 0,94 \dots 0,96$, для механізованого $K_{\text{вик}} = 0,90 \dots 0,94$).

Для однієї зміни: $\Phi_d = 251 \cdot 0,94 \cdot 8 = 1887$.

Для двох змін: $\Phi_{\text{д}} = 251 \cdot 0,94 \cdot 8 \cdot 2 = 3775,04$.

Для трьох змін: $\Phi_{\text{д}} = 251 \cdot 0,94 \cdot 8 \cdot 3 = 5662,56$.

4.3.3 Розрахунки кількості обладнання по завантажувальним відомостям

В таблиці 4.5 наведені розрахунки кількості витрат по завантажувальним відомостям для печей СНВ.

Таблиця 4.5 – Завантажувальна відомість для універсального обладнання періодичної дії

Обладнання СНВ–11.22.7/9,5

Операція термообробки – Відпал

Назва виробу	Матеріал	Маса виробу, m_i , кг	Річна програма		Садка P_{c_i}		Кількість садок на рік N_i , шт	Загальний час обробок $\tau_{\text{заг}}$, ГОД	Необх. час роботи печі T_i , год
			шт.	кг.	шт.	кг.			
Диск	ВТ8	15	14021	210312,5	24	360	584	9,67	5647,28
Диск	ВТ6	2,5	42063	105156,25	190	475	221	9,54	2108,34
Диск	ВТ3-1	22	4780	105156,25	6	132	797	13,97	11134,09
Усього T_3									18889,74

Після розрахунків по відомостям T_3 , визначають кількість печей $P_p = T_3 / \Phi_{\text{д}}$, прийняту кількість печей $P_{\text{пр}}$ та коефіцієнт завантаження $K_3 = P_p / P_{\text{пр}}$. Рекомендовані коефіцієнт завантаження: для печей періодичної дії $K_3 = 0,94 \dots 0,96$.

$$P_p = T_3 / \Phi_{\text{д}};$$

Для печей СНВ–11.22.7/9,5, при трьохзмінній роботі печі, операція відпал:

$$P_p = T_3 / \Phi_d = 18889,74 / 5662,56 = 3,33;$$

$$P_{pp} = 4;$$

Розрахуємо коефіцієнт завантаження за формулою $K_3 = P_p / P_{pp}$:

$$K_3 = 3,33 : 4 = 0,83;$$

Після визначення кількості печей, устаткування, засобів механізації, обладнання для контролю, допоміжного обладнання для обробки річної програми складається зведена відомість для усіх видів обладнання (табл. 4.6).

Таблиця 4.6 – Зведена відомість обладнання

Назва та індекс обладнання	Назва технологічної операції	Річний випуск виробів на даному обладнанні, кг (шт.)	Середня продуктивність Q_2 , кг/год (шт/год)	Кількість обладнання, шт.		Коефіцієнт завантаження K_3
				Пр	Ппр	
СНВ–11.22.7/9,5	відпал	60864	29,14	3,33	4	0,83
Охолоджувальний стіл	Охолодження	-	-	-	8	-
Мийна машина	Промивання	-	-	-	2	-
Кран балка	-	-	-	-	2	-

4.4 Технічний контроль, попередження та виправлення дефектів для дисків компресора

Висока якість продукції забезпечується вірно проведеним вхідним, міжопераційним та завершальним контролем.

Вхідний контроль охоплює перевірку матеріалів, що використовуються для виготовлення кронштейна та хімікатів. Ретельне виконання вхідного контролю робить неможливим появу неякісної продукції на виробництві; вхідним контролем визначається хімічний склад матеріалу виробів і його відповідність робочому кресленню, а також відсутність внутрішніх та зовнішніх дефектів форми та розмірів.

Міжопераційний контроль технологічних процесів термічної обробки полягає в перевірці готовності термічного обладнання і оснащення до проведення термічної обробки; вимірювані, регулюванні і запису робочих температур автоматичними терморегуляторами у печах з заданою точністю; точне виконання витримок при виконанні операції нагріву й охолодження лопаток.

При поточному контролі контролюються усі параметри операцій: температура, час, схема садки, витрати середовища, тиск, середовище при охолодженні, його температура, структура та властивості виробів після виконання операцій.

Для виявлення поверхневих дефектів застосовують метод люмінесцентної дефектоскопії . Суть методу полягає в здатності деяких речовин яскраво світитися при опроміненні їх ультрафіолетовими променями.[4]

Вихідний контроль є обов'язковою операцією, тому що після термічної обробки здійснюється механічне оброблення, складальні операції, тобто диски повинні передаватись із необхідними структурами та властивостями.

Основними видами контролю якості диска після термічної обробки є:

- 1) візуальний контроль для виявлення тріщин, оплавлення поверхні та інших поверхневих дефектів (100%);
- 2) контроль мікроструктури;
- 3) перевірка жароміцності на зразках.

В таблиці 4.6 наведені дефекти при подвійному відпалі.

Таблиця 4.6 – Дефекти ТО при подвійному відпалі.

Найменування і характеристика дефекту	Основні причини утворення дефекту	Основні заходи щодо виправлення дефекту
Недогрів — неповний відпал	Відпал при температурі нижче заданої	Повторний відпал або при нормальній температурі
Перегрів. Низькі пластичні властивості, особливо ударна в'язкість.	Тривалий відпал або при температурі вище нормальної.	При невеликому перегріві дрібних виробів — повторний відпал при нормальній температурі з тривалою витримкою. При невеликому перегріві крупних виробів — повторні двократний відпал при нормальній температурі з нормальною витримкою. При великому перегріві виробів — повторний двократний відпал (перший відпал— при температурі $750 + 100—150^{\circ}\text{C}$), другий — при нормальній температурі)
Воднева крихкість	Обумовлена виникненням і розвитком тріщин унаслідок накопичення водню	Усувається внаслідок десорбції водню з металу

	на різних ділянках	
--	--------------------	--

5 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА У НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ

Дипломний проект присвячений термічній обробці сплаву VT8 для титанових дисків компресору.

5.1 Аналіз потенційних небезпек

Можливість ураження електричним струмом, внаслідок порушень правил електробезпеки, несправності електроспоживчого обладнання, відсутність захисного заземлення або занулення, що може призвести до електричних травм або летального наслідку.

Можливість отримання механічних травм через потрапляння верхніх кінцівок в зону обертання абразивного круга при виконанні операції зачищення, внаслідок захаращеності робочої зони.

Можливість отримання термічних опіків, внаслідок торкання нагрітих поверхонь обладнання або деталей.

Негативний вплив теплового випромінювання, яке може призвести до ушкодження системи кровообігу.

Важкість праці – це така характеристика трудового процесу, що відображає переважне навантаження на опорно-руховий апарат і функціональні системи організму(серцево-судинну, дихальну та ін.), що забезпечують його діяльність. Важкість праці характеризується фізичним динамічним навантаженням, масою вантажу, що піднімається і переміщується, загальним числом стереотипних робочих рухів, розміром статичного навантаження, робочою позою, ступенем нахилу корпусу, переміщенням в просторі.

Незадовільні параметри повітряного середовища робочої зони через неефективну роботу системи опалення та вентиляції, що може призвести до захворювань через підвищену концентрацію в повітрі газоподібних хімічних елементів, які входять до складу насичуючих атмосфер, через порушення герметичності підводу газопроводів, як наслідок – до отруєння.

Незадовільне освітлення робочої зони, що може призвести до погіршення.

Можливість загорянь, причинами яких можуть бути порушення правил пожежної безпеки, короткі замикання, що може призвести до пожежі.

Неправильні дії персоналу в умовах надзвичайних ситуацій. Причинами неправильних дій можуть бути не досконале управління персоналу в таких умовах, відсутність навчання, інструктажів та тренінгів, що може призвести до паніки і як наслідок травмування або летального наслідку.

5.2 Заходи по забезпеченню безпеки

Для виключення *ураження електричним струмом* в проєкті передбачені:

Організаційні заходи: проведення навчання з правил електробезпеки, перевірка знань та атестація персоналу на другу або третю групу з електробезпеки, експлуатація та ремонт обладнання повинні здійснюватись спеціально підготованим персоналом згідно НПАОП 0.00.-4.12-05 «Типове положення про порядок проведення навчання і перевірки знань з питань охорони праці», ДНАОП 1.1.10-1.01-2000 «Правила безпечної експлуатації електроустановок».

Технічні заходи: використання захисного заземлення та занулення згідно ГОСТ 12.1.030-81. ССБТ. «Защитное заземление, зануление», ПУЭ-2009 «Правила улаштування електроустановок»; устрій захисного відключення електроустановок при аварійній ситуації згідно ГОСТ 12.4.155-85 ССБТ

«Устройство защитного отключения. Классификация. Общие технические требования», розташування струмопровідних частин на недоступній висоті згідно ГОСТ 12.2.007.14-75 ССБТ. Кабели и кабельная арматура. Требования безопасности.

Для виключення *механічних травм* необхідно передбачити наступні заходи захисту: устрій підлокітника, абразивний круг повинен бути захищений кожухом згідно НПАОП 27.4-7.15-86 ОСТ 48.264-86 «Огородження рухомих частин устаткування. Загальні технічні вимоги», НПАОП 28.52-1.22-64 «Правила і норми безпечної роботи з абразивним інструментом»

Для уникнення *термічних опіків* передбачено використання індивідуальних засобів захисту згідно ГОСТ 12.4.010-75 «Средства индивидуальной защиты. Рукавицы специальные. Технические условия», а також ГОСТ 12.4.221-2002 ССБТ «Одежда специальная, для защиты от повышенных температур теплового излучения, конвективной теплоты. Общие технические требования».

Важкість праці визначається згідно ГН 3.3.5-8-6.6.1-2002 «Гігієнічна класифікація праці за показниками шкідливості та небезпечності факторів виробничого середовища, важкості та напруженості трудового процесу»

Для профілактики втоми застосовують скорочену тривалість робочого дня, враховують засоби механізації, автоматизації, застосовують раціональну організацію трудового процесу, максимально скорочують статичні операції, усувають зайві прийоми у роботі і т. ін.

Важкість праці виражається функціональним напруженням організму, яке виникає під впливом м'язового і нервово-емоційного навантаження, а також зовнішніх виробничих умов. У такому розумінні поняття «важкість праці» можна застосовувати як до фізичних, так і розумових та нервово-напружених робіт.

Завдяки періодам відпочинку, що регламентується законодавством, працездатність відновлюється, що є функціональною властивістю організму людини.

Отруєння аргоном у випадку втрати герметичності трубопроводів визначається згідно з НАОП 1.4.32-2.58-78 (ОСТ 4Г 0.091.241-87) „Легкозаймисті, горючі, хімічно небезпечні та шкідливі речовини. Вимоги безпеки при зберіганні, транспортуванні та використанні”.

5.3 Заходи по забезпеченню виробничої санітарії та гігієни праці

Для забезпечення задовільних параметрів *повітряного середовища* робочого простору (температура, вологість, швидкість переміщення повітряних мас) обов'язковим є устрій загальної приточно-витяжної вентиляції приміщення згідно ГОСТ 2.2.137-96 «Оборудование для кондиционирования воздуха и вентиляции. Общитребования безопасности», СНиП 2.04.05-91 «Отопление, вентиляция и кондиционирование», ГОСТ 30646-99 «Кондиционеры центральне общего назначения. Общие технические условия», ГОСТ 12.1.005-88 ССБТ Общисанитарно-гигиенические требования к воздуху раб очей зоны.

Вибір системи освітлення залежить від зорових робіт і визначається за Державними будівельними нормами України ДБН В.2.5–28–2006 «Природне і штучне освітлення», ГОСТ 12.2.007.13-2000 ССБТ «Лампы электрические. Требования безопасности», ГОСТ МЭК 60598-2-2-2002 «Светильники. Часть 2. Частные требования. Раздел 2. Светильники встраиваемые».

В термічних цехах в якості робочого освітлення, як правило використовується система загального освітлення. Комбіноване освітлення вимагається лише на робочих місцях .

Для освітлення робочих приміщень слід використовувати світильники з люмінесцентними лампами , а також з лампами типу ДРЛ, ДРИ.

Освітленість робочих поверхонь повинна складати не менше 200лк.

Освітленість проходів і дільниць ,де роботи не проводяться , повинна складати 25% освітленості.

Перевірка освітленості на робочих поверхнях , допоміжних площах приміщень та в проходах повинна проходити регулярно , але не рідше 1 раза на рік.

Основними розрахунковим рівнянням методу світлового потоку є:

де Φ - розрахункове значення світлового потоку однієї лампи в кожному світильнику, лм;

$E_{н}$ - нормоване значення освітленості, лк;

S - площа освітлюваної поверхні, м²;

$k_{з}$ - коефіцієнт запасу;

E – коефіцієнт мінімальної освітленості;

N - загальна кількість світильників;

n - кількість ламп у одному світильнику;

η - коефіцієнт використання світлового потоку.

Для розрахунку необхідно визначити площу освітлюваної поверхні, в даному випадку використано приміщення розмірами 72X36X8(м), тобто площа освітлюваної поверхні 2592 м².

- Вибираємо систему освітлення: на виробництві використовується загальне освітлення.

- Визначаємо рівень нормованої освітленості (E_n) в залежності від найменшого розміру об'єкта розрізнення (більше 5 мм). Розряд зорових робіт – VII, $E_n = 200$ лк.

- Вибираємо джерела світла. Так як в приміщенні замало природного світла, доцільно обрати газорозрядні лампи (ДРЛ).

- Обираємо тип світильника для обраних ламп з урахуванням умов навколишнього середовища, характеристики і класу освітлювального приміщення. Світильники типу РПП: згідно ГОСТ 14254–80 IP=54, L/h=1,4.

- Оцінюємо коефіцієнт запасу та коефіцієнт нерівномірності освітлення: $k_3 = 2$; $z = 1,15$.

- Оцінюємо коефіцієнт відбиття поверхонь приміщення в залежності від виділення пилу у процесі роботи. Так як робоче приміщення – темне, то маємо значення коефіцієнтів: $\rho_c = 30\%$; $\rho_{ст} = 10\%$; $\rho_{п} = 10\%$.

- Розраховуємо кількість рядів світильників у приміщенні:

$$N_p = B / ((H \cdot h) \cdot [L / h]) = 36 / ((8 - 0,8) \cdot 1,4) = 4 \text{ ряди}$$

- Визначаємо максимально припустиму відстань між рядами світильників:

$$L_{max} = B / N_p = 36 / 4 = 9 \text{ м}$$

- Висота підвісу світильника над робочою поверхнею:

$$H = L_{max} / [L/h] = 9 / 1,4 = 6,43 \text{ м}$$

- Висота звисання світильника від стелі:

$$h_3 = H - h_p - h = 8 - 0,8 - 6,43 = 0,77 \text{ м}$$

- Чисельне значення індексу приміщення;

$$i = A \cdot B / (h \cdot (A + B)) = 72 \cdot 36 / (6,43 \cdot (72 + 36)) = 3,73$$

-Значення коефіцієнта використання світлового потоку η

$$\eta = 64\% = 0,64$$

-Визначаємо сумарний світловий потік освітлювальної установки у даному приміщенні

$$\Phi_{\Sigma} = (E_n \cdot S \cdot k_3 \cdot z) / \eta = (200 \cdot 36 \cdot 72 \cdot 2 \cdot 1,15) / 0,64 = 1863000 \text{ лм}$$

- Визначаємо умовну загальну кількість світильників у приміщенні, виходячи з позиції розташування їх у вершинах квадрата:

$$N^* = AB / L_{\max}^2 = 36 \cdot 72 / 9^2 = 32 \text{ шт}$$

- Розраховуємо світловий потік умовного джерела світла:

$$\Phi_{\text{л}}^* = \Phi_{\Sigma} / N_{\text{л}} = 1863000 / 32 = 58218,75 \text{ лм}$$

де $N_{\text{л}}$ —загальна кількість ламп у приміщенні, шт;

$$N_{\text{л}} = N^* \times n = 32 \cdot 1 = 32 \text{ шт}$$

n – кількість ламп у світильнику

- тип стандартної лампи з найближчим значенням фактичного світлового потоку лампи $\Phi_{л}$ – ДРЛ, $\Phi_{л}= 59000$, потужність 1000 Вт

$$m = \Phi_{л}^* / \Phi_{л} = 58218,75 / 59000 = 0,99$$

- Оптимальна кількість світильників у приміщенні:

$$N = N^* \cdot m = 32 \cdot 0,99 = 31,68 \text{ шт}$$

- Фактична кількість

$$N_{\phi} = 32 \text{ шт}$$

- Визначаємо розрахункову освітленість E_p у приміщенні, що створюється при застосуванні стандартних ламп:

$$E_p = (\Phi_{л} \cdot N_{л} \cdot \eta) / (S \cdot k_3 \cdot z) = (59000 \cdot 32 \cdot 0,64) / (36 \cdot 72 \cdot 2 \cdot 1,15) = 202,7 \text{ лк}$$

- Розраховуємо загальну потужність освітлювальної установки:

$$P_{\Sigma} = N_{л} \cdot P_{л} = 32 \cdot 1000 = 32000 \text{ Вт}$$

5.4 Заходи з пожежної безпеки

Для уникнення *можливості загорянь* необхідно дотримуватись правил протипожежної безпеки НАПБ А.01.001-2004. «Правила пожежної безпеки в Україні», здійснювати інструктажі та перевірки знань згідно ГОСТ 12.1.004-91

ССБТ Пожарнаябезопасность. Общиетребования, ГОСТ 12.1.033-81 ССБТ Пожарнаябезопасность. Термины и определения, встановлення систем пожежогасіння згідно ГОСТ 12.3.046-91ССБТ Установки пожаротушенияавтоматические. Общиетехническиетребования, ДСТУ 3675-98 «Пожежна техніка. Вогнегасники переносні. Загальні технічні вимоги та методи випробувань», ДСТУ 3734-98 (ГОСТ 30612-99) «Пожежна техніка. Вогнегасники пересувні. Загальні технічні вимоги»

Пожежа – неконтрольоване горіння поза спеціальним вогнищем, яке призводить до матеріальної шкоди.

Горіння – це процес окислення який супроводжується інтенсивним виділенням тепла і променевої енергії. Горіння виникає коли є горюча речовина ,окислювач та джерело запалювання. Окислювачами можуть бути кисень повітря, бертолетова сіль,пероксид натрію, азотна кислота,хлор, фтор, бром, окисли азоту, тощо.

Горіння може бути повним і неповним. Повне – при достатній або надлишковій кількості окислювача і при такому горінні виділяються токсичні речовини.

Неповне – відбувається при недостатній кількості окислювача. При неповному горінні утворюються продукти неповного згорання,серед яких є токсичні речовини (чадний газ,водень).

Первинні засоби пожежогасіння – це пристрої, інструменти та матеріали, призначені для локалізації і ліквідації загоряння на початковій стадії (вогнегасники, внутрішній пожежний кран, вода, пісок, кошма, азбестове полотно, відро, лопата та ін.). Ці засоби завжди повинні бути наготові. Гасіння пожежі – це робота пожежників-професіоналів, а боротьба з загорянням посильна для неспеціалістів. Потрібно пам'ятати, що первинні засоби застосовуються для боротьби із загорянням, але не з пожежею.

Для забезпечення пожежної безпеки в установах проводять пожежну профілактику, яка включає в себе комплекс організаційних і технічних заходів,

спрямованих на забезпечення безпеки людей, запобігання пожежі, обмеження її поширення, а також на створення умов для успішного гасіння пожежі.

Основними організаційними заходами є наявність інструкцій з пожежної безпеки, планів евакуації співробітників в разі пожежі. Основними технічними засобами пожежної безпеки є оснащення будівлі пожежним інвентарем і підтримка його в робочому стані, а також первинними засобами пожежегасіння: вогнегасниками, системами сповіщення.

5.5 Заходи безпеки у надзвичайних ситуаціях

Для забезпечення безпеки персоналу в умовах надзвичайної ситуації необхідною умовою є навчання, проведення інструктажів та тренажів згідно ДСТУ 3891-99 Безпека у надзвичайних ситуаціях. Терміни та визначення основних понять, встановлення систем передавання тривожних сповіщень та устаткування згідно ДСТУ рEN 50136-1-1:2004 Системи тривожної сигналізації. Системи передавання тривожних сповіщень та устаткування. Частина 1-1. Загальні вимоги до систем передавання тривожних сповіщень.

Надзвичайною ситуацією називається порушення нормальних умов життя людей на об'єкті або території, які викликані аварією, катастрофою, стихійним лихом, епідемією, епіфіотією, епізотією, великими пожежами, застосуванням засобів ураження, що призвели або можуть призвести до людських втрат і матеріальних збитків.

Важливим фактором забезпечення безаварійної роботи є вивчення і суворе дотримання всіма інженерно-технічними працівниками правил і норм техніки безпеки. Основними заходами по ліквідації наслідків аварій і стихійних лих є:

- оповіщення робітників і службовців, ЦО і населення, що проживає поблизу об'єкту, екстрена евакуація;
- комплексна розвідка об'єкту на якому виникла аварія;
- рятування людей з-під завалів, із оточуючих і ушкоджених будівель і споруд;
- надання медичної допомоги потерпілим від аварії, вивіз у лікувальні установи;
- гасіння пожеж;
- локалізація аварії на комунально-енергетичних мережах, перешкоджаючих веденню рятувальних робіт;
- улаштування проїздів і підходів до місць аварій;
- руйнування ненадійних конструкцій, розбирання завалів;
- демонтаж вцілілого устаткування, якому загрожує небезпека;
- організація комендантської служби.

Таким чином в проекті надано основні заходи з охорони праці для діляниць термічної обробки:

- Для виключення ураження електричним струмом в проекті передбачені організаційні та технічні заходи, які передбачають : проведення навчань з правил електробезпеки, перевірку знань та атестацію персоналу на четверту або третю групу з електробезпеки, експлуатація та ремонт обладнання повинні здійснюватись спеціально підготованим персоналом, використання захисного заземлення та занулення, розташування струмопровідних частин на недоступній висоті.

- Для виключення механічних травм на абразивних кругах необхідно щоб, устрій підлокітника повинен знаходитися в правильному положенні, відстань між кругом і підлокітником не перевищувала 3 мм, абразивний круг повинен бути захищений кожухом.

- Для уникнення термічних опіків та теплового випромінювання передбачено використання індивідуальних засобів захисту.

Для забезпечення задовільних параметрів повітряного середовища робочого простору (температура, вологість, швидкість переміщення повітряних мас) обов'язковим є кондиціонування приміщення.

Робоче приміщення повинно бути оснащено штучним освітленням, яке рівномірно має заповнювати весь простір. В проекті передбачено визначення необхідного світлового потоку світильників для забезпечення нормованого значення освітленості робочої площини.

Для уникнення можливості загорянь необхідно дотримуватись правил протипожежної безпеки. Основними організаційними заходами є наявність інструкцій з пожежної безпеки, план івевакуації співробітників в разі пожежі. Основними технічними засобами пожежної безпеки є оснащення будівлі пожежним інвентарем і підтримка його в робочому стані, а також первинними засобами пожежегасіння: вогнегасниками, системами сповіщення.

Для забезпечення безпеки персоналу в умовах надзвичайної ситуації необхідною умовою є навчання, проведення інструктажів та тренажів.

6 ЕКОНОМІЧНА ЧАСТИНА

6.1 Розрахунок капітальних вкладень в основні фонди

До складу основних фондів відділення входять:

1. Будівля;
2. Виробниче обладнання;
3. Інструмент пристосування;
4. Виробничий і господарський інвентар.

Вартість будівель виробничого, допоміжного та побутового призначення розраховується, виходячи з вартості 1 м^3 за нормами проектування промислових об'єктів. Вартість 1 м^3 будинку приймаємо за 250 грн. Зовнішній обсяг будинку ділянки визначають по формулі:

$$V = 1,1 \cdot F \cdot h$$

де F – внутрішня площа ділянки (по плануванню), м^2 ;

h – висота будинку ділянки, м.

$$V = 1,1 \cdot 72 \cdot 36 \cdot 8 = 15206,4 \text{ м}^3$$

$$K_{\text{б}} = 15206,4 \cdot 250 = 3801600$$

Капітальні вклади в обладнання ($K_{\text{об}}$) визначають як суму балансової вартості різних видів обладнання:

$$K_{\text{об}} = K_{\text{о.т.}} + K_{\text{о.е.}} + K_{\text{о.п.т.}} + K_{\text{о.к.у.}}$$

де $K_{\text{о.т.}}$, $K_{\text{о.е.}}$, $K_{\text{о.п.т.}}$, $K_{\text{о.к.у.}}$ – балансова вартість відповідно технологічного,

енергетичного, підйомно-транспортного устаткування, контрольно-вимірювального і регулюючих приладів, грн..

У балансову вартість технологічного обладнання входять: вартість обладнання, яка береться по преїскуранту оптових цін, плюс транспортно-заготівельні витрати в розмірі 10% та витрати на фундамент і монтаж у розмірі 10% оптової ціни обладнання.

Капіталовкладення підйомно-транспортного устаткування визначають по преїскуранту оптових цін з додаванням 10% заготівельних і 10% монтажних витрат від оптової ціни.

Розрахунки балансової вартості машин та іншого обладнання зводяться в таблицю 6.1.

Таблиця 6.1 – Балансова вартість виробничого обладнання

Обладнання	Марка	Кількість обладнання		Коефі-цієнт викорис-тання	Балансова вартість		Потужність встановлених двигунів, кВт	
		розрах.	прийн.		один.	усього	один.	усього
1. Технологічне обладнання								
1	2	3	4	5	6	7	8	9
Вакуумна піч	СНВ–11.22.7/9, 5	3,33	4	0,83	1666700	6666800	140	560
Мийна машина	ММТТ		2		4520	9040	20	60
Гарг. бак	ЗБК		2		3340	6680		
ТЗВ 10%						669038		
Монтаж 10%						669038		
Разом:			24	0,87		8028456		2860
2. Енерг. обладнання						117360		
3. Кран-балка			2		64625	129250		

4. КВО						5980		
Усього						8281046		

Вартість інструментів приймається 0,3% від балансової вартості технологічного обладнання:

$$8281046 \cdot 0,003 = 24843,138 \text{ грн}$$

Вартість виробничого інвентарю приймається у розмірі 0,2% від балансової вартості виробничого обладнання:

$$8281046 \cdot 0,002 = 16562,092 \text{ грн}$$

Склад основних фондів наведено в таблиці 6.2.

Таблиця 6.2 – Склад і структура основних фондів

Назва груп основних фондів	Початкова балансова вартість тис. грн.	Відсоток до підсумку	Норма амортизації, %	Сума річної амортизації, тис. грн.
1	2	3	4	5
1 . Будівля	3801,6	31,35	2,5	95,04
2. Обладнання	8281,046	68,3	4	331,24
3. Інструмент	24,843	0,21	20	4,9686
4. Виробничий і господарський інв.	16,562	0,14	20	3,3124
Усього	12124,051	100		434,561

Норма амортизації розраховується лінійним методом пропорційно строку експлуатації: будівля – 40 років; обладнання – 25 років; інструменти, виробничий і господарський інвентар – 5 років.

6.2 Матеріальне забезпечення

До найважливіших допоміжних матеріалів, які використовуються на технологічні цілі, відносяться: гартівна олія, аргон, солі, та інші.

До допоміжних матеріалів для утримання устаткування відносяться: жароміцні сплави для виготовлення пристроїв, піддонів, корзин.

Розрахунки основних (технологічних) і допоміжних матеріалів зведено в таблицю 6.3.

Таблиця 6.3 – Розрахунок витрат основних і допоміжних матеріалів

Найменування матеріалів	Витрат матеріалів			
	На 1 тону деталей, кг	На програму, т	Ціна за тону, грн.	Вартість на програму, тис. грн.
1	2	3	4	5
На технологічні цілі				
1. Олія	15	126,187	3133.33	395.39
2. Вода	9	126,187	3600 (за 1000 м ³)	454,277
ТЗВ 10%				84,966
Усього				934,626

6.3 Праця і заробітна плата

Чисельності працюючих розраховується за наступними нормами: чисельність, трудомісткість, обслуговування. Метод розрахунку за нормами чисельності використовується для визначення чисельності робітників, що виконують роботи по керуванню печами, машинами та контролю за

технологічним процесом.

Явочна чисельність робітників:

$$R_{я} = \sum n_i \cdot H_i \cdot S_i$$

де S_i – кількість змін роботи обладнання;

n_i – кількість обладнання i -го типу, шт.;

H_i – норма чисельності обслуговування робітників для обслуговування одиниці обладнання, чол.;

Явочна чисельність робітників приведена в таблиці 6.4.

Таблиця 6.4 - Явочна чисельність робітників

Операція	Обладнання	Кількість обладнання	Норма обслуговування (одиниць устаткування на 1 робітника в зміні)	Кількість робітників в 1 зміні	Кількість змін роботи обладнання
СНВ 11.22.7/9,5	Відпал	4	1	4	3
Усього		4		4	

$$R_{я} = 3 \cdot 4 \cdot 1 = 12 \text{ (чол.)}$$

На основі встановленої явочної чисельності виробничих робітників розраховується їх спискова чисельність за формулою:

$$R_{сп.} = R_{я} / K_{сп.},$$

де $R_{сп.}$ – спискова чисельність виробничих робітників, чол.;

$K_{сп.}$ – коефіцієнт, який показує співвідношення дійсного річного фонду

часу робітника до номінального.

Він означає, що $\sim 10\%$ спискової чисельності відсутні на роботі із-за відпусток, за хворобою або за іншими поважними причинами.

$$K_{\text{сп.}} = 54/0,9 = 60(\text{чол.})$$

Чисельність допоміжних робочих, інженерно-технічних працівників (ІТП), спеціалістів визначається за нормами обслуговування термічного відділення. Зведену чисельність працівників наведено в таблиці 6.5.

Таблиця 6.5 – Зведена чисельність працюючих за категоріями

Категорія персоналу	Чисельність працюючих, чол.	% до спискової чисельності основних виробничих робітників	% від усієї чисельності
1. Робітники, усього:	51	-	91,07
виробничі	28	100	-
допоміжні	23	82,15	-
2. ІТП	4	14,28	7,14
3. Спеціалісти	1	3,57	1,78
Усього	56	-	100

Уся сума заробітної плати, виплачувана працівникам відділення (без премії з фонду матеріального споживання), утворює фонд заробітної плати. Цей показник розраховують окремо по категоріях працюючих і в цілому по відділенню. Річний фонд заробітної плати складається з тарифного фонду (чи окладу) і додаткової заробітної плати.

Тарифний фонд заробітної плати робітників визначається за формулою:

$$Z_T = \sum C_i \cdot \Phi_D \cdot R_i$$

де C_j – годинна тарифна ставка j -робітника, год.;

Φ_d – дійсний річний фонд часу робітника, год.;

R_j – чисельність робітників, чол.

Розрахунок тарифного фонду заробітної плати робітників зведений у табл. 6.6.

Таблиця 6.6 – Розрахунок тарифного фонду заробітної плати робітників

Категорія робітників, професія	Розряд роб-ка	Чисельність роб-ків, чол.	Дійсний річний фонд часу, год.	Годинна тарифна ставка, год.	Тарифний фонд заробітної плати, грн.
1. Виробничі роботи					
1.1 Терміст на печач	5	12	18889.74	50	944487
1.2 Мийник	3	5	9444.5	30	283335
Усього		17			1227822

Фонд додаткової заробітної плати робітників включає премії і доплати.

Сума премій визначається укрупнено, для виробничих робітників у розмірі 40 %:

$$ЗД = 30 \cdot \frac{K_d}{100} = 1227822 \cdot 0,4 = 491130 \text{ грн.}$$

де K_d – процент додаткової заробітної плати.

6.4 Собівартість термообробки

Собівартість термообробки розраховується по наступним калькуляційним статтям витрат:

1. Допоміжні матеріали на технологічні цілі;

2. Паливо і енергія на технологічні цілі;
3. Основна заробітна плата виробничих робітників;
4. Додаткова заробітна плата виробничих робітників;
5. Відрахування на соціальне страхування виробничих робітників;
6. Відрахування на утримання і експлуатацію устаткування;
7. Загальновиробничі витрати;
8. Адміністративні витрати;
9. Витрати на тару

Стаття 1. Вартість допоміжних матеріалів представлені в таблиці 6.3 і складає 934,626 тис. грн..

Стаття 2. Витрати на технологічну електроенергію:

$$C_{TE} = H_e \cdot Q_r \cdot C_e$$

де H_e – норма витрат електроенергії на технологічні цілі, (кВт год.)/т;

Q_r – річна виробнича програма, т/рік;

C_e – ставка за 1 кВт год. спожитої електроенергії

$C_e = 1$ грн/(кВт·год.).

$$C_{TE} = 400 \cdot 105 \cdot 2,75 = 115500 \text{ грн}$$

Стаття 3. Основна заробітна плата робітників складає 1227 тис. грн.

Стаття 4. Додаткова заробітна плата виробничих робітників складає 49,1 тис. грн.

Стаття 5. Відрахування на соціальні заходи являють собою форму перерозподілу доходу на фінансування суспільних потреб, розраховуються згідно діючого законодавства і складають 22% від фонду оплати праці. Відрахування на соціальні заходи розраховуються за формулою:

$$BC = (ZO + ЗД) \cdot \frac{K_{ac}}{100} = (1227822 + 491130) \cdot 0,22 = 378170 \text{ грн.}$$

K_{bc} – % відрахування на соціальні заходи.

Розрахунок витрат на утримання і експлуатацію устаткування

Ця стаття (стаття 6) є комплексною і визначається по окремому кошторису (табл. 6.9):

$$ВУЕО = 500\%ZO = 5 \cdot 1227822 = 6139110 \text{ грн.}$$

Таблиця 6.9 – Кошторис витрат на утримання і експлуатацію устаткування

Найменування статей
1. Експлуатація обладнання: а) силова енергія; б) допоміжні матеріали
2. Заробітна плата допоміжних робітників, які обслуговують обладнання
3. Амортизація обладнання та інструменту
4. Знос малоцінних інструментів і пристосувань
5. Інші витрати
Усього 6139110 грн

Загальновиробничі витрати складають в середньому 400% до основної заробітної плати та розраховуються за формулою:

$$ЗВВ = ZO \cdot \frac{\alpha}{100} = 1227822 \cdot 4 = 4911288 \text{ грн.}$$

де α – % загальновиробничих витрат.

Таблиця 6.10 – Кошторис загальнопромислових витрат

Найменування статей
1. Утримання цехового персоналу:
а) ІТП
б) допоміжні робітники, які не зайняті обслуговуванням устаткування
2. Утримання будинків і інвентарю:
а) електроенергія для освітлення
б) опалення
в) вода на побутові потреби
г) допоміжні матеріали
3. Поточний ремонт будинків і інвентарю
4. Амортизація будинків і інвентарю
5. Витрати на іспити, дослідження, раціоналізацію
6. Охорону праці
7. Знос малоцінного інвентарю
8. Інші витрати
Усього 4911288грн.

Адміністративні витрати вміщують витрати, пов'язані з утриманням адміністративно-управлінського персоналу підприємства, а також утриманням та експлуатацією основних засобів загального виробничого призначення, охорону праці, техніку безпеки персоналу та інші. Адміністративні витрати складають в середньому 400% від основної заробітної плати основних виробничих робітників та розраховуються за формулою:

$$AB = ZO \cdot \frac{\beta}{100} = 1227822 \cdot 4 = 4911288 \text{ грн.}$$

де β –% адміністративних витрат, 400%.

Витрати на збут складаються з витрат, пов'язаних з реалізацією продукції і вміщують витрати на тару та тарні матеріали, транспортування готової

продукції, рекламу, витрати на маркетингові дослідження та інші. Витрати на збут складають 2% від виробничої собівартості і розраховуються за формулою:

$$BЗ = C_v \cdot \frac{\gamma}{100} = 1227822 \cdot \frac{2}{100} = 24556,4 \text{ грн.}$$

де C_v – собівартість виробнича, грн.;

γ – % витрат на збут .

Калькуляція собівартості продукції складається за формою табл. 6.11.

Таблиця 6.11 – Собівартість обробки в термічному відділенні термічного цеху

Найменування калькуляційних статей витрат	По проекту			
	На 1 т, грн.	%	Усього, тис. грн.	%
1	2	3	4	5
1. Допоміжні матеріали на технологічні цілі	3.73	2.11	934.63	4.88
2. Технологічна енергія	1.10	0.62	115.50	0.60
3. Основна заробітна плата виробничих робітників	11.69	6.60	1227.80	6.42
4. Додаткова заробітна плата виробничих робітників	4.68	2.64	491.10	2.57
5. Відрахування на соціальне страхування виробничих	3.60	2.03	378.20	1.98

робітників				
6. Витрати на утримання і експлуатацію устаткування	58.47	33.02	6139.10	32.08
7. Загально-виробничі витрати	46.77	26.42	4911.30	25.67
8. Адміністративні витрати	46.77	26.42	4911.30	25.67
9. Витрати на збут	0.25	0.14	26.60	0.14
Σ Собівартість обробки	177.07	100.00	19135.53	100.00

Економічний ефект від впровадження нової технології термообробки розраховується за такою формулою:

$$E = (C_6 \cdot K) - C_n = (177070 \cdot 1,4) - 163050 = 84848 \text{ грн/т};$$

Де C_6 – собівартість базового виробу, грн./т;

C_n – собівартість нового виробу, грн./т;

K – коефіцієнт експлуатаційного ресурсу (коефіцієнт приведення).

Таким чином, після економічних розрахунків визначено, що собівартість термообробки дисків знизилась на 84848 грн.

Заходи по зменшенню собівартості термічної обробки:

а) Підвищення технічного рівня - процес вдосконалення технічної бази, ріст рівня якої досягається в результаті:

- вдосконалення засобів праці (упровадження прогресивної техніки, підвищення частки удосконаленого устаткування), предметів праці.

- раціонального використання сировини, матеріалів;

- механізації й автоматизації виробничих процесів.

Використання більш продуктивного устаткування дозволяє заощаджувати заробітну плату при збільшенні амортизаційних відрахувань. Також з метою зменшення собівартості можна не купувати обладнання, а брати його в аренду.

Основним джерелом зниження собівартості продукції є зростання продуктивності праці. Завдяки зростанню продуктивності збільшується випуск продукції, за рахунок чого досягається зниження собівартості продукції шляхом економії непропорційних витрат.

Вдосконалення організації виробництва і праці. Ця група факторів впливає на зниження собівартості в результаті спеціалізації виробництва, удосконалювання організації праці й управління виробництвом, поліпшення матеріально-технічного постачання і побуту, ефективного використання часу робочих, скорочення зайвих витрат.

Собівартість знижується за рахунок скорочення поточних витрат виробництва на одиницю продукції до і після проведення організаційно-технічних заходів.

б) Зменшення кількості виробничих робітників у відділенні і їх перехід на тризмінну працю дозволить зменшити кількість обладнання та збільшити продуктивність праці.

Отже, найбільш ефективними шляхами зниження собівартості продукції є впровадження економних технологій виробництва, використання світового досвіду щодо зменшення собівартості.

ВИСНОВКИ

Мета даної роботи - дослідження впливу термічної обробки на структуру та властивості деталей газотурбінних двигунів з двофазних титанових сплавів та проектування технології термічної обробки дисків зі сплавів VT3-1, VT8, VT9.

В аналітичному розділі вивчені особливості впливу легування та термічної обробки на структуроутворення двофазних титанових сплавів та його вплив на експлуатаційні властивості виробів. Також було обрано матеріали та мети дослідження. На основі проведеної в третьому розділі оцінки впливу термічної обробки на структуру матеріалу було запропоновано варіант раціональної термічної обробки яка б забезпечувала найкращі співвідношення властивостей.

В технологічному розділі розглянуто маршрутні технології виробів зі сплавів VT3-1, VT8, VT9. Для кожної деталі було розраховані маси садок та тривалості нагрівання, витримки і охолодження. На основі отриманих даних була розроблена технологічна карта термічної обробки. Для термічної обробки було підібрано обладнання, складанні завантажувальні відомості і згідно річної програми розрахована його кількість. Також в цьому розділі розглянули можливі дефекти при ТО, їх види, причини появи, заходи по запобіганню та усуненню.

В розділі з охорони праці і навколишнього середовища були проаналізовані потенційні небезпеки в технологічному відділенні механічного цеху машинобудівного заводу та заходи по забезпеченню безпеки, основними з яких є:

- для виключення травматизму, внаслідок незадовільної професійної підготовки фахівців і хибного виконання ними обов'язків, необхідно залучати до робіт тільки осіб з отриманими знаннями по спеціальності, перевіряти допуск до роботи і медичний огляд;

- для виключення механічних травм із-за неправильної організації робочого місця необхідно своєчасно виконувати атестацію робочих місць і визначати відповідність умов роботи до вимог нормативно-правових актів;

- для виключення ураження електричним струмом необхідно проведення навчань з правил електробезпеки, використання захисного заземлення та занулення, розташування струмопровідних частин на недоступній висоті;

- для виключення втрати герметичності трубопроводів, які подають робочі гази до технологічного обладнання необхідно використання металевих трубопроводів, щодення перевірка герметичності з'єднань омилуванням;

- для уникнення можливості загорянь необхідно дотримуватись правил протипожежної безпеки;

- для забезпечення безпеки персоналу в умовах надзвичайної ситуації необхідною умовою є навчання, проведення інструктажів та тренажів;

Робоче приміщення повинно бути оснащено штучним освітленням, яке рівномірно має заповнювати весь простір. В проекті передбачено визначення необхідного світлового потоку світильників для забезпечення нормованого значення мінімальної освітленості робочої площини.

В економічній частині дипломного проекту розрахована кількість працюючих, вартість основних фондів, собівартість бдлджурозглянутої термічної обробки і заходи по її зменшенню. Найбільш ефективним способом зменшення собівартості є зниження собівартості продукції шляхом впровадження економних технологій виробництва і використання світового досвіду щодо її зменшення.

ПЕРЕЛІК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Иноземцев А.А., Башкатов И.Г., Коряковцев А. С. Современные титановые сплавы и проблемы их развития. М.: ВИАМ, 2010. С. 43-45.
2. О сопротивлении усталости титанового сплава ВТЗ-1 в связи с поверхностным наклепом /М.Н.Степнови др. *Проблемы прочности*. 1985. №3. С. 20-22.
3. Кашапов О. С., Новак А. В., Ночовная Н. А. и др. Состояние, проблемы и перспективы создания жаропрочных титановых сплавов для деталей ГТД. *ТРУДЫ ВИАМ: Электронный научный журнал*. 2013. №3. URL: http://viam-works.ru/ru/articles?art_id=20
4. Глазунов С.Г., Ясинский К.К. Титановые сплавы для авиационной техники и других отраслей промышленности *Технология легких сплавов*, 1993, № 7-8, С. 12-25
5. Павлова Т.В., Кашапов О.С. Титановые сплавы для газотурбинных двигателей. *Все материалы. Энциклопедический справочник*, 2012, №5, С. 16-31
6. Моисеев В.Н. Титан в России. *Металловедение и термическая обработка металлов*, 2005. №8. С. 4-16.
7. Анташев В.Г., Ночовная Н.Л. Жаропрочные титановые сплавы. *Все материалы. Энциклопедический справочник*, 2007. № 3. С. 34-45
8. Моисеев В.Н. Высокопрочные титановые сплавы в самолетостроении. *Технологии легких сплавов*, 2002. №4. С. 26-32
9. Хорев А.И. Титан - это авиация больших скоростей и космонавтика. *Технология легких сплавов*, 2002. №4. С. 92-97
10. Moiseyev V. N. *Advances in Metallic Alloys Volume 5. Titanium Alloys: Russian Aircraft and Aerospace Applications*. London: Taylor & Francis Group, LLC, 2006. 226 p.

11. Солонина О.П., Глазунов С.Г.
Современные жаропрочные титановые сплавы и перспективы их применения в двигателях. М.: Металлургия, 1974. 360 с.
12. Квасов Ф.И., Каганович И.Н., Кожевникова Л.В. Титан. Производство. Применение. Люди. М.: ВИЛС, 1992 г.
13. Gogia A.K. High-temperature Titanium Alloys *Defence Science Journal*, 2005. Vol. 55.# 2.P. 143-173
14. Poletti C., Kremmer S., Degischer H.P. Hot deformation studies on discontinuously reinforced Ti-Alloys. *Ti-2003 Science and Technology*, 2003. Vol IV. P. 2531-2538.
15. Yolton C.F. and Moll J.H., "Evaluation of a Discontinuously Reinforced Ti-6Al-4V Composite" *Titanium '95: Science and Technology*, pp. 2755-2762
16. Xiao B. L., Ma Z. Y. Creep behavior of TiBw/Ti and (TiBw+TiCp)/Ti in situ composite *Journal of materials science letters* 21, 2002, 859– 861
17. Хорев А.И. Фундаментальные исследования легирования титановых сплавов редкоземельными элементами». *Вестник машиностроения*. 2011, №11, С.54-61.
18. Костин К. В., Петунин П. В., Баязитов Р. Б., Кудрявцев И. А. Влияние комплексного легирования на повышение механических свойств и прочности титановых сплавов. *Омский научный вестник. Сер. Приборы, машины и технологии*, 2016. № 4 (148). С. 45–47
19. Barussad A., Desvalles Y., Guedou J.Y. Control of the microstructure in large titanium discs. Application to the high pressure compressor of the GE90 aeroengine. *Titanium-95: Science and Technology*. UK: The institute of Materials. 1996. P. 1599-1608
20. Кривцов В.С., Павленко В.Н., Волков И.В.
Оценка влияния ряда факторов на сопротивление усталости титановых сплавов. *Проблемы машиностроения*, 2011. Т.14. № 6. С. 37-41

21. Петракова А.Р., Кашапов О.С., Калашников В.С. Исследование влияния режимов отжига на структуру и фазовый состав штамповок моноколес из сплава ВТ8-1. *Вестник МАИ*. 2015. №2. С. 142-151.

22. Катренко Л. А. Ю. В. Кіт, І. П. Піскун Охорона праці. Курс лекцій. Практикум. Суми: ВТД «Університетська книга», 2007. 260 с.

23. Основи охорони праці: підручник / В. В. Березуцький та ін.; за ред. проф. В. В. Березуцького. Х.: Факт, 2005. 327 с.

24. Шоботов В. М. Цивільна оборона: Навчальний посібник. К.: Центр навчальної літератури, 2006. 438 с.