

ПІБ студента: Хіхляч Анастасія Олексіївна

ПІБ керівника: Ткач Дар'я Володимирівна, доцент

Тема: Дослідження особливостей хіміко-термічної обробки деталей газотурбінних двигунів

РЕФЕРАТ

ПЗ: 132с., 25 табл., 24рис., 29джерел

Мета даної роботи – дослідження особливостей хіміко-термічної обробки деталей газотурбінних двигунів. Було досліджено вплив способу хіміко-термічної обробки на властивості зубчастих коліс газотурбінних двигунів.

вивчені особливості впливу легування та термічної обробки на експлуатаційні властивості зубчастих коліс ГТД. Було обрано матеріали та методи дослідження. На основі проведеної оцінки впливу термічної обробки на структуру матеріалу було запропоновано варіанти термічної обробки, яка б забезпечувала найкращі співвідношення експлуатаційних властивостей матеріалів. Розглянуто основні процеси термічного оброблення, які відбуваються у 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.

ЗУБЧАСТЕ КОЛЕСО, ХІМІКО-ТЕРМІЧНА ОБРОБКА,
ЦЕМЕНТАЦІЯ, НІТРОЦЕМЕНТАЦІЯ, КОНТАКТНА ВИТРИВАЛІСТЬ,
ЗНОСОСТІЙКІСТЬ

ЗМІСТ

Вступ.....	5
1 Аналітичний огляд	7
1.1 Особливості експлуатації окремих деталей ГТД.....	8
1.2 Використання ХТО для створення корисних залишкових напружень, їх вплив на експлуатаційну довговічність (границю витривалості)	19
1.3 Особливості здійснення різних варіантів ХТО деталей ГТД: цементация, нітроцементация, азотування	23
1.3.1 Хімічний склад сталей	23
1.3.2 Операції ХТО.....	28
2 Матеріали й методи дослідження	36
2.1 Матеріали дослідження	36
2.2 Визначення механічних властивостей	38
2.2.1 Циклічна міцність при вигині	38
2.2.2 Контактна витривалість	39
2.2.3 Випробування на зносостійкість	40
2.2.4 Дослідження мікроструктури	42
3 Дослідження впливу способу хіміко-термічної обробки на властивості поверхневого шару	43
3.1 Розробка стандартного технологічного процесу термічної обробки шестерні газотурбінного двигуна	43
3.1.1 Маршрутна технологія виготовлення зубчастого колеса	43
3.1.2 Розробка режимів та технології термічної обробки	44
3.1.3 Технічний контроль, попередження та виправлення браку	69

3.2 Вплив різних процесів хіміко-термічної обробки на властивості зубчастих передач	75
3.2.1 Особливості вакуумних процесів хіміко-термічної обробки важконавантажених зубчастих передач.....	76
3.2.2 Особливості іонно-вакуумних процесів хіміко-термічної обробки важконавантажених зубчастих передач.....	83
3.2.3 Вплив запропонованих варіантів хіміко-термічної обробки на властивості виробів	87
3.2.4 Порівняння способів ХТО високонавантажених зубчастих коліс.....	96
4 Економічна частина	100
4.1 Розрахунок капітальних вкладень в основні фонди	100
4.2 Матеріальне забезпечення.....	103
4.3 Праця і заробітна плата	104
4.3.1 Розрахунок чисельності працюючих.....	104
4.3.2 Розрахунок фонду заробітної плати	106
4.4 Собівартість термообробки.....	108
5 Охорона праці.....	114
5.1 Аналіз потенційних небезпек.....	114
5.2 Заходи по забезпеченню техніки безпеки.....	116
5.3 Заходи по забезпеченню виробничої санітарії та гігієни праці	120
5.4 Заходи з пожежної безпеки	123
5.5 Заходи по забезпеченню безпеки у надзвичайних ситуаціях	124
Висновки	127
Перелік посилань.....	128

ВСТУП

Першорядні завдання в області створення виробництва сучасних авіаційних двигунів полягають у підвищенні експлуатаційних характеристик, економічності у виробництві й надійності в роботі. Вирішення цих завдань вимагає постійного вдосконалювання технологічних процесів, що забезпечують високу якість виготовлення деталей двигуна. До технологій, що вимагають постійного вдосконалювання, відносяться технології зміцнення зубчастих коліс, від працездатності яких залежить довговічність двигуна і всього літального апарата.

Виготовлення зубчастих коліс - багатоопераційний технологічний процес, де операції гарячої пластичної деформації й механічної обробки сполучаються з операціями термічної обробки заготовок і хіміко-термічної обробки деталей. Зубчасті колеса авіадвигунів відносяться до числа найбільш складних у технологічному відношенні деталей. При їх виготовленні число операцій і переходів досягає двох десятків. Складна конфігурація зубчастих коліс, мінімальні припуски суттєво ускладнюють процеси термічної й механічної обробки, вимагають ретельного їх виконання.

Найбільш складна й відповідальна технологічна операція - хіміко-термічна обробка. Вона передбачає газову цементацію в шахтних печах. Такий процес через недосконалість устаткування й алгоритму керування дифузійним насиченням не забезпечує необхідної якості зміцнення. Інший його недолік - значні деформації й жолоблення, що викликають зниження показників точності виготовлення деталей на 2..3 порядку. Для відновлення необхідної точності потрібно зубошліфування. Його особливість - можливість утворення в поверхневому шарі структурних змін (прижогів) і залишкових напружень розтягання, що негативно впливають на експлуатаційні властивості зубчастих коліс.

Існуюча технологія хіміко-термічної обробки є найбільш вузьким місцем у виробництві зубчастих коліс. Аналіз показує, що застосовуваний процес ХТО, заснований на газовій цементації в шахтних печах, тривалий (10...12 годин), дорогий і не забезпечує необхідного якості обробки. Недосконала й організаційна структура термічного виробництва, що відрізняється низьким рівнем механізації й автоматизації. Це свідчить про необхідність заміни газової цементації новими процесами хіміко-термічної обробки.

Тому існує необхідність введення у виробництво нових перспективних технологічних процесів. Головною їх перевагою є можливість формування дифузійних шарів з високою несівною здатністю. Завдання цементації - забезпечити задану насиченість поверхневого шару вуглецем при мінімальному часі й максимальній економії видаткових матеріалів. У машинобудуванні застосовуються, головним чином, п'ять способів газової цементації: в автоматизованих агрегатах з регульованим вуглецевим потенціалом; у продуктах піролізу в шахтних печах; у киплячому шарі; у вакуумі; іонний.

Однак питання про те, який зі способів впливає вважати найбільш раціональним, поки не одержав наукового обґрунтування і потребує подальших досліджень експлуатаційних властивостей поверхневого шару після обробки. Різноманіття варіантів проведення дифузійного насичення з однієї сторони розширює технологічні можливості процесів, а з іншого - утрудняє вибір оптимальних режимів обробки на основі експериментальних досліджень.

1 АНАЛІТИЧНИЙ ОГЛЯД

Зубчасті колеса є найпоширенішими деталями машин для більшості галузей машинобудування, зокрема, літакобудування, вертолітобудування, суднобудування (тобто галузі, де широко застосовують газотурбінні двигуни), а також автомобілебудування (включаючи спеціальне), локомотивобудування, виробництво самохідних машин військового призначення. Сучасні зубчасті колеса транспортних машин (особливо в газотурбінних двигунах), вагові й габаритні характеристики яких жорстко лімітовані, піддані високим силовим, температурним і вібраційним навантаженням.

Основним, загальновизнаним способом їх зміцнення є хіміко-термічна обробка (ХТО), у більшості випадків цементація, рідше нітроцементація й азотування.

Очікується, що дифузійні покриття зубчастих коліс газотурбінних двигунів 5-6 поколінь повинні відповідати наступним значенням експлуатаційних властивостей: межа контактної витривалості (обумовлений у зоні зачеплення) – 1500-2000 МПа; межа втоми при вигині (контрольований у коріння зуба) – 900-1200 МПа; робоча температура поверхонь зубчастих коліс – більш 350-450 °С; температура миттєвих спалахів – 500-800 °С й більш.

Для їхнього виготовлення знайшли широке застосування комплекснолеговані теплостійкі сталі, які застосовують для відповідальних деталей, що працюють в умовах високих навантажень і швидкостей ковзання. Їхні основні властивості, що визначають працездатність (контактна витривалість, зносостійкість, опір втомному руйнуванню при вигині й заїданню), визначаються структурою заевтектоїдної зони шару.

На насиченій поверхні деталей утворюється розвинена карбідна фаза (цементит і тугоплавкі карбіди легуючих елементів). Забезпечення якості

високонавантажених зубчастих коліс, у тому числі надійності й ресурсу, є актуальним завданням. Тому їх виробництво вимагає постійного вдосконалювання технологічних процесів, розробки й впровадження нових методів обробки, що забезпечують їхню високу якість і експлуатаційну надійність.

1.1 Особливості експлуатації окремих деталей ГТД

Зубчасті передачі одні з найпоширеніших видів механізмів у машинобудуванні. У приводах агрегатів і редукторах ГТД найбільше застосування знайшли циліндричні й конічні зубчасті передачі з евольвентним зачепленням.

В основному, до зубчастих передач у приводах агрегатів і редукторах ГТД висуваються ті ж вимоги, що й у загальному машинобудуванні.

До зубчастих передач авіаційних ГТД поряд із загальними вимогами по максимальному КПД, ремонтпридатності, технологічності, мінімальним габаритам і масі, мінімальній вартості виробництва й експлуатації пред'являються додаткові вимоги:

- більша несуча здатність;
- підвищені вимоги до рівня надійності для забезпечення безпеки польотів;
- збільшені терміни служби
- зменшення питомої маси.

При роботі зубчастої передачі в приводах агрегатів і редукторах ГТД деформація зубів коліс перевищує погіршеність їх виготовлення. Дана обставина визначає гарантований контакт усіх сполучених у цей момент зубів.

За рівнем навантаження зубчастих передач їх можна розділити на:

- малонавантажені - високошвидкісні зубчасті передачі КПА й перших ступенів редукторів ТВД і ГР вертольотів;
- важконавантажені - останні ступені ГР і редукторів ТВД.

Навантаження в зубчастих зачепленнях діляться на статичні, обумовлені переданим $M_{кр}$, і динамічні, що залежать від точності виготовлення зубів і складання.

Зі збільшенням окружних швидкостей у зубчастих зачепленнях збільшується динамічна складова навантажень у них і, відповідно, зростають вимоги до підвищення точності виготовлення зубів. Динамічні навантаження виникають при вході й виході зубів із зачеплення. На вході зубів у зачеплення виникає крайковий удар через погрішності зачеплення. При виході зубів із зачеплення в точній передачі відбувається перерозподіл навантаження з динамічним зусиллям. У неточній передачі при виході зубів із зачеплення виникає серединний удар.

При роботі зубчастих передач найнебезпечніші напруги виникають у зубах і шліцах коліс. Якщо в шлицевих з'єднаннях у роботі беруть участь одночасно всі елементи шліца й навантаження між ними розподіляється рівномірно, то в зубчастому зачепленні в передачі крутного моменту беруть участь лише окремі зуби й, отже, основні навантаження несуть зубчасті елементи коліс.

У процесі роботи коліс на зубах виникає окружна сила. Окружна сила, що допускається, залежить від конструкції зуба колеса, його матеріалу й режиму термічної обробки. Так, наприклад, найбільші значення окружної сили, що допускається, мають зубчасті колеса, поверхня яких зміцнена хіміко-термічною обробкою. При зміцненні поверхні шляхом загартування з нагріванням СВЧ значення цього параметра звичайно знижується на 30-35%, без поверхневого зміцнення — в 4-5 раз.

Міцність зубів і коліс визначається в основному їхньою здатністю опиратися згинаючим напругам. Напруги вигину, що виникають при роботі зубчастих передач, можуть досягати 39,2...49 Мпа в невідповідальних

зубчастих колесах і 294 Мпа у відповідальних. Важконавантажені зубчасті колеса працюють при напруженнях вигину, що доходять до 784 Мпа [Калетин.

Напруження вигину значно підсилюються в моменти короточасних перевантажень, що виникають при запуску машини, перемиканні швидкостей, поворотах, гальмуванні двигуном, а також при зміні режиму роботи двигуна, пов'язаному з подоланням природніх перешкод. Напруги при перевантаженнях можуть зростати до значень, що перевищують в 2-3 рази робочі напруги при вигині. Сильні перевантаження можуть викликати на зубах утворення тріщин і відколів, а в окремих випадках і поломку зубів у коріння.

Напруження вигину сильно збільшуються в зубчастих колесах, що працюють зі змінним зачепленням, а також у випадках, коли через неточне регулювання привода керування є неповне зачеплення зубів. У таких випадках спостерігається торцеве й крайове викришування зубів, сильне зношування по торцевих крайках і передчасне руйнування колеса.

Крім того, зубчасті колеса зі змінним зачепленням працюють в умовах ударного навантаження на торцеву частину зуба.

Сила удару збільшується при відсутності синхронізаторів, що вирівнюють швидкості по початковому колу. Сильні удари по торцях зачіплюваних коліс також можуть привести до викришування й руйнування зубів, що сполучаються. Величина ударних і згинаючих навантажень на зуби залежить від правильності геометрії працюючих пар. Напруги, що виникають внаслідок удару, значно знижуються при наявності заокруглень на торцях зубів. Напруги вигину сильно збільшуються, якщо є погіршеність по основному кроку.

З іншого боку, зуби важконавантажених коліс випробовують значні тиски в зоні контакту. У відповідальних редукторах питомі тиски в контакті досягають 2940 Мпа. У разі більших контактних напружень на робочій поверхні зубів відбувається викришування, яке називають питтингом.

Питтинг виникає внаслідок контактної втоми поверхневого шару матеріалу. Звичайне викришування починається в зоні найбільших контактних напруг, що перевищують міцність матеріалу, які спочатку викликають відшаровування тонких поверхневих шарів, а потім, поступово поширюючись углибину, приводять до утвору «виразок» питтинга значної глибини (до 2 мм).

Залежно від втомної міцності матеріалу викришування або локалізується, або прогресує, викликаючи порушення контакту зубчастої пари. У результаті з'являються, удари при роботі коліс, збільшуються згинаючі навантаження на зуби, передчасно настає руйнування зубчастих коліс, зменшується довговічність передачі.

Контактна витривалість важко навантажених зубчастих коліс в основному визначається легованістю сталі, але в значній мірі залежить і від стану поверхні зубів. Зміцнення поверхні цементацією значно підвищує опір сталі утворенню питтинга. Однак такі дефекти, як знеуглецювання й навіть просто деяке збідніння вуглецем поверхні суттєво послабляють цю дію. Таким чином, міцність і надійність у роботі таких складнонавантажених деталей, як зубчасті колеса, забезпечуються в основному міцністю матеріалу, внаслідок чого до сталей, застосовуваних для виготовлення зубчастих коліс, пред'являються дуже високі вимоги.

Погрішності у виготовленні ЗК, деформація зубів під дією навантаження приводять до крайкових ударів зубів, що викликають вібрації, крутильні коливання, високий рівень шуму. Підвищення точності виготовлення ЗК, збільшення (за рахунок застосування косозубих ЗК) коефіцієнта перекриття, підвищення твердості зубів за рахунок зміни кута зачеплення, а також застосування фланкування зубів дозволяють суттєво знизити рівні вібрацій і шуму. Фланкування - модифікація профілю головки зуба для поліпшення працездатності високошвидкісних і важко навантажених циліндричних передач зовнішнього зачеплення.

Основний висновок - точність зубчастої передачі призначається з обліком фактичної навантаженості й твердості сполучених зубів і всієї пружної системи в цілому.

Вигинання й контактна міцність навантажених ЗК є найважливішою умовою їх працездатності й довговічності.

Методи підвищення міцності на згин і контактної міцності й довговічності ЗК багато в чому аналогічні. Однак, слід мати на увазі, що контактна міцність забезпечується комбінацією питомого навантаження на зуб і міцності масляної плівки при робочій температурі в зачепленні. Тому дуже важливий вибір змащення, тип який залежить не тільки від питомого навантаження, окружної швидкості й температури передачі, але визначається й заданими умовами експлуатації (наприклад, пуск установки, яка містить зубчасту передачу, при негативних температурах навколишнього середовища й т.п.). Мають значення й адсорбційні властивості масла. При високій адсорбційній здатності змащення, підсилюється її зв'язок з матеріалом зубів, збільшується товщина масляної плівки, зм'якшуються динамічні явища, зменшуються максимальні напруги в плямах контакту. Не слід надмірно завищувати кількість масла, що подається в зачеплення швидкохідних передач, тому що при цьому тепловідведення не збільшується, але з'являється небезпека гідродинамічного розклинення передачі надмірним масляним шаром. Для швидкохідних зубчастих передач вибирають масла з меншою в'язкістю, а для тихохідних - з більшою.

Загальновідомо, що переважна частина руйнувань зубчастих коліс, як і інших численних деталей машин, починається на поверхні й у поверхневих шарах. Такий характер руйнувань викликається тільки одним — перевищенням діючими напруженнями міцності матеріалу в цих зонах. Цьому сприяють як характер діючих навантажень, так і особливості будови матеріалу в поверхневих шарах.

Дійсно, поверхневі шари деталей при їхній експлуатації навантажені більш інтенсивно, ніж серцевина, тому що взаємодіючи між собою, вони

сприймають усі діючі навантаження своїми поверхнями. Тому на поверхні й у поверхневих шарах деталей робочі напруги мають максимальні значення, які зменшуються по перетину деталей. Крім того, напруги в поверхневих шарах збільшуються через дію різних концентраторів і контактного навантаження. Значно підвищує навантаженість поверхні й поверхневих шарів деталей нестаціонарність їх напружено-деформованого й теплового стану, що виникає під дією сил тертя, інерції, температури тощо.

У той же час добре відомо, що будь-яка деталь після виготовлення має принципово різні в енергетичному й структурному станах зони — поверхневий шаром і серцевину. При цьому матеріал поверхні й поверхневого шару (без спеціального зміцнення), як правило, має меншу міцність у порівнянні із серцевиною деталі у зв'язку з виникненням вже на стадії виготовлення й зміцнення різного роду поверхневих дефектів.

Несприятлива відмінність у структурі й властивостях поверхневого шару й серцевини деталі спостерігається й після об'ємної термічної обробки, тому що в цьому випадку в поверхневому шарі відбувається знеуглецювання й окиснення й, як результат цього, — зниження властивостей приповерхньої зони й виникнення додаткових залишкових напруг розтягнення. У помітно меншому ступені знеуглецювання й окиснення відбуваються при використанні захисних контрольованих атмосфер. Це відразу ж супроводжується також помітним підвищенням властивостей усієї деталі (особливо втомної витривалості й зносостійкості). Однак, як показує практика, об'ємна термічна обробка в більшості випадків не забезпечує необхідних властивостей деталей, тому що структура, характер її розподілу по перетину деталей, а значить і їх властивості не відповідають напруженому стану деталей в умовах їх експлуатації. Це приводить до значного зниження надійності й довговічності деталі, тому що діючі робочі напруги, як правило, перевищують граничні напруги для матеріалу поверхневого шару, що означає втрату працездатності й поверхневого шару, і всієї деталі [3].

Аналіз причин передчасного руйнування зубчастих коліс [4] показав, що зниження їх міцності й довговічності в значній мірі пояснюється насамперед відхиленнями структурних параметрів поверхневих шарів: утворенням немартенситних структур (троостита, бейніта), оксидів, карбідів, нітридів; збільшенням кількості залишкового аустеніту; зниженням або збільшенням товщини зміцненого шару й твердості поверхні. Однак, незважаючи на численні дослідження, запропоновані різні методи усунення названих причин зниження довговічності зубчастих коліс не завжди ефективні. Це змушує знову звернутися до досліджень і насамперед до аналізу умов експлуатації зубчастих коліс і факторів, що впливають на їхню міцність і довговічність.

Для оцінки надійності й довговічності зубчастих коліс поряд з характером розподілу тиску в контакті зубів потрібно також знати й стан матеріалу зубів, що сполучаються.

Відомо, що через дію контактних напружень на робочих поверхнях зубів коліс відбувається викришування (рис. 1.1).



Рисунок 1.1- Викришування (питтинг) робочих поверхонь зубів цементованого зубчастого колеса редуктора

Як показують численні дослідження, характер руйнування поверхні зубів у вигляді ямок викришування (питтинга) пояснюється напружено-деформованим станом поверхневих шарів зубів, а основною причиною

викришування є виникнення фактичних напруг, що перевищують межу контактної витривалості матеріалу зубчастого колеса.

Металографічне й фрактографічне дослідження безпосередньо зони контакту показали, що контактне руйнування починається з утворення мікротріщин на поверхні (рис. 1.2, а), які потім розповсюджуються в глиб металу (рис. 1.2, б).

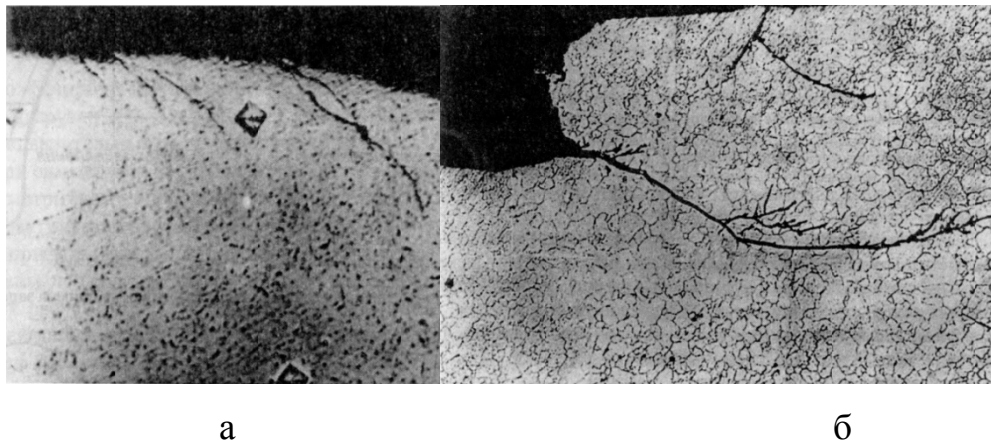


Рисунок 1.2 - Зародження (а) і розвиток (б) мікротріщин у поверхневому шарі цементованого зубчастого колеса зі сталі 20X2H4A при експлуатації, х500

Викришування звичайно починається й розповсюджується в полюсі зачеплення, тому що в цьому місці матеріал зазнає дії знакозмінних дотичних напружень (рис. 1.3). Зниженню контактної міцності в зоні полюса зачеплення сприяє також те, що швидкість ковзання тут міняє знак, у результаті чого відбувається розрив масляної плівки й збільшення тангенціальних сил.

При аналізі контактного руйнування матеріалу зубчастих коліс необхідно пам'ятати, що умови роботи матеріалу в різних зонах профілю зуба неоднакові. Наприклад, на ніжці зуба питома робота тертя більше, ніж на головці, тому що довжина переміщення плями контакту по профілю тим менше, чим ближче ця ділянка до основного кола.

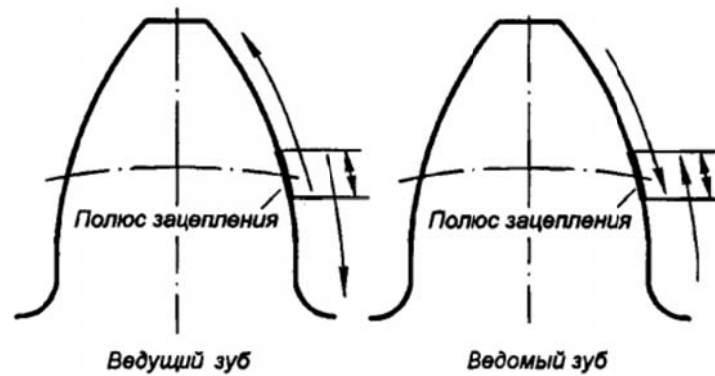
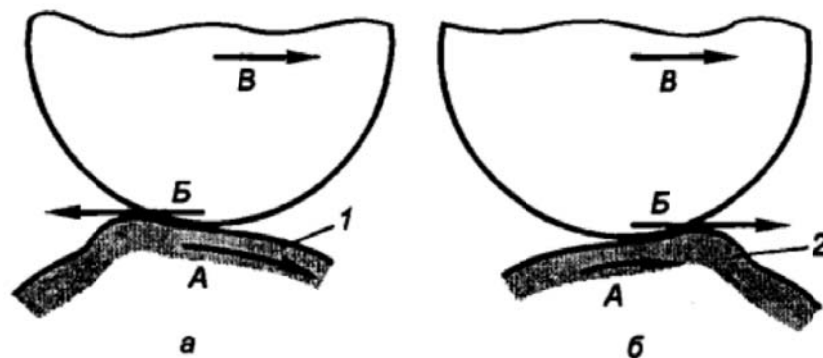


Рисунок 1.3 - Схема дії дотичних напружень у зоні полюса зацеплення

Крім того, напрямки ковзання на ніжці зуба протилежні, тому поверхня зуба в цій зоні при накочуванні парного профілю розтягнута, у той час як на головці зуба вона стиснута (рис. 1.4). Таким чином, ніжка зуба зазнає більш інтенсивного навантаження, ніж головка зуба.



А - напрямок переміщення контакту; Б - напрямок ковзання; В - напрямок кочення; 1 - розтягнута область; 2 - стиснута область

Рисунок 1.4 - Схема взаємодії контактуючих поверхонь для ніжки (а) і головки (б) зуба

На напружено-деформований стан матеріалу зубчастих коліс значний вплив завдає швидкість прикладання навантаження на зуб. Відомо [5], що контакт між двома зубами здійснюється протягом 10^{-3} - 10^{-4} с, а тривалість паузи між двома сусідніми взаємодіями одного зуба більше тривалості контакту в тисячу й більш разів. Розрахунки показують,

що навіть у повільних зубчастих передачах прикладання навантаження в контакті здійснюється ударом. Ці дані свідчать про те, що матеріал у контакті працює в умовах циклічного впливу ударів.

Під час контакту матеріал зубів, піддаючись високому тиску й тертю ковзання, нагрівається. Після виходу з контакту ця ділянка поверхні швидко проохолоджується. Таким чином, поверхня контактуючих зубів зазнає в мікрообсягах циклічний температурний вплив: миттєве підвищення температури й порівняно тривале охолодження. Відзначимо, що завдяки спільній дії нормальних і дотичних напружень у тонкому поверхневому шарі матеріалу створюється об'ємний напружений стан, який сприяє пластичній деформації навіть високоміцних матеріалів. На рисунку 1.5 добре спостерігаються сліди пластичної деформації в поверхневій зоні цементованого зубчастого колеса.

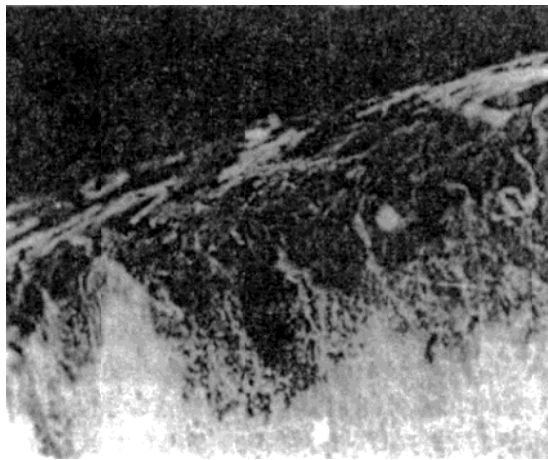


Рисунок 1.5 - Пластична деформація в поверхневій зоні цементованого зубчастого колеса; $\times 1000$

Крім того, у результаті виникнення градієнтів тиску, пружної й пластичної деформації, а також температури в мікрообсягах зубів змінюється кінетика дифузії елементів, що входять до складу матеріалу зубчастих коліс. Мікродифузійні переміщення відбуваються досить швидко, наприклад за 10^{-3} - 10^{-4} с атоми дифундують на 1 мкм [3]. При цьому під дією градієнтів тиску й

температури результуючий дифузійний потік атомів спрямований убік контактуючої поверхні. Не можна не враховувати, що згодом у результаті цих дифузійних переміщень у шарі можуть виникнути різні дефекти, зокрема пористість, що викличе зміни у властивостях матеріалу зубчастих коліс.

Основними видами руйнування зубчастих коліс є поломки й викришування (питтинг) активних поверхонь зубів. При цьому вважають, що поломки зубів визначаються в основному недостатньою міцністю на згин в корені зуба, а викришування — низкою контактною міцністю матеріалу на робочих поверхнях зубів. Властивості матеріалу в западині між зубами визначають не тільки міцність зубів при згині, але й у значній мірі впливають на контактну міцність поверхні зубів. Ці дані добре узгоджуються з результатами аналізу умов роботи зубчастих коліс. Дійсно, з наведених раніше даних випливає, що контактні напруги (нормальні й тангенціальні) у зоні фактичного контакту багато в чому залежать від поведінки зуба, його піддатливості під дією сил у контакті. Безумовно, що чим більше відхиляється зуб від розрахункового положення, тим більше змін у самому контакті, тому що при цьому змінюються сили тертя в контакті, можуть значно зрости динамічні навантаження; не можна виключати можливості виникнення вібрації зубів.

Багато властивостей, наприклад сила тертя на контактуючих поверхнях шестірень, твердість і піддатливість зуба, залежать від міцності матеріалу в корені зуба. Отже, зміну навантаженості в зоні фактичного контакту можна запобігти або зменшити, якщо матеріал у западині між зубами буде більш міцним.

Від властивостей матеріалу в корені зуба (западині між зубами) залежать властивості матеріалу й на робочих поверхнях. Чим міцніше матеріал у цьому місці, тем меншою мірою зуб змінює своє положення, а виходить, у більш стаціонарні й більш близьких до розрахункових умовах працюють коріння й робоча поверхні зубів. У зв'язку із цим одним з перспективних напрямків підвищення й стабілізації властивостей зубчастих

коліс є застосування таких методів зміцнення, які дозволяють підвищувати механічні властивості матеріалу коліс по всій їхній конфігурації й особливо в западині між зубами, тому що їхнікоріння, як впливає из наведеного аналізу, є однієї з найбільш навантажених зон зубчастих коліс.

1.2 Використання ХТО для створення корисних залишкових напружень, їх вплив на експлуатаційну довговічність (границю витривалості)

Значно підвищити експлуатаційні властивості зубчастих коліс можна шляхом використання хіміко-термічної обробки (ХТО), коли в результаті поверхневого дифузійного насичення й наступної (або попередньої) термічної обробки поряд із загальним зміцненням досягається переважне зміцнення поверхневого шару деталі.

У цьому випадку розподіл міцності по перетину деталі більшою мірою відповідає розподілу робочих напруг, що виникають при її експлуатації. Сприятливий вплив ХТО пояснюється зміною енергетичного й структурного станів поверхні й приповерхневого шару [3]. У результаті дифузійного насичення й наступної термічної обробки забезпечується формування в поверхневому шарі більш міцних і стабільних при експлуатації фаз, і структур. Така зміна енергетичного й структурного станів забезпечує значне підвищення властивостей. Наприклад, при переході від поліпшення до науглецювання (цементзації), припустимі контактні напруження на активних поверхнях зубів зубчастих коліс зростають у середньому з 700 до 1500 Мпа, що забезпечує збільшення навантажувальної здатності зубчастих передач в 4, 6 рази.

Відомо, що міцність і довговічність цементованих і нітроцементованих деталей у значній мірі залежать від показників якості: мікроструктури й твердості поверхневого шару й серцевини, товщини шару, поверхневої

концентрації вуглецю й азоту, характеру кривої розподілу їх по шару. Тому на практиці з метою забезпечення оптимальних експлуатаційних властивостей деталей прагнуть одержати необхідну комбінацію зазначених показників.

Із численних процесів ХТО для зміцнення важконавантажених сталевих деталей і, насамперед, зубчастих коліс різного призначення в цей час на вітчизняних заводах і за рубежом в основному застосовують цементацію й нітроцементацію.

Обійняти провідне місце цим процесам дозволило:

- 1) забезпечення високих значень і необхідного (у багатьох випадках унікального) сполучення втомної і контактної витривалості, статичної міцності при згині, зносостійкості, в'язкості й надійності при випадкових пікових навантаженнях;
- 2) можливість застосування порівняно не коштовних сталей, що мають задовільну оброблюваність при різанні й обробці тиском, технологічність при термічній й хіміко-термічній обробках;
- 3) використання дешевих, недефіцитних і технологічних середовищ для насичення, що містять вуглець і азот.

Про перевагу цих методів зміцнення зубчастих коліс перед іншими свідчать дані, наведені в таблиці 1.1.

Схеми найбільш застосовуваних технологічних процесів цементації й нітроцементації наведено на рисунку 1.6. Температурно-часові параметри ХТО зубчастих коліс призначають насамперед з урахуванням хімічного складу застосовуваних сталей.

Таблиця 1.1 - Вплив термічної й хіміко-термічної обробок на міцність зубчастих коліс

Вид обробки	Границя витривалості при вигині зубів, МПа	Межа контактної витривалості поверхонь зубів, МПа	Твердість HV бічної поверхні зубів
Поліпшення (леговані сталі)	200—350	570—920	200—400
Рідинне або газове азотування (сталі, що поліпшуються)	400—500	770—1200	350—650
Плазмова або індукційне загартування (нормалізовані сталі)	250—400	980—1370	500—650
Газове азотування (спеціальні азотовні сталі)	520—690	1150—1450	700—850
Цементация (леговані сталі)	400—700	1250—1650	650—850

Основну частину зубчастих коліс обробляють за схемою 1 або 2, коли після насичення вуглецем або вуглецем і азотом проводять загартування (при цементации, як правило, після підстижування до деякої температури). Поширене використання цих схем пояснюється тим, що в таких сталях, як 18ХГТ, 25ХГТ, 30ХГТ, 15ХГН2ТА, в процесі насичення не відбувається значного росту зерна й високі властивості зубчастих коліс забезпечуються без повторної перекристалізації.

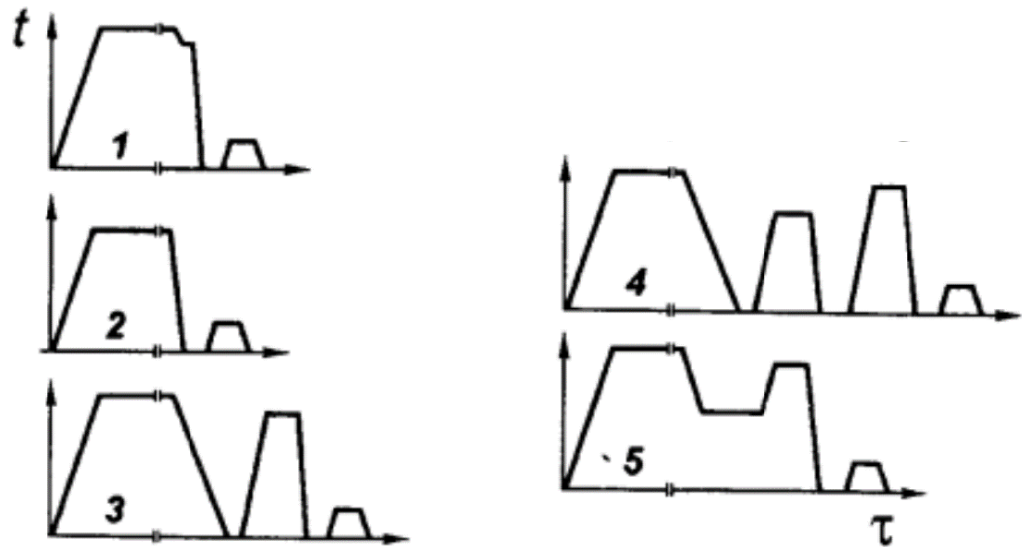


Рисунок 1.6 - Схеми основних температурно-часових режимів цементації й нітроцементації

Максимальна міцність зубчастих коліс зі сталей 12X2H4A, 20X2H4A, 18X2H4MA, 12XH3A, 20XH3A досягається застосуванням більш складних схем ХТО:

охолодження після цементації до температури цеху, загартування, низькотемпературне відпускання (схема 3);

охолодження після цементації до температури цеху, високотемпературне відпускання, загартування, низькотемпературне відпускання (схема 4)

охолодження після цементації до 450—600 °С, витримка при цій температурі протягом 4—6 год, нагрів під гартування, загартування, низькотемпературне відпускання (схема 5).

Формування структури сталей відбувається на всіх стадіях обробки виробу, і тому остаточні властивості залежать від правильного вибору матеріалу, атмосфери, що насичує, устаткування, температурно-часових і металургійних параметрів технологічних операцій.

Для ХТО сталевих деталей, коли застосовується дифузійне насичення вуглецем і азотом, використовуються різні методи. Найпоширенішими є газова цементація й нітроцементація, здійснювані в шахтних, камерних і

барабанних печах, камерних і прохідних безмуфельних агрегатах. Знаходять також застосування тверда цементация, цементация й нітроцементация з використанням рідких органічних сполук (гас, синтин, уайт-спірит) і природного газу. Останнім часом посилено ведуться роботи з дослідження й створення технологічних процесів високотемпературної газової цементации, вакуумної й іонної цементации й нітроцементации, процесів з використанням азотних атмосфер і киплячого шару.

1.3 Особливості здійснення різних варіантів ХТО деталей ГТД: цементация, нітроцементация, азотування

1.3.1 Хімічний склад сталей

У різних галузях транспортного машинобудування для зубчастих коліс застосовуються сталі, що характеризуються різним вмістом легувальних елементів (табл. 1.2). Вміст домішок у сталях, зазначених у таблиці 1.2, відповідає Державним стандартам.

Хімічний склад сталі повинен забезпечити високу міцність серцевини, що виключає протиснення зміцненого поверхневого шару [6]. Крім того, необхідно виключити утворення великої кількості залишкового аустеніту в шарі, зміцненому цементацией.

Дуже високі вимоги висуваються до зубчастих коліс, застосовуваних в авіаційному агрегатобудуванні, де особлива увага приділяється щодо маси деталей, що обумовлює необхідність зменшення їх габаритів за рахунок зниження модулів передач, наслідком чого є необхідність підвищення несівної здатності застосовуваних матеріалів.

За даними [8] маса трансмісії вертольота становить у середньому 10% його маси, а маса головного редуктора - до 75 % від маси трансмісії. У цьому

зв'язку з метою зниження габаритів рекомендоване застосування цементованої сталі 20X2H4A.

Разом з тим, зазначена сталь у зв'язку з жорсткістю режимів роботи сучасних зубчастих передач вертольотів, як і інші хромонікелеві сталі, у цей час не задовольняє зазначеним вимогам.

Таблиця 1.2- Хімічний склад найпоширеніших вітчизняних сталей для високонавантажених зубчастих коліс [7]

Сталь	C, %	Si, %	Mn, %	Ni, %	Cr, %	Mo, %	V, %	Прочее, %
Економно-леговані цементовні сталі								
18ХГТ	0,17- 0,23	0,17- 0,37	0,80- 1,10	<0,30	1,00- 1,30	-	-	0,03-0,09 Ti; ≤0,30 Cu
25ХГТ	0,22- 0,29	0,17- 0,37	0,80- 1,10	<0,30	1,00- 1,30	-	-	0,03-0,09 Ti; ≤0,30 Cu
Хромонікелеві цементовні сталі								
12ХН3А	0,09- 0,16	0,17- 0,37	0,30- 0,60	2,75- 3,15	0,60- 0,90	-	-	≤0,30 Cu
12Х2Н4А	0,09- 0,15	0,17- 0,37	0,30- 0,60	3,25- 3,65	1,25- 1,65	-	-	≤0,30 Cu
20ХН3А	0,17- 0,24	0,17- 0,37	0,30- 0,60	2,75- 3,15	0,60- 0,90	-	-	≤0,30 Cu
20Х2Н4А	0,16- 0,22	0,17- 0,37	0,30- 0,60	3,25- 3,65	1,25- 1,65	-	-	≤0,30 Cu
Хромонікельмолибденові цементовні сталі								
18Х2Н4МА	0,14- 0,20	0,17- 0,37	0,25- 0,55	4,00- 4,40	1,35- 1,65	0,30- 0,40	-	≤0,30 Cu
20ХН2МА	0,15- 0,22	0,17- 0,37	0,40- 0,70	1,60- 2,00	0,40- 0,60	0,20- 0,30	-	≤0,30 Cu

Продовження табл. 1.2

Азотовані сталі								
38ХНЗМФА	0,33- 0,40	0,17- 0,37	0,25- 0,30	3,00- 3,50	1,20- 1,50	0,35- 0,45	0,10- 0,18	≤0,30 Cu
38Х2МЮА	0,35- 0,42	0,20- 0,45	0,30- 0,60	≤0,30	1,35- 1,65	0,15- 0,25	-	0,70-1,10 Al; ≤0,30 Cu
40ХН2МА	0,37- 0,44	0,17- 0,37	0,50- 0,80	1,25- 1,65	0,60- 0,90	0,15- 0,25	-	≤0,30 Cu
Комплексно-леговані теплостійкі сталі								
12Х2НВФА	0,09- 0,16	0,17- 0,37	0,30- 0,70	0,80- 1,20	1,90- 2,40	-	0,18- 0,28	1,00-1,40 W; ≤0,25 Cu
16Х2НЗМФБАЮ- Ш	0,14- 0,19	0,17- 0,37	0,25- 0,60	2,70- 3,00	1,80- 2,20	0,40- 0,60	0,10- 0,20	≤0,25 W; ≤0,07 Al; ≤0,03 N
16Х3НВФМБ-Ш	0,14- 0,19	0,60- 0,80	0,25- 0,60	1,00- 1,50	2,60- 3,00	0,40- 0,60	0,35- 0,55	1,00-1,40 W; ≤0,20 Nb
20Х3МВФ-Ш	0,15- 0,23	0,17- 0,40	0,25- 0,60	≤0,50	2,80- 3,30	0,35- 0,55	0,60- 0,85	0,30-0,50 W; ≤0,25 Cu

Аналогічна сталь 12Х2Н4А знаходить лише обмежене застосування в зубчастих передачах вертольотів за рахунок високих значень опору втомному руйнуванню, обумовленому комбінацією високої прогартованості, міцності й в'язкості серцевини. Її недоліком є низька теплостійкість (у межах 170 °С) , що виключає застосування у високошвидкісних передачах. Більші можливості надає сталь, спеціально розроблена для зубчастих коліс

редукторів і трансмісії вертольотів у якості цементовної- 16Х2НЗМФБАЮ-Ш (ВКС-7).

Останнім часом також значно зросли вимоги до навантажно-швидкісних характеристик зубчастих коліс газотурбінних двигунів. Це, зокрема, обумовлене необхідністю зниження співвідношення маси двигуна до його тяги. Так, якщо в ГТД четвертого покоління, розробленому в 1970-1975 г.г., це співвідношення рівнялося 1:8, то у двигуні п'ятого покоління (1985-2000 г.г.) - вже 1:10, а в перспективній силовій установці шостого покоління - 1:20 [9].

При цьому маса коробок зубчастих передач становить приблизно 20 % маси всього газотурбінного двигуна четвертого покоління.

Враховуючи викладене, у зубчастих передачах ГТД четвертого покоління використовують зубчасті колеса зі сталей 12Х2НВФА, 20Х3МВФ-Ш і 16Х3НВФМБ-Ш (ВКС-5) теплостійкістю 250, 300 і 350 °С, відповідно. Зазначені сталі піддають цементації або нітроцементації, а 16Х3НВФМБ-Ш і 20Х3МВФ-Ш - також азотуванню [10]. Слід зазначити, що сталь 16Х3НВФМБ-Ш слабо знеміцнюється при тривалому нагріванні аж до 500 °С, що робить її придатною для комбінованої обробки, що включає цементацію й азотування.

Уведення в сталь ВКС-5 і ряд інших високоміцних сталей невеликої кількості ніобію пов'язане із властивістю виділень NbC і NbN затримувати зростання зерна аустеніту. Взагалі добавки ніобію навіть порядку 0,03 % приводять до помітного росту значень границі текучості й, відповідно, інших показників міцності.

Для зубчастих передач сучасних ГТД рекомендовано до застосування особливо теплостійку сталь, здатну до дисперсійного твердіння-13Х3НЗМ2ВФБ-Ш (ВКС-10, таблиця 1.3) теплостійкістю до 550 °С. Поверхня виробів з такої сталі зміцнюється як цементацією так і нітроцементацією.

Таблиця 1.3- Хімічний склад теплостійкої сталі, 13X3H3M2BФБ-III (ВКС-10)[11]

Концентрація легувальних елементів і домішок, %											
C	Cr	Ni	Mo	Mn	W	Si	V	Nb	Al	S	P
0,10-0,15	3,00-3,40	2,70-3,00	1,90-2,30	0,30-0,60	0,20-0,50	0,17-0,37	0,05-0,15	0,05-0,15	≤ 0,04	≤ 0,015	≤ 0,015

Дана сталь була розроблена на основі інших теплостійких сталей, що дисперсионно-твердеющей, 13X3HBM2Ф-III (ВКС-4; химический состав: 0,10-0,15 % C, 0,4-0,8 % Si, 2,7-3,2 % Cr, 0,8-1,2 % Ni, 0,6-0,9 % W, 1,6-2,1 % Mo, 0,15-0,30 % V, 0,05 % Ce). Невеликі добавки таких активних елементів як церій групи лантаноїдів, сприяють утворенню окалини й поліпшують стійкість до окиснення сплавів на основі металів групи заліза й хрому, у зв'язку із чим широко застосовуються в жароміцних сплавах [12]. Незважаючи на високу теплостійкість (понад 500 °C) ВКС-4 у цей час не знаходить застосування, тому що має високу твердість серцевини (43-45HRC), що ускладнює механічну обробку, а також характеризується недостатньою контактною витривалістю (помітно поступаючись 16X3HBMФБ-III і 20X3MBФ-III) через обмеження припустимої насиченості вуглецем поверхні (не більш 0,9-1,0 %).

Аналіз закордонних марок сталей, застосовуваних в аерокосмічній галузі США для зубчастих коліс, виявив наступні тенденції. Як правило, застосовуються комплекснолеговані сталі, що забезпечують теплостійкість починаючи від 150 °C и аж до 430 °C и вище, які також найчастіше використовуються в якості матеріалу для підшипників кочення. Такі сталі піляються на цементовні (AISI 8620; AISI 9310; CBS-50 Nil і ряд інших) і азотовні (Nitr alloy N; Super Nitr alloy). Для AISI 8620 застосовується поряд із цементациєю також азотування. Super Nitr alloy має наступний хімічний склад: 0,24%C; 0,22%Si; 0,58%Cr; 5,16%Ni; 2,16% Al. Після цементациї й азотування

дані матеріали характеризуються високою контактною витривалістю й зносостійкістю.

Хромонікелеві цементовні сталі AISI 8620 і AISI 9310 характеризуються відносно низкою теплостійкістю - не більш 150 °C. Для більш високих температур рекомендована сталь CBS-50 Nil (гранична теплостійкість 320 °C), з підвищеним вмістом молібдену й ванадію, яка також зазнає цементації.

Для експлуатації при більш високих температурах рекомендується застосовувати після поверхневого науглецювання сталі 388-233 (теплостійкість до 430 °C) і 388-42L (теплостійкість понад 430 °C).

Таким чином, система легування закордонних сталей нового покоління для зубчастих коліс авіаційних агрегатів, а також й в автомобільній індустрії суттєво відрізняється від застосовуваних в Україні марок сталей. За рубежом в аерокосмічній галузі активно використовуються сталі зі значно більшим вмістом легуючих елементів (CBS-50 Nil і, особливо, CSS-42L, Ferriumc61, Ferriumc64), що дає можливість досягнення теплостійкості цементованих шарів на рівні азотованих і комбінації, відповідно, переваг обох способів ХТО.

В Україні дотепер навіть в авіаційному агрегатобудуванні застосовуються сталі, розроблені ще в 1980-х роках, що містять обмежену кількість легуючих елементів. У зв'язку з цим є необхідність далі розбудовувати розробку високоміцних і теплостійких цементовних сталей на підставі сучасних наукових уявлень про взаємозв'язок властивостей і хімічного складу.

1.3.2 Операції ХТО

Для хіміко-термічного зміцнення важконавантажених деталей у машинобудуванні застосовують процеси газової цементації й нітроцементації, вакуумну й іонну ХТО, високотемпературну цементацію й обробку з насиченням в азотних атмосферах і в киплячому шарі. Однак на вітчизняних заводах і за рубежом для зміцнення високонавантажених деталей і, насамперед, зубчастих коліс в основному використовуються цементація й нітроцементація.

Хіміко-термічна обробка, що включає дифузійне насичення поверхні, загартування й низькотемпературне відпусткання (старіння), забезпечує високу твердість (HRC 58-63) і найбільшу несівну здатність поверхневих шарів зубів, а також високу міцність зубів на згин.

Для додаткового підвищення твердості поверхневого шару зубів коліс, що працюють без перевантажень, застосовують обробку холодом при температурі -50-55 °C.

Азотування - дифузійне насичення поверхневого шару металевих виробів азотом при нагріванні у відповідному середовищі при температурі 450-800 °C. Азотування слід вважати найпоширенішим методом зміцнення при низьких температурах.

У порівнянні із цементованою, азотована сталь відрізняється більш високою поверхневою твердістю, більшою зносостійкістю, у ряді випадків більш високою границею витривалості, теплостійкістю, корозійною стійкістю в атмосфері прісної води й пари, збільшеним технічним ресурсом магнітопроводів. Азотовані сталі шліфуються й поліруються.

Технологічні можливості процесу азотування дозволяють створювати на металах і сплавах поверхневі дифузійні шари різного хімічного складу, які в комбінації із властивостями основного металу надають виробам комплекс механічних і фізико-механічних властивостей, що визначають їхню експлуатаційну надійність.

У порівнянні із цементацією й нітроцементацією, недоліками процесу азотування є його тривалість і можливість утворення зміцнених шарів з підвищеною крихкістю.

Серед численних варіантів процесу азотування залежно від агрегатного стану середовища, що насичує, найбільше поширення на машинобудівних заводах отримало газове азотування. Рідинне азотування, незважаючи на більш високу продуктивність, у порівнянні з газовим, у промисловості застосовують рідко - це пов'язане з токсичністю використовуваних солей, складністю регулювання якості дифузійного шару й іншими умовами ведення процесу.

Застосовувані у виробництві азотовмісні розплави в основному містять активні атоми азоту й вуглецю, які дифундують у метал, у результаті відбувається насичення не тільки азотом, але й вуглецем. У цьому випадку термін азотування є умовним, а процес називають низькотемпературною нітроцементацією або ціануванням.

Технологічний процес виготовлення азотованих виробів здійснюється в наступній послідовності: 1) попередня термічна обробка; 2) механічна обробка (включаючи шліфування); 3) захист місць, що не підлягають азотуванню (за необхідністю); 4) азотування; 5) остаточне доведення виробу відповідно до вимог креслення.

Низькотемпературному насиченню азотом і вуглецем піддають деталі машин із чавуну, конструкційних, спеціальних сталей. Попередньою термічною обробкою є нормалізація або поліпшення. Тому температура нітроцементації (ціанування) для поліпшених деталей призначається з урахуванням збереження твердості серцевини. Низька температура процесу й відсутність різкого охолодження забезпечують незначну деформацію й стабільність розмірів деталей, а збереження чистоти поверхні після насичення не вимагає додаткових оздоблювальних операцій. Низькотемпературна нітроцементація, відповідно, може бути віднесена до фінішних процесів обробки. Особливістю низькотемпературного

комплексного насичення в порівнянні з азотуванням є зниження крихкості шару. Для газових середовищ використовують шахтні й камерні печі, а для рідких - тигельні ванни типу "СВГ" із зовнішнім обігрівом тигля або електродні типу СВС різної потужності й продуктивності. В експлуатації більш прості й зручні ванни першого типу.

Умови роботи зубчастих коліс визначають температуру й тривалість процесу. При температурі процесу менш 540 °С значно зменшується товщина шару, а її збільшення й тривала витримка приводять до зростання крихкості й утвору пор у карбонітридному шарі.

Процес низькотемпературної нітроцементзації часто називають короточасним азотуванням; закордонні аналоги процесу мають фірмові назви Nitemper (США), Nemo (Великобританія), Nikotreat, Deganit (ФРН), Nitrok (Австрія), Тафнайт, Унинитее (Японія) і ін.

Нітроцементажію проводять у середовищі, що містить 65-75 мас. % науглецювального газу й 25-35 мас. % аміаку. Однак максимальна здатність, до насичення, забезпечується при суміші, що складається з 50 мас. % аміаку й 50 мас. % науглецювального газу. Максимальна швидкість насичення відповідає 4- 5-разовому годинному обміну в атмосфері муфеля при ступені дисоціації аміаку 35-45%. У якості науглецювального газу застосовують природний, світильний, генераторний, ендогаз тощо.

Газове науглецювальне середовище створюють продуктами розкладання гасу, синтина, індустриального масла й нітробензолу безпосередньо в розігрітій печі. Гарні результати отримані при насиченні продуктами пиролиза рідкого комплексного карбюризатора - триетаноламіна, коли одночасно виділяються активні атоми вуглецю й азоту. Температура процесу найчастіше відповідає 540-580 °С, але в окремих випадках для збільшення міцності підшару необхідно підвищити її до 700 °С.

Для інтенсифікації процесу нітроцементажію рекомендується використовувати активізовані добавки: до триетаноламіну - нашатирний спирт, нітрит і алюмінат натрію, до вуглевмісних газів і аміаку - алюмінієву

стружку. Інтенсифікація процесу активними добавками більшою мірою спостерігається в перші години насичення (збільшення шару підкоряється параболічній залежності). Загальна товщина шару залежить від температури, тривалості процесу, марки сталі й активності середовища. З підвищенням температури й збільшенням тривалості витримки товщина карбонітридного шару й дифузійної зони зростає.

Ціанування. Низькотемпературне ціанування називають також активованим, м'яким азотуванням, нітруванням, закордонні процеси-аналоги - Tenifer (ФРН), Tuffriding (США, Великобританія), Строунайэ (Японія) і ін. Ціанування проводять у розплаві активних і нейтральних солей. Склад ванни залежить від температури плавлення використовуваних компонентів.

Ціанувальною сіллю є в основному ціаністий натрій або менш активний ціаністий калій. Зміст у ванні ціаністого натрію становить 30-90 мас. % (найбільш активна ванна відповідає 90 мас. %). Нейтральні солі - вуглекислий натрій (4-45 мас. %), хлористий натрій (1,5-25 мас. %), луки (2-3 мас. %).

Поряд із зазначеними отрутними ціаністими солями рекомендується застосовувати ціанати KCNO і ванни з нетоксичними солями на основі жовтої кров'яної солі $\text{K}_4\text{Fe}(\text{CN})_6$. Для активізації розплаву, що містить ціанати, ванна продувається сухим повітрям. Однак у процесі роботи у ваннах певного складу утворюються ціаністі солі NaCN або KCN , тому ці ванни вимагають нейтралізації й знешкодження відходів. Ванни з KCNO за стабільністю отриманих результатів поступаються ціаністим солям і відрізняються наявністю підвищеної кількості шламу.

Загальними властивостями для нітроцементзації й ціанування є: 1) при збільшенні температури й тривалості витримки збільшується товщина карбонітридного шару ;

2) збільшення вмісту вуглецю в сталі й ступеня її легованості перешкоджає процесу насичення;

3) швидкість насичення в рідкій фазі в порівнянні з газової збільшується.

Якість деталей після низькотемпературного зміцнення залежить від будови й властивостей дифузійного шару, які визначаються кількісним співвідношенням азоту й вуглецю в нітроцементованому шарі. Незалежно від середовища насичення, якщо температура процесу не перевищує 590 °С, тобто менше евтектоїдної у системі Fe-N, зміцнений шар має двухзонну будову.

Поверхнева(що невищавлюється) карбонітридна зона складається з ϵ -фази (карбонітрид змінного складу $\text{Fe}_{2-3}(\text{NC})$), γ -фази (Fe_4N) і оксиду заліза (Fe_3O_4). За карбонітридним шаром спотерігається дифузійна зона, або так звана зона внутрішнього азотування, яка являє собою твердий розчин азоту в α -залізі, нітридів заліза й легувальних елементів. У сталь дифундує переважно азот, а вуглець бере участь у формуванні карбонітридної зони, оскільки розчинність його в α -фазі незначна.

Для легованих сталей дифузійна зона після щавлення має більш темний колір, а для вуглецевих характерне виділення голкоподібної фази Fe_4N . Карбонітридна ϵ -фаза внаслідок наявності в ній вуглецю, зниженої концентрації азоту й відсутності Fe_2N має підвищену в'язкість, у порівнянні з ϵ -нітридною фазою, отриманої при азотуванні. На товщину карбонітридного шару дифузійної зони й склад карбонітриду впливають температура, тривалість процесу, марка сталі й активність середовища. Так, ϵ -фаза сталі 40X, отримана при температурі ціанування 570 °С, містить 4,5-6 мас. % N і 1,5-2,5 мас. % C, а при нітроцементзації в газовому середовищі, що складається з 50 мас. % NH_3 і 50 мас. % вуглецевовмісного газу (при аналогічній температурі насичення), вона містить 3 мас. % N і 0,6-0,7 мас. % C.

Нітроцементований (ціанований) шар має високу поверхневу твердість: для вуглецевих сталей вона становить 250-350 HV, легованих - 550-800 HV, спеціальних - 1100 HV. Чим менша тривалість насичення й більш легована

сталь, тим вітчутнішим є перепад твердості по глибині шару. Висока твердість поверхні обумовлена утворенням ϵ -фази й дисперсних нітридів спеціальних елементів. Найбільш значно підвищують твердість алюміній, хром, молібден, вольфрам і ванадій. Карбонітридна фаза відрізняється високою зносостійкістю, корозійною стійкістю, а дифузійний шар збільшує опір втоми деталей, особливо при згинаючих і крутних навантаженнях, а також сприяє високій зносостійкості в умовах тертя без мастильного матеріалу при підвищених навантаженнях

Цементация (насичення вуглецем поверхневого шару з наступним загартуванням) — тривалий і дорогий процес. Однак вона забезпечує дуже високу твердість (58...63HRC). При загартуванні після цементации форма зуба спотворюється, а тому потрібні оздоблювальні операції. Для цементации застосовують низьковуглецеві сталі прості (сталь 15 і 20) і леговані (20X, 12XН3А й ін.). Леговані сталі забезпечують підвищену міцність серцевини й цим запобігають протисненню тендітного поверхневого шару при перевантаженнях. Глибина цементации близько 0,1...0,15 від товщини зуба, але не більша 1,5...2 мм.

Останнім часом набули застосування процеси іонної цементации, нітроцементации, азотування у вакуумних печах у плазмі тліючого розряду. В основі цих процесів лежить метод активації тліючим розрядом газового середовища й оброблюваної поверхні, відбувається іонізація газового середовища, тиск у печі перебуває в межах 10^3 Па. Іонізована атмосфера має високу насичувальну здатність, що забезпечує високу якість дифузійного шару. Висока кінетична енергія іонів вуглецю приводить до скорочення часу цементации в 1,5 – 2 рази. У звичайних цементацийних печах вибір робочих газів і регулювання концентрації вуглецю є досить складним питанням. А цементация вакуумно - іонним способом дозволяє досить легко й точно контролювати глибину науглецювання концентрацію вуглецю в поверхневому шарі шляхом регулювання щільності струму розряду при сталості витрати й тиску газів залежно від продуктивності. Впровадження

процесу цементациї в тліючому розряді дозволило скоротити витрату електроенергії й насичувального середовища, поліпшити екологію процесу.

Поряд із процесом іонної цементациї набувають застосування процеси вакуумної цементациї. Процес вакуумної цементациї розроблений на початку 70-х років (фірма Degusa і ін.) з використанням CH_4 у якості карбюризатора й тиском у ньому $4 \cdot 10^4$ Па, не дивлячись на істотні переваги (відсутність окиснення поверхневого шару у вільній від кисню атмосфері, екологічність) не отримав широкого застосування через низьку швидкість дисоціації CH_4 при t 950°C і необхідності підвищення температури до 1100°C . Висока температура процесу приводила до збільшення розміру зерна й для його здрібнювання була потрібна додаткова обробка термоцикліруванням. Істотною перевагою застосування як карбюризатора ацетилену є безпеку й простота процесу [13].

Порівняльний аналіз способів цементациї зубчастих коліс зі сталі 16 ХЗ НВФМБ-Ш газової в середовищі природного газу, іонної і вакуумної [1] показав, що найбільш стабільні результати отримуються при іонній і вакуумній цементациї. Обидва способи відповідають вимогам енергозбереження, екологічності й інтенсифікації технології й підвищенню якості зубчастих коліс.

2 МАТЕРІАЛИ Й МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕННЯ

2.1 Матеріали дослідження

Сталі 14ХГСН2МА (ДИ-3А), 16ХЗНВФМБ (ВКС-5) і 12Х2Н4А широко застосовуються при виготовленні вітчизняних зубчастих передач. Їх хімічний склад наведено у таблиці 2.1.

Таблиця 2.1 – Хімічний склад цементовних сталей [5]

Сталь	Масова частка елементів, %									
	C	Mo	Si	Cr	Ni	V	Ce	Nb	Mn	W
14ХГСН2МА (ДИ-3А)	0,11- 0,16	0,25- 0,4	0,45- 0,7	1,2- 1,6	1,6- 2,0	0,03- 0,06	-	-	0,7- 1,0	-
16ХЗНВФМБ (ВКС-5)	0,4- 0,7	0,4- 0,6	0,6- 0,9	2,6- 3,0	1,0- 1,5	0,35- 0,55	0,01 - 0,05	0,1- 0,2	0,4- 0,7	1,0- 1,4
12Х2Н4А	0,09- 0,15	-	0,17- 0,37	1,25 -1,6	3,25- 3,65	-	-	-	0,3- 0,6	-

Показники основних механічних властивостей після рекомендованого режиму термічної обробки наведено у таблиці 2.2.

Таблиця 2.2 – Властивості матеріалів деталей з цементовних сталей після оптимального режиму термічної обробки [5]

Матеріал	Рекомендований режим термообробки	σ_B , МПа	$\sigma_{0,2}$, МПа	δ , %	ψ , %	HRC _{пов}	HRC _{сер} ц
		не менше					
16ХЗНВФМ Б (ВКС-5)	цементация 940°C, 7-10 год., високий відпуск 630°C, 6 год, гартування 920°C, 1-2 год. в маслі, обробка холодом (-70...-80)°C, 1,5 год, низький відпуск 300°C, 3-3,5 год.	1300	1150	10	50	59-65	35-43
14ХГСН2МА (ДИ-3А)	цементация 920°C, витримка 5-8 год., високий відпуск 630°C, 5-7 год., гартування 920°C, витримка 1,5 год, охолодження в маслі, обробка холодом (-70...-80)°C, 1,5 год., низький відпуск 300°C, 3-3,5 год.	1000	800	12	55	59-65	35-43
12Х2Н4А	цементация (920±10)°C, 5-8 год., високий відпуск 630±10°C 5-6год., гартування 790±10°C, 1год, охолодження в маслі, обробка холодом (-70...-80)°C, 1,5 год., низький відпуск 160°C, 2,5-3год.	1000	-	12	55	59-65	35-43

В таблиці 2.3 наведені температури критичних точок розглядаємих сталей.

Таблиця 2.3– Температури критичних точок цементовних сталей 14ХГСН2МА і 16Х3НВФМБ, 12Х2Н4А (°С) [5]

Сталь	Ас ₁	Ас ₃
14ХГСН2МА	750	800
16Х3НВФМБ	805	870
12Х2Н4А	745	800

Нижче розглянуто призначення основних легувальних елементів розглядаємих сталей.

Сталі ДИ-3А (14ХГСН2МА), ВКС-5 (16Х3НВФМБ), 12Х2Н4А відносяться до високоміцних цементовних сталей, які зміцнюються при термічній обробці внаслідок утворення мартенситу при гартуванні. Ступінь зміцнення визначається вмістом вуглецю та легувальних елементів та інтенсивністю охолодження при гартуванні.

2.2 Визначення механічних властивостей

2.2.1 Циклічна міцність при вигині

В умовах дії циклічних (повторно-змінних) навантажень в металах і сплавах відбувається зародження й поступовий розвиток тріщин, що призводить до повного руйнування деталі або зразка. Це руйнування особливо небезпечно, тому що може відбуватися під дією напружень, набагато менших границь міцності й плинності.

Границя витривалості – максимальне за абсолютним значенням напруження циклу, за якого ще не відбулося втомне руйнування матеріалу, протягом заданої кількості циклів навантажування.

Завдання втомних випробувань - дати кількісну оцінку здатності матеріалу працювати в умовах циклічного навантаження без руйнування.

Для того щоб оцінити границю витривалості, необхідно випробовувати усю серію зразків, як правило, не менше 15. Кожний зразок випробовують при певному значенні максимального напруження циклу (або його амплітуди). Метою випробування, є визначення границі витривалості, їх відносять до високоциклових втомних випробувань.

2.2.2 Контактна витривалість

Контактна втома – це процес накопичення пошкоджень та розвиток руйнування поверхневих шарів металу під дією змінних контактних напружень, що викликає утворення ямок викришування та тріщин.

Для шестерні приводу ГТД є оптимальною схема навантаження “кочення з просковзуванням”, яка може здійснюватись на машині СМЦ – 2 (рис. 2.1).

Зразки виготовляються з матеріалу однієї марки сталі та плавки, а технологічний процес виготовлення зразка повинен бути таким, щоб макро- та мікроструктура, а також і твердість зразків були близькими.

Відхилення за твердістю зразків однієї партії $HRC \pm 0,5$. На поверхні не повинно бути слідів корозії, окалини, ливарних корок, тріщин, кольорів мінливості, інших дефектів.

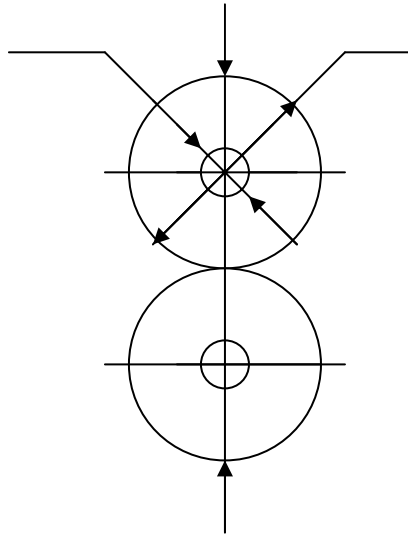


Рисунок 2.1 – Зразок та контртіло для випробувань на контактну втому

При визначенні межі контактної втоми база випробувань складає 10^8 циклів навантаження.

Критерієм випробувань є комплекс ознак, які характеризують пошкодження, тобто мікро- та макротріщини, шелушіння, ямки викришування. Наприклад, за критерій контактної довготривалості можна взяти момент руйнування поверхні диску, при якому площа ямки викришування складає $2...6 \text{ мм}^2$ або знос $\leq 0,05 \text{ мм}$ на діаметр.

При випробуванні прикладається навантаження $(1000 \pm 50) \text{ Н}$.

2.2.3 Випробування на зносостійкість

Методи випробувань на знос, що моделюють можливі умови експлуатації, численні. При цьому результати випробувань різними методами не вдасться порівнювати, оскільки в них реалізуються різні механізми зношування, використовуються різні зовнішні механічні впливи і робочі середовища.

У випадку випробування матеріалу для шестерні приводу ГТД, використовують схему кочення з просковзуванням в умовах змащування (рис. 2.2).

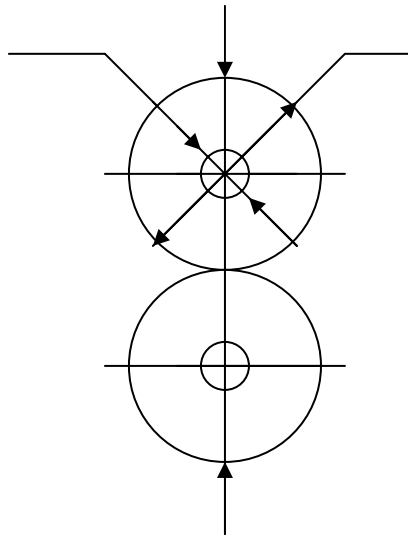


Рисунок 2.2 – Схема випробування на зношування

Циліндричний зразок для випробування на зношування буде мати наступні розміри: $d = 16$ мм, $D = 50$ мм. Діаметр отвору контртіла складає 16 мм.

Навантаження, що прикладається до контртіла та до зразка буде рівним 2000 Н. Відхилення виміру навантаження складає 5%, тобто 100 Н.

В процесі випробування визначається втрата маси або зменшення розмірів зразка за одиницю часу (г/год, г/10³об.). Для цього розміри зразка перед випробуванням вимірюють з точністю до 1 мкм або визначають його масу з точністю до 0,001 г. В процесі випробування через деякі проміжки часу зразок вилучається з випробувальної машини, ретельно промивається та просушується, після чого знову вимірюються його розміри або маса. За цими даними визначається шукана величина.

2.2.4 Дослідження мікроструктури

Мікроструктуру досліджували з допомогою оптичного мікроскопу МІМ-8. Для дослідження зразки шліфували, полірували і піддавали щавленню в спеціально підготовлених розчинах кислот.

3 ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ СПОСОБУ ХІМІКО-ТЕРМІЧНОЇ ОБРОБКИ НА ВЛАСТИВОСТІ ПОВЕРХНЕВОГО ШАРУ

3.1 Розробка стандартного технологічного процесу термічної обробки шестерні газотурбінного двигуна

3.1.1 Маршрутна технологія виготовлення зубчастого колеса

В таблиці 3.1 представлена схема маршрутної технології виготовлення зубчастого колеса з цементовної сталі 16ХЗНВФМБ(ВКС-5).

Таблиця 3.1 – Схема маршрутної технології виготовлення зубчастого колеса з цементовної сталі 16ХЗНВФМБ(ВКС-5)

№	Назва операції	Цех дільниця де виконується операція	Призначення операції
1	2	3	4
1	Вхідний контроль	Заготівельна дільниця ковальського цеху	Контроль хімічного складу, розмірів, макроструктури, відсутність дефектів гарячекатаного прокату
2	Заготівельна	Заготівельна дільниця ковальського цеху	Отримання заготовок з прокату для наступного штампування
3	Гаряче штампування	Ковальський цех	Надання форми, розмірів та створення сприятливої структури
4	Попередня термічна обробка	Термічне відділення ковальського цеху	Структурна перекристалізація із метою усунення перегрівання, зниження твердості, поліпшення оброблюваності різанням, підготовка мікроструктури до наступної термічної обробки (ізотермічний відпал)

Продовження табл. 3.1

1	2	3	4
5	Механічне оброблення	Механічний цех	Надання деталі необхідних форм та розмірів
6	Міднення	Термічне відділення механічного цеху	Створення на неробочих поверхнях виробу захисного (від цементациї) мідного покриття
7	Основна хіміко-термічна обробка	Термічне відділення механічного цеху	Отримання заданих робочим кресленням глибини шару, твердості поверхонь та серцевини, виконання вимог щодо геометричних характеристик (цементация + високий відпуск + гартування + обробка холодом + низький відпуск)
8	Знеміднення	Термічне відділення механічного цеху	Вилучення захисного мідного покриття із поверхні виробів
9	Остаточна механічна обробка	Механічний цех	Надання виробу остаточних розмірів, геометрії, шорсткості у відповідності із робочим кресленням
10	Додаткова термічна обробка	Термічна дільниця механічного цеху	Зменшення рівня залишкових напружень, наведених шліфуванням (низькотемпературне відпускання)

3.1.2 Розробка режимів та технології термічної обробки

Технологія термічної обробки – складова частина технологічного процесу виготовлення металевого виробу, яка забезпечує отримання

необхідної структури, механічних та експлуатаційних властивостей, якості цього виробу тощо.

Розробка технології термічної обробки складається з наступних етапів:

1. Вибір основних та допоміжних операцій технологічного процесу. Основні операції ТО повинні бути такими, щоб технологія була високопродуктивною та забезпечувала б найбільш раціональне використання матеріальних та енергетичних ресурсів і головне – високу якість продукції.

2. Розробка режимів основних та допоміжних операцій термічної обробки.

3. Розробка засобів виконання технологічних операцій для забезпечення якості виробів, що обробляються.

4. Вибір основного та допоміжного обладнання, засобів механізації, необхідного оснащення та приладів.

5. Розробка контрольних операцій.

3.1.2.1 Розробка режимів та технології термічної обробки деталей з цементовних сталей

До основних операцій технологічного процесу деталей із цементовних сталей, відносяться: цементация, високий відпуск, гартування, обробка холодом, низький відпуск.

Розглянемо більш детально призначення цих операцій для шестерні, що виготовлена зі сталі 16ХЗНВФМБ (ВКС-5). Розглядаємо шестірню обробляють за режимом: цементация $(940 \pm 10)^\circ\text{C}$, витримка 7-10 год., високий відпуск при 630°C , витримка 6 год., гартування $920 \pm 10^\circ\text{C}$, витримка 1-2 год., охолодження в маслі, обробка холодом $(-70 \dots -80)^\circ\text{C}$, 1,5 год, низький відпуск 300°C , витримка 3-3,5 год.

Цементация виробів проводиться при температурі $(940 \pm 10)^\circ\text{C}$ в електричній печі типу СНЦА у газовій атмосфері. Цементация - дифузійне

насичення поверхневого шару вуглецем для отримання необхідного розподілу вуглецю за перерізом деталі, високої твердості поверхневого шару при високій міцності серцевини деталі, що досягається подальшою термічною обробкою після цементації.

Цементация сталі проводиться в аустенітному стані (вище точки A_{c3}), у зв'язку з підвищеною розчинністю вуглецю в γ -залізі в порівнянні з α -залізом. З підвищенням температури цементації і збільшенням часу витримки підвищується глибина цементованого шару. Однак при перевищенні температури вище $900-950^{\circ}\text{C}$ поряд з пришвидшенням процесу росте зерно аустеніту, що є небажаним. Оптимальний вміст вуглецю на поверхні дифузійного шару для отримання високих показників міцності деталей з цементованих сталей складає $0,8-1,0\%$. При більшому вмісті вуглецю в шарі може утворюватися груба цементитна сітка, що призводить до окрихчення шару і знижує довговічність деталей.

Структура деталей, повільно охолоджених після цементації наближена до рівноважної і вона змінюється від заевтектоїдної зони на поверхні до доевтектоїдної перліто-феритної суміші із зростанням частки фериту в напрямку до серцевини. Вказана структура має низький рівень твердості, є крупнозернистою (тривала витримка при високих температурах цементації призводить до росту аустенітного зерна, що погіршує механічні і експлуатаційні властивості шару та серцевини), тому лише однієї цементації недостатньо для досягнення значної поверхневої твердості та високих експлуатаційних властивостей. Деталі після цементації піддаються відпуску при температурі $(630 \pm 10)^{\circ}\text{C}$. При відпуску відбувається виділення дисперсних карбідів із твердого розчину, що приводить до збідніння його на вуглець і легувальні елементи, в результаті чого зменшується ступінь легування аустеніту. Внаслідок цього точки $M_{\text{п}}$ і $M_{\text{к}}$ підвищуються, що приводить до зменшення кількості залишкового аустеніту в цементованому шарі після гарту. Відпуск проводиться в електричних печах СНЗА. Наступною операцією є гартування при температурі $(900 \dots 930)^{\circ}\text{C}$ в маслі з

метою отримання мартенситної структури. Після гартування проводиться обробка холодом при температурі $(-80...-70)^{\circ}\text{C}$. Обробка холодом сприяє зменшенню кількості залишкового аустеніту в цементованому шарі; перетворюється майже увесь аустеніт залишковий на мартенсит в поверхневому шарі, що значно підвищує твердість. Властивості серцевини при цьому не змінюються, тому що кількість залишкового аустеніту невелика й не змінюється при охолодженні в області низьких температур. Остаточною термічною обробкою є відпуск при температурі $(150...180)^{\circ}\text{C}$ із охолодженням на повітрі. Низький відпуск переводить мартенсит гартування в мартенсит відпуску, знижує рівень напружень. Структура, що утворюється після термічної обробки складається з мартенситу відпуску, карбідів і аустеніта залишкового $M_{\text{від}}+K+A_{\text{зал}}$.

Графік термічної обробки розглядаємої шестерні зі сталі ВКС-5 наведено на рисунку 3.1.

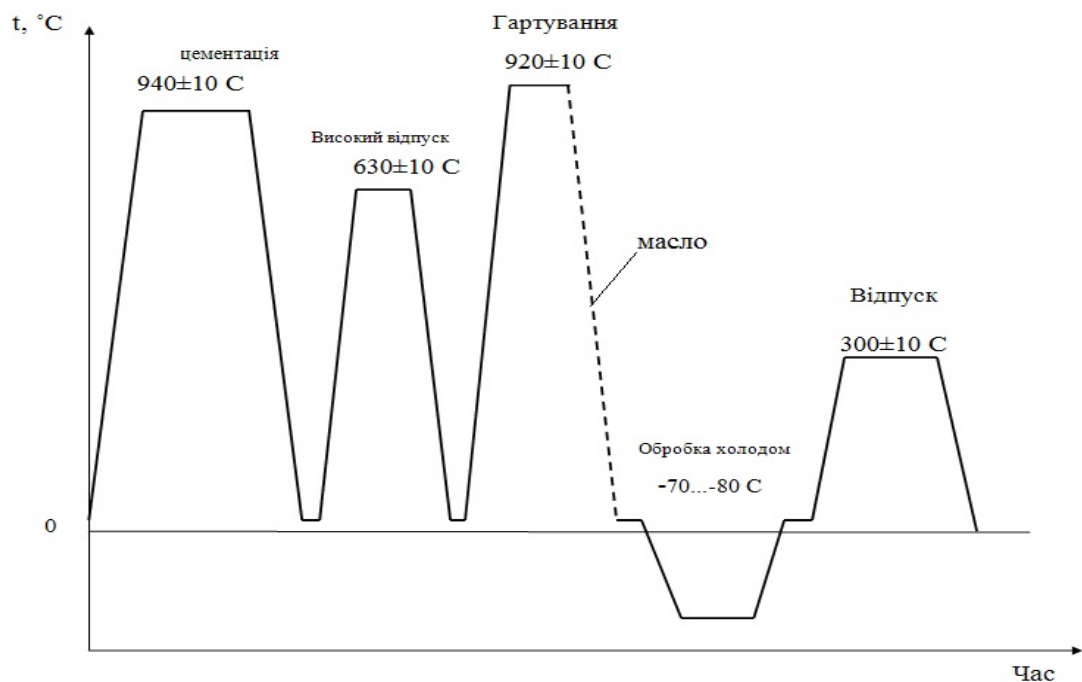


Рисунок. 3.1 – Графік термообробки шестерень зі сталі ВКС-5

Найдоцільніше використати для цементації камерну електричну піч із нерухомим подом та захисною атмосферою СНЦА 8.16.5/10, а для високого відпускання СНЗА 8.16.5/8. Вироби розташовуються в печах на піддонах розмірами 800x800 мм ($b_p \times b_p$).

Розробимо схему садки для цих печей, у яких ширина робочого простору (b_p) – 800 мм, довжина (l_p) – 1600 мм і висота (h_p) – 500 мм.

Розрахуємо скільки виробів можна розташувати в одному ярусі при відстані між виробами $d/2$. Кількість виробів за шириною піддону:

$$n_{\text{ш}} = b_p / (d + d/2) = 800 / (185 + 185/2) = 2,88 \approx 2 \text{ вироби,}$$

де $d=185$ мм – діаметр шестерні.

Оскільки піддон квадратний, то кількість виробів на піддоні складає $n_{\text{під}} = 2 \times 2 = 4$ шт.

В одному ярусі розташовується 2 піддони, тому кількість виробів в одному ярусі:

$$n_{\text{яр}} = n_{\text{під}} * 2 = 8 \text{ шт.}$$

Розрахуємо в скільки ярусів можна розкласти шестерні з відстанню між ними $h/2$:

$$n_{\text{яр}} = h_p / (h + h/2) = 500 / (48 + 48/2) = 6 \text{ ярусів,}$$

де $h=48$ мм – висота шестерні.

Для термічної обробки шестерен використовується 12 піддонів розмірами 800×800 мм.

Тоді кількість виробів в печі:

$$n_{\text{п}} = n_{\text{яр}} * 8 = 6 * 8 = 48 \text{ шт.}$$

Маса садки у такому випадку:

$$M_c = 48 * 3,98 = 191 \text{ кг.}$$

Для гартування використовуємо камерну електричну піч із нерухомим подом та захисною атмосферою СНЗА 5.10.3,2/10, для обробки холодом використовуємо холодильну камеру з розмірами робочого простору 5х10х3,2 і для низького відпускання піч СНЗА 5.10.3,2/5.

Розробимо схему садки для такого обладнання, у якого ширина робочого простору (b_p) – 500 мм, довжина (l_p) – 1000 мм і висота (h_p) – 320 мм.

Розрахуємо скільки виробів можна розташувати в одному ярусі при відстані між виробами $d/2$. Кількість виробів за шириною піддону:

$$n_{\text{ш}} = b_p / (d + d/4) = 500 / (185 + 185/4) = 2 \text{ вироби,}$$

де $d=185$ мм – діаметр шестерні.

Оскільки піддон квадратний, то кількість виробів на піддоні складає $n_{\text{під}} = 2 \times 2 = 4$ шт.

В одному ярусі розташовується 2 піддони, тому кількість виробів в одному ярусі:

$$n_{\text{яр}} = n_{\text{під}} * 2 = 8 \text{ шт.}$$

Розрахуємо в скільки ярусів можна розкласти шестерні з відстанню між ними $h/2$:

$$n_{\text{яр}} = h_p / (h + 40) = 320 / (48 + 48/4) = 5 \text{ ярусів,}$$

де $h=48$ мм – висота шестерні.

Для термічної обробки шестерен використовується 10 піддонів розмірами 500×500 мм.

Тоді кількість виробів в печі:

$$n_{\text{п}} = n_{\text{яр}} * 5 = 8 * 5 = 40 \text{ шт.}$$

Маса садки у такому випадку:

$$M_{\text{с}} = 40 * 3,98 = 159,2 \text{ кг.}$$

Розрахуємо час кожної операції термічної обробки для шестерні зі сталі ВКС-5.

Цементация (температура $940 \pm 10^{\circ}\text{C}$). Тривалість нагрівання визначається за формулою:

$$\tau_{\text{н}} = S * k * f * L_{\text{спл}},$$

де S — характеристичний розмір виробу, який дорівнює половині напівтовщини шестерні $22/2 = 11 \text{ мм}$;

k - коефіцієнт форми, $k=2$;

f - коефіцієнт розташування виробів в нагрівальному пристрої, що впливає на час нагрівання, $f=1,4$;

$L_{\text{л}}$ - коефіцієнт легування сталі $L_{\text{л}}=0,96 \text{ хв/мм}$ [8].

Тоді час нагрівання становить:

$$\tau_{\text{н}} = 11 * 2 * 1,4 * 0,96 = 29,6 \text{ хв}$$

Час витримки згідно довідниковим даним дорівнює 8 годин.

Тривалість розвантаження та завантаження $\tau_{\text{зр}}$ складає 30 хв.

Визначимо тривалість охолодження $\tau_{\text{ох}}$ при цементації:

$$\tau_{ox}=(t_{п} - t_{к})/V_{ox},$$

де $t_{п}$ – температура, від якої розпочинається охолодження виробів,
 $t_{п}=940^{\circ}\text{C}$;

$t_{к}$ – кінцева температура охолодження, $t_{к}=20^{\circ}\text{C}$;

V_{ox} – рекомендована для виробу швидкість охолодження на повітрі
 $5^{\circ}\text{C}/\text{с}$.

$$\tau_{ox}=(t_{п} - t_{к})/V_{ox}=(940 - 20)/5 = 184 \text{ с} = 3 \text{ хв} = 0,05 \text{ год.}$$

Тоді загальний час цементації визначається за формулою:

$$\tau_{заг}=\tau_{н}+\tau_{в}+\tau_{зв}+\tau_{ox}.$$

Тоді:

$$\tau_{заг} = 29,6 + 480 + 30 + 3 = 540 \text{ хв} = 9 \text{ год.}$$

Високий відпуск (температура $630 \pm 10^{\circ}\text{C}$). Тривалість нагрівання визначається як:

$$\tau_{н} = S * k * f * L_{спл},$$

де S , k , f — мають такі ж значення, як і раніше; $L_{л}$ - коефіцієнт легування сталі $L_{л}=2,15$ [8]. Тоді

$$\tau_{н} = 11 * 2 * 1,4 * 2,15 = 66,22 \text{ хв.}$$

Час витримки згідно довідниковим даним дорівнює 6 годин.

Тривалість розвантаження та завантаження $\tau_{зр}$ складає 30 хв.

Визначимо тривалість охолодження τ_{ox} при високому відпуску:

$$\tau_{ox} = (t_{\pi} - t_k) / V_{ox},$$

де t_{π} – температура, від якої розпочинається охолодження виробів,
 $t_{\pi} = 630^{\circ}\text{C}$;

t_k – кінцева температура охолодження, $t_k = 20^{\circ}\text{C}$;

V_{ox} – рекомендована для виробу швидкість охолодження на повітрі
 $5^{\circ}\text{C}/\text{c}$.

$$\tau_{ox} = (t_{\pi} - t_k) / V_{ox} = (630 - 20) / 5 = 122 \text{ c} = 2 \text{ хв} = 0,03 \text{ год.}$$

Тоді загальний час високого відпускання становить:

$$\tau_{заг} = 66,22 + 360 + 30 + 2 = 458,2 \text{ хв} = 7,64 \text{ год.}$$

Гартування (температура $920 \pm 10^{\circ}\text{C}$). Тривалість нагрівання визначається за формулою:

$$\tau_H = S * k * f * L_{спл}$$

де S , k , f — мають такі ж значення, як і раніше; $L_{пл} = 0,96 \text{ хв}/\text{мм}$ [8].

$$\tau_H = 11 * 2 * 1,4 * 0,96 = 29,56 \text{ хв.}$$

Час витримки згідно довідниковим даним дорівнює 1,4 години.

Тривалість розвантаження та завантаження $\tau_{зр}$ складає 30 хв.

Визначимо тривалість охолодження τ_{ox} при гартуванні в маслі

$$\tau_{ox} = (t_{\pi} - t_k) / V_{ox},$$

де $t_{\text{п}}$ – температура, від якої розпочинається охолодження виробів,
 $t_{\text{п}}=920^{\circ}\text{C}$;

$t_{\text{к}}$ – кінцева температура охолодження, $t_{\text{к}}=20^{\circ}\text{C}$;

$V_{\text{ох}}$ – рекомендована для виробу швидкість охолодження в маслі 50°C/с .

$$\tau_{\text{ох}}=(t_{\text{п}} - t_{\text{к}})/V_{\text{ох}}=(920 - 20)/50 = 18\text{с}=0,3 \text{ хв}=0,005 \text{ год.}$$

Тоді загальний час становить:

$$\tau_{\text{заг}}=29,56+84+30+0,3=143,86 \text{ хв} = 2,4 \text{ год.}$$

Обробка холодом. Згідно довідниковим даним складає 1,5 год.

Низький відпуск (температура $300\pm 10^{\circ}\text{C}$). Тривалість нагрівання визначається за формулою:

$$\tau_{\text{н}} = S * k * f * L_{\text{спл}},$$

де S , k , f — мають такі ж значення, як і раніше; $L_{\text{л}}=2,15 \text{ хв/мм}$ [8].

$$\tau_{\text{н}}=11*2*1,4*2,15=66,22 \text{ хв.}$$

Час витримки згідно довідниковим даним дорівнює 3 години.

Тривалість розвантаження та завантаження $\tau_{\text{зр}}$ складає 30 хв.

Визначимо тривалість охолодження $\tau_{\text{ох}}$ при низькому відпуску:

$$\tau_{\text{ох}}=(t_{\text{п}} - t_{\text{к}})/V_{\text{ох}},$$

де $t_{\text{п}}$ – температура, від якої розпочинається охолодження виробів,
 $t_{\text{п}}=300^{\circ}\text{C}$;

$t_{\text{к}}$ – кінцева температура охолодження, $t_{\text{к}}=20^{\circ}\text{C}$;

V_{ox} – рекомендована для виробу швидкість охолодження на повітрі $5^{\circ}\text{C}/\text{с}$.

$$\tau_{ox} = (t_{\text{п}} - t_{\text{к}}) / V_{ox} = (300 - 20) / 5 = 56 \text{ с} = 0,93 \text{ хв} = 0,015 \text{ год.}$$

Загальний час низького відпускання становить:

$$\tau_{\text{заг}} = 66,22 + 180 + 0,5 + 0,93 = 247,65 \text{ хв} = 4,13 \text{ год.}$$

Карта технологічного процесу термічної обробки зубчастих колес зі сталі 16ХЗНВФМБ зображено в таблиці 3.2.

Таблиця 3.2 – Карта технологічного процесу термічної обробки зубчастого колеса зі сталі 16Х3НВФМБ (ВКС-5)

Ескіз виробу			Технічні умови			
			Марка сталі	Властивості		Структура
			16Х3НВФМБ (ВКС-5)	Серцевина HRC 35...43, $\sigma_B=1300$ МПа, $\sigma_{0,2}=1150$ МПа, $\delta=10\%$,		Мв+Б
				Цементована поверхня HRC $\geq$ 59-65		М _в +К+А _з (h=1,0-1,2 мм)
№ операції	Назва операції	Обладнання	Режим нагрівання: Температура, °С., час, хв., середовище та його витрати	Режим охолодження: Середовище, його температура, °С., склад, витрати, тривалість, хв	Назва пристосування, кількість, шт	Умови обробки та контролю
1	Вхідний контроль	Стилоскоп, штанген-циркуль, лупа, мікроскоп				Хімічний склад, розміри, наявність поверхневих дефектів, структура
1	2	3	4	5	6	7
2	Цементация					
2.1	Нагрівання	СНЦА 8.16.5/10	$t_n=940\pm 10^\circ\text{C}$ $\tau_n=0,49$ год. Середовище: (CO ₂ , CO, H ₂ , C H ₄)		12 піддонів, 4 вироби на піддоні	Контроль температури, часу та складу середовища, схема садки
2.2	Витримка	СНЦА 5.10.3,2/10	$t_b=940\pm 10^\circ\text{C}$ $\tau_b=8$ год. Середовище: CO ₂ , CO, H ₂ , CH ₄		12 піддонів, 4 вироби на піддоні	Контроль температури, часу, складу та витрат середовища, схема садки
2.3	Охолодження	стіл		$t=20^\circ\text{C}$ $V_{ox}=5^\circ\text{C/c}$ середовище: повітря	піддон	час

Продовження табл. 3.2

1	2	3	4	5	6	7
2.4	Контроль	мікроскоп				Структура, глибина шару на зразках-свідках
3	Відпуск високий	СНЗА 8.16.5/8				
3.1	Нагрівання	СНЗА 8.16.5/8	$t_n=630\pm 10^{\circ}\text{C}$ $\tau_n=1,1$ год. (екзогаз)		12 піддонів, 4 вироби на піддоні	Контроль температури, часу та складу середовища, схема садки
3.2	Витримка	СНЗА 5.10.3,2/8	$t_b=630\pm 10^{\circ}\text{C}$ $\tau_b=6$ год. (екзогаз)		12 піддонів, 4 вироби на піддоні	Контроль температури, часу та складу середовища, схема садки
3.3	Охолодження	Стіл		$t=20^{\circ}\text{C}$ $V_{ox}=5^{\circ}\text{C/c}$ середовище: повітря		час
3.4	Контроль	ТК, мікроскоп				Твердість, структура
4	Гартування					
4.1	Нагрівання	СНЗА 5.10.3,2/10	$t_n=920\pm 10^{\circ}\text{C}$ $\tau_n=0,49$ год ендогаз		10 піддонів, 4 вироби на піддоні	Контроль температури, часу та складу середовища, схема садки
4.2	Витримка	СНЗА 5.10.3,2/10	$t_b=920\pm 10^{\circ}\text{C}$ $\tau_b=1,4$ год. ендогаз		10 піддонів, 4 вироби на піддоні	Контроль температури, часу та складу середовища, схема садки
4.3	Охолодження	Гартівний бак		$t=20^{\circ}\text{C}$ $V_{ox}=50^{\circ}\text{C/c}$ середовище: масло		Температура та час

Продовження табл. 3.2

1	2	3	4	5	6	7
5.	Очищення виробів	Мийна машина ММТ				2.1. 5-8% Na_2CO_3 у H_2O . Температура – (85-90) °С. Час витримки – 7-10 хв.
5.1	Промивання				Піддон	2.2. Вода холодна. Час витримки 5-7 хв.
5.2	Полоскання					2.3. Повітря гаряче з температурою 110-120 °С
5.3	Просушування					
6	Контроль	ТК, мікроскоп				Твердість, структура на зразках-свідках
7	Обробка холодом	Холодильна камера	$t = -70 \dots -80^\circ C$ $\tau_v = 1,5$ год повітря		10 піддонів, 4 вироби на піддоні	Температура, час
8	Контроль	Дифрактометр				Кількість $A_{зал}$
9	Низький відпуск					
9.1	Нагрівання	СНОА 5.10.3,2/5	$t_n = 300 \pm 10^\circ C$ $\tau_n = 1,1$ год. повітря		10 піддонів, 4 вироби на піддоні	Температура, час, схема садки
9.2	Витримка	СНОА 5.10.3,2/5	$t_v = 300 \pm 10^\circ C$ $\tau_v = 3$ год, повітря		10 піддонів, 4 вироби на піддоні	Температура, час, схема садки
9.3	Охолодження	Стіл		$t = 20^\circ C$ $V_{ox} = 5^\circ C/c$ середовище: повітря		температура

Продовження табл. 3.2

1	2	3	4	5	6	7
10	Вихідний контроль	Мікроскоп, штангенциркуль, лінійка, прилади для визначення механічних властивостей				Геометричні розміри, механічні властивості, мікро- і макроструктура

3.1.2.2 Вибір та розрахунки обладнання

Вибір типу обладнання для термообробки виробів визначається характером виробництва, технологічним процесом, геометрією та розмірами виробів. Для термічної обробки деталей з цементованих сталей використовуються камерні електричні печі-агрегати з захисною атмосферою СНЗА 8.16.5/10 (цементация), СНЗА 5.10.3,2/9 (високий відпуск), СНЗА 5.10.3,2/10 (гартування), СНОА 5.10.3,2/5 (низький відпуск), холодильна камера з габаритними розмірами 5x10x3,2 (обробка холодом) Під час здійснення термічної обробки усіх груп виробів використовують мийні машини.

Вихідними даними для розрахунку кількості обладнання є річна програма, режими роботи термічного відділення, річний фонд часу роботи обладнання, режими термічної обробки виробів, карти технологічних процесів термічної обробки.

Річна виробнича програма. До програми входять: номенклатура виробів, маса та габаритні розміри виробів, загальна кількість та маса кожного виробу, який проходить обробку. Для термічного відділення механічного цеху моторобудівного заводу річна програма складає 375 тонн виробів (приведено в таблиці 3.3).

Таблиця 3.3 – Річна виробнича програма

Назва виробу	Матеріал	Маса 1 виробу, кг	Габаритні розміри, мм			Виробнича програма	
			d	h	l	шт.	кг
1	2	3	4	5	6	7	8
Кільце корпусу	12Х2Н4А	1,2	204,8	30,8	-	16667	20000
Зубчасте колесо	16ХЗНВФМБ (ВКС-5)	3,5	75	234	-	20000	70000
Циліндр	14ХГСН2МА (ДИ-3А)	0,1	66,5	39	-	20000	2000
Зубчасте колесо	14ХГСН2МА (ДИ-3А)	2,7	60,8	217	-	20371	55000
Шестерня	14ХГСН2МА (ДИ-3А)	1,87	123,8	128,2	-	21391	40000
Шестерня конічна ведуча	12Х2Н4А	1,4	257	61,5	-	17857	25000
Шестерня конічна ведена	14ХГСН2МА (ДИ-3А)	1,7	111,3	37,6	-	23530	40000
Зубчасте колесо	14ХГСН2МА (ДИ-3А)	0,25	58	37	-	12000	3000
Зубчасте колесо	16ХЗНВФМБ (ВКС-5)	3,98	185	48	-	20101	80000
Зубчасте колесо	12Х2Н4А	1,8	150,3	20,3	-	22222	40000
						Ітого	375000

Таким чином, на групу деталей із цементовних сталей – 375 тонн.

Режими роботи термічного підрозділу. Кількість виробничих змін у відділенні залежить від характеру виробництва, об'єму продукції, використаного обладнання, його продуктивності, від прийнятих процесів термічної обробки. В проектуємому відділенні рекомендується двозмінна робота.

Річний фонд часу роботи обладнання. Календарний річний фонд часу Φ_k , год., визначається з урахуванням кількості днів в році та тривалості доби:

$$\Phi_k = 365 * 24 = 8760 \text{ год.}$$

Дійсний фонд часу роботи обладнання Φ_d залежить від прийнятого режиму роботи, тривалості зміни, втрат часу [9]:

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

де $D_{\text{вих}}$ – кількість вихідних днів за рік;

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

$K_{\text{зм}}$ – кількість змін за добу (прийнято 2 зміни);

$T_{\text{зм}}$ – тривалість однієї зміни, год. (прийнято 8 годин);

$K_{\text{вик}}$ – коефіцієнт використання часу роботи обладнання ($K_{\text{вик}} = 0,92$).

Отримуємо дійсний фонд часу роботи обладнання Φ_d :

$$\Phi_d = 251 * 2 * 8 * 0,92 = 3695 \text{ годин.}$$

Розрахунки кількості обладнання по завантажувальним відомостям. При цьому методі необхідний час роботи обладнання для виконання конкретної операції визначається на основі даних завантажувальної відомості. Вона складається для кожної операції термічної обробки та кожного обладнання. Ця методика більш точна, вона враховує масу садки, загальний час, який зайнятий обладнанням при обробці садки, раціональний

спосіб завантаження виробів в піч і в певній мірі відображає необхідний час для обробки конкретних виробів. У відомість включають усі вироби, які обробляються на даному обладнанні.

В таблицях 3.4-3.8 приведені завантажувальні відомості для печей, що використовують для термічної обробки виробів з цементовних сталей СНЗА 8.16.5/10 (цементация), СНЗА 8.16.5/8 (високий відпуск), СНЗА 5.10.3,2/10 (гартування), холодильна камера з габаритними розмірами 5х10х3,2 (обробка холодом), 5.10.3,2/5 (низький відпуск).

Таблиця 3.4 – Завантажувальна відомість для виробів із цементовних сталей

Обладнання – СНЗА-8.16.5/10.

Операція термічної обробки – цементация.

Назва виробу	Матеріал	Маса виробу m, кг	Річна виробнича програма Мрі		Садка P_{ci}		Кількість садок	Необхідний час обробки садки $t_{заг}$, год.	Необхідний час роботи печі T, год.
			шт.	кг	шт.	кг			
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Кільце корпусу	12Х2Н4А	1,2	16667	20000	80	499,2	41	7,23	296,43
Зубчасте колесо	16Х3НВФМБ (ВКС-5)	3,5	20000	70000	98	343	205	9,23	1892,15
Циліндр	14ХГСН2МА (ДИ-3А)	0,1	20000	2000	1280	220	10	7,4	74
Зубчасте колесо	14ХГСН2МА (ДИ-3А)	2,7	20371	55000	162	437,4	126	7,9	995,4
Шестерня	14ХГСН2МА	1,87	21391	40000	150	280,5	143	8,3	1186,9
Шестерня конічна	12Х2Н4А	1,4	17857	25000	40	176,4	142	7,9	1121,8
Шестерня конічна ведена	14ХГСН2МА (ДИ-3А)	1,7	23530	40000	256	435	92	7,4	680,8

Продовження табл. 3.4									
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Зубчасте колесо	14ХГСН2МА (ДИ-3А)	0,25	12000	3000	1459	364	9	7,37	66,33
Зубчасте колесо	16Х3НВФМБ (ВКС-5)	3,98	20101	80000	48	191	419	9	3771
Зубчасте колесо	12Х2Н4А	1,8	22222	40000	288	388	104	7	728
								Всього	10812,8

Кількість садок на рік $N_i = M_{pi}/P_{ci}$.

Необхідний загальний час роботи печі $T_3 = \sum T_i$.

Необхідний час роботи печі для обробки і-того виробу $T_i = N_i \cdot \tau_{заг}$.

Кількість печей розрахункова: $P_p = T_{заг}/\Phi_d$; $P_p = 10812,81/3695 = 2,9$.

Прийнята кількість печей $P_{пр} = 3$.

Коефіцієнт завантаження $K_3 = P_p/P_{пр}$; $K_3 = 0,97$.

Таблиця 3.5 – Завантажувальна відомість для виробів із цементовних сталей

Обладнання – СНЗА-8.16.5/8

Операція термічної обробки – високий відпуск.

Назва виробу	Матеріал	Маса виробу m, кг	Річна виробнича програма M_{pi}		Садка P_{ci}		Кількість садок на рік	Необхідний час обробки садки $\tau_{заг}$, год	Необхідний час роботи печі T, год.
			шт.	кг	шт.	кг			
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Кільце корпусу	12Х2Н4А	1,2	16667	20000	80	499,2	41	7,07	289,87
Зубчасте колесо	16Х3НВФМБ (ВКС-5)	3,5	20000	70000	98	343	205	9,2	1886
Циліндр	14ХГСН2МА (ДИ-3А)	0,1	20000	2000	1280	220	10	7,5	75
Зубчасте колесо	14ХГСН2МА (ДИ-3А)	2,7	20371	55000	162	437,4	126	8,6	1083,6

Продовження табл. 3.5

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Шестерня	14ХГСН2МА (ДИ-3А)	1,87	21391	40000	150	280,5	143	11,78	1684,54
Шестерня конічна ведуча	12Х2Н4А	1,4	17857	25000	40	176,4	142	8,66	1229,72
Шестерня конічна ведена	14ХГСН2МА (ДИ-3А)	1,7	23530	40000	256	435	92	7,45	685,4
Зубчасте колесо	14ХГСН2МА (ДИ-3А)	0,25	12000	3000	1459	364	9	7,4	66,6
Зубчасте колесо	16ХЗНВФМБ (ВКС-5)	3,98	20101	80000	48	191	419	7,64	3201,16
Зубчасте колесо	12Х2Н4А	1,8	22222	40000	288	388	104	7,56	786,24
								Всього	9303,59

Кількість садок на рік $N_i = M_{pi}/\Pi_{ci}$.

Необхідний загальний час роботи печі $T_3 = \sum T_i$.

Необхідний час роботи печі для обробки і-того виробу $T_i = N_i * \tau_{зари}$.

Кількість печей розрахункова: $\Pi_p = T_{зар}/\Phi_d$; $\Pi_p = 9303,59/3695 = 2,5$.

Прийнята кількість печей $\Pi_{пр} = 3$.

Коефіцієнт завантаження $K_3 = \Pi_p/\Pi_{пр}$; $K_3 = 0,83$.

Таблиця 3.6 – Завантажувальна відомість для виробів із цементовних сталей

Обладнання – СНЗА-5.10.3,2/10

Операція термічної обробки – гартування.

Назва виробу	Матеріал	Маса виробу m, кг	Річна виробнича программа M _{pi}		Садка П _{ci}		Кількість садок на рік N, шт	Загальний час обробки садки τ _{заг} , год.	Необхідний час роботи печі T, год.
			шт.	кг	шт.	кг			
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Кільце корпуса	12X2H4A	1,2	16667	20000	80	345,6	58	2,19	127,02
Зубчасте колесо	16X3HВФМБ (ВКС-5)	3,5	20000	70000	98	252	280	3,6	1008
Циліндр	14ХГСН2МА (ДИ-3А)	0,1	20000	2000	1280	68,6	30	2,38	71,4
Зубчасте колесо	14ХГСН2МА (ДИ-3А)	2,7	20371	55000	162	388,8	142	2,87	407,54
Шестерня	14ХГСН2МА (ДИ-3А)	1,87	21391	40000	150	119,6 8	335	4,28	1433,8
Шестерня конічна ведуча	12X2H4A	1,4	17857	25000	40	56	447	2,89	1291,83
Шестерня конічна ведена	14ХГСН2МА (ДИ-3А)	1,7	23530	40000	256	380,8	106	2,36	250,16
Зубчасте колесо	14ХГСН2МА (ДИ-3А)	0,25	12000	3000	1459	171,5	18	2,33	41,94
Зубчасте колесо	16X3HВФМБ (ВКС-5)	3,98	20101	80000	48	159,2	503	2,4	1207,2
Зубчасте колесо	12X2H4A	1,8	22222	40000	288	158,4	253	1,96	495,88
								Всього	6334,77

Кількість садок на рік $N_i = M_{pi}/P_{ci}$.

Необхідний загальний час роботи печі $T_3 = \sum T_i$.

Необхідний час роботи печі для обробки і-того виробу $T_i = N_i \cdot \tau_{зари}$.

Кількість садок на рік $N_i = M_{pi}/P_{ci}$.

Необхідний загальний час роботи печі $T_3 = \sum T_i$.

Необхідний час роботи печі для обробки і-того виробу $T_i = N_i \cdot \tau_{загi}$.

Кількість печей розрахункова: $P_p = T_{заг}/\Phi_d$; $P_p = 3258/3695 = 0,88$.

Прийнята кількість холодильного обладнання $P_{пр} = 1$.

Коефіцієнт завантаження $K_3 = P_p/P_{пр}$; $K_3 = 0,88$.

Таблиця 3.8 – Завантажувальна відомість для виробів із цементовних сталей

Обладнання – СНОА 5.10.3,2/5

Операція термічної обробки – низький відпуск.

Назва виробу	Матеріал	Маса виробу m, кг	Річна виробнича програма M_{pi}		Садка P_{ci}		Кількість садок на рік N, шт.	Загальний час обробки садки $\tau_{заг}$, год.	Необхідний час роботи печі T, год.
			шт.	кг	шт.	кг			
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Кільце корпуса	12X2H4A	1,2	16667	20000	80	345,6	58	4,55	263,9
Зубчасте колесо	16X3HВФМБ (ВКС-5)	3,5	20000	70000	98	252	280	7,28	2038,4
Циліндр	14ХГСН2МА (ДИ-3А)	0,1	20000	2000	1280	68,6	30	5,98	179,4
Зубчасте колесо	14ХГСН2МА (ДИ-3А)	2,7	20371	55000	162	388,8	142	6,58	934,36
Шестерня	14ХГСН2МА (ДИ-3А)	1,87	21391	40000	150	119,68	335	9,76	3269,6
Шестерня конічна ведуча	12X2H4A	1,4	17857	25000	40	56	447	6,12	2735,64
Шестерня конічна ведена	14ХГСН2МА (ДИ-3А)	1,7	23530	40000	256	380,8	106	5,93	628,58
Зубчасте колесо	14ХГСН2МА (ДИ-3А)	0,25	12000	3000	1459	171,5	18	5,88	105,84

Продовження табл. 3.8

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Зубчасте колесо	16X3HВФМБ (ВКС-5)	3,98	20101	80000	48	159,2	503	4,62	2323,86
Зубчасте колесо	12X2H4A	1,8	22222	40000	288	158,4	253	4,53	1146,09
								Всього	13625,6 7

Кількість садок на рік $N_i = M_{pi}/\Pi_{ci}$.

Необхідний загальний час роботи печі $T_3 = \sum T_i$.

Необхідний час роботи печі для обробки і-того виробу $T_i = N_i * \tau_{зари}$.

Кількість печей розрахункова: $\Pi_p = T_{зар}/\Phi_d$; $\Pi_p = 13625,67/3695 = 3,68$.

Прийнята кількість холодильного обладнання $\Pi_{пр} = 4$.

Коефіцієнт завантаження $K_3 = \Pi_p/\Pi_{пр}$; $K_3 = 0,92$.

Отже, отримали, що для здійснення хіміко-термічної обробки виробів із цементовних сталей необхідно 13 печей.

Загальна кількість пічного обладнання в проектуємому відділенні – 13.

Розрахунки кількості установок для позапічного обладнання

При термічній обробці виробів з цементовних сталей використовують ендо- та екзогенератори для створення захисної атмосфери.

Витрати еногазу для агрегатів періодичної дії СНЗА 8.16.5/10 (цементация), СНЗА 5.10.3,2/10 (гартування) складають 8 м³/год.

Оскільки кількість таких печей 5 шт, тоді загальна кількість витрат еногазу $B = 5 * 8 = 40$ м³/год.

Продуктивність однієї установки ЭН-16МО2 $Q = 16$ м³/год.

Тоді розрахункова кількість установок U_p для приготування атмосфери:

$$U_p = B / Q = 40/16 = 3 \text{ шт.}$$

Необхідна кількість ендогенераторів типу ЭН-16МО2 з урахуванням резервування 3 шт.

Витрати екзогазу для агрегату періодичної дії СНЗА 5.10.3,2/8 (високий відпуск): 8 м³/год. Оскільки кількість таких печей становить 3 шт, тоді загальна кількість витрат екзогазу $V = 3 \cdot 8 = 24$ м³/год.

Продуктивність однієї установки ЭК-9-ОМЗ $Q = 8$ м³/год. [10]

Тоді розрахункова кількість установок U_p для приготування атмосфери:

$$U_p = V / Q = 24/8 = 3 \text{ шт.}$$

Необхідна кількість екзогенераторів типу ЭК-9-ОМЗ з урахуванням резервування 3 шт.

Після визначення кількості печей, устаткування, засобів механізації, обладнання для контролю, допоміжного обладнання для обробки річної програми, складається зведена відомість для усіх видів обладнання (таблиця 3.9).

Таблиця 3.9 – Зведена відомість обладнання

Назва та індекс обладнання	Назва технологічної операції	Річний випуск виробів на даному обладнанні тонн	Кількість обладнання, шт.		Коефіцієнт завантаження K_3
			P_p	P_{pp}	
1	2	3	4	5	6
СНЦА 8.16.5/10	Цементация	375000	2,9	3	0,97
СНЗА 8.16.5/8	Високий відпуск	375000	2,5	3	0,83
СНЗА-5.10.3,2/10	Гартування	375000	1,71	2	0,85
Холодильна камера 5x10x3,2	Обробка холодом	375000	0,88	1	0,88

Продовження табл. 3.9

1	2	3	4	5	6
СНОА 5.10.3,2/5	Низький відпуск	375000	3,69	4	0,92
ЭН-16МО2	Устаткування для приготування ендогазу	425000		5	
ЭК-9-ОМЗ	Устаткування для приготування екзогазу	375000		3	
Мийна тупікова машина	Промивання Полоскання Просушуванн я	425000	-	1	-
Мийна ультразвуко ва машина	Промивання Полоскання Просушуванн я	425000	-	1	-

3.1.3 Технічний контроль, попередження та виправлення браку

Якість продукції формується в процесі всього циклу термічної обробки. Об'єктом контролю є вихідні матеріали, технологічні процеси термічної обробки, а також якість готової продукції. Контроль повинен бути систематичним, достатньо точним і надійним.

Вхідний контроль дозволяє вирішувати наступні задачі:

- визначати відповідність металу вимогам стандартів чи технічних умов, а також замовленню;
- виявляти дефекти в металі, виявляти їх характер, встановлювати ступінь ураження металу дефектами;
- попереджувати попаданню дефектного металу у виробництво тощо.

Використовують такі основні види вхідного контролю:

- візуальний огляд з використанням збільшувальних приладів або без них;
- аналіз хімічного складу;
- визначення механічних властивостей;
- аналіз мікро- та макроструктури.

Якщо при вхідному контролі виявляється невідповідність партії металу технічним вимогам за одним або декількома показникам якості, то цей метал повинен повертатись постачальникам з накладанням штрафних санкцій в установленому порядку.

Брак при термічній обробці може бути наслідком наявності в готових виробах або напівфабрикатах дефектів чисто металургійного походження (волосовини, усадкові раковини, ліквация), дефектів гарячої або холодної пластичної деформації і, нарешті, наслідком порушення технології термічної обробки.

Якість термічної обробки може характеризуватися мікроструктурою металу, механічними, фізичними, технологічними та іншими спеціальними властивостями.

Технічний контроль передбачає не лише перевірку якості термічної обробки, але й контроль дотримування технологічних параметрів процесів на всіх стадіях перероблення: тривалість, температуру окремих операцій за допомогою термопар (термопари розташовуються в різних точках печі для фіксації зміни в роботі нагрівальних печей), склад контрольованої атмосфери тощо. Під час контролю температурних режимів за допомогою спеціальних приладів необхідно позначити інтервал часу, через який здійснюється фіксація показників цих параметрів.

Періодичному контролю підлягає порядок розташування виробів при їх завантаженні, рівномірність прогрівання садки, температура рідини для гартування.

Відповідність мікроструктури, розміру зерна до технічних вимог перевіряють за допомогою металографічного аналізу, для якого існують

відповідні державні стандарти, еталони та шкали для контролю. Контроль лінійних розмірів проводиться за допомогою лінійки та штангенциркуля. Для вивчення дефектів, які неможна виявити за допомогою візуального огляду, доцільно використовувати методи магнітної дефектоскопії.

Оскільки при проведенні термічної обробки може з'явитися ряд дефектів, необхідно вживати профілактичні заходи щодо запобігання утворення браку, а у випадку його появи – заходи, щодо усунення дефектів.

При цементації виробів з цементовних сталей головною задачею є контроль вуглецевого потенціалу. При цьому використовується датчик у вигляді тонкого сталевих дроту, який в газовому середовищі печі піддається науглецюванню. Ефект науглецювання спостерігається за зміною електроопору дроту і у вигляді електричного імпульсу передається на контрольно-регулюючу частину приладу, внаслідок чого спрацьовує дозатор, який регулює витрати карбюризатора. При подачі карбюризатору в піч вуглецевий потенціал збільшується, а при припиненні – зменшується. За складом контрольованої атмосфери спостерігають на всіх операціях термічної обробки.

Якість виробів з цементовних сталей після хіміко-термічної і термічної обробок перевіряють за такими параметрами:

- товщина насиченого шару, яка визначається на макро- і мікроструктурі зразків-свідків або по розподілу твердості;
- твердість поверхні за Роквеллом після гартування та відпуску;
- твердість серцевини за Брінеллем (або за Роквеллом).

Для контролю поверхневих дрібних тріщин на виробах без їх руйнування широкого поширення набули магнітні методи (магнітна дефектоскопія).

В табл. 3.10 показані основні види дефектів, що виникають при термічній обробці деталей з цементовних сталей на прикладі шестерні зі сталі ВКС-5, причини їх появи, заходи по запобіганню їх виникнення та усунення.

Таблиця 3.10 – Види дефектів шестерні зі сталі ВКС-5

№ п/п	Вид дефекту	Причини виникнення дефекту	Заходи по запобіганню появи дефекту	Заходи по усуненню дефекту
1	2	3	4	5
Цементация				
1	Занижен а (завище на) глибина дифузій но-го шару	1) занижені (завищені) температура та тривалість витримки; 2) понижена (підвищена) активність робочого середовища; 3) окислені або забруднені окремі поверхні виробу.	1) підтримка темпера- тур та часу витримки на технологічному рівні; 2) постійне регулю- вання активності робочого середовища; 3) ретельна підготовка виробів до ХТО.	1) при заниженому шарі здійснюється повторна ХТО; 2) при завищеному шарі цей дефект невиправний; 3) при завищеному шарі здійснюється механічна обробка.
2	Неоднор ідна глибина шару на різних ділянках виробу	1) наявність забруднених поверхонь; 2) не працює цирку- ляційний вентилятор; 3) занижена, або надто завищена швидкість руху робочого середовища; 4) утворення при цементации сажі (через високу активність робочого середовища).	1) очищення поверхні виробів; 2) експлуатація нала- годженого обладнання 3) регулювання час- тоти обертів циркуля- ційного вентилятора; 4) динамічне регулю- вання активного середовища.	У випадках, коли не досягнена необхідна глибина шару можна здійснити повторну ХТО.
3	Утворен ня грубих надлишк о-вих карбідів	1) понижена температура процесу цементации; 2) висока активність робочого середовища; 3) цементация сталей легованих карбидоутво- рювачами (Cr, Mo, W, V).	1) цементация при вищих температурах; 2) регулювання робочого середовища; 3) при можливості використовувати менш леговані сталі.	Знеуглецювання здійснити, якщо дозволяє глибина шару.

Продовження табл. 3.10

1	2	3	4	5
4	Велика крихкість дифузійного шару	1) наявність надлишкових фаз; 2) занижена глибина шару; 3) понижена твердість серцевини.	Регулювання активності робочого середовища з метою отримання оптимального вмісту елемента, що дифундує.	Знеуглецювання
Гартування				
1	Занижена твердість	1) невірно обране гартівне середовище; 2) понижена порівняно з оптимальною температура гартування.	1) заміна гартівного середовища (повітря на масло мінеральне, мінеральне масло на воду); 2) дотримання раціональних температур гартування.	1) повторне гартування в раціональному середовищі; 2) повторне гартування від раціональних температур.
2	Гартівні тріщини	1) нагрівання із високими швидкостями внаслідок яких виникає великий перепад температур за перерізом; 2) різке охолодження із завищеною швидкістю.	1) використання східкового нагрівання; 2) використання м'яких гартівних середовищ	Невиправний дефект.
3	Деформація виробів (короблення)	1) нераціональне розташування виробів в садці; 2) завищені температури гартування та швидкість охолодження	1) формування раціонального розташування виробів в садці гартівного пристрою; 2) використання гартівних машин, пресів (охолодження в заневоленому стані); 3) гартування від підвищених температур	1) рихтування, ТО виробів; 2) відпал і повторне гартування; 3) використання обробки холодом з метою регулювання розміру виробів, регулювання деформації

Продовження табл. 3.10

1	2	3	4	5
			із метою збереження підвищеного вмісту $A_{\text{зал}}$	
4	Великий розмір аустенітного зерна	1)завищена температура гарту; 2)завищений час витримки	1),2) термічна обробка за оптимальним режимом	1)відпал із гартom повторно.
Відпуск				
1	Завищен а твердість	1)занижені температури; 2)занижений час відпуску; 3)використання сталей високої теплостійкості	1),2) ХТО за оптимальним режимом; 3)використання раціонального матеріалу.	Повторне відпускання при більш високих температурах
2	Занижен а твердість	1)завищені температури; 2)завищений час відпуску; 3)завищена кількість $A_{\text{зал}}$.	1),2) термічна обробка за оптимальним режимом; 3)використання раціональних температур гартування.	1),2)відпал з наступним гартуванням і відпуск при раціональних температурах та витримках; 3)обробка холодом та наступний відпуск.

3.2 Вплив різних процесів хіміко-термічної обробки на властивості зубчастих передач

Як відомо, існують різноманітні способи насичення сталі вуглецем і азотом, у тому числі спільно: газовий (у тому числі цементация у твердих середовищах); іонно-плазмовий; вакуумний і багато інші. Суттєво, що різні види ХТО зубчастих коліс: цементация й азотування, а також нітроцементация й комбінована хіміко-термічна обробка (цементация з наступним азотуванням) забезпечують різні комбінації експлуатаційних властивостей і, відповідно, мають свої переваги й недоліки.

Як показує практика, нісівна здатність коліс переважно визначається станом її приповерхневого шару, що обумовило широке застосування ХТО для зміцнення високонавантажених деталей зубчастих передач. З метою запобігання руйнування поверхні й підповерхневого шару прагнуть підвищити міцність і твердість поверхні, не допустивши, при цьому, надмірного її окрихчування.

Серед способів ХТО, застосовуваних до високонавантажених зубчастих коліс: азотування, цементация й нітроцементация- забезпечують різний рівень твердості зміцненої поверхні [15]. Так, азотування хромомолібденоалюмінієвих сталей дає можливість досягти твердості поверхні 750-1200 *HV*, цементация й нітроцементация хромонікельмолібденових сталей – 600-800 *HV*, азотування сталей, що не містять алюміній – 500-700 *HV*. При цьому, концентрація вуглецю в поверхневій зоні цементованого шару (1-2 %) значно менше, чим вміст азоту в азотованому шарі (5-7 %), що приводить до підвищеної крихкості азотованих шарів, що може призводити до зниження витривалості при згині зубів (багатоциклова міцність)/

Сучасні високонавантажені зубчасті колеса в процесі експлуатації зазнають дії різних зовнішніх факторів, які можуть викликати їхнє

руйнування: адгезійне й абразивне зношування робочих поверхонь, їх викришування через контактну утому, злам зубів внаслідок циклічного навантаження згину [16].

Відомі переваги азотування: мале жолоблення, підвищення антикорозійної стійкості неаустенітної сталі, висока зносостійкість, ріст витривалості при таких істотних недоліках, як необхідність застосування спеціальних сталей, тривалість процесу, часте виникнення поверхневої крихкості, а особливо зниження зміцнення від азотування при збільшенні розмірів деталі [17]. У цьому зв'язку азотування, як правило, застосовується при зміцненні зубчастих профілів малого модуля. Також азотовані шари більш чутливі, ніж цементовані, до перевантажень і нерівномірних навантажень, що дуже суттєво для транспортного машинобудування.

3.2.1 Особливості вакуумних процесів хіміко-термічної обробки важконавантажених зубчастих передач

Технологічні можливості вакуумної цементації й нітроцементації (ХТО в атмосферах низького тиску) суттєво перевершують можливості традиційних газових процесів. Вони гарантують високі експлуатаційні властивості дифузійних шарів, гарну відтворюваність результатів насичення, оптимальне співвідношення ціни і якості обробки. Вакуумні процеси запобігають обумовленій наявністю в газових атмосферах, крім газу, що насичує, оксидів вуглецю, водню, азоту, пара води й кисню шкідливим наслідкам зовнішнього й внутрішнього окиснення (аж до формування оксидної сітки по границях зерен), а також характерного для газових процесів знеуглецювання оброблюваної поверхні, забезпечуючи більш високі властивості шару, що насичується [18].

Забезпечується висока економічна ефективність термічного виробництва за рахунок кратного зниження витрати електроенергії й технологічних газів, яка компенсує більш високу вартість вакуумного встаткування, у порівнянні із традиційним [19]. Так, витрати на проведення вакуумної цементації (при 920 °C) на ефективну товщину шару, рівну 1,0 мм, знижуються в порівнянні з газовою цементацією (при 920 °C) на 14 %. Якщо ж вакуумну цементацію проводити при 1000 °C, то витрати знизяться ще більше – на 28 %. При одержанні шарів ефективною товщиною до 2,0 мм витрати можуть знизитися на 40 %. До гідностей вакуумної цементації необхідно віднести високу культуру виробництва й відсутність забруднення навколишнього середовища [20].

Вакуумна цементація в ацетилені, що активно дисоціює на поверхні сталевих деталей вже при 900-960 °C, забезпечує високу рівномірність насичення навіть у глибоких отворах. Вакуумні процеси характеризуються прискоренням процесу обробки в порівнянні з газовими: при одержанні дифузійного шару ефективною товщиною більш 0,5 мм, тимчасові витрати скорочуються на 60 %. Ці фактори, а також виробництво вакуумних печей, оснащених системою мало деформаційного газового загартування, сприяють розширеному застосуванню розглянутого процесу [20].

Також при вакуумній цементації (при температурі 950 °C) проводиться науглецювання низьколегованої сталі до високих концентрацій вуглецю на поверхні, рівних 2,0 і навіть 4,0 %. Обробка проводиться протягом 5 циклів активного науглецювання й дифузійного вирівнювання. Після першого циклу концентрація карбідів становить менш 2 %; після третього – близько 10 %; після п'ятого – рівна 19 %.

Вакуумна цементація проводиться в широких межах температур: від 785 до 1205 °C залежно від хімічного складу сталі, складу робочої атмосфери, завдань цементації. Вакуумна нітроцементація проводиться при температурах понад 785 °C, однак верхня межа температурного діапазону нітроцементації обмежена приблизно 920 °C. Так, наприклад, вакуумну

нітроцементацию (ВНЦ) сталі ВКС-10 рекомендовано проводити при температурі близько 880 °С.

При вакуумній цементації крива зміни поверхневої концентрації вуглецю на різних стадіях залежно від часу процесу має характерний вигляд (рис. 3.3). Значення поверхневої концентрації вуглецю зростає на стадіях насичення й знижується на дифузійних стадіях. Представлена крива має специфічну особливість: на дифузійній стадії в ході першого циклу зниження поверхневої концентрації досить різке; на іншому циклі концентрація вуглецю падає менш сильно; на третьому циклі вона знижується незначно, крива здобуває все більш плавний вигляд.

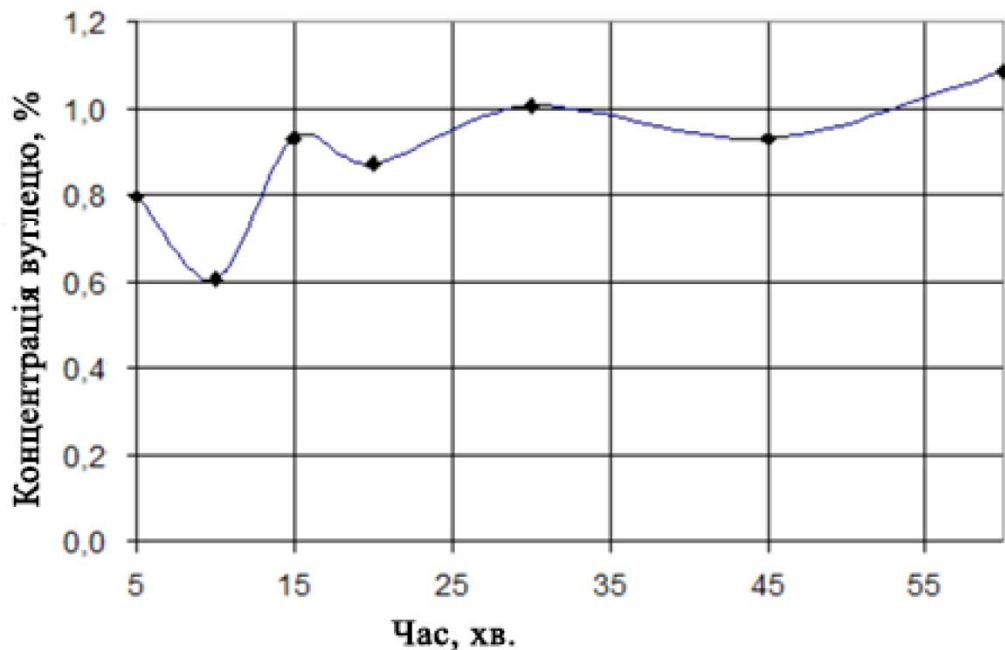


Рисунок 3.3 – Зміна поверхневої концентрації вуглецю на різних стадіях процесу вакуумної цементації (експериментальні дані) [21]

Після вакуумної цементації (нітроцементації) теплостійких сталей (крім тих, що дисперсійно-твердіють) зазвичай проводиться високий відпуск, гартування, обробка холодом й низький відпуск.

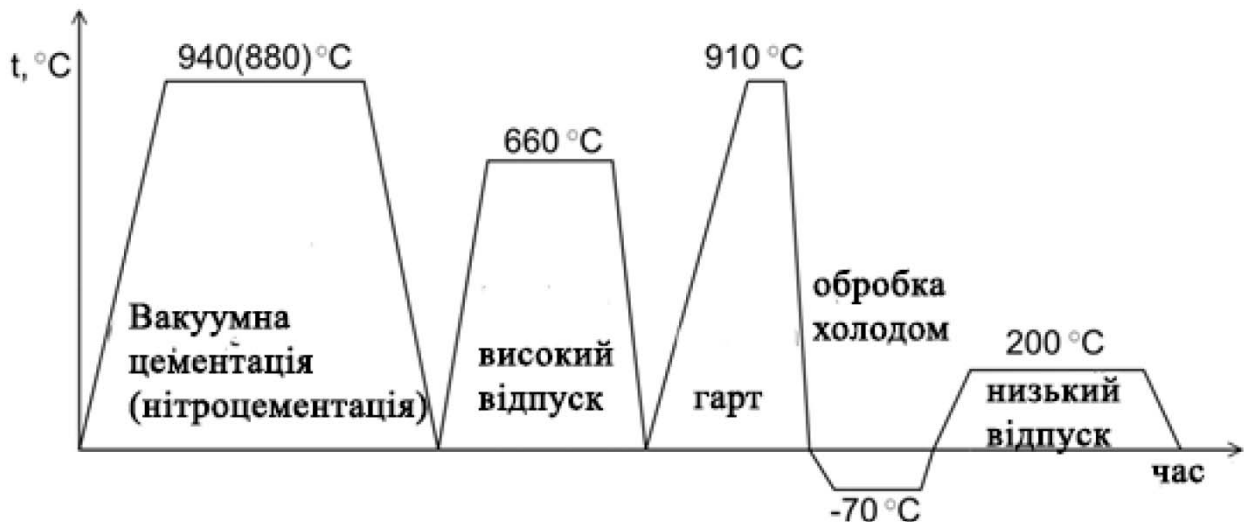
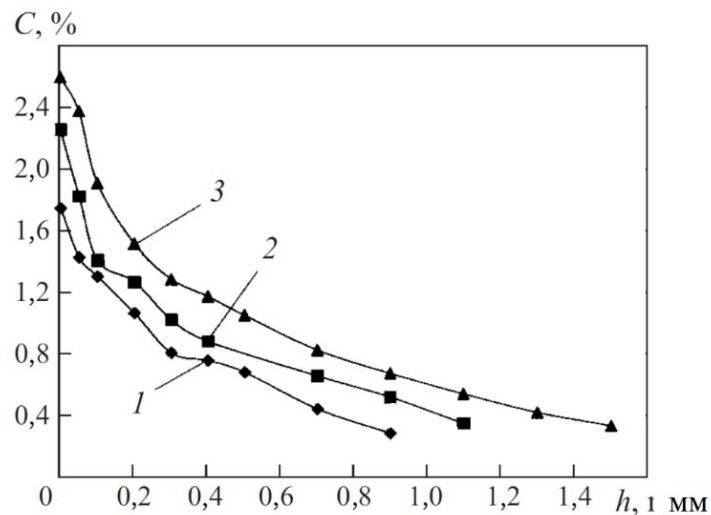


Рисунок 3.4 – Схема звичайної повної термічної й хімікотермічної (вакуумній цементациї або нітроцементациї)обробки теплостійких сталей типу ВКС-5

При вакуумній цементациї ацетилен розкладається при температурах 900-950 °C. При цьому молекули метану розкладаються при температурах понад 1000 °C. Таким чином, насичення в ацетилені можливо практично у всьому діапазоні робочих температур, а в метані – тільки при підвищених температурах, що може негативно позначитися на структурі (ріст зерна) і, відповідно, властивостях дифузійного шару. Слід зазначити й той факт, що на відміну від метану, при застосуванні ацетилену на насичення витрачається практично весь поданий у камеру газ. Це обумовлює доцільність застосування ацетилену для вакуумної цементациї (а також для нітроцементациї), як компонента робочої атмосфери. [20].

При вакуумній цементациї не одержують концентраційні криві вуглецю із протяжним приповерхнім майданчиком рівної концентрації (рис. 3.5.).



1 – протягом 130 хв; 2 – протягом 300 хв; 3 – протягом 475 хв
(h – відстань від поверхні, C – концентрація вуглецю)

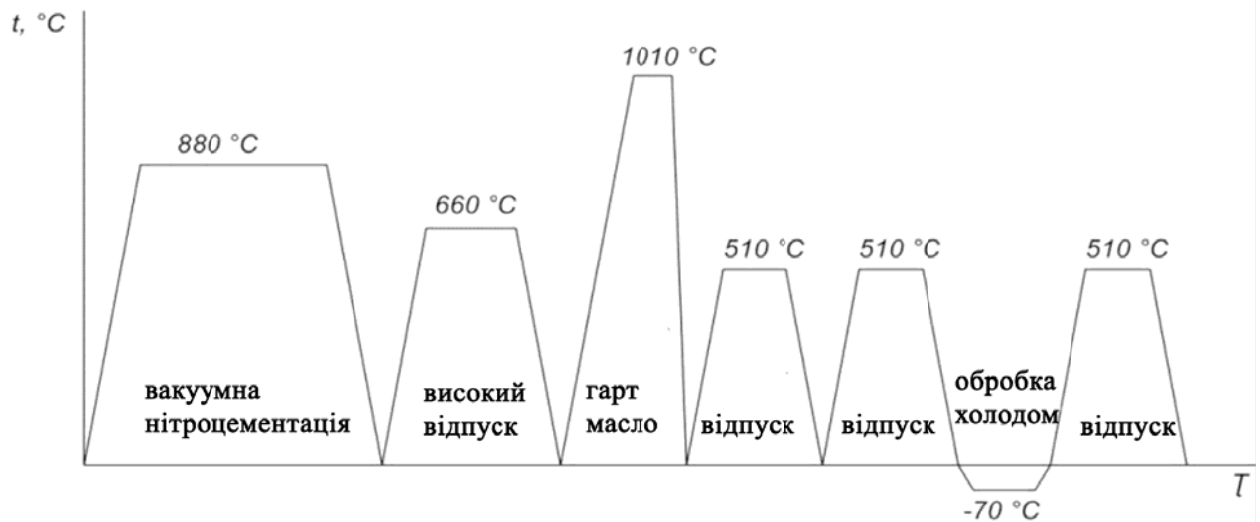
Рисунок 3.5 – Характерні концентраційні криві вуглецю при вакуумній цементації сталі ВКС-5 при температурі 940 °C [131]

Проведення вакуумної нітроцементації (ВНЦ) викликає ряд ускладнень, пов'язаних з необхідністю зниження температури процесу з метою активізації термічної дисоціації аміаку, що найбільше інтенсивно відбувається при температурах, близьких до 800 °C.

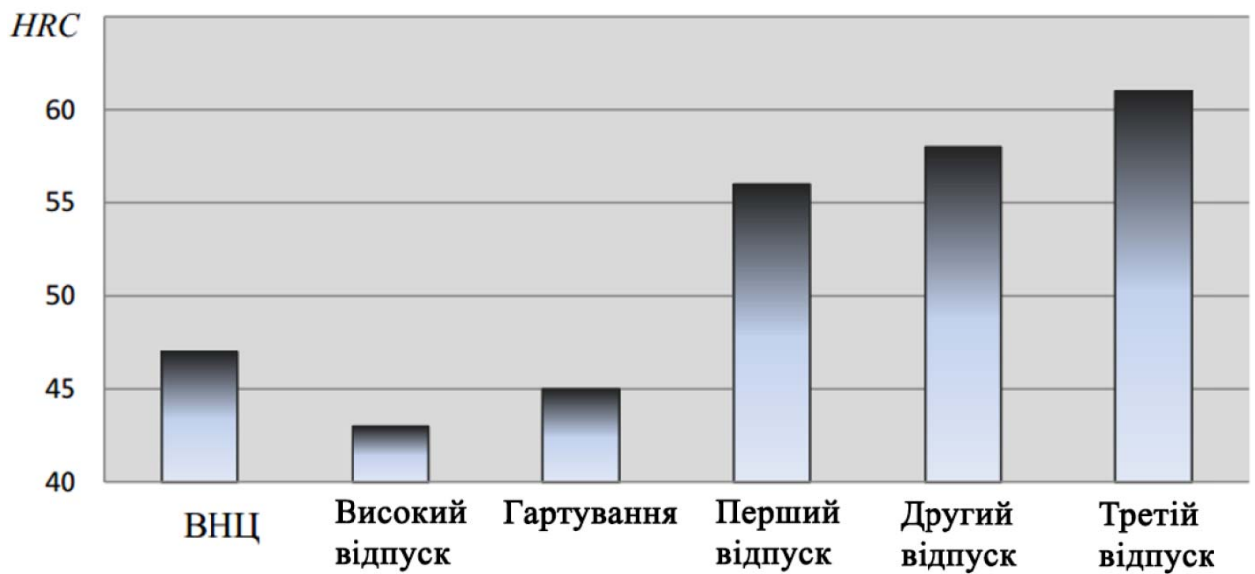
У цей час запропоновано три основні підходи до проведення ВНЦ. Перший полягає в насиченні азотом у ході нагрівання під цементацію. Очевидним недоліком цього методу є перерозподіл азоту від поверхні вглиб шару під дією градієнта концентрації вуглецю, отриманого в ході цементації. Азот у шарі буде досить рівномірно розподілений на досить більшу глибину й не досягне значної концентрації. Метою попереднього азотування в цьому випадку є недопущення росту зерна аустеніту при високій температурі вакуумної цементації, що забезпечує більшу швидкість процесу, і ця позначка, завдяки наявності в шарі азоту, досягається.

Другий варіант припускає постійну подачу аміаку й циклічну ацетилену при температурі 880 °C. Присутність у сталі стабілізуючого аустеніт нікелю, дія якого посилена за рахунок насичення азотом обумовлює

необхідність проведення кількаразової відпустки, що забезпечує ріст вторинної твердості матеріалу (рис. 3.6). У результаті забезпечується твердість поверхні, рівна 61 *HRC* (при сумарній концентрації вуглецю й азоту на поверхні близько 1,3 %, що представляється надмірним).



а



б

а - схема процесу (t – температура, τ - час); б - зміна твердості за стадіями процесу

Рисунок 3.6 – Повний цикл зміцнювальної обробки на основі вакуумної нітроцементації теплостойкої сталі ВКС-10, що дисперсійно-твердіє

Крім того, у порівнянні з вакуумною цементациєю забезпечується усунення грубої карбідної сітки, замість якої формуються дрібнодисперсні карбонітриди, розподіл яких у шарі відповідає вимогам по забезпеченню високого рівня контактної витривалості.

Разом з тим, твердість поверхні є не достатньою з погляду забезпечення необхідного для зубчастих коліс, що працюють в умовах підвищених температур, рівня опору адгезионному зношуванню. У цьому зв'язку, представляється найбільш обґрунтованим проведення замість ВНЦ для зубчастих коліс із комплексно-легованої сталі комбінованої обробки: цементациї, загартування, обробки холодом і кратної високої відпустки й механічної обробки, у якості оздоблювальної операції здійснювати азотування, переважливо іонно-вакуумне. При цьому, з метою запобігання утвору карбідної сітки рекомендується змінити співвідношення стадій вакуумної цементациї для того, щоб зменшити насиченість дифузійного шару вуглецем.

Вакуумна ХТО є передовим методом поверхневого зміцнення й може бути рекомендована до застосування для високонавантажених зубчастих коліс зі сталей різної схеми легування. Разом з тим, в існуючій науковій літературі відсутні дані про закономірності масопереноса елементів, що насичують, з атмосфери низького тиску, формуванні цементованих і нітроцементованих шарів у складно-легованих сталях з утвором карбідної (карбонітридної) фази комплексного складу, що утруднює її впровадження у виробництво.

3.2.2 Особливості іонно-вакуумних процесів хіміко-термічної обробки важконавантажених зубчастих передач

Іонно-вакуумні технології цементації, нітроцементації й азотування здійснюються у вакуумних печах, обладнаних системою генерації плазми тліючого розряду. Дана система є досить дорогою, у зв'язку із чим, технології іонної цементації й нітроцементації в цей час у великому ступені витиснуті вакуумними.

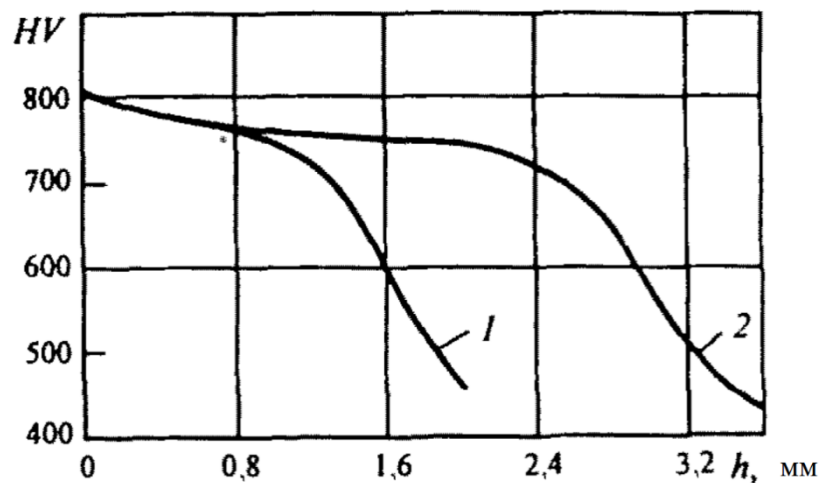
Іонно-вакуумні процеси цементації й нітроцементації характеризуються високим показником витрати вуглецю (75 %), швидкість росту шару збільшується в 4-5 раз, тривалість процесу скорочується до 2-4 годин.

Крім вартості іонно-вакуумного встаткування, недоліком іонних процесів цементації й нітроцементації є складність керування ними, оскільки швидкість масопереноса елементів, що насичують, залежить від площі поверхні.

Труднощі керування процесом не виникають при проведенні іонного азотування, істотними недоліками якого є тільки порівняно більша тривалість насичення (як правило, десятки годин), не завжди достатня контактна витривалість дифузійних шарів [24] та інші відомі обмеження, властиві даному виду ХТО. Тому в цей час воно є найпоширенішим процесом іонно-вакуумної обробки.

Однак іонно-вакуумні технології цементації й нітроцементації дотепер мають ряд специфічних переваг не тільки перед газовими процесами, але й перед вакуумними [27]. Так, за рахунок гнучкого й точного регулювання науглецювальною і азотовною здатністю атмосфери в режимі реального часу іонні процеси цементації й нітроцементації відкривають особливі можливості по формуванню протяжних дифузійних шарів (ефективною товщиною до 2,5-3,0 мм) з майданчиком рівної високої концентрації

елементів, що насичують (близько 1,0 % мас. при сумарній концентрації їх на поверхні, рівної 1,25 %) довжиною до 0,6 мм (на сталі 20ХНЗМА) граничні значення, що забезпечують контактну витривалість [3]. Крім того відзначається найбільша можлива швидкість формування дифузійних шарів: так на сталі 20ХНЗМА ефективна товщина нітроцементованого шару, рівна 1,9 мм, була досягнута за результатами циклічних режимів іонної нітроцементатації при температурі 980 °С за 4 години, а рівна 3,2 мм – за 6 годин (рис. 3.7) [3]. При цьому, висока твердість дифузійного шару (понад 750 *HV*) забезпечена в першому випадку на глибину більш 0,8 мм, а в другому – на 2,0 мм (твердість на поверхні склала порядку 820 *HV*). При цьому, на відміну від газових процесів, при яких можливий утвір дефекту "темної складової", обумовлене наявністю в робітничому середовищі кисню, що приводить до внутрішнього окиснення легуючих елементів з утворенням складних оксидів типу шпінелі, при іонній нітроцементатації вміст азоту не обмежено 0,4 %, а довжина шарів – 1,0 мм.



1 – 4 години, 2 – 6 годин

Рисунок 3.7 – Криві твердості дифузійних шарів, отриманих у результаті циклічних режимів іонної нітроцементатації сталі 20ХНЗМА при температурі 980 °С; тривалості стадій активного насичення 10 хв; дифузійного вирівнювання – 30 хв; загальної тривалості процесу [3]

Процес іонної цементації, мало розповсюджений у цей час, суттєво потупається з погляду можливостей керування вакуумної цементації, названий у зв'язку із чим "емпіричним", виграс за рахунок простоти екранування частин деталей, що не підлягають науглецюванню. Як зазначено вище, іонне азотування є в цей час істотно більш розповсюдженим процесом ХТО, ніж іонно- вакуумна цементація (нітроцементация).

Застосування іонного азотування забезпечує істотне прискорення формування дифузійного шару в порівнянні з газовим азотуванням (так, шар довжиною 0,55 мм на сталі 38Х2МЮА формується при іонному азотуванні за 14 годин, а при газовому – за 30- 35 годин). Збільшення швидкості насичення обумовлене створенням високого градієнта концентрації азоту в приповерхній зоні.

Керуючими факторами іонного азотування є температура й азотний потенціал, який визначається часткою азотовмісних газів у технологічній атмосфері. З ростом температури процесу суттєво збільшується глибина шару (рис. 3.8).

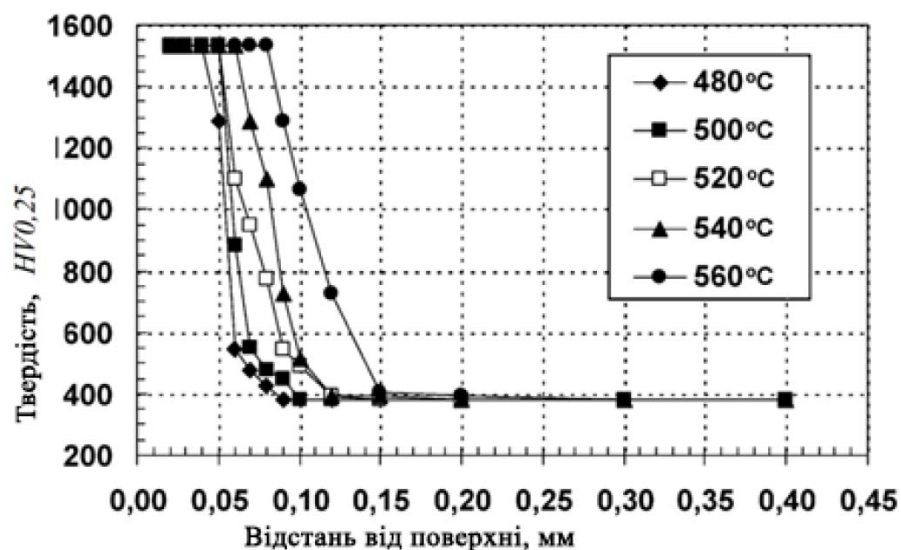


Рисунок 3.8 – Характерні криві твердості азотованих шарів отримані на коррозійно-стійкій сталі AISI 420 при проведенні іонно-плазмового

азотування протягом 4 годин у робочій атмосфері, що містить 75 % N_2 і 25 % H_2 , при різних температурах процесу

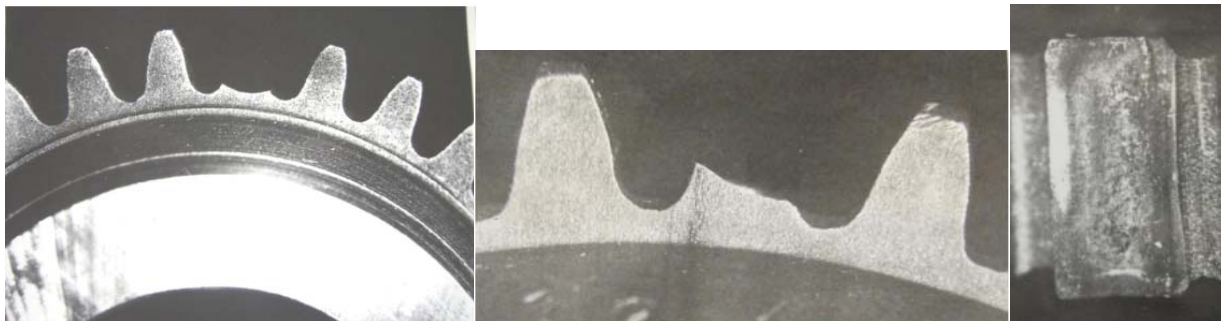
Азотний потенціал визначає, зокрема, фазовий склад поверхні азотованого шару. Більш низька температура іонного азотування обумовлює відсутність необхідності проведення трудомісткої операції зубошлифування, замість якого застосовується зубохонінгування зі зняттям мінімального припуску в межах 0,01-0,05 мм [1]. Іонне азотування забезпечує збереження низької шорсткості оброблюваної поверхні за рахунок згладжування мікронерівностей у результаті іонного бомбардування й катодного розпилення. Як і при іонно-вакуумній цементації не представляє утруднень захист необроблюваних поверхонь металу, а також насичення деталей складної форми з малорозмірними глибокими й (або) глухими отворами. У порівнянні з газовими процесами азотування питома витрата електроенергії зменшується в 1,5-2, 0 рази, технологічних газів – на 1,5 порядку. Забезпечується екологічна безпека й висока культура виробництва.

До недоліків насичення азотом у порівнянні з науглецюванням слід віднести схильність до окрихчування азотованих шарів, а також, як зазначено вище, недостатню контактну витривалість. Дані недоліки частково усуваються за рахунок попередження утвору на поверхні тендітної ϵ -фази й на границях зерен виділень γ' -фази шляхом здрібнювання зерна феррита й уведення в сталь нікелю [24]. Недоліками іонного азотування, як і інших іонно-вакуумних процесів, також є крайові й кутові ефекти, нерівномірність температури нагрівання завантаження, у тому числі внаслідок дегазації локальних областей поверхні, підвищена іонізація областей у глухих отворах. Збільшення електричної напруги при азотуванні приводить до зменшення глибини дифузійного шару незважаючи на те, що ріст напруги взагалі збільшує швидкість іонів, що надходять на поверхню. Це пояснюється одночасним прискоренням розпилення, яке ефективно перешкоджає дифузії атомів азоту в метал.

3.2.3 Вплив запропонованих варіантів хіміко-термічної обробки на властивості виробів

Витривалість при згині дифузійних шарів зубчастих коліс із легованих сталей

Циклічна міцність при вигині є однею з найважливіших експлуатаційних властивостей зубчастих коліс авіаційних агрегатів. Втомне руйнування зуба при вигині (рис. 3.9) є найнебезпечнішим видом ушкодження зубчастої передачі, що приводить до її зупинки, і, відповідно, у залежності, від її призначення, до припинення подачі палива, відключенню гідроприводів або електрогенераторів і т.д., тобто, стосовно до повітряного судна – до виникнення загрози для його живучості в цілому. Як відомо, втомне руйнування відбувається в кілька етапів: зародження втомної тріщини, формування магістральної тріщини, її поширення до критичного розміру й руйнування. У якості узагальненого критерію втомної витривалості для сталі, як правило, застосовується межа утоми, σ_{-1} , тобто напруга, при якій не відбувається руйнування після 10^7 циклів навантаження.



а

б

в

а - вид у торцевій площині; б - те ж, збільшене; в - вид у площині зачеплення

Рисунок 3.9 – Втомний злам зуба цементованої шестірні

У випадку застосування до теплостійкої сталі 16ХЗНВФМБ-Ш вакуумної цементації з метою підвищення циклічної міцності можуть бути досягнуті значення σ_{-1} , рівні 890 МПа (при ефективній товщині шару 1,3 мм, тобто глибині від поверхні, що відповідає насиченості вуглецем, рівної 0,4 %) і 970 МПа (при ефективній товщині шару 0,7 мм) при базі випробувань 10^7 . Необхідною умовою настільки високих значень циклічної міцності є оптимальний вміст вуглецю на поверхні дифузійного шару (0,97 % по масі). Як при підвищенні, так і при зниженні вмісту вуглецю на поверхні сталі спостерігається зниження рівня довговічності (рис. 3.10). Крім того, довговічність зменшується зі збільшенням ефективної товщини шару (рис. 3.11).

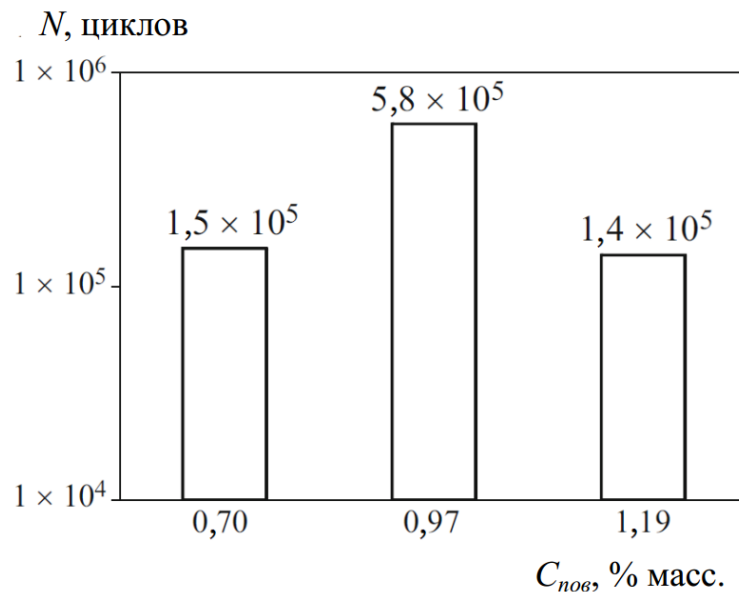


Рисунок 3.810 – Залежність довговічності N від концентрації вуглецю на поверхні $C_{\text{пов}}$ у сталі 16ХЗНВФМБ-Ш після вакуумної цементації при ефективній товщині шару, рівній 1,0 мм [22]

Слід зазначити, що витривалість зубчастих коліс, підданих вакуумної цементації, суттєво вище, чим при газовій цементації, оскільки при останній допускається зневуглицювання поверхні металу.

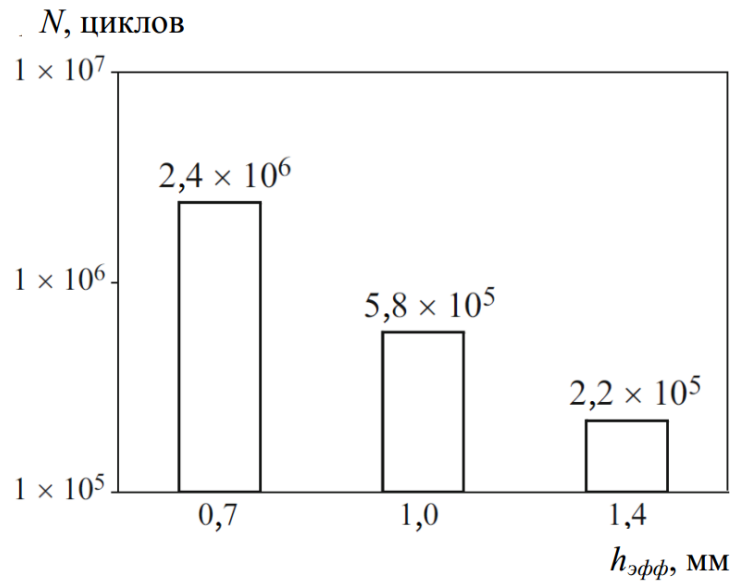


Рисунок 3.11 – Залежність довговічності N від ефективної товщини шару $h_{эфф}$ сталі 16X3HBFMB-III після вакуумної цементації при концентрації вуглецю близько 1,0 % [22]

Контактна витривалість дифузійних шарів зубчастих коліс із легованих сталей

Наслідком контактного втомного руйнування є глибокі ушкодження поверхні зубчастих коліс (питтинг), що виключають їхню нормальну роботу (рис. 1.1). Одним з визначальних несучу здатність високонавантажених зубчастих коліс властивостей є контактна витривалість. Особливу небезпеку контактні навантаження представляють для високонавантажених і високошвидкісних авіаційних зубчастих передач [23]. Опір контактної утоми може служити визначальною експлуатаційною властивістю при виборі способу поверхневого зміцнення: цементації (нітроцементації) або азотування [24].

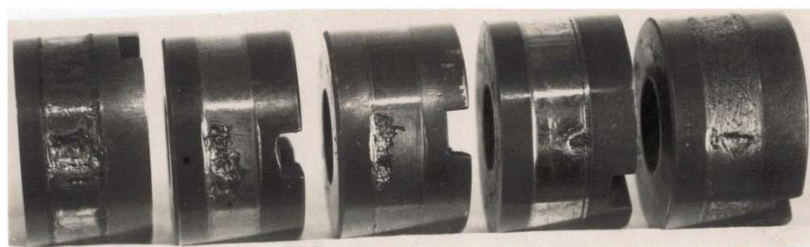
У якості оптимального матеріалу з погляду максимальної контактної витривалості при азотуванні рекомендується низьковуглецева комплексно-легована сталь 16X2H3MФБАЮ-III (ВКС-7), що спочатку розроблялася в якості цементовної. Умовою підвищеної контактної витривалості азотованого шару є проведення попередньої термічної обробки, спрямованої

на здрібнювання розміру зерна з 3-5 мкм до 40-60 нм, що приводить до збільшення контактної довговічності з 9,4 до 32,7 млн. циклів при постійному навантаженні]

Оцінка контактної витривалості теплостійких сталей 12Х2НВФА, 16Х3НВФМБ-Ш від ефективної товщини цементованбх і нітроцементованих шарів (в інтервалі від 1,1 до 1,8 мм), концентрації елементів, що насичують, на поверхні (від 0,8 до 2,0 %), градієнта концентрації елементів, що насичують, у приповерхній зоні (від 5 до 25 %) проводилася на роликкових зразках, які зазнали цементації й високотемпературної нітроцементації, параметри дифузійних шарів яких змінювалися у вищевказаних межах (рис. 3.12).



а



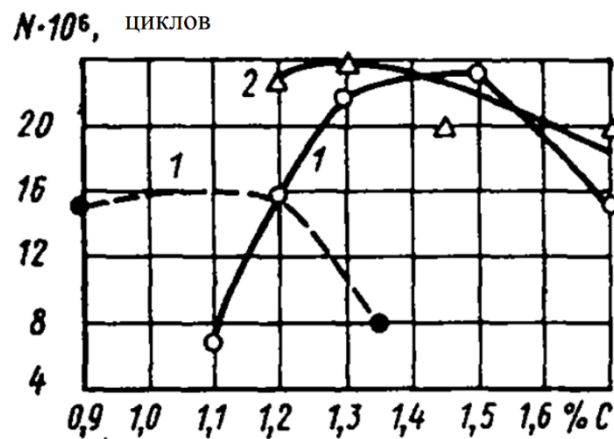
б

а - до випробувань; б - після випробувань, зі слідами питтинга

Рисунок 3.12 – Стандартні зразки для випробувань на контактну витривалість (діаметр 30,2 мм)

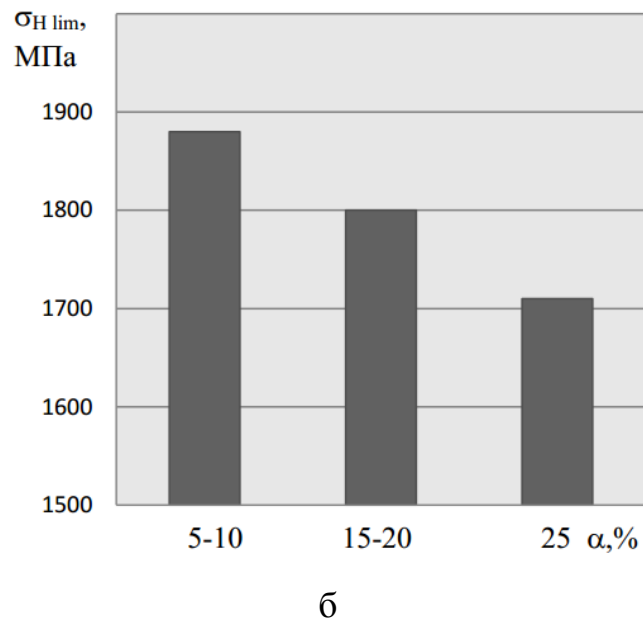
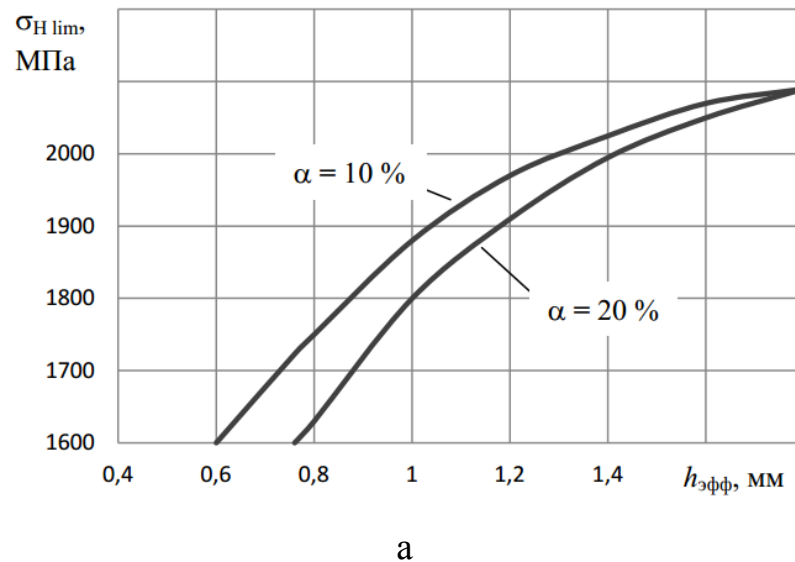
Залежність контактної витривалості від концентрації вуглецю на поверхні не однозначна. Для теплостійких сталей має місце максимум

значень контактної витривалості (рис. 3.13). Цей максимум для цих сталей приблизно збігається з початком активного зародження великих часток карбідів цементитного типу. Подальше збільшення обсягу карбідної фази, що відбувається майже винятково за рахунок збільшення розміру карбідних часток, приводить до зниження контактної витривалості. Контактна витривалість збільшується зі збільшенням довжини дифузійного шару й зі зменшенням градієнта концентрації елементів, що насичують (рис. 3.14), тобто у випадку одержання концентраційної кривої, що характеризується досить протяжним майданчиком у приповерхній області.



1 – цементация, відпуск при 600 °С, гартування з 900 °С, обробка холодом при -70 °С (2 години), відпуск при 300 °С (3 години); 2 – цементация, гартування з температури цементации, обробка холодом при -70 °С (2 години), відпуск при 300 °С (3 години)

Рисунок 3.13 – Вплив концентрації вуглецю на поверхні на контактну довговічність (при максимальній контактній напрузі, рівній 2300 МПа) сталі 12Х2Н4А (пунктирна крива) і 20Х3МВФА (суцільна крива) [25]



а - від ефективної товщини шару h_{eff} при різних значеннях градієнта α (цифри в кривих); б - від градієнта при $h_{\text{eff}} = 0.9-1.1$ мм

Рисунок 3.14 – Залежність границі контактної витривалості $\sigma_{H \text{ lim}}$ сталі 16ХЗНВФМБ-Ш

Такі вимоги диктуються необхідністю утруднити розвиток процесів контактної втоми. Основу їх механізму становлять процеси нагромадження макропластичної деформації, що стимулюють розвиток пізніх стадій динамічного старіння мартенситу (відпустка під навантаженням).

Витягнуті в рядки й близько розташовані друг від друга карбіди утрудняють релаксацію мікронапруг і, діючи як джерела і як бар'єри для дислокацій, створюють концентрацію мікродеформацій, достатню для утвору уздовж своїх границь тендітних мікротріщин [22].

Таким чином, основними умовами, що утрудняють розвиток процесів контактної втоми, є:

- 1) підвищення структурної однорідності цементованого шару без ослаблених ділянок;
- 2) збільшення концентрації карбідоутворюючих легуючих елементів у твердому розчині з метою утруднення перерозподілу атомів вуглецю (азоту) і утвору карбідних (карбонітридних) рядків.

Відповідно до цих умов підвищенню контактної витривалості сприяє:

- забезпечення на контактній поверхні раціональної концентрації вуглецю (азоту), якою відповідає оптимальна для кожної сталі (залежить від змісту карбідоутворюючих елементів) об'ємна частка надлишкової карбонітридної фази на поверхні (якої відповідає конкретне значення концентрації вуглецю: для сталі 12Х2НВФА – 1,5 %, ВКС-5 – 1,3 %);
- наявність протяжного майданчика рівної твердості (насиченості вуглецем або вуглецем і азотом) поблизу поверхні;
- рівномірний розподіл у дифузійному шарі часток карбонітридної фази глобулярної форми.

Зносостійкість дифузійних шарів зубчастих коліс. Поряд із контактною витривалістю тривала працездатність зубчастих коліс також лімітується їхньою зносостійкістю. Зносостійкість азотованих шарів, як правило, перевершує опір зношуванню цементованих сталей, що пояснюється здатністю азотованого шару до деформаційного зміцнення в процесі експлуатації.

Наприклад, зносостійкість дифузійного шару сталі ВКС-7, зміцненого іонним азотуванням становить $2,8 \times 10^{-10}$ при твердості 963 *HV*, а вакуумною цементациєю – $2,1 \times 10^{-10}$ при твердості 795 *HV*. На сталі, що дисперсионно-

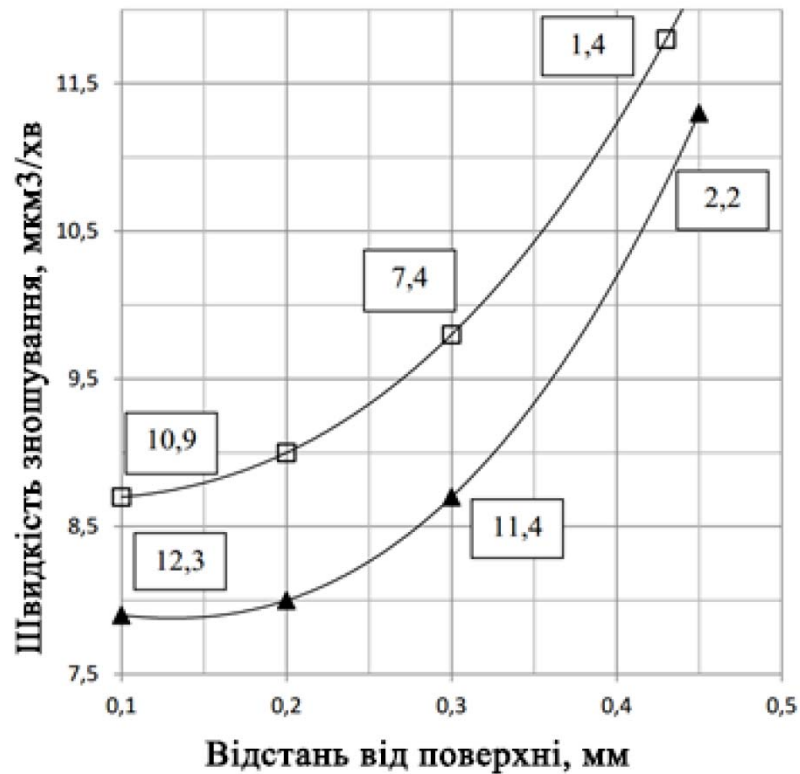
твердеющей, ВКС-10 различие уровня износостойкости проявляется еще сильнее: при ионном азотировании оно составляет $3,7 \times 10^{-10}$ при твердости 1089 HV, а при вакуумной цементации – только $1,1 \times 10^{-10}$ при твердости

Шляхом цементації й нітроцементації також можна ефективно підвищити опори сталевих деталей абразивному зношуванню. Формування цементованого шару, зміст карбідів у якому становить 50-70 %, супроводжується підвищенням зносостійкості в 20 раз [26].

Випробування проведені по-шарово через кожні 0,1 мм (шар видаляли шліфуванням), показали, що швидкість зношування залежить від кількості надлишкової карбідної фази й, як наслідок, від сумарної концентрації вуглецю й азоту, а також твердості [27]. З результатів випробувань випливає, що швидкість зношування в умовах мікрорізання мінімальна в приповерхній області, найбільш насиченої вуглецем і утримуючої максимальну частку надлишкової фази, і збільшується на глибині шару, де кількість карбідів (карбонітридів) мінімально (рис. 3.15). Швидкість зношування помітно зменшується з підвищенням змісту надлишкової фази. При этом, износостойкость существенно увеличивается с проведением процесса с большим углеродным потенциалом, который зависит от концентрации углеродсодержащих газов.

Після іонно-вакуумної цементації й, особливо, нітроцементації стали 16ХЗНВФМБ (ВКС-5) на підвищену абразивну зносостійкість товщина активної карбідної (карбонітридної) зони, у якій об'ємна частка карбідів становить 10-30 %, може досягати 0,4-0,5 мм [16]. При цьому, за даними стендових випробувань нітроцементованих зразків зі сталі ВКС-5 зносостійкість зростає в 3-5 раз [27].

З погляду забезпечення зносостійкості нітроцементация займає проміжне місце між азотуванням і цементацією. Так, проведення замість вакуумної цементації вакуумної нітроцементації стали 16Х2НЗ МФБАЮ-Ш (ВКС-7) забезпечує зниження інтенсивності зношування в 2, 8 рази [28].



(□) – $q_c = 1,5\%$; (▲) – $q_c = 2,0\%$ (цифри в знаків – об'ємна концентрація карбонітридної фази)

Рисунок 3.15 – Зміна швидкості зношування по товщині дифузійного шару після іонної нітроцементатації по двом режимам при різних концентраціях ацетилену [27]

Для цементованих (нітроцементованих) дифузійних шарів перераховані вище основні експлуатаційні властивості комплекснолегированих теплостійких сталей є залежним від характеристик дифузійного шару, яка відображено в таблиці 3.11.

Таблиця 3.11 – Вплив характеристик цементованих (нітроцементованих) шарів на експлуатаційні властивості теплостійких сталей

Характеристика дифузійного шару	Витривалість на згин	Контактна витривалість	Абразивна зносостійкість	Адгезійна зносостійкість
$C_{\text{пов}}$	Має максимум	Має максимум	Зростає зі збільшенням	Зростає зі збільшенням
$h_{\text{ефф}}$	Знижується зі збільшенням	Зростає зі збільшенням	Не впливає	Не впливає

3.2.4 Порівняння способів ХТО високонавантажених зубчастих коліс

Як показав аналіз методів хіміко-термічної обробки зубчастих коліс, центральне місце завдяки своїй універсальності належить цементациї, що володіє більшими технологічними можливостями по формуванню дифузійних шарів різними комбінаціями, що характеризуються, параметрів, що визначають різні комбінації експлуатаційних властивостей. При цьому для цементациї є характерною широка номенклатура оброблюваних сталей: від низьколегованих до коррозійностійких й комплекснолегованих теплостійких.

Для ряду завдань краще застосування азотування, яке, внаслідок необхідності застосовувати лише певну номенклатуру матеріалів, а також відомої обмеженості можливостей по формуванню протяжних дифузійних шарів, у цілому, уступає по своїй значимості для виробництва високонавантажених зубчастих коліс цементациї. Слід зазначити наявність ряду інших способів ХТО, застосованих для зміцнення зубчастих коліс, здебільшого цементациї, що є комбінацією, і азотування. У цей час

оптимальним способом цементації таких відповідальних деталей машин, як високонавантажені зубчасті колеса для аерокосмічної й високотехнологічної автомобільної галузей промисловості, слід визнати цементацію в атмосферах низького тиску. Застосування іонно-вакуумних процесів цементації носить обмежений характер. Якість обробки при газовій цементації не відповідає вимогам сучасного інноваційного виробництва.

На думку [6] несуча здатність і надійність зубчастих коліс визначається видом і режимами ХТО й остаточної механічної обробки й у меншій мері хімічним складом сталі. Дана думка, з позицій комплексу сучасних знань, представляється досить однобічним. По-перше, застосування азотування можливо тільки відносно сталей з певним хімічним складом. По-друге, цементацію й нітроцементування з високим вуглецевим потенціалом (суперцементування й супернітроцементування) доцільно застосовувати тільки до сталей з достатньою кількістю сильних карбідоутворюючих елементів, насамперед хрому. Також суттєво більші можливості відкриває ХТО спеціальних сталей, що володіють властивостями дисперсійного твердіння, підвищеної корозійної стійкості і т.д. Нарешті, необхідно звернути особливу увагу на якість хіміко-термічної обробки, яке, в основному визначається способом ХТО. Як показано вище, застосування сучасних способів науглецювання й азотування, вакуумних і іонно-вакуумних, істотно зменшує кількість дефектів приповерхнього шару, що суттєво знижують несучу здатність зміцнених зубчастих коліс.

Співставлення способів цементації теплостійкої сталі (табл. 3.12) показало очевидні переваги вакуумної й іонної цементації з погляду ефективності перед традиційними процесами. З розглянутих процесів тільки газовий з контрольованим вуглецевим потенціалом допускає керування за науглецювальною здатністю атмосфери (І типу). Усі інші контролюються тільки по витраті вуглецевмісних газів (ІІ типу), що теоретично є їхнім недоліком, що утрудняють одержання необхідних параметрів шарів і, як

наслідок, значень експлуатаційних властивостей. Однак на практиці дана закономірність не виконується.

Таблиця 3.12 – Параметри дифузійних шарів на 10 зразках зі сталі ВКС-5 після цементації різними методами [29]

Спосіб цементації	Основні технологічні фактори		$h_{\text{ефф}}$ мм	$C_{\text{пов, \%}}$ масс.	Кількість зразків, що задовільняють вимогам
	$t, ^\circ\text{C}$	$\tau, \text{хв}$			
Газовий з контрольованим вуглецевим потенціалом	940	210	0,60-0,90	0,6-1,2	3
Газовий в шахтних печах	940	180	0,70-0,90	1,2-1,6	7
Іонний	940	120	0,70-0,95	1,2-1,4	10
Вакуумний	940	150	0,70-0,90	1,2-1,4	10

За обговореними вище причинами іонна цементація, яка має ряд переваг і недоліків у порівнянні з вакуумною цементацією (табл. 3.13), у цей час застосовується обмежено.

Таблиця 3.13 – Порівняльні переваги й недоліки вакуумних і іонно-вакуумних процесів цементації [29]

Переваги	Недоліки
Вакуумна цементація	
- висока швидкість доступу вуглецю з газового середовища; - високий вуглецевий потенціал; - саморегулювання доступу вуглецю; - простота керування процесом; - висока відтворюваність результатів; - простота підготовки до процесу; - менша вартість устаткування	- обмежена технологічна гнучкість процесу; - важкість захисту необроблюваних частин деталі (більшість захисних матеріалів випаровується у вакуумі); - однакова довжина дифузійного шару на всій висоті зуба
Іонна цементація	
- висока технологічна гнучкість; - більша швидкість росту шару; - можливість контролю товщини шару по висоті зуба	- неможливість контролю вуглецевого потенціалу; - залежність результатів насичення від поверхні деталі; - необхідність контролю великої кількості технологічних факторів; - комплексна підготовка до проведення процесу

4 ЕКОНОМІЧНА ЧАСТИНА

4.1 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 1м^3 за нормами проектування промислових об'єктів. Вартість 1м^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.

$$V = 1,1 \cdot 36 \cdot 60 \cdot 8 = 19008 \text{ м}^3.$$

$$K_{\text{б}} = 19008 \cdot 2000 = 38016000 \text{ грн.}$$

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 прейскуранту 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 прейскуранту оптових цін з додаванням 10% заготівельних і 10%

монтажних витрат від оптової ціни.

Розрахунки балансової вартості машин та іншого обладнання зводяться в таблицю 4.1.

Таблиця 4.1 – Балансова вартість виробничого обладнання

Обладнання	Кількість обладнання		Коефіцієнт використання	Балансова вартість		Потужність двигунів, кВт	
	Розрах.	прийн.		один.	усього	один.	усього
1	2	3	4	5	6	7	8
СНЦА 8.16.5/10	2,9	3	0,97	2050000	6150000	160	480
СНЗА8.16.5/8	2,5	3	0,83	530000	1590000	160	480
СНЗА5.10.3,2/10	1,71	2	0,85	2167500	4335000	140	280
Холодильна камера 5х10х3,2	0,88	1	0,88	190000	190000	60	60
СНОА5.10.3,2/5	3,69	4	0,92	880000	3520000	140	560
ММТ-700				15000	15000		
Всього					14375000		
ТЗВ 10%					1437500		
Монтаж 10%					1437500		
Разом:					17250000		
2. Енергетичне обладнання							
ЭН-16МО2		5		190000	950000	12,0	60
ЭК-9-ОМЗ		3		250000	75000	36,0	108
3. Підйомно-транспортне обладнання		2		64625	129250		
4. Контрольно-вимірювальне обладнання					5980		
Усього					18410230		

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

$$17250000 \cdot 0,03 = 517500 \text{ грн.}$$

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

$$17250000 \cdot 0,02 = 345000 \text{ грн.}$$

Склад основних фондів наведено в таблиці 4.2.

Таблиця 4.2 – Склад і структура основних фондів

Назва груп основних фондів	Початкова балансова вартість тис. грн.	Відсоток до підсумку	Строк експлуатації, р.	Сума річної амортизації, тис. грн.
1	2	3	4	5
1 . Будівля	38016	66,35	50	760,32
2. Обладнання	18410,23	32,13	15	1227,34
3. Інструмент	517,5	0,90	5	103,5
4. Виробничий і господарський інв.	345	0,60	1	345
Усього	57288,73	100		2436,16

4.2 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 4.3.

Таблиця 4.3 – 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. Екзогаз	5	1875	1200	2250
2. Ендогаз	90	4500	2900	13050
3. Вода	9	3825	4750 (за 1000 м ³)	18168,75
4. Олія	100	37500	8000	300000
5. Сода	7	2625	1200	45000
Разом				378468,75
ТЗВ 10%				37846,875
Усього				416315,625
2. На утримання обладнання				
2.1 Цегла вогнетривка	5	2125	720	1530

Продовження табл. 4.3

1	2	3	4	5
2.2 Цегла ізоляційна	3	1275	690	879,75
2.3 Глина і пісок	0,5	212,5	510	108,375
2.4 Прокат жароміцний	5	2125	12500	26562,5
2.5 Литво жароміцне	6	2550	13500	34425
Сумма				63505,63
ТЗВ 10%				6350,56
Усього П.2				69856,19
Разом				486171,81

4.3 Праця і заробітна плата

4.3.1 Розрахунок чисельності працюючих

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 4.4.

Таблиця 4.4 - Явочна чисельність робітників

Операція	Обладнання	Кількість обладнання	Норма обслуговування (одиниць устаткування на 1 робітника в зміну)	Кількість робітників в 1 зміну	Кількість змін роботи обладнання
Цементация	СНЦА 8.16.5/10	3	1	3	2
Високий відпуск	СНЗА 8.16.5/8	3	1	3	2
Гартування	СНЗА-5.10.3,2/10	2	1	2	2
Обробка холодом	Холодильна камера 5х10х3,2	1	1	1	2
Низький відпуск	СНОА 5.10.3,2/5	4	1	4	2
Промивання	ММТ-700	1	1	1	2

$$R_{\text{я}} = 3 \cdot 1 \cdot 2 + 3 \cdot 1 \cdot 2 + 2 \cdot 1 \cdot 2 + 1 \cdot 1 \cdot 2 + 4 \cdot 1 \cdot 2 + 1 \cdot 1 \cdot 2 = 28 (\text{чол.})$$

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

$$R_{\text{сп.}} = R_{\text{я}} / K_{\text{сп.}},$$

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

$K_{\text{сп.}}$ – 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.

$$K_{\text{сп.}} = 38/0,9 = 42,2 \approx 43 (\text{чол.})$$

Чисельність допоміжних робочих, інженерно-технічних працівників (ІТП), спеціалістів визначається за нормами обслуговування термічного відділення. Зведену чисельність працівників наведено в таблиці 4.5.

Таблиця 4.5 – Зведена чисельність працюючих за категоріями

Категорія персоналу	Чисельність працюючих, чол.	% до спискової чисельності основних виробничих робітників	% від усієї чисельності
1. Робітники, усього:	49		89,39
виробничі	33	100	
допоміжні	16	35	
2. ІТП	5	11	7,57
3. Спеціалісти	2	4	3,03
Усього	56		100

4.3.2 Розрахунок фонду заробітної плати

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_i – чисельність робітників, чол.

Розрахунок тарифного фонду заробітної плати робітників зведений у табл. 4.6.

Фонд додаткової заробітної плати робітників включає премії і доплати. Сума премій визначається укрупнено, для виробничих робітників у розмірі 40 %, допоміжних 30% тарифного фонду.

Таблиця 4.6 – Розрахунок тарифного фонду заробітної плати робітників

Категорія робітників, професія	Розряд роб-ка	Чисель- ність роб-ків, чол.	Дійсний річний фонд часу, год.	Годинна тарифна ставка, год.	Тарифний фонд заробітної плати, грн.
1. Виробничі роботи					
1.1 Терміст на печях	5	30	43605.7	50	2180285.00
1.2 Мийник	3	3	16396.4	35	146322.00
Усього		33			2326607.00

Фонд додаткової заробітної плати робітників включає премії і доплати. Сума премій визначається укрупнено, для виробничих робітників у розмірі 40 %:

$$ЗД = ЗО \cdot \frac{K_d}{100} = 2326607 \cdot 0,4 = 930642,8 \text{ грн.}$$

де K_d – процент додаткової заробітної плати.

4.4 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

$C_e = 2,75$ грн/(кВт·год.).

$$C_{te} = 400 \cdot 375 \cdot 2,75 = 412,5 \text{ тис. грн}$$

Стаття 3. Основна заробітна плата робітників складає 2326,6 тис. грн.

Стаття 4. Додаткова заробітна плата виробничих робітників складає 930,6 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:

$$BC = (3O + 3Д) \cdot \frac{K_{вс}}{100} = (2326607.00 + 930642,8) \cdot 0,22 = 716594,96 \text{ грн.}$$

$K_{вс}$ – % відрахування на соціальні заходи.

Розрахунок витрат на утримання і експлуатацію устаткування

Ця стаття (стаття 6) є комплексною і визначається по окремому кошторису (табл. 4.7):

$$ВУЕО = 500\% \cdot 3O = 5 \cdot 2326607 = 11633035 \text{ грн.}$$

Таблиця 5.7 – 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 11633035 грн

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

$$ЗВВ = ЗО \cdot \frac{\alpha}{100} = 2326607 \cdot 4 = 9306428 \text{ грн.}$$

де α – % загальновиробничих витрат.

Таблиця 4.8 – Кошторис загальновиробничих 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 9306428 грн.

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:

$$AB = ЗО \cdot \frac{\beta}{100} = 2326607 \cdot 4 = 9306428 \text{ грн.}$$

де β –% адміністративних витрат, 400%.

Калькуляція собівартості продукції складається за формою табл. 4.9.

Таблиця 4.9 – Собівартість обробки в термічному відділенні

Найменування калькуляційних статей витрат	По проекту			
	На 1 т, грн.	%	Усього, тис. грн.	%
1	2	3	4	5
1. Допоміжні матеріали на технологічні цілі	1.30	1.38	486.1	1.38
2. Технологічна енергія	1.10	1.17	412.5	1.17
3. Основна заробітна плата виробничих робітників	6.20	6.63	2326.6	6.63
4. Додаткова заробітна плата виробничих робітників	2.48	2.65	930.6	2.65
5. Відрахування на соціальне страхування виробничих робітників	1.91	2.04	716.6	2.04
6. Витрати на утримання і експлуатацію устаткування	31.02	33.13	11633	33.13
7. Загально- виробничі витрати	24.82	26.50	9306.4	26.50
8. Адміністративні витрати	24.82	26.50	9306.4	26.50
Σ Собівартість обробки	93.65	100	35118.2	100

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:

$$BЗ = C_{\text{в}} \cdot \frac{\gamma}{100} = 35118200 \cdot \frac{2}{100} = 702364 \text{ грн.}$$

де $C_{\text{в}}$ – собівартість виробнича, грн.;

γ – % витрат на збут.

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

$$E = (C_{\text{б}} \cdot K) - C_{\text{н}} = (93650 \cdot 1,4) - 93050 = 38060 \text{ грн/т};$$

де $C_{\text{б}}$ – собівартість базового виробу, грн./т;

$C_{\text{н}}$ – собівартість нового виробу, грн./т;

K – коефіцієнт експлуатаційного ресурсу (коефіцієнт приведення).

Таким чином, заходами по зменшенню собівартості термічної обробки є:

1) 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.

2) 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.

3) 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.

4) 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.

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

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

5 ОХОРОНА ПРАЦІ

В даному розділі розглянуті основні заходи з охорони праці на дільниці хіміко-термічної обробки. Планування та здійснення заходів з охорони праці виконують на основі аналізу потенційних небезпек, що впливають на працюючого при виконанні основних операцій технологічного процесу.

5.1 Аналіз потенційних небезпек

Виробничі процеси термічної та хіміко-термічної обробки металів та сплавів характеризуються наявністю небезпечних та шкідливих факторів трудового процесу, які можуть бути причинами нещасних випадків або професійних захворювань, найбільшим рівнем енергозабезпечення, негативним впливом хімічних речовин, які використовуються у технологічних процесах, як правило незадовільними санітарно-гігієнічними умовами на виробничих ділянках, підвищеним ризиком виникнення пожеж.

1) Можливість ураження електричним струмом. Головними причинами ураження можуть бути невиконання правил електробезпеки, несправність енергоспоживаючого обладнання, наприклад, поява напруги на не струмоведучих частинах обладнання, відсутність захисного заземлення або занулення, що може призвести до електричних травм або летального наслідку.

2) Втрата герметичності трубопроводів, що подають робочі гази до робочого місця. Причинами якої є використання невідповідних шлангів, неправильне їх з'єднання, механічне ушкодження трубопроводів, що може призвести до витоку горючих робочих газів, як наслідок загорянь, отруєння цими газами.

3) Можливість вибухів газоповітряної суміші при виконанні операції цементація.

Основними небезпеками є:

- подача робочих газів (ендогазу) у реторту з залишками повітря;
- подача робочих газів у реторту при температурі менше 760°C.
- примусове зняття полум'яної завіси на термічних печах.
- припинення подачі насичуючого газу без примусової подачі захисного газу.

4) Негативний вплив теплового випромінювання при виконанні технологічних процесів. Наприклад, теплове випромінювання від зовнішніх поверхонь термічного обладнання, при завантаженні або розвантаженні термічних печей через відкриті дверцята, теплове випромінювання від деталей, які охолоджуються на спеціальних майданчиках.

5) Незадовільна професійна підготовка фахівців, причинами якої може бути відсутність навчання за фахом, перевірки знань, що може призвести до випадків травматизму або професійних захворювань.

6) Незадовільна організація робочого місця може бути пов'язана з недостатнім врахуванням вимог ергономіки, захаращеністю робочої зони та нерациональним розташуванням технологічного обладнання.

7) Незадовільні параметри повітряного середовища в робочій зоні, причинами яких є незадовільна робота систем опалення та повітрообміну, що може призвести до зниження комфортності праці та загальних захворювань.

8) Незадовільне освітлення робочої зони, що може бути пов'язано з виходом з ладу освітлювальних приладів або надмірної їх забрудненості. Це може призвести до погіршення зору, погіршення здатності розрізняти об'єкти, а внаслідок і до травмування.

9) Можливість загорянь, причинами яких є порушення правил пожежної безпеки, виток горючих робочих газів, коротке замикання, що може призвести до пожежі.

10) Неправильні дії персоналу в умовах надзвичайних ситуацій різного характеру, причинами яких є невідповідність персоналу до дій в умовах НС, низька ефективність управління в цих умовах, що може призвести до тяжких травм або летального наслідку.

5.2 Заходи по забезпеченню техніки безпеки

Заходи розробляються на основі аналізу потенційних небезпек. Обираються найбільш ефективні заходи, що спрямовані на виключення або мінімізацію негативного впливу визначених потенційно небезпечних та шкідливих факторів виробничого процесу фізичного, хімічного, психофізіологічного характеру.

1) Для попередження ураження електричним струмом необхідно здійснювати наступні заходи захисту:

- Організаційні заходи:

До виконання робіт допускаються особи віком не молодше 18 років, що пройшли навчання та перевірку знань з електробезпеки згідно ДНАОП 1.1.10 – 1.01 - 2000 «Правила безпечної експлуатації електроустановок – споживачів» та отримали допуск з електробезпеки відповідної групи.

Для кожного електроспоживаючого обладнання повинні бути складені експлуатаційні схеми нормальної і аварійної роботи.

- Технічні заходи:

Всі не ізольовані токопровідні елементи електрообладнання повинні бути надійно огорожено суцільними огороженнями, зняття або відкриття можливе тільки за допомогою спеціальних пристроїв.

Розташування струмоведучих частин на недоступній висоті. Висота розташування визначається значенням напруги: при напрузі до 1000В – не менше 3,5м, при напрузі більше 1000В – не менше 6м.

Електричне блокування здійснює розрив ланцюга спеціальними контактами згідно ГОСТ 12.4.155 – 85 «ССБТ. Устройства защитного отключения. Классификация. Общетехнические требования.» Наприклад, завантаження та розвантаження садки з термічної печі виконується тільки при автоматичному відключенні струму блокуючими пристроями.

Захисне заземлення або занулення. Принцип дії захисного заземлення або занулення полягає у зниженні до безпечних значень напруги дотику, яка обумовлена замиканням на корпус. Електрообладнання необхідно заземлювати або занулювати у відповідності з ПУЕ - 2009 «Правила улаштування електроустановок».

При роботах, що пов'язані з можливістю ураження електричним струмом необхідно використовувати індивідуальні засоби захисту в відповідності з НПАОП 40.1-1.21-98 «Правила безопасной эксплуатации электроустановок потребителей», НПАОП 40.1-1.01.97 «Правила безопасной эксплуатации электроустановок».

2) Заходи безпеки щодо герметичності трубопроводів, що подають робочі гази до робочого місця:

- Шланги повинні бути тільки армованими.
- Поєднання шлангів гладкими з'єднувачами не допускається. Поєднання шлангів виконується тільки хомутом.
- Герметизація проривів ізоляцією не допускається – необхідно пошкоджену ділянку вирізати і поєднати з'єднувачем (йорж) або хомут.

Використовувати шланги для подачі газів тільки за призначенням.

3) Заходи з безпеки для виключення можливості вибухів газоповітряної суміші при виконанні операції цементація.

При хіміко-термічній обробці найбільше значення має витиснення повітря з робочого об'єму печі перед подачею насичувальних газів.

Перед початком виконання операцій хіміко-термічної обробки передбачена продувка реторти печі азотом для видалення повітря протягом не менше 1 години. Кількість азоту подається із розрахунку 3-5 кратного

газообміну, при надлишковому тиску в реторті 0,5 атм. В період продувки реторти азотом необхідно виконати випробування герметичності методом омилування усіх місць з'єднання та зварних швів.

Подача робочих газів у реторту можлива тільки при температурі не менше 760°C (поріг безпеки). Для виконання цієї умови технологічне обладнання повинно бути оснащено автоматичними пристроями, які блокують подачу робочих газів при невиконанні цієї умови.

Сучасне термічне обладнання для ХТО оснащується полум'яними завісами, що встановлені перед отвором для завантаження. Значення цієї завіси полягає у недопущенні проникнення повітря у робочий простір печі, де у цей час знаходяться робочі гази. Сполука робочих газів з повітрям при температурах ХТО неминуче приведе до вибуху. З огляду на це примусове зняття полум'яної завіси під час виконання операцій неприпустиме.

В аварійних ситуаціях, що пов'язані з неможливістю подачі робочих газів у реторту під час проведення операцій ХТО слід негайно забезпечити подачу азоту для заміщення вибухонебезпечної газової суміші.

По закінченні терміну витримки деталей при ХТО необхідна продувка реторти печі азотом для видалення робочого газу протягом неменше 1 години. Кількість азоту подається із розрахунку 3-5 кратного газообміну, при надлишковому тиску в реторті 0,5 атм.

4) Захист від теплового випромінювання.

Основними заходами захисту є використання індивідуальних засобів захисту:

- спеціального одягу згідно ГОСТ 12.4.045 – 87 «Костюмы мужские для защиты от повышенных температур. Технические условия»;
- рукавиць згідно ГОСТ 12.4.010 – 75 «ССБТ. Средства индивидуальной защиты. Рукавицы специальные. Технические условия.»;
- групові засоби захисту: повітряні завіси між джерелами теплового випромінювання та зонами, де знаходяться робітники.

У деяких випадках, наприклад, при гартуванні деталей з високолегованих сплавів при температурах більш 1100°C використовують азбестові фартухи та рукавиці.

5) З метою безпечного виконання технологічних операцій ХТО до робіт допускаються особи не молодше 18 років, що пройшли медичний огляд і отримали допуск до робіт. До робіт залучаються особи, що отримали певні знання за спеціальністю, які підтверджуються документом встановленого зразка. До роботи допускаються особи, які пройшли всі інструктажі і стажування, які передбачені КЗоТ і правилами допущення до робіт конкретного підприємства.

Доцільно використовувати стимулювання належного виконання правил охорони праці і невідворотність покарання за їх порушення.

б) Для організації робочих зон при виконанні операцій ХТО передбачено:

Робочі місця термістів повинні відповідати відповідним вимогам ГОСТ 12.2.061-81 «ССБТ. Оборудование производственное. Общие требования безопасности к рабочим местам», ГОСТ 12.2.032-84 «ССБТ. Рабочее место при выполнении работ стоя. Общие эргономические требования».

Структуру ділянок термічної та хіміко-термічної обробки можна уявити в наступному вигляді:

Норми безпечності визначають:

- площа на одного працюючого не менше $4,5 \text{ м}^2$;
- висота робочої зони від підлоги до стелі не менше 3,2 м;
- об'єм, що припадає на одного працюючого, не менше 15 м^3 .

Розташування тепловипромінюючого обладнання повинно виконуватися з урахуванням потоків повітря при використанні природної або штучної загально обмінної вентиляції.

Кольорове рішення технологічного обладнання повинно відповідати вимогам ГОСТ 12.4.026-76 «Цвета сигнальные и знаки безопасности».

5.3 Заходи по забезпеченню виробничої санітарії та гігієни праці

Організація оптимального освітлення робочої зони:

Для забезпечення необхідного рівня виробничого освітлення слід дотримуватися вимог ДБН В.2.5-28-2006 «Природне і штучне освітлення. Норми проектування» з урахуванням характеру зорової роботи. Передбачено формування систем освітлення з використанням дугових ламп ДРЛ та світильників ГСП.

Для нормалізації параметрів повітряного середовища в проекті передбачено: устрій технічних систем, які повинні забезпечувати параметри повітряного середовища у відповідності до норм, які вказані в таблиці 5.1, згідно СНиП 23-01-99 «Будівельна кліматологія».

Таблиця 5.1 – Оптимальні фізичні параметри повітряного середовища цеху

Період року	Температура, °C	Відносна вологість, %	Швидкість руху, м/с
Холодний	18 - 22	40 - 60	0,1 – 0,3
Теплий	20 - 23	40 - 60	0,1 – 0,4

В холодний період року для забезпечення оптимальної температури виробничого приміщення слід використовувати систему водяного опалення та подавати зовнішнє повітря через калорифери.

В теплий період року для зниження температури повітря в робочому просторі необхідно використовувати природну вентиляцію, або загально обмінну приточно-витяжну вентиляцію згідно ГОСТ 12.4.021-75 «СССБТ. Системы вентиляции. Общие требования».

В приміщеннях, де немає викидів шкідливих речовин у великій кількості, для забезпечення необхідного повітрообміну в теплий період року,

передбачено устрій штучної механічної загально обмінної вентиляції відповідно ГОСТ 12.4.021-75 «ССБТ. Системы вентиляционные. Общие требования».

Розрізняють чотири основні схеми організації повітрообміну при загальнообмінній вентиляції: зверху вниз, зверху вверх, знизу вверх, знизу вниз (рис. 5.1).

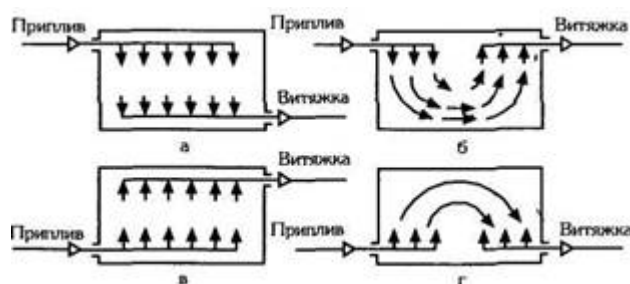


Рисунок 5.1 – Схема організації повітрообміну при загально обмінній вентиляції

Схеми зверху вниз (рис. 5.1, а) та зверху вверх (рис. 5.1, б) доцільно застосовувати у випадку, коли припливне повітря в холодний період року має температуру нижчу температури приміщення. Припливне повітря перш ніж досягти робочої зони нагрівається за рахунок повітря приміщення. Інші дві схеми (рис. 5.1, в та г) рекомендується використовувати тоді, коли припливне повітря в холодний період року підігрівається і його температура вища температури внутрішнього повітря.

Основне завдання розрахунку загальнообмінних систем штучної вентиляції — визначити кількість повітря, що необхідно подати і вилучити з приміщення. При розрахунку вентиляції в цехах, повітрообмін, як правило, визначають розрахунковим шляхом за конкретними даними про кількість шкідливих виділень (теплоти, вологи, парів, газів).

Розрахунок повітрообміну за умови виділення надлишкової теплоти.

$$L_{\text{в}} = \frac{Q \cdot 3600}{C \cdot \rho \cdot (t_{\text{вуд}} - t_{\text{нр}})}, \text{ м}^3/\text{год} \quad (5.1)$$

де Q – надлишок теплоти в виробничому приміщенні, складає 37кВт;

C – масова теплоємність припливного повітря, що дорівнює 1кДж/(кг·°C);

$\rho_{\text{в}}$ – густина припливного повітря, що дорівнює 1,2кг/м³;

$t_{\text{вуд}}$ – температура видаляемого з приміщення повітря, °C;

$t_{\text{нр}}$ – температура припливного (зовнішнього) повітря, °C.

Температура зовнішнього повітря відповідно до СНиП 2.04.05-91*У «Отопление, вентиляция и кондиционирование воздуха. Нормы проектирования» для м. Запоріжжя складає:

- Для зимового періоду року (-8°C);
- Для літнього періоду року (+27°C).

Температуру видаляемого з приміщення повітря знаходять за виразом:

$$t_{\text{вуд}} = t_{\text{норм}} + \Delta t \cdot (H_{\text{ц}} - 2), \text{ °C} \quad (5.2)$$

де $t_{\text{норм}}$ – нормована (оптимальна) температура в приміщенні, обирається за ДСН 3.3.6.042-99 «Санітарні норми мікроклімату виробничих приміщень, в залежності від категорії робіт», складає 18-20°C;

Δt – градієнт температури, що приймається для виробничих приміщень рівним 1,5 град/м;

$H_{\text{ц}}$ – відстань від підлоги до центра витяжних проїомів, м.

$$H_{\text{ц}} = H - 1, \text{ м} \quad (5.3)$$

де H – висота приміщення, складає 8м.

$$H_{\text{ц}} = 8 - 1 = 7 \text{ м}$$

$$t_{\text{внд}} = 20 + 1,5(7 - 2) = 27,5^{\circ}\text{C}$$

Розрахунок повітрообміну за умови виділення надлишкової теплоти для зимового періоду:

$$L_{\text{в}} = \frac{37 \cdot 3600}{1,12 \cdot (27,5 - (-8))} = 3126,7 \text{ м}^3 / \text{год}$$

5.4 Заходи з пожежної безпеки

Для попередження пожежі та вибухів на ділянках передбачені такі заходи наявності первинних засобів пожежогасіння, зберігання легкозаймистих речовин у герметично закритій тарі або у витяжних шафах.

В комплексі заходів, що використовуються в системі протипожежного захисту, важливе значення має вибір найбільш раціональних способів та засобів гасіння різних горючих речовин матеріалів згідно зі СНиП 2.01.02-85 «Противопожарные нормы проектирования зданий и сооружений».

Приміщення підрозділів термічної обробки мають категорію по пожежній небезпеці «Д», тому особливих мір захисту не передбачається. Використовуються пінні і вуглекислотні вогнегасники, кошма, ящики з піском. Приміщення підрозділів ХТО мають категорію по пожежній небезпеці В, тому потребують додаткових заходів з пожежної безпеки. Наприклад, встановлення мідних пластин для зняття зарядів статичної електрики на вході у приміщення для зберігання легкозаймистих технологічних матеріалів. В деяких випадках устрій системи пожежогасіння за допомогою азоту.

Площа дільниці складає 1728 м². Виходячи з цього згідно НАПБ Б.03.001-2004 «Типові норми належності вогнегасників» обирається

чотири вуглекислотних вогнегасника ємністю 18 кг кожний, а також необхідна наявність одного пожежного щита.

5.5 Заходи по забезпеченню безпеки у надзвичайних ситуаціях

Інформування, оповіщення і дії робітників та службовців промислового об'єкта, при загрозі виникнення надзвичайної ситуації.

Оповіщення про загрозу або виникнення надзвичайних ситуацій полягає у своєчасному доведенні інформації органам управління цивільного захисту, силам цивільного захисту, суб'єктам господарської діяльності і населенню.

Оповіщення про загрозу або виникнення надзвичайних ситуацій забезпечується шляхом:

а) функціонування загальнодержавної, територіальних, місцевих автоматизованих систем централізованого оповіщення про загрозу або виникнення надзвичайних ситуацій, спеціальних, локальних і об'єктових систем оповіщення;

б) централізованого використання телекомунікаційних мереж загального користування, в тому числі мобільного зв'язку, відомчих телекомунікаційних мереж і телекомунікаційних мереж об'єктів господарської діяльності, а також мереж загальнонаціонального, регіонального та місцевого радіомовлення, телебачення та інших технічних засобів передачі або відображення інформації;

в) автоматизації процесу передачі сигналів і повідомлень про загрозу або виникнення надзвичайних ситуацій;

г) функціонування на об'єктах підвищеної небезпеки автоматизованих систем раннього виявлення надзвичайних ситуацій та оповіщення;

д) організаційно-технічної інтеграції різних систем централізованого оповіщення про загрозу або виникнення надзвичайних ситуацій та автоматизованих систем раннього виявлення надзвичайних ситуацій та оповіщення;

е) функціонування в населених пунктах та місцях масового перебування людей сигнально-гучномовних пристроїв, а також електронних інформаційних табло для передачі інформації цивільного захисту.

Інформацію щодо цивільного захисту становлять відомості про прогнозовані або про ті, що відбулися надзвичайні ситуації. Ці відомості повинні включати: класифікацію, межі розповсюдження і можливі наслідки НС, а також про способи і методи захисту від них.

Органи управління цивільного захисту зобов'язані надавати населенню через засоби масової інформації оперативні та достовірні дані про ситуацію обстановці, а також інформувати про свою діяльність з питань цивільного захисту.

Керівники потенційно небезпечних об'єктів та об'єктів підвищеної небезпеки, зобов'язані систематично і оперативно публікувати інформацію про ці об'єкти в офіційних друкованих виданнях, на офіційних веб-сайтах, інформаційних стендах, а також доводити будь-яким прийнятним способом. Інформація повинна містити дані про об'єкт, сферу його діяльності, про природу можливих ризиків при аварії, включаючи вплив на людей і навколишнє середовище, а також про способи інформування населення у разі загрози або виникнення аварії та порядку дій при її виникненні. Поширення інформації про наслідки надзвичайної ситуації здійснюється відповідно до законодавства про інформацію.

Як висновок можемо сказати, що для попередження або мінімізації негативного наслідку шкідливих факторів виробничих процесів термічної обробки слід планувати та здійснювати певний комплекс заходів захисту.

Заходи по забезпеченню належного рівня професійної підготовки фахівців, до роботи допускаються особи, які пройшли всі інструктажі і стажування, які передбачені КЗоТ і правилами допущення до робіт конкретного підприємства.

Що до електробезпеки необхідно вживати організаційні та технічні заходи, а саме, до виконання робіт допускати особи віком не молодше 18 років, що пройшли навчання та перевірку знань з електробезпеки. При роботах, що пов'язані з можливістю ураження електричним струмом необхідно використовувати індивідуальні засоби захисту.

Необхідно враховувати заходи безпеки, щодо герметичності трубопроводів, шланги повинні бути тільки армованими, поєднання шлангів гладкими з'єднувачами не допускається, використовувати шланги для подачі газів тільки за призначенням та ін.

Для захисту від теплового випромінювання обов'язковим є використання індивідуальних засобів захисту (спеціального одягу, рукавиць, повітряні завіси та ін.).

Організація робочого місця повинна відповідати певним вимогам нормативних документів, площа на одного працюючого не менше 4,5 м², розташування тепловипромінюючого обладнання повинно виконуватися з урахуванням потоків повітря при використанні природної або штучної загально обмінної вентиляції.

Для забезпечення оптимальних параметрів повітряного середовища слід використовувати систему водяного опалення та подавати зовнішнє повітря через калорифери, в теплий період року необхідно використовувати природну вентиляцію, або загально обмінну.

Для попередження пожежі та вибухів на ділянках передбачені наявність первинних засобів пожежогасіння, зберігання легкозаймистих речовин у герметично закритій тарі або у витяжних шафах. Використовуються пінні і вуглекислотні вогнегасники, кошма, ящики з піском.

ВИСНОВКИ

Мета даної роботи – дослідження особливостей хіміко-термічної обробки деталей газотурбінних двигунів. Було досліджено вплив способу хіміко-термічної обробки на властивості зубчастих коліс газотурбінних двигунів.

В аналітичному розділі вивчені особливості впливу легування та термічної обробки на експлуатаційні властивості зубчастих коліс ГТД. Було обрано матеріали та методи дослідження. На основі проведеної оцінки впливу термічної обробки на структуру матеріалу було запропоновано варіанти термічної обробки яка б забезпечувала найкращі співвідношення експлуатаційних властивостей.

В розділі з охорони праці і навколишнього середовища були проаналізовані потенційні небезпеки в технологічному відділенні механічного цеху машинобудівного заводу та заходи по забезпеченню безпеки. 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 розглянутої 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 ПОСИЛАНЬ

1. Иноземцев А.А., Нихамкин М.А., Сандрацкий В.Л. Основы конструирования авиационных двигателей и энергетических установок. М.: «Машиностроение», 2007. 232 с.
2. Калетин Ю.М., Кудрявцева Л.В. Термическая обработка тяжелонагруженных зубчатых колёс. М.: Машиностроение, 1966. 320 с.
3. Зинченко В.М. Инженерия поверхности зубчатых колес методами химикотермической обработки. М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2001. 303 с.
4. Козловский И.С. Химико-термическая обработка шестерен. М.: Машиностроение, 1970. 232 с.
5. Трубин Г.К. Контактная усталость материалов для зубчатых М.: Машгиз, 1962. 404 с.
6. Кораблев А.И., Решетов Д.Н. Повышение несущей способности и долговечности зубчатых передач. М.: Машиностроение, 1967. 288 с.
7. Стали и сплавы. Марочник: Справ. изд. / В.Г. Сорокин и др. М.: "Интермет Инжиниринг", 2001. 608 с.
8. Назин В.И. Сравнительный анализ размеров вертолетных редукторов с различными типами зацепления. *Авиационно-космическая техника и технология*, 2010. № 7 (74). С. 104-106.
9. Каблов Е.Н. Авиационное материаловедение в XXI веке. Перспективы и задачи. *Все материалы. Энциклопедический справочник*, 2007. №1. С. 2-10.
10. Авиационные зубчатые передачи и редукторы: Справочник / Под ред. Э.Б. Булгакова. М.: Машиностроение, 1981. 374 с.
11. Лашнев М.М., Семенов М.Ю., Смирнов А.Е. Оптимизация технологических факторов вакуумной нитроцементации комплексно-

легированной стали. *Наука и образование*. МГТУ им. Н.Э. Баумана. электрон. журн. 2012. №3. URL: <http://technomag.edu.ru/doc/330997.html>

12. Симс Ч., Хагель В. Жаропрочные сплавы. / Пер. с англ. М.: Металлургия, 1976. 568с.

13. Рыжов Н.М. Особенности вакуумной цементации, теплостойкость стали в ацетилене. *Металловедение и термическая обработка металлов*, 2004. №6. С. 34-42

14. Рижов Н.М., Фахуртдинов Р.С., Смирнова А.Е., Фоміна Л.П. Аналіз способів цементації зубчастих коліс із теплостійких сталей. *Металознавство й термічна обробка*, 2010. №6. С. 20-28

15. Балтер М.А. Упрочнение деталей машин. М.: Машиностроение, 1978. 184 с.

16. Производство зубчатых колес газотурбинных двигателей / Ю.С. Елисеев и др. М.: Высш. шк., 2001. 493 с.

17. Кораблев А.И., Решетов Д.Н. Повышение несущей способности и долговечности зубчатых передач. М.: Машиностроение, 1967. 288 с.

18. Herring D.H., Pierre J.C.St. Vacuum Carburizing of P/M Steels. *Industrial Heating*, 1987. No. 9. P. 30-33

19. Kula P., Olejnik J., Kowalewski J. New vacuum carburizing technology. *Heat treatment progress*, 2001. Vol. 1. № 1. P. 57–65

20. Hitoshi I. Advanced acetylene vacuum carburizing. *IHI engineering review*, 2005. T. 38. №. 2. С. 83-88.

21. Семенов М.Ю., Смирнов А.Е., Рыжова М.Ю. Расчет концентрационных кривых углерода при вакуумной цементации сталей. *Металловедение и термическая обработка металлов*, 2013. № 1(691). С. 38–42

22. Рыжов Н.М., Смирнов А.Е., Фахуртдинов Р.С. Циклическая прочность стали 16ХЗНВФМБ (ВКС-5) после вакуумной цементации. *Металловедение и термическая обработка металлов*, 2010. № 2. С. 23–28.

23. Рыжов Н.М. Технологическое обеспечение сопротивления контактной усталости цементуемых зубчатых колес из теплостойких сталей. *Металловедение и термическая обработка металлов*, 2010. № 7 (661). С. 39-45.

24. Семенов М.Ю., Гаврилин И.Н., Рыжова М.Ю. Анализ способов упрочнения зубчатых колес из теплостойких сталей на основе расчетного метода. *Металловедение и термическая обработка металлов*, 2014. № 1 (703). С. 42–46.

25. Уткина А.Н., Черкис Ю.Б., Алексеенко М.Д. Влияние параметров цементованного слоя на свойства стали 20Х3МВФА. *Металловедение и термическая обработка металлов*, 1977. № 6. С. 57-61

26. Переверзев В.М., Колмыков В.И., Воротников В.А. Влияние карбидов на стойкость цементованных сталей к изнашиванию в кварцевом абразиве. *Металловедение и термическая обработка металлов*, 1990. № 4. С. 45-47

27. Повышение износостойкости теплостойкой стали путем ионной нитроцементации / А.В. Родионов и др. *Металловедение и термическая обработка металлов*, 1994. № 6. С. 9-13.

28. Исследование износостойкости сталей ВКС-7 и ВКС-10 после вакуумной цементации и вакуумной нитроцементации / С.А. Герасимов и др. // *Наука и образование. МГТУ им. Н.Э. Баумана*. Электрон. журн, 2013. № 5. – DOI: 10.7463/0513.0568124

29. Analysis of Methods of Carburizing of Gears from Heat-Resistant Steels / N.M. Ryzhov and al. *Metal Science and Heat Treatment*, 2010. Vol. 52. No. 5-6. P. 260-265