

ПІБ студента: Ошлаков Євген Дмитрович

ПІБ керівника: Вініченко Валерій Степанович, доцент

Тема: Оптимізація хімічного складу штампової сталі підвищеної теплостійкості із застосуванням математичних моделей

## РЕФЕРАТ

ПЗ: 73с., 17 таблиць, 3 рисунки, 35 джерел.

Об'єкт дослідження – сталі для виготовлення важконавантажених штампів для гарячого деформування.

Мета роботи – перевірка можливості оптимізації хімічного складу сталей для гарячого деформування за допомогою методів математичного моделювання.

Метод дослідження – розрахунково-аналітичний, з використанням стандартної комп'ютерної програми.

Гаряче штампування широко використовується у машинобудуванні. Проте вартість основних легувальних елементів висока.

Оптимізація хімічного складу сталей для гарячого деформування дає можливість не тільки покращити якість оброблюваних деталей, але й зменшити витрати на матеріали, що використані для виготовлення штампів.

Розрахунок можна здійснити за допомогою методу лінійного програмування. Лінійне програмування - це наука про методи дослідження та знаходження екстремальних (найбільших та найменших) значень лінійної функції, на змінні аргументи котрої накладені обмеження.

ШТАМП, ДЕФОРМУВАННЯ, СТАЛЬ, ТЕПЛОСТІЙКІСТЬ, ЛІНІЙНЕ ПРОГРАМУВАННЯ, МАТРИЦЯ, ФАКТОР, ПАРАМЕТР ОПТИМІЗАЦІЇ, КАРБІД, ВОЛЬФРАМ, МОЛІБДЕН, ТЕРМІЧНА ОБРОБКА.

## ЗМІСТ

Вступ.....	7
1 Виявлення можливостей удосконалення гаряче-штампових сталей .....	8
1.1 Класифікація інструментальних сталей .....	8
1.2 Вимоги встановлені до штампових сталей .....	9
1.3 Вплив легувальних елементів на структуру та властивості штампових сталей .....	10
1.4 Термічна обробка штампових сталей для гарячого деформування .....	18
1.5 Вплив термічної обробки на властивості штампових сталей.....	23
1.6 Умови роботи та основні причини виходу зі строю гарячих штампів .....	26
2 МАТЕРІАЛИ ТА МЕТОДИКИ ДОСЛІДЖЕНЬ.....	30
2.1 Матеріали для досліджень.....	30
2.2 Методики досліджень.....	30
3 ОПТИМІЗАЦІЯ ХІМІЧНОГО СКЛАДУ ШТАМПОВОЇ СТАЛІ.....	35
3.1 Оптимізація складу теплостійких штампових сталей .....	35
4 Економічна ефективність від використання результатів дослідження.....	46
4.1 Тенденції розвитку світового ринку технологій.....	46
4.2 Техніко-економічні розрахунки.....	47
5 Охорона праці та безпека у надзвичайних ситуаціях.....	52
5.1 Аналіз потенційних небезпек.....	52
5.2 Заходи щодо забезпечення безпеки.....	53
5.3 Заходи щодо виробничої санітарії та гігієни праці.....	60
5.4 Заходи з пожежної безпеки.....	63
5.5 Заходи безпеки у надзвичайних ситуаціях.....	66
ВИСНОВКИ.....	68
Перелік посилань.....	70

## ВСТУП

Створення високопродуктивних і стійких в експлуатації інструментів зв'язане, у першу чергу, із проблемою отримання й обробки таких матеріалів, які могли б протистояти жорстким умовам роботи. Високі механічні властивості інструмента і його теплостійкість досягаються спеціальним легуванням і термічною обробкою. Таким чином, певний інтерес представляє розробка й корегування методів термічної обробки.

Різноманіття штампових марок сталей приблизно однакового призначення, з різним успіхом використовується у виробництві, що говорить, з одного боку, про невикористані до кінця можливості легування та підвищення металургійної якості, з іншого, про різноманітність та не співставленість методів, що використовуються дослідниками для оцінки роботоздатності штампових матеріалів. Велика кількість факторів, що впливають на стійкість інструменту та різницю умов, в яких перебуває матеріал штампів під час штампування різного типу деталей, не дозволяє мати єдині чіткі рекомендації, що обмежують області використання різнолегованих штампових сталей. Тому дані виробничих випробувань, що є найбільш об'ємним критерієм в умовах одного якогось підприємства, можуть не бути достовірними для інших підприємств.

При аналізі складів сталей необхідно вирішити такі головні задачі: виявити оптимальне легування для конкретних умов експлуатації інструмента (різкі циклічні зміни температур, навантажень) та ефективну методику попередньої оцінки експлуатаційної стійкості сталей. Вирішенню цих питань і присвячена дана робота.

## 1. ВИЯВЛЕННЯ МОЖЛИВОСТЕЙ УДОСКОНАЛЕННЯ ГАРЯЧЕ-ШТАМПОВИХ СТАЛЕЙ

### 1.1 Класифікація інструментальних сталей

Число інструментальних сталей досить велике й вони мають різний хімічний склад. Однак класифікацію за складом можна використовувати лише в якості допоміжної, навіть при різному вмісті легуючих елементів багато інструментальних сталей мають близькі властивості.

Доцільно класифікувати інструментальні сталі по властивостях і по призначенню.

Інструментальні сталі по властивостях можна розподілити за трьома групами:

- 1) не теплостійкі;
- 2) напівтеплостійкі;
- 3) теплостійкі.

Сталі, що належать різним групам, мало розрізняються по твердості, міцності й зносостійкості при нормальних температурах, але значно розрізняються за цими найважливішими властивостями при нагріванні. Крім того, сталі, що володіють теплостійкістю, через вплив дисперсних частинок фаз, що зміцнюють, мають більш високий опір пластичної деформації (у тому числі й при звичайних температурах) [1].

Не теплостійкі сталі зберігають високу твердість ( $>60$  HRC) при нагріванні не вище  $190\text{--}225^\circ\text{C}$  і використовуються для різання м'яких матеріалів з невеликою швидкістю. Це заевтектоїдні й близькі до евтектоїдних вуглецеві й леговані сталі (з відносно невисоким вмістом легуючих елементів). Карбідна фаза їх – цементит, що коагулює при порівняно низьких температурах.

Напівтеплостійкі сталі, переважно штампові, піддаються нагріванню робочої крайки до температур  $400\text{--}500^\circ\text{C}$ . Це – близькі до евтектоїдних сталей, леговані хромом і додатково вольфрамом, молібденом і ванадієм, а також

ледебуритні сталі (12% Cr). Карбідні фази – легований цементит і карбід хрому ( $\text{Me}_{23}\text{C}_6$ ,  $\text{Me}_7\text{C}_3$ ).

Теплостійкі сталі зберігають високу твердість до нагрівання на температури порядку 600–650°C для штампових сталей (твердість 45–52 HRC). Основна карбідна фаза – карбід вольфраму (молібдену)  $\text{Me}_6\text{C}$ , а в менш теплостійких штампових сталей також і карбід  $\text{Me}_{23}\text{C}_6$ . У деяких сталях можливо інтерметалідне зміцнення [2].

Для інструментів і деталей підвищеної точності використовують сталі підвищеної твердості, що як володіють, так і не володіють теплостійкістю (залежно від умов експлуатації). Ці сталі повинні мати додаткові властивості, головне з яких – здатність здобувати дуже чисту поверхню при доведенні й зберігати незмінними розміри й форму інструмента протягом тривалого строку експлуатації.

При виготовленні штампів для гарячого деформування використовують теплостійкі сталі підвищеною в'язкістю, які забезпечують не тільки високі міцність і опір деформації штампа при нагріванні, але й необхідний опір динамічним навантаженням і гарну разпалостійкість. Ця важлива властивість штампової сталі досягається при достатніх в'язкості й пластичності [1].

## 1.2 Вимоги встановлені до штампових сталей

Для обробки металів тиском застосовують інструменти – штампи, пуансони, ролики, валики і т.д., що деформують метал. Сталі, прийняті для виготовлення інструмента такого роду, називають штамповими.

Через численні й різноманітні вимоги, пропоновані до штампів залежно від призначення, для їхнього виготовлення застосовують сталі різних марок, починаючи від простих вуглецевих і закінчуючи сложнелегованими.

Вимоги до штампових сталей для гарячого деформування.

Штампові сталі для гарячого деформування повинні мати певний комплекс властивостей. Розглянемо їх.

Теплостійкість. Високі жароміцні властивості не повинні знижуватися під тривалим впливом температури, метал повинен стійко пручатися відпуску.

Жароміцність. Метал повинен мати високу границю плинності мати високий опір зношування при високих температурах, щоб сповільнити процеси стирання й деформування елементів фігури інструмента, що розігрівається від зіткнення з гарячим оброблюваним матеріалом.

Термостійкість (разпалостійкість). Циклічне нагрівання й охолодження поверхні інструмента під час роботи й, отже стиск, що чергує з розширенням поверхневих шарів приводять до появи так званих тріщин розпалу. Для попередження даного явища матеріал інструмента повинен мати високу разпалостійкість (високим опором термічної втоми).

В'язкість. Деформування металу при штампуванні супроводжується ударними впливами цього металу на штампи, тому матеріал штампів повинен мати відому в'язкість для попередження поломок і викрашування.

Окалиностійкість. Вона необхідна, якщо поверхневі шари нагріваються вище  $600^{\circ}\text{C}$ - $700^{\circ}\text{C}$ ; у цих умовах окалиностійкість більшою мірою визначає зносостійкість.

Теплопровідність. Необхідна для кращого відводу тепла, переданого деформованою заготовкою.

Прокалюваємість. Багато інструментів мають більші розміри. Для одержання гарних зміцнюючих властивостей у нижчих шарах сталь інструмента повинна добре прожарюватися.

Відпускна крихкість. Тому що швидким охолодженням інструментів великих розмірів не можна усунути відпускну крихкість, то необхідно вибирати сталь мінімально чутливу до цього порогу.

Злипаємість. При значному тиску гарячий метал може «прилипати» до металу штампа (явище адгезії), і коли штампований виріб віддирається від штампа, то воно щораз частково руйнує його поверхню. Руйнування буде виражено тем сильніше, чим більше адгезійна взаємодія.

Крім того, сталі для штампів, поверхневий шар яких сильно нагрівається (вище  $600^{\circ}\text{C}$ ), повинні мати високі температури критичних точок.

Нагрівання робочих шарів штампа визначається не тільки температурою деформованого металу, але й тривалістю контакту з ним і умовами охолодження.

### 1.3 Вплив легувальних елементів на структуру та властивості штампових сталей

Легування є одним з основних способів впливу на структуру й властивості інструментальних сталей і сприяє підвищенню працездатності інструмента.

Штапкові сталі легують такими елементами як хром, вольфрам, молібден, ванадій, кремній і кобальт. В останні роки з'явилися сталі з добавками титану, цирконію, ніобію й ін.

Розглянемо вплив основних легуючих елементів на властивості штампових сталей.

Вплив хрому. Хром позитивно впливає на ряд властивостей штампових сталей (прокалюваємість, схильність до вторинного твердіння, теплостійкість). У міру підвищення його концентрації у твердому розчині суттєво зростає стійкість аустеніту як у перлітній, так і в проміжній областях, якісно змінюється вид  $S$ -подібних кривих.

У хромистих сталях поряд із цементитом утворюється два спеціальні карбіди: гексагональний (тригональний)  $\text{Me}_7\text{C}_3$  і кубічний  $\text{Me}_{23}\text{C}_6$  (рис. 1). Хром підвищує стійкість цих карбідів проти розчинення при нагріванні й впливає на чутливість до перегріву сталей, що містять незначні кількості вольфраму й молібдену. У комплекснолегованих сплавах хром внаслідок підвищення фазового наклепу при загартуванні й особистої участі у формуванні зміцнюючої фази сильно підсилює ефект вторинного твердіння [4].



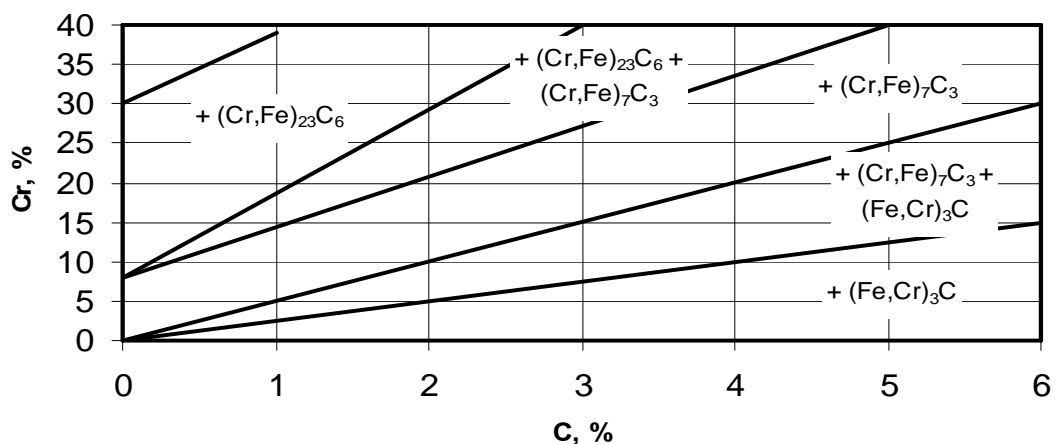


Рисунок 1.1 - Перетин діаграми стану системи Fe – Cr – C при 20°C [5]

Хром сприяє збереженню високого опору пластичної деформації при нагріванні до 400–500°C. Межі міцності й плинності становлять 80% від їхніх значень при 20°C. Крім того, хром підвищує стійкість проти окиснення при нагріванні до 600–650°C і проти роз'їдаючого дії ряду середовищ.

При зниженні змісту хрому з 5 до 3% змінюється состав карбідних фаз; у сталі з 3% хрому присутні карбіди  $Me_3C$  поряд з карбідами  $Me_{23}C_6$  і  $Me_6C$ , що небагато зменшує теплостійкість і границя текучості при температурах вище 400–500°C.

Збільшення кількості хрому з 5 до 8% трохи підвищує окалиностійкість, але знижує теплостійкість; твердість не нижче 45HRC у сталі 4X8B2C зберігається при відпуску до 580°C, а в сталі 4X5B2ФС (з таким же кількістю вольфраму) – до 600°C. Крім того, через ріст карбідної неоднорідності, неминучого зі збільшенням хрому, знижуються в'язкість і пластичність штампів у великих перетинах.

Найбільш помітний вплив на окалиностійкість, а отже, на зносостійкість хром виявляє при вмісті з 2,5 до 3,5–4%.

До обмежень використання хрому як легуючого елемента ставиться насамперед різке збільшення карбідної неоднорідності при введенні його в кількостях, що перевищують 4–5%. Наявність грубих рядків і залишків сітки первинних карбідів у сталях з 6–12% Cr поряд із труднощами технологічного характеру (зниження пластичності при підвищених температурах, зростання

небезпеки локальних оплавлень при нагріванні злитків під деформацію й ін.) суттєво знижує їхні експлуатаційні властивості. Нерівномірність розподілу «внутрішніх» концентраторів напруг, що особливо зростає при термічній обробці внаслідок утворення навколо скопичень карбідів збагачених вуглецем і легуючими елементами зон, приводить до помітного зменшення міцності, пластичності, опору усталостної пошкоджуваності й зносостійкості високохромієстих сталей в умовах динамічного напруження.

Слід зазначити, що збільшення вмісту хрому вище 5% поряд з посиленням карбідної неоднорідності викликає також підвищення чутливості до перегріву. Цей недолік властивий сталям, легованим 1–2% W (Mo) і 0,3–0,8% V [1].

У штампових сталях для гарячого деформування необхідно тверде регламентування вмісту хрому, тому що він прискорює їх розміцнення, починаючи з 2–3%, що зв'язане зі значним зростанням швидкості коалесценції карбідів.

Також хром навіть при відносно невисоких концентраціях має значну схильність до дендритної ліквідації, більшої, ніж вольфрам, марганець і кремній. Це може привести до несприятливих структурних змін – посиленню карбідної полосчатості, неоднорідності, відхиленням від рівноважного фазового складу й ін.

Враховуючи вищенаведені фактори, вміст хрому в штампових сталях для гарячого деформування: 4–5% і 2–3% Cr для сталей підвищеної (4X5МФС, 4X4ВМФС) і високої теплостійкості (типу 4X2В5ФМ, 5X3В3МФС) відповідно й 1–2% Cr у сталях помірної теплостійкості й підвищеної в'язкості [4].

Вплив вольфраму й молібдену.

Підвищення вмісту вольфраму в комплекснолегованих штампових сталях збільшує їхню стійкість проти перегріву, зміщаючи температуру початку інтенсивного зростання зерна до 1070–1100°C. Аналогічний ефект при легуванні вольфрамом спостерігається у сталях для гарячого деформування, що містять не більш 0,5–1% V. У цій групі сталей при подібній зміні хімічного складу відбувається більш помітне зниження твердості після загартування, чому при збільшенні вмісту молібдену. У сталях підвищеної теплостійкості збільшення

концентрації вольфраму з 2 до 3% викликає значний зріст твердості після загартування й величини дійсного зерна аустеніту при нагріванні до 1150–1180°C.

Молибден трохи підвищує стійкість проти перегріву сталей типу 4X4B2M2ФС, але впливає на поведінку при нагріванні сплавів з підвищеним вмістом вуглецю (~ 1%, типу X4B2M2Ф1) [4].

Вольфрам і молибден ефективно підвищують теплостійкість. Теплостійкість зростає найбільш значно при збільшенні вмісту вольфраму до 8%.

Вольфрам (і меншою мірою молибден) затримують коагуляцію карбідів, що виділяються по границях зерен і деяким кристалографічним площинам, і підсилюють дисперсійне твердіння при відпуску, але при збільшенні їх вмісту погіршується в'язкість. Це негативний вплив вольфраму значніше його подрібненого впливу на зерно. Вольфрам підсилює також карбідну неоднорідність, через що додатково знижуються механічні властивості у великих перетинах.

У сталях з молибденом дисперсійне твердіння настає при більш низьких температурах відпуску, трохи сильніше підвищується вторинна твердість. карбід, що виділяється, має більшу здатність до коагуляції, внаслідок чого молибденова сталь у порівнянні з вольфрамовою має кращу в'язкість, але трохи меншу теплостійкість. Також молибден пригнічує схильність до відпускнуї крихкості внаслідок сприятливого впливу на стан границь зерен. Вміст молибдену, незважаючи на його ефективний вплив, установлюють не вище 2,5–2,8%, тому що він підсилює зневуглецевість [1].

У штампових сталях для гарячого деформування збільшення концентрації вольфраму підвищує теплостійкість до певних меж. Такими межами є 1,0–2% W у сталях типу 4X4BMФС і ~ 3% у сталях типу 5X3B3Ф2МС. Вміст молибдену, як правило, становить 1,5–3% [4]. Молибден у цих сталях заміняє вольфрам у співвідношенні 1:2.

Сталі, у яких молибден заміняє більш 2–3% W, мають меншу карбідну неоднорідність. Молибден при заміні 3–4% W (і однаковою ванадії) майже не змінює теплостійкості, внаслідок чого зміцнюючі властивості

вольфрамолібденових сталей при нагріванні такі ж, як вольфрамових [1]. Вибір конкретних співвідношень між вольфрамом і молібденом визначається умовами експлуатації інструмента і він повинен бути економічно обґрунтований.

Вплив ванадію. Ванадій впливає на процеси збірної рекристалізації й суттєво зменшує чутливість штампових сталей до перегріву. У відносно невисоколегованих сталях (типу 5ХНМ і ін.) його дія виявляється помітною вже при вмісті порядку 0,10–0,30%. Для інших груп сталей, що містять карбіди типу  $M_7C_3$ ,  $M_6C$ ,  $M_{23}C_6$ , потрібна більша кількість ванадію для істотного зсуву температур початку інтенсивного зростання зерна.

На механічні властивості ванадій впливає зменшуючи чутливість до перегріву, при вмісті до 1% він може підвищувати міцність і пластичність високовуглецевих і середньовуглецевих ( $\sim 0,4\% C$ ) штампових сталей.

Позитивний вплив ванадію на опір крихкому руйнуванню сплавів типу Х4В2МФ, 17Х6Ф4М після відпуску при 150–350°C зберігається також при легуванні до 2–4% V. Після обробки на первинну твердість (60–62 HRC) такі сталі мають вищу міцність при згині й ударну в'язкість, ніж у аналогічних сплавів, але з 0,5–1% V. При високотемпературному ( $\geq 500^\circ C$ ) відпуску ванадій при підвищених його вмістах діє в протилежному напрямку, тобто зменшує пластичність штампових сталей гарячого деформування. Поряд зі збільшенням небезпеки передчасного крихкого руйнування зниження пластичності високованадієвих сталей після обробки на вторинну твердість може приводити також до зменшення зносостійкості в умовах динамічного напруження через сколювання й мікрОВикришування.

Збільшення вмісту ванадію з 0,4 до 0,8% підсилює дисперсійне твердіння і поліпшує теплостійкість, але знижує в'язкість. Внаслідок інтенсивного розвитку дисперсійного твердіння, що настає при збільшенні кількості ванадію з 0,35% до 1%, в'язкість знижується. [1].

Ванадій, також як і хром, має сильно виражену схильність до дендритної ліквідації, але на відміну від нього ванадій сприятливо впливає на дисперсність і характер розподілу первинних карбідів у високовуглецевих сталях.

При введенні до складу сталей 3–4% V спостерігається значне погіршення шліфування (через присутність дуже твердого карбиду  $MeC$ ), що обмежує їхнє широке застосування. Іншим недоліком є знижена окалиностійкість при термообробці і гарячій пластичній деформації [4].

Вплив кремнію й кобальту. Кремній є феритоутворюючим елементом і «виклинцює» область існування  $\gamma$ -заліза в сплавах системи Fe – Si при вмісті близько 2%. Аналогічно впливає він на діаграму стану вуглецевих сталей), однак у цьому випадку повне завершення  $\alpha \rightarrow \gamma$ -перетворення досягається при вмістах (3–5)% кремнію.

Не утворюючи в сплавах на основі заліза з'єднань із вуглецем, кремній практично не виявляє впливу на тип і состав карбідів у штампових сталях, але викликає їхнє укрупнення у відпаленому стані.

Кремній і кобальт інтенсифікують процеси карбідізації при відпуску й значно підвищують рівень вторинної твердості. У комплекснолегованих штампових сталях уведення цих елементів викликає приріст зміцнення, що не супроводжується істотним збіднінням твердого розчину легуючими елементами, і обумовлений в основному підвищенням дисперсності карбідів, що виділяються при старінні. Однак кремній, що зміщає убік більш низьких температур відпуску «пік» вторинної твердості (при вмістах  $\geq 1,5\%$ ), і кобальт, що не змінює практично його положення, збільшують швидкість розміцнення при високому (620–650°C) нагріванні. У зв'язку із цим вміст кремнію в штампових сталях для гарячого деформування обмежують 0,5–0,8% [4].

Кремній впливає аналогічно хрому на механічні властивості сталі й стійкість до окиснення. Кобальт підвищує вторинну твердість і теплостійкість, але не поліпшує окалиностійкість, необхідної для роботи при високих температурах. Також до недоліків легування кобальтом ставиться схильність штампових сталей до девуглецевості [1]. Використання кобальту доцільно й виправдане при введенні його в низьковуглецеві сплави (0,1–0,2% C) для гарячого деформування з інтерметалідним і комплексним зміцненням.

Вплив нікелю й марганцю. Легування сталей нікелем і марганцем підвищує прогартовуємість. Цим визначається доцільність легування ними штампових сталей, призначених для виготовлення великогабаритних інструментів. Мало змінюючи чутливість до перегріву й, як наслідок, оптимальні температури загартування, нікель і марганець сильно знижують критичну швидкість охолодження.

Нікель ефективно підвищує пластичність, що дуже важливо для матеріалів, що випробовують вплив динамічних навантажень. Це його позитивна властивість проявляється, однак, коли пригнічуються інші (шкідливі) наслідку легування сталі нікелем. До них належить прискорення процесу виділення карбідів по границях. Викликаючи зниження пластичності, цей процес супроводжується також збіднінням твердого розчину карбідоутворюючими елементами й зниженням теплостійкості сталі. Легування нікелем сталі 4Х4ВМФС сприяє прискоренню теплового знеміцнення, а також окрихчування при температурах випробувань 20–400°С. Крім того помітно знижується опір термічній втомі. Аналогічно впливає додавання в цю сталь марганцю, який додатково збільшує коефіцієнт термічного розширення й погіршує теплопровідність. Таким чином, легування нікелем і марганцем теплостійких сталей для гарячого деформування є недоцільним.

Застосовується легування штампових сталей підвищеної прокалюваємості й в'язкості для гарячого деформування нікелем і марганцем у кількостях 1,5–2% і 0,5–1% відповідно.

Марганець і нікель збільшують кількість залишкового аустеніту, але не запобігають його розпаду під впливом циклічно мінливих напруг при експлуатації штампів. Це робить неприпустимим легування даними елементами повторно твердіючих штампових сталей з високим опором зминанню.

У загальному випадку для інструментальних сталей зміст нікелю й марганцю не повинен перевищувати 0,4%. Припустиме підвищення вмісту нікелю до 0,6–0,8%, тоді небагато зростають міцність і в'язкість ряду сталей. [4]

## 1.4 Термічна обробка штампових сталей для гарячого деформування

Ціль остаточної термічної обробки – одержання в готовому інструменті оптимальної комбінації основних властивостей: твердості, міцності, зносостійкості, в'язкості й теплостійкості.

Найпоширеніший технологічний процес остаточної термічної обробки інструмента для гарячого деформування складається із загартування й відпуску. Велика різноманітність умов роботи такого інструмента визначає не тільки застосування різних сталей, але й необхідність одержувати в кожному конкретному випадку оптимальне для даних умов комбінація властивостей за рахунок правильного вибору режимів термічної обробки. При цьому залежно від призначення інструмента можливий вибір різних температур нагрівання під загартування, гартівних середовищ і способів охолодження, температур відпуску. Режими загартування й відпуску не універсальні, а їх слід призначати диференційовано відповідно до умов роботи інструмента.

Зокрема, слід враховувати, що при підвищенні температури нагрівання під загартування зростає теплостійкість і прокалюваність штампових сталей, але через укрупнення зерна знижується їхня в'язкість. Тому, наприклад, для пресового інструмента, що працює з більшим розігрівом, але без значних динамічних навантажень, доцільно підвищувати температуру нагрівання під загартування для одержання більшої теплостійкості.

Разом з тим при виборі режимів загартування й відпуску слід враховувати їхній вплив на деформацію інструмента в процесі термічної обробки й можливість наступної механічної обробки.

Підвищення температури відпуску, як правило, підвищує в'язкість сталі, але знижує її твердість, міцність і зносостійкість. У зв'язку із цим для збереження зносостійкості й твердості сталі температуру відпуску вибирають знижену, однак не нижче температури розігріву інструмента при експлуатації.

Широке поширення в техніці одержала сталь 5ХНМ, що має високу технологічність, оптимальні механічні властивості, прогартованість. Також для інструмента невеликих габаритів застосовуються сталі марок 5ХНВ, 5ХГСВФ, 5ХНСВ, 5ХГМ. Для дуже великого інструмента придатні сталі типу 27Х2НМВФ і типу 30Х2НМФ, 30Х2М1ФНЗ.

Узагальнена технологічна схема обробки інструмента для гарячого деформування з напівтеплостійкої сталі підвищеної в'язкості:

- 1) гаряча пластична деформація (кування);
- 2) відпал;
- 3) механічна обробка;
- 4) загартування й відпуск;
- 5) механічна обробка.

Для деформування алюмінієвих сплавів застосовуються сталі з 5% Cr: 4Х5В2ФС і типу 4Х5МС (або 4Х5МФС). При виготовленні матриць великих розмірів застосовують сталі з 3% Cr (типу 4Х3МС), тому що вони краще зберігають пластичність у більших перетинах.

Для деформування мідних сплавів, виконуваного при більш високим нагріванні, потрібні сталі підвищеною теплостійкості. Для пуансонів застосовують сталі 3Х2В8Ф и 4Х5В4ФСМ. Рекомендується використовувати також сталь 6Х3В9Ф, що відрізняється високим опором поздовжньому вигину й зношування.

Для деформування сталі при ударних навантаженнях і необхідності різкого охолодження, що забезпечує інтенсивний цикл роботи, тобто в умовах, коли потрібна висока разгаростійкість, а нагрівання робочого шару не досягає високих значень, більш придатні сталі 4Х5В2ФС і типу 4Х5ВМС і 4Х3МС. Ці сталі застосовні, зокрема, для швидкісного штампування.

Для більш важких температурних умов, а також деформування важкооброблюваних сплавів необхідні сталі підвищеною теплостійкості (3Х3В8Ф, 4Х3В5М3Ф). [1]



Твердість інструмента й послідовність операцій механічної й термічної обробки визначаються його розмірами, формою й умовами експлуатації.

Для роботи при дуже високому нагріванні рекомендується сталь підвищеної теплостійкості 4X5B4ФСМ.

Для полегшених умов і при меншій нагріванні можна застосовувати більш дешеву сталь 6ХС або сталь 5ХВ2С. [5]

Гаряча пластична деформація. Знижена деформованість штампових сталей у порівнянні з конструкційними обумовлена їхньою меншою пластичністю внаслідок більш високої легуваності твердого розчину, більших кількостей карбідних фаз і ступені ліквідації при кристалізації.

Температури нагрівання під кування (прокатку) вибирають із умов досягнення найбільш високої пластичності в досить широкому інтервалі температур, що визначається хімічним складом сталі й масою зливка. Температури закінчення пластичної деформації встановлюють із обліком того, щоб уникнути утворення тріщин і підготовки необхідної структури (розміру зерна аустеніту, розподілу й дисперсності надлишкових фаз і ін.), що забезпечує високі механічні властивості після остаточної термічної обробки. Для напівтеплостійких сталей підвищеної в'язкості температури початку кування 1150–1180°C, закінчення 850–880°C. Для теплостійких штампових сталей початок кування при 1160–1180°C; кінець кування при 850–925°C [1].

При виконанні кування необхідно домагатися максимально однорідної структури. Найбільше широко застосовуваною схемою кування злитків штампових сталей (на молотах і пресах) є протягання в осьовому напрямку. Така схема деформування дає підвищену анізотропію механічних властивостей, тому рекомендується ряд схем кування, що забезпечують більш рівномірну структуру. До них відносяться: кування злитків у поперечному напрямку, комбіноване кування зі зміною операцій витяжки й опади, кування зі зміною напрямку витяжки, всебічне кування. Всебічне кування з осіданням сприяє усуненню дендритної ліквідації.

Для підвищення однорідності структури в більших заготовках з високохромістких, а також високолегованих штампових сталей для гарячого деформування рекомендується кування за наступною схемою: осаду на  $1/3$  висоти зі зворотною витяжкою до вихідних розмірів; потім 2–4 опади до розмірів  $H < D$  ( $H$  – висота,  $D$  – діаметр напівфабрикату) з витяжкою в напрямку, перпендикулярному утворюючої циліндра – напівфабрикату; оформлення остаточних розмірів [4].

Штапкові сталі, особливо високолеговані, схильні до утворення термічних тріщин при охолодженні на повітрі. Тому після кування їх прохолоджують уповільнено: у неопалюваних колодязях або термостатах; на повітрі до  $700^{\circ}\text{C}$ , а більш дрібні до  $450\text{--}500^{\circ}\text{C}$ , щоб затримати виділення карбідів по границях зерен, а потім у футерованій ямі або в піску. Можна не допускаючи охолодження нижче  $700^{\circ}\text{C}$  і  $450^{\circ}\text{C}$ , поміщати кування в піч для відпалу або високого відпуску.

Чорнова термообробка. Відпал виконують лише при необхідності здрібнювання структури злитків або великих заготовок, мало обтиснутих при пластичній деформації. В інших випадках можна обмежитися високим відпуском, після якої сталь здобуває приблизно таку ж структуру, як і після відпалу.

Призначення відпалу (відпуску) – перекристалізація сталі для здрібнювання зерна й одержання низької твердості, а також структури зернистого перліту, як найбільш задовольняючому наступному загартуванню. Найбільше доцільно застосовувати ізотермічний відпал, що включає нагрівання до температур, близьких або трохи вище  $A_{c1}$ , витримку після прогріву металу (визначається масою садки) не менш 2–3 годин, повільне охолодження з піччю до температур трохи нижче  $A_{r1}$ , витримку тривалістю 3–4 години, повільне охолодження до  $600\text{--}650^{\circ}\text{C}$ , потім на повітрі. Перевагою ізотермічного відпалу є одержання більш однорідної структури після наступного загартування, особливо для сталей з невеликим змістом карбідної фази [4].

Для напівтеплостійких сталей підвищеної в'язкості температури відпалу й високого відпуску становлять відповідно  $760\text{--}800^{\circ}\text{C}$  і  $650\text{--}690^{\circ}\text{C}$ . Дані сталі частіше піддають відпуску, чим відпалу, тому що переохолоджений аустеніт цих

сталей має особливо високу стійкість, а температура його мінімальної стійкості досить низька. Ці фактори значно збільшують тривалість відпалу, знижують швидкість коагуляції карбідів і тому ускладнюють одержання низької твердості [6].

Вольфрамові сталі для попередження псування теплостійкості краще відпускати, а не відпалювати. Вольфрамомолібденові сталі у великих куваннях відпалюють, дрібні кування раціонально відпускати. Температура відпалу становить приблизно 800–850<sup>оc</sup>, а температура відпуску 700–780<sup>оc</sup> [1].

Сталі в стані поставки. За структурною ознакою напівтеплостійкі сталі підвищеною в'язкості – доевтектоїдні або близькі до евтектоїдних (при вмісті вуглецю 0,5–0,55%). Структура їх після відпалу – пластинчастий перліт з ділянками фериту. Сталь 5ХНСВ, легована кремнієм, має твердість 217–241 НВ, інші сталі – 197–241НВ [1].

Теплостійкі сталі поставляють після відпалу; вольфрамові – частіше після високого відпуску. Структура – сорбітоподібний перліт. Карбідна неоднорідність спостерігається у вигляді полосчатості, а в перетині більш 100 мм у вольфрамових сталей можлива карбідна сітка. У структурі не допускається нафталіновий злам.

Твердість після відпалу (високого відпуску), НВ:

4Х5В2ФС, 4Х2В5ФМ, 4Х3В5М3Ф 180–220

3Х2В8Ф, 4Х8В2, 4Х5В4ФСМ, типу 3Х3В8Ф 207–255

сталі з >8% W або 5% Мо 228–262

Зневуглецьований шар не повинен перевищувати норм, зазначених ГОСТ 5959–63. Сталі необхідно перевіряти на відсутність флокенів.

Режими загартування й відпуску.

Для напівтеплостійких сталей підвищеної в'язкості температура нагрівання під загартування становить 830–870<sup>оc</sup> залежно від марки сталі з попереднім підігрівом при 600–620<sup>оc</sup>.

Температури загартування [1]:

сталь типу 27Х2НМВФ, 30Х2НМФ.....950–975<sup>оc</sup>;

сталь типу 40ХН3М.....850–870<sup>оc</sup>;

сталь типу 5ХНСВ.....	840–860°С;
сталь типу 5ХНМ, 5ХНВ, 5ХГМ.....	820 860°С.

Високий відпуск проводиться для одержання сорбітної структури (температура відпуску 500–600°С, швидкість нагрівання 40–50 град/час). Охолодження після відпуску на повітрі. Інструмент обробляється, як правило, на твердість 35–40 HRC або 40–46 HRC.

При загартуванні важливим завданням є захист від знеуглецювання; оскільки температури загартування – високі. Обов'язкове застосування заходів захисту; найбільш доцільне нагрівання в контрольованих атмосферах або у вакуумі.

Після загартування дані сталі рекомендується охолоджувати на повітрі до 950–900°С, а потім охолоджувати в маслі.

Операцію відпуску виконують негайно після загартування з метою попередження тріщин. Як правило, відпуск роблять на твердість 45 HRC у штампових сталях, призначених для висадження й видавлювання. Оскільки при нагріванні для відпуску в структурі зберігається багато аустеніту, доцільне проведення дворазового відпуску. Температура другого відпуску може бути на 10–20°С нижче, а його тривалість на 20–25% менше, ніж перший відпуск. Охолодження після відпуску проводиться на повітрі.

### 1.5 Вплив термічної обробки на властивості штампових сталей

Службові властивості штампового інструмента і його стійкість у значній мірі визначаються відповідним призначенням марки сталі, її термообробкою й умовами експлуатації інструмента.

Загартування проводиться для розчинення значної частини карбідів і одержання високолегованого мартенситу (мал. 5). Тому температури загартування – підвищені й обмежуються лише необхідністю зберегти дрібне зерно й достатню

в'язкість. Наступний відпуск викликає додаткове зміцнення внаслідок дисперсійного твердіння. Для підвищення в'язкості його виконують найчастіше при більш високих температурах на більш низьку твердість: 45–52 HRC і трооститну структуру. Сталь одержує менш легований ферит, а коагуляція карбідів, що виділилися, при відпуску протікає повніше.

Теплостійкість штампових сталей визначається складом твердого розчину. Вона зростає з підвищенням температури загартування спочатку значно, коли розчиняється більша частина вторинних карбідів, а потім більш повільно, але при значному зрісту зерна.

Нагрівання до 1100°C створює досить повне насичення аустеніту (мартенситу) і високі міцні властивості. Більший нагрів зайвий; він вже мало поліпшує теплостійкість, але викликає значний ріст зерна в сталі 3X2B8Ф до бала 8 (при 1150°C) і сильно погіршує в'язкість, пластичність і разпалостійкість.

З підвищенням нагрівання в області більш низьких температур вони зростають через розчинення комплексних карбідів (підвищується легованість аустеніту й насиченість його вуглецем), а після більш високого нагрівання знижуються через зріст зерна й напруг. Однак міцність відпущеної сталі зростає з підвищенням температури загартування завдяки зміцнюючому впливу дисперсних карбідів, що виділяються при відпуску.

Розглянемо вплив температури відпуску. Відпуск 200–350°C небагато знижує твердість через виділення й коагуляції цементитного карбиду. Відпуск сталі 4X5B2ФС при 530–550°C, а сталі типу 4X5МС при 480–500°C створює вторинну твердість; вона зростає на 0,5–1HRC внаслідок дисперсійного твердіння.

При 500–550°C виділяється проміжний карбід типу  $Me_2C$ . Вище 550–600°C виділяється карбід  $Me_6C$  у сталях з вольфрамом і карбіди  $Me_{23}C$  і  $Me_6C$  у сталях з молібденом. Відпуск вище 600–625°C підсилює коагуляцію карбідів.

Твердість штамів раціонально встановлювати рівної 47–50HRC. При більшій твердості швидше утворюються тріщини розпалу, а при меншій знижується зносостійкість.

Характерний вплив температури загартування на границю текучості відпущеної сталі. З підвищенням нагрівання границя текучості підвищується, що викликано більш повним розвитком дисперсійного твердіння при відпуску. Подальше нагрівання знижує границю текучості, тому що вплив наступаючого інтенсивного зростання зерна стає переважним.

В'язкість відпущеної сталі змінюється залежно від температури загартування подібно міцності, але максимум, що досягається, в'язкості зрушають до більш низьких температур. Загартування з невисоких температур підвищує в'язкість завдяки розчиненню карбідів, що присутні у відпаленій сталі по границях зерен. При підвищенні температур загартування в'язкість зменшується через посилення при відпуску дисперсійного твердіння й утворення більш легovanого мартенситу.

Дисперсійне твердіння, що проходить при відпуску, знижує в'язкість. Штампи необхідно відпускати трохи вище температур розвитку дисперсійного твердіння для підвищення в'язкості й пластичності. В'язкість і пластичність у великому ступені визначають разгаростійкість сталей із трооститною структурою; вона зростає при їхньому підвищенні.

Зміна щільності сталі й лінійних розмірів зразків характеризується тим, що ці параметри з підвищенням температури спочатку збільшуються, а потім зменшуються внаслідок впливу зростаючого кількості залишкового аустеніту.

Відносне звуження штампових сталей – не нижче 25% при 20°C і 30–40% (у деяких вольфрамових 8–10%) при 650°C.

Дефекти, які можуть виникнути при термообробці, також впливають на властивості й структуру сталей.

Знеуглецювання може викликати тріщини внаслідок різниці об'ємних змін, що відбуваються при загартуванні в знеуглецьованому й нижчих шарах, що різко знижує стійкість інструмента.

Вольфрамові і вольфрамомолібденові сталі чутливі до утворення нафталіністого зламу. Сталь із таким дефектом має крупне зерно, у багато разів переважаюче зерно нормальної сталі; одночасно можуть бути присутнім і більш

дрібні зерна. Сталь із нафталіністим зломом не відрізняється по твердості й теплостійкості від сталі з нормальним зломом, але має знижену в'язкість і стійкість.

Причина виникнення нафталіністого зламу – виконання вторинного загартування без проміжного високого відпуску (або відпалу). Усунути нафталіністий злам і відновити нормальну в'язкість складно. Потрібний багаторазовий і тривалий відпал або ще більш тривалий відпуск.

### 1.6 Умови роботи та основні причини виходу зі строю гарячих штамів

Штамп є складним і дорогим інструментом. Для зменшення витрат на штампи необхідно прагнути до зниження їх вартості й підвищенню стійкості.

Зниження вартості штамів можна добитися за рахунок удосконалювання технології їх виготовлення й застосування нових, більш дешевих і стійких марок штампової сталі.

Збільшення стійкості штамів досягається вибором правильної конструкції й матеріалу штампа, гарною обробкою робочої поверхні струмків, належним станом устаткування й правильною експлуатацією штампа.

Штамп гарячого деформування в процесі експлуатації перебувають у складних і жорстких умовах навантаження, для яких характерні:

- 1) збільшені діючі напруження, рівень яких наближається до границі плинності штампових сталей;
- 2) високі температури нагрівання, близькі або в ряді випадків переважаючі температури фазових перетворень штампових сталей у твердому стані;
- 3) циклічний вплив напруг від знакозмінних зусиль деформування, термічних, обумовлених умовами нагрівання й охолодження штамів, а також напруг, викликаних фазовими перетвореннями;

4) хімічний вплив деформованих матеріалів, яке особливо проявляється в процесі пресування й напіврідкого штампування.

Основними причинами виходу штампів з ладу є стирання, зминання й розпал поверхневого шару.

Стирання являє собою механічне віднесення часток металу штампа штапованим металом. Стирання відбувається в місцях інтенсивного переміщення металу — на обломному містку, на перехідних радіусах закруглення.

Зминання окремих елементів штампа відбувається внаслідок тиску гарячого металу, а також підвищення температури штампа до температури відпуску й вище. У першу чергу зминанню зазнають виступаючі частини штампа.

Багаторазова зміна температури штампа в процесі штампування веде до незворотних змін у його поверхневому шарі, до утворення тріщин розпалу і до виходу штампа з ладу. Підвищення стійкості досягається наплавленням штампа спеціальними електродами, застосуванням методів дифузійного зміцнення й інших зміцнюючих процесів.

Однієї з основних причин руйнування штампів гарячого деформування є поява на їхній робочій поверхні сітки тріщин розпалу, викликаних різкими коливаннями температури й напруг у поверхневому шарі штампа. Тріщини розпалу породжують поверхнєве викрашування, що приводить до втрати точності й руйнуванню штампа.

Стійкість штампів значною мірою залежить від стану встаткування, особливо від правильної форми опорних поверхонь штампотримателя й довбні. Штмп, що опирається не на всю опорну поверхню хвостовика, при ударі може розколотися.

У першу групу входять сталі, що містять відносно невелику кількість хрому, молібдену і (або) вольфраму та характеризуються невисокою теплостійкістю (500 – 560°C). Разом з тим завдяки легуванню нікелем (марганцем) вони мають високу прогартовуваність і характеризуються підвищеною в'язкістю, що дозволяє використати їх як матеріали для молотових штампових кубиків і вставок. Основними серед цієї підгрупи є сталі типу 5ХНМ (5ХНВ), однак їхнє



застосування для виготовлення штамповок із матеріалів, що важко деформуються, як правило, не забезпечує необхідної стійкості робочого інструмента.

Нижче розглянуті сталі другої та третьої груп, що використовуються для виготовлення важконавантаженого пресового інструмента. За структурною ознакою в рівноважному стані розглянуті сталі відносяться до заевтектоїдного класу, у нормалізованому – до мартенситного. Після відпалу їхня структура уявляє собою сорбітоподібний перліт і надлишкові карбіди. Розподіл надлишкових карбідів у порівнянні з високовуглецевими сталями відносно рівномірне, карбідна неоднорідність не перевищує бала 2 (за шкалою №3 ГОСТ 5950–73), у сталей групи III з високим вмістом вольфраму (більше 8 %) – бала 3. Структура гартування – пересичений твердий розчин вуглецю в  $\alpha$ -залізі і відносно невелика кількість надлишкових карбідів (2–10%) та залишкового аустеніту (5–12%), що залежать від сумарного вмісту легувальних елементів. Після відпуску сталі цих груп мають структуру троостита. Характерна риса розглянутих сталей – схильність до дисперсійного (вторинного) твердіння при температурі відпуску 500 – 550°C внаслідок виділення спеціальних карбідів. При цьому одночасно можуть бути присутні карбіди з різними кристалічними ґратками.

В кристалічних ґратках карбідів комплекснолегованих сталей наведених типів, зазвичай, містяться всі карбідоутворюючі елементи з перевагою якого-небудь одного. Так, карбід  $M_{23}C_6$  може мати у своєму складі до 73% хрому, до 20 % вольфраму, до 13 % молібдену, до 18 % ванадію, до 40 % заліза.

Друга група представлена комплекснолегованими сталями, що містять вуглець (0,25 – 0,55 %), кремній (0,1 – 1,2 %), молібден (1,0 – 3,5 %), вольфрам (1,0 – 2,5 %), ванадій (0,1 – 1,2 %). Деякі сталі леговані додатково нікелем або марганцем (до 1,5 %) для збільшення прогартуваності та пластичності. Однак, нікель, прискорюючи процес виділення карбідів по межах зерен аустеніту при температурах 650-750°C, збіднює твердий розчин на карбідоутворюючі елементи і, тим самим, знижує теплостійкість сталі [14].

Ці сталі використовують як матеріал для виготовлення невеликих молотових і пресових штампів і вставок при серійному та масовому виробництві штамповок. Маючи необхідний комплекс механічних характеристик та експлуатаційних властивостей (підвищена в'язкість, збереження високої міцності при нагріві до 650°C, мала схильність до знеміцнення), вони з успіхом застосовуються в умовах впливу великих динамічних навантажень і змінних температур.

Типовими представниками цієї групи є сталі 4X5MФC та 3X3M3Ф, які виробляються в усіх розвинених країнах. При цьому в деяких стандартах є кілька модифікацій цих марок. Так у сталь 4X5MФC додатково вводять вольфрам (1,0 - 1,7 % для підвищення теплостійкості) або збільшують вміст ванадію (з 0,2 - 0,7 до 0,8 - 1,2% для підвищення теплостійкості, зменшення схильності до перегріву при аустенізації). В англійському стандарті є сталь 3X3M3Ф, додатково легована кобальтом (3,0 %).

Крім сталей 4X5MФC і 3X3M3Ф у нашій країні для зазначених цілей широко використовуються сталі 4X4BMФC (ДИ22) і 4X3BMФ. Марки сталей, близькі до них по легуванню і властивостям, є в стандартах інших країн.

Сталі високої теплостійкості (третя група) мають підвищену масову частку сильних карбідоутворювальних елементів – вольфраму, молібдену та ванадію, і внаслідок цього більш високу теплостійкість і гарячу зносостійкість. Однак, при цьому зменшуються характеристики пластичності і в'язкості, підвищується чутливість до масштабного фактору (швидкості охолодження при гартуванні). Тому ці сталі використовують переважно для виготовлення важконавантажених пресових інструментів, що працюють в умовах розігріву поверхні гравюри до 680 – 700 °

## 2 МАТЕРІАЛИ ТА МЕТОДИКИ ДОСЛІДЖЕНЬ

### 2.1 Матеріали для досліджень

В даній роботі для досліджень використовували сталь 4Х4ВМФС (ДИ22) (ГОСТ 5950-73) як найбільш широко застосовувану в промисловості та експериментальні сталі. Ці сталі виплавлялись у відповідності з планом експерименту у виді зливків вагою 50кг у лабораторних умовах. Зливки кували на сорт (квадрат 35 мм).

Зливки перед куванням відпалювали в електричній камерній печі СНО за режимом: нагрівання зі швидкістю 100-120 °С/год до температур 850-870 °С, витримка 3-3,5 год, охолодження з піччю до 640-660 °С, витримка 2-3 год, охолодження зі швидкістю 50-70 °С/год до 400-500 °С, потім на повітрі.

Термічну обробку зразків здійснювали на лабораторному устаткуванні (електричні камерні печі), оснащеними контрольно-вимірювальними приладами (потенціометри ЭПД-120, ЭПП-09М). Точність регулювання становила  $\pm 8-10$  °С на гартівному устаткуванні та  $\pm 3$  °С. В окремих випадках (наприклад, при дослідженні теплостійкості) точність регулювання становила  $\pm 1$  °С при контролі переносним потенціометром ПП-63 (клас точності 0,05).

Хімічний склад експериментальних штампових сталей близький до серійної сталі 4Х4ВМФС. Тому в даній роботі використовували технології виплавки, прокатки та термічної обробки цих сталей такі ж як і для ДИ22.

### 2.2 Методики досліджень

Хімічний аналіз дослідних сталей здійснювали за стандартними методиками, відповідних ГОСТів.

Визначали номер зерна аустеніту при нагріванні під гартування (ГОСТ 5639-82), твердість після гартування та відпуску (HRC, ГОСТ 9013-59), механічні властивості при випробуваннях на розтяг ( $\sigma_b$ ,  $\sigma_{0,2}$ ,  $\delta$ ,  $\psi$  ГОСТ 1497-73 при

кімнатній температурі, ГОСТ 9651–73 при підвищеній температурі випробувань) і ударному згині (КСУ, ГОСТ 9454-78 при кімнатній і підвищеній температурах).

При визначенні оптимальних температур гартування зміну розміру зерна аустеніту визначали методом січних за ГОСТ 5639-65 на мікрофотографіях, отриманих на високотемпературному мікроскопі "MEF".

Теплостійкість  $T_{HRC40}$  визначили як температуру додаткового відпуску тривалістю 4 год (виконується після гартування від оптимальних температур і відпуску на задану твердість – у нашому випадку 46-50 HRC), що забезпечує збереження твердості 40 HRC.

Для вибору раціонального хімічного складу сталі застосовували метод лінійного програмування. Лінійне програмування - це наука про методи дослідження та знаходження екстремальних (найбільших та найменших) значень лінійної (цільової) функції, на аргументи котрої накладені обмеження у виді лінійних функцій та значень певних параметрів. Лінійне програмування дає можливість за допомогою ЕОМ розрахувати раціональний хімічний склад сталі та зберегти основні механічні властивості на потрібному рівні. Для цього необхідно встановити необхідні математичні моделі.

Тому провели планування експерименту та побудували математичні моделі, що описують залежності між хімічним складом та досліджуваними властивостями. Математична модель – система математичних відношень, які описують досліджуваний процес або явище, це вид функції відгуку

$$y=f(x_1, x_2, \dots, x_k).$$

Для визначення параметра оптимізації та вибору схеми планування експерименту заздалегідь вивчили об'єкт дослідження на основі апріорної інформації, котру отримали, при вивченні літературних даних та аналізуванні результатів раніш проведених робіт. Відтворюваність результатів експерименту оцінювали на основі багатократних вимірювань характеристик сталі ДИ22.

За параметр оптимізації обрали теплостійкість. Ця властивість є основною для штампів гарячого деформування. Визначили фактори, що мають найбільший вплив на параметр оптимізації.

В області експерименту встановили основні рівні та інтервали варіювання факторів. Основним або нульовим рівнем фактора називають його значення, прийняте за вхідне в плані експерименту. Основні рівні обирали таким чином, щоб їх значення забезпечили величину параметра оптимізації, за можливістю найбільш близьку до оптимальної.

Інтервалом варіювання фактора називають число (окремо для кожного фактора), додавання якого до основного рівня дає верхній рівень фактора, а віднімання – нижній. Інтервал варіювання не може бути обраний менше похибки, з якої експериментатор фіксує рівень фактора, а також не може бути настільки великим, щоб верхній або нижній рівні виходили за межі області визначення фактора [31].

Для зручності запису умов експерименту та обробки експериментальних даних рівні факторів кодували. В кодованому вигляді верхній рівень позначали +1, нижній -1, а основний 0. Кодоване значення фактора визначали за формулою

$$x_i = \frac{x_{i\text{нат}} - x_{i0\text{нат}}}{\Delta x_{i\text{нат}}},$$

де  $x_{i\text{нат}}$  – натуральне значення і-го фактора,

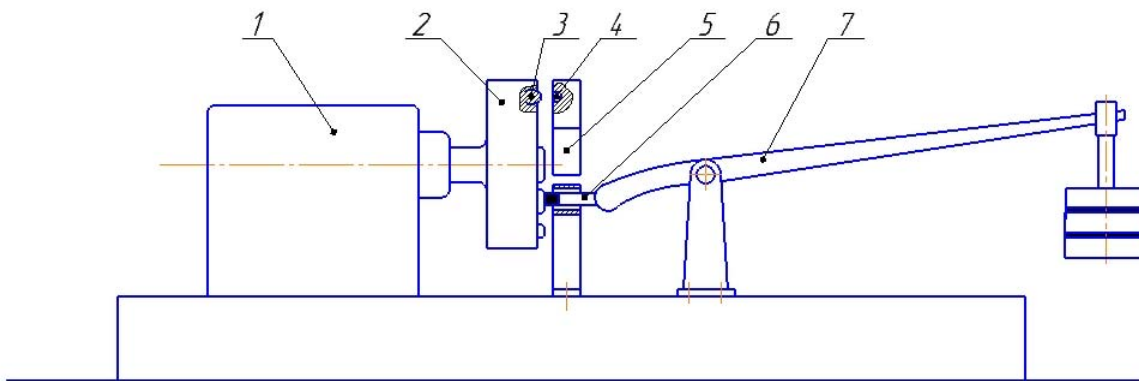
$x_{i0\text{нат}}$  – натуральне значення основного рівня і-го фактора,

$\Delta x_{i\text{нат}}$  – інтервал варіювання і-го фактора.

Факторний експеримент здійснювали за допомогою матриці планування, в якій використовували кодовані значення факторів.

8) за допомогою критерію Фішера перевіряли гіпотезу щодо адекватності знайденої моделі. Якщо виконувалась нерівність  $F_p < F_T$ , то модель вважали адекватною.

Зносостійкість штампових сталей вивчали за допомогою спеціальної установки на базі токарно-затилочного верстата, рис. 2.1. У спеціальне пристосування (сепаратор), що кріпиться до планшайби, встановлювали по 12 зразків, рис. 2.2. Обертаючись разом з сепаратором, зразки проходили через нагрівальну піч, а потім вступали до контакту із вставкою з твердого сплаву ВК-8, до якої застосовували певне навантаження ( $178 \text{ Н / мм}^2$ ). Один оборот шпинделя тривав 1,2 хв. З них  $2/3$  часу нагрівання до  $600^\circ \text{C}$ ,  $1/3$ - охолодження до  $450^\circ \text{C}$ . Таким чином, цикл складався з нагріву, стирання і охолодження. Зносостійкість оцінювали втратою ваги зразка після певної кількості циклів. Наведена схема дозволяє оцінити вплив на зносостійкість процесів пошкоджуваності поверхні в наслідок розвитку явищ термоусталості / 48 /.



1-Привід планшайби; 2 планшайба; 3 зразок; 4 спіральний нагрівач; 5 секторная піч радіаційного нагріву; 6 контртіло з твердосплавною вставкою; 7- важіль механізму навантаження; 8- станина.

Рисунок 2.1 – Схема установки для випробувань на гаряче стирання

Для проведення випробувань на даній установці виготовляли спеціальні зразки (рис.2.2).

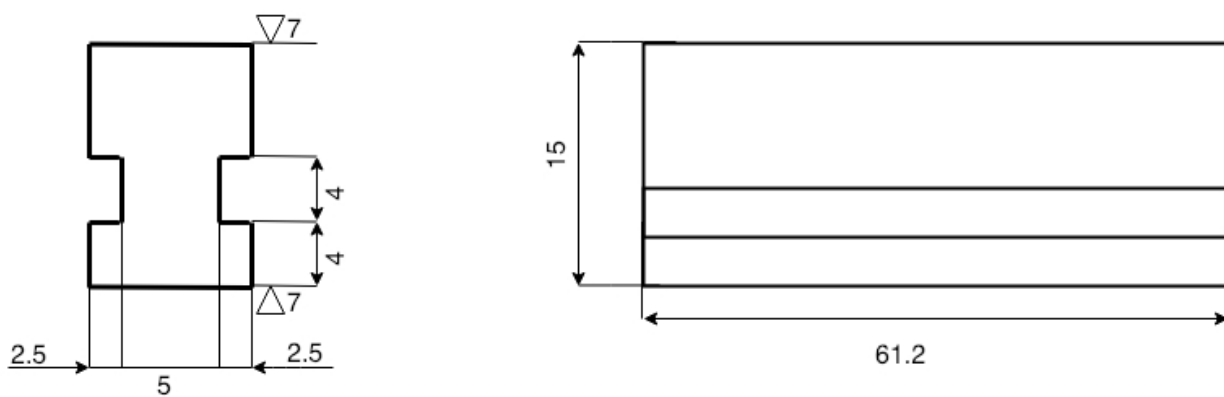


Рисунок – 2.2 Зразок для випробувань на стирання

Всі інші дослідження проводили за стандартизованими методиками.

### 3 ОПТИМІЗАЦІЯ ХІМІЧНОГО СКЛАДУ ШТАМПОВОЇ СТАЛІ

#### 3.1 Оптимізація складу теплостійких штампових сталей

В даному підрозділі перевіряли можливість розрахунку складу сталей для важконавантажених штампів КГШП з використанням методів математичного моделювання за принципом «компромісу». При цьому мали за мету отримання максимальних значень властивості (в даному випадку теплостійкості), що чинить найбільш суттєвий вплив на експлуатаційний ресурс даного інструмента, при збереженні інших характеристик на мінімально допустимому рівні, який забезпечує необхідну конструкційну міцність інструмента. Вирішення цього завдання розділили на чотири послідовних етапи. Перший із них включає вибір параметра оптимізації і необхідних значень основних властивостей сталі, другий – знаходження функціональних залежностей між даними властивостями та хімічним складом, третій – оптимізація складу сталі за обраним параметром методом лінійного програмування і четвертий – експериментальна перевірка правильності отриманого рішення.

На підставі аналітичних досліджень кореляційних залежностей між основними та експлуатаційними властивостями штампових сталей для гарячого деформування, а також аналізу причин виведення з експлуатації великої кількості промислових штампів КГШП із різних матеріалів встановили, що їхня стійкість визначається, в основному, рівнем теплостійкості сталі [1]. Тому останню обираємо як параметр оптимізації.

Конструкційна міцність штампів КГШП, окремі елементи яких при експлуатації піддаються динамічним навантаженням та розігріваються до 550 – 600 °С, більше обумовлюється рівнем границі плинності та пластичності при розтязі та ударній в'язкості. Мінімально допустимі значення перелічених характеристик, прийняті в результаті оцінки залежностей між властивостями стандартних сталей і стійкістю виготовлених із них штампів КГШП наступні:

- при 20 °С  $\sigma_{0,2} \geq 1560$  МПа,  $KCU \geq 40$  Дж/см<sup>2</sup>;  $\psi \geq 25\%$ ;



- при 600 °C  $\sigma_{0,2} \geq 850$  МПа,  $KCU \geq 55$  Дж/см<sup>2</sup>;  $\psi \geq 50\%$
- теплостійкість  $T_{HRC40} \geq 650$  °C.

Для отримання рівнянь регресії «властивість – склад» провели дослідні за умовами приведеними у таблиці 3.1.

Таблиця 3.1 Умови проведення дослідів для отримання залежностей між властивостями сталей і хімічним складом

Кодові позначення факторів	$x_1$	$x_2$	$x_3$	$x_4$	$x_5$	$x_6$
Натуральні позначення факторів	C	Si	Cr	W	Mo	V
Основний рівень ( $x_{i0}$ )	0,40	0,93	3,80	1,20	1,04	1,04
Верхній рівень ( $x_i=+1$ )	0,50	1,33	4,85	1,60	1,51	1,49
Нижній рівень ( $x_i=-1$ )	0,30	0,53	2,75	0,80	0,57	0,59
Інтервал варіювання ( $\Delta x_i$ )	0,10	0,40	1,05	0,40	0,47	0,45

Розглядали дослідні сталі, хімічний склад яких заданий у відповідності з 1/8 репліки типу  $2^{6-3}$  (табл. 3.2).

Таблиця 3.2 Хімічний склад дослідних сталей у відповідності з 1/8 репліки типу 2<sup>6-3</sup>

Марка сталі	Масова частка елементів, %					
	0,30	0,42	2,80	0,81	0,53	0,60
5X5BMФ2С	0,51	0,65	4,80	0,81	0,60	1,42
5X3В2М2ФС	0,51	0,49	2,75	1,47	1,48	0,65
3X5BM2ФС2	0,31	1,20	4,70	0,70	1,45	0,60
3X3В2МФ2С	0,30	1,25	2,68	0,75	1,61	1,53
3X5В2М2Ф2С	0,50	1,20	5,00	1,64	0,57	0,55
5X5В2МФС2	0,49	1,36	2,80	0,90	1,52	1,50
5X3BM2Ф2С2	0,31	0,58	4,90	1,58	1,60	1,46
4X4BMФС	0,40	0,94	3,68	1,25	1,08	1,12
4X4BMФС	0,41	0,92	3,51	1,29	1,19	1,03
4X4BMФС	0,38	1,03	3,72	1,17	1,01	0,92

Твердість та розмір зерна аустеніта дослідних сталей в залежності від температури гартування наведено в таблиці 3.3. Видно, що всі сталі за виключенням марки 3X3В2МФ2С, характеризуються достатньо високою загартовуваністю і стійкістю проти зростання зерна при нагріванні. З метою обмеження кількості факторів варіювання, зменшення кількості дослідів та спрощення наступних розрахунків рівнянь регресії температуру гартування всіх дослідних сталей прийняли однаковою, рівною 1120 °С.

Результати дослідження твердості дослідних сталей в залежності від температури 2-годинного відпуску, їхні механічні властивості та теплостійкість після відпуску на твердість 48 – 51 HRC (яку рекомендовано для важконавантажених штампів [1]) наведено в таблиці 3.4 та 3.5 відповідно.

Таблиця 3.3 – Бал зерна аустеніта та твердість після гартування дослідних сталей в залежності від температури аустенізації

Марка сталі	Температура аустенізації, °C	Бал зерна аустеніта	Твердість, HRC
4X4BMΦC	1050	12	55
	1070	11	57
	1100	10	57
	1130	10	56
3X3BMΦC	1050	12	52
	1070	11-10	50
	1100	10	51
	1130	10	52
5X5BMΦ2C	1050	11	61
	1070	11	64
	1100	11	62
	1130	10	59
5X3B2M2ΦC	1050	12-11	60
	1070	11	60
	1100	10	60
	1130	10-9	58
3X5BM2ΦC2	1050	12-11	56
	1070	11-10	55
	1100	10	52
	1130	10-9	50
3X3B2MΦ2C	1050	12-11	48
	1070	12-11	49
	1100	12-11	50
	1130	11	48
3X5B2M2Φ2C	1050	11	60
	1070	10	57
	1100	9-10	57
	1130	9	55
5X5B2MΦC2	1050	11	60
	1070	11-10	59
	1100	9-10	59
	1130	9	59
5X3BM2Φ2C2	1050	12	54
	1070	12-11	54
	1100	12-11	56
	1130	12-11	57

Таблиця 3.4 – Твердість (HRC) дослідних сталей для штампів в залежності від температури 2-годинного відпуску (температура гартування 1120 °С, з охолодження в олії)

Марка сталі	Температура відпуску, °С											
	без відпуску	200	300	400	450	500	550	600	620	650	670	700
4X4BMΦC	59	59	58	58	59	59	61	56	51	47	42	39
3X3BMΦC	52	44	46	47	48	48	47	46	44	43	35	34
5X5BMΦ2C	60	59	55	57	56	58	58	52	47	44	37	36
5X3B2M2ΦC	60	57	56	56	56	58	58	57	53	52	45	43
3X5BM2ΦC2	52	52	53	54	55	56	54	51	48	34	32	28
3X3B2MΦ2C	52	51	52	51	53	53	53	49	48	45	40	36
3X5B2M2Φ2C	59	58	56	56	60	61	60	55	49	47	40	36
5X5B2MΦC2	60	58	55	59	57	57	55	54	48	47	43	35
5X3BM2Φ2C2	58	57	52	52	52	53	52	50	49	48	40	36

Таблиця 3.5 – Механічні властивості дослідних сталей в залежності від температури 2-годинного відпуску (температура гартування 1120 °С, охолодження в олії)

Марка сталі	t <sub>відп.</sub> , °С	HR С	T <sub>HRС40</sub> °С,	Температура відпуску, °С														
				σ <sub>0,2</sub> , МПа			σ <sub>B</sub> , МПа			δ, %			ψ, %			КСУ, Дж/см <sup>2</sup>		
				20	600	650	20	600	650	20	600	650	20	600	650	20	600	650
3Х3ВМФС	560	46	630	1490	1020	770	1410	910	630	11	11	12	51	44	33	60	65	65
5Х5ВМФ2С	610	50	642	1730	1000	740	1560	860	550	6	16	17	12	53	46	35	50	90
5Х3В2М2ФС	650	50	670	1700	1010	830	1620	850	680	8	14	19	15	60	46	20	30	40
3Х5ВМ2ФС2	600	50	630	1760	980	690	1660	850	550	11	18	19	50	68	74	45	85	110
3Х3В2МФ2С	610	48	650	1500	840	680	1360	720	560	12	14	16	47	47	45	45	75	105
5Х5В2МФС2	620	49	645	1760	950	740	1470	750	570	8	19	22	32	67	71	20	35	60
5Х3ВМ2Ф2С2	630	50	655	1810	970	710	1700	830	660	13	16	17	44	54	57	30	55	70
3Х5В2М2Ф2С	620	49	660	1810	1010	760	1630	880	630	11	17	19	41	57	47	55	65	80
4Х4ВМФС	620	50	651	1770	1000	780	1720	840	710	10	17	17	46	56	62	45	60	78
4Х4ВМФС	620	50	652	1780	990	780	1730	810	690	9	15	17	42	53	65	40	60	80
4Х4ВМФС	620	49	647	1760	980	770	1680	800	680	13	16	18	38	57	71	48	68	85

За отриманими даними розраховували коефіцієнти лінійних рівнянь типу:

$$Y = b_0 + b_1x_1 + b_2x_2 + b_3x_3 + b_4x_4 + b_5x_5 + b_6x_6,$$

котрі переведені із кодованого в натуральний масштаб за формулою:

$$x_i = \frac{x_{i\text{нат}} - x_{i0\text{нат}}}{\Delta x_{i\text{нат}}}.$$

Матриці планування та розраховані значення коефіцієнтів регресії в натуральному масштабі наведені в таблиці 3.6

Видно, що всі використані для подальших розрахунків лінійні рівняння регресії адекватні ( $F^{\text{розр}} < F^{\text{табл}}$ ), при деяких елементах коефіцієнти незначні. Так, несуттєвим в межах варіювання опинився вплив кремнію, хрому, молібдену і ванадію на ударну в'язкість при кімнатній температурі випробувань. При підвищенні температури їхній вплив зростає. Вольфрам та, особливо, вуглець негативно впливають на характеристики ударної в'язкості, а ванадій, внаслідок зменшення розміру зерна – позитивно. Важливо також, що за рівняннями регресії можна встановити відносну силу впливу легувальних елементів на механічні властивості та теплостійкість.

Оптимізацію складу сталі для штампів виконували за допомогою симплексного методу лінійного програмування. Як цільову функцію використовували функцію теплостійкості, яка в натуральному масштабі має наступний вигляд:

$$T_{\text{HRC}40} = 587,1 + 58,0C - 2,9Si - 2,7Cr + 13,0W + 14,1Mo + 5,3V.$$

Хром і кремній враховані у розрахунках з метою оптимізації їхнього вмісту, так як вони мають в деяких випадках значні коефіцієнти в рівняннях регресії, що пов'язують  $\sigma_{0,2}$ ,  $\psi$  та КСУ із вмістом цих легувальних елементів.

Для забезпечення достатньої конструктивної міцності штампів при знаходженні максимуму цільової функції прийняли наступні обмеження механічних властивостей:

- при 20 °C  $\sigma_{0,2} \geq 1560$  МПа, КСУ  $\geq 40$  Дж/см<sup>2</sup>,  $\psi \geq 25\%$ ;
- при 600 °C  $\sigma_{0,2} \geq 850$  МПа, КСУ  $\geq 55$  Дж/см<sup>2</sup>,  $\psi \geq 50\%$

та хімічного складу, (%мас.): C (0,3-0,5); Si (0,5-1,3); W (0,5-1,5); Mo (0,5-1,5); V (0,5-1,5).

Вказані обмеження в термінах лінійного програмування наведені в таблицях 3.7 та 3.8.

Завдання визначення максимуму цільової функції вирішували на ЕОМ за стандартною програмою.

Отримано наступний хімічний склад сталі, що забезпечує досягнення максимальної теплостійкості ( $T_{\text{HRC}40} = 665 \text{ } ^\circ\text{C}$ ) при вказаних вище обмеженнях (табл. 3.9)

Таблиця 3.6 – Значення коефіцієнтів регресії в натуральному масштабі

Властивості	Температура випробування, °C	Коефіцієнти регресії для елементів							Дисперсія дослідів, $S_y$	Довірчий інтервал, $\Delta b_i$	Критерій Фішера, F
		$b_0$	$b_1(C)$	$b_2(Si)$	$b_3(Cr)$	$b_4(W)$	$b_5(Mo)$	$b_6(V)$			
$\sigma_{0,2}$ , МПа	20	1255	374	-7	2,7	-59	215	25	26,4	40,2	2,2
	600	885	52	-71	7	-52	50	-11	20,9	31,7	12,6
	650	628	129	-36	-28	14	53	-5	21,2	32,2	3,4
$\psi$ , %	20	118,9	-125	9,6	-6,0	-14,9	0,8	-1,4	4,0	6,1	18,2
	600	25,1	23	4,9	4,7	2,8	7,4	-7,8	2,1	3,2	3,6
	650	-19,3	27,1	16,7	6,7	-0,2	7,7	8,0	4,5	6,9	5,1
КСУ, Дж/см <sup>2</sup>	20	92,5	-117	-6	0	-7	-2	5	4,0	6,1	2,6
	600	126,5	-150	-8	0	-10	2	9	4,9	7,5	10,4
	650	86,0	-125	16	6	-11	-7	18	3,6	5,5	37,4
$T_{HRC40}$ , °C	-	587,1	58	-2,9	-2,7	13,0	14,1	5,3	2,6	4,0	16,2

Примітка:  $F^{\text{табл}} = 19,2$ .



Таблиця 3.7 – Обмеження при оптимізації складу сталі для штампів у термінах лінійного програмування (масштаб натуральний)

Температура випробувань, °C	Коефіцієнти цільової функції							Обмеження області пошуку
	b <sub>0</sub>	b <sub>1</sub>	b <sub>2</sub>	b <sub>3</sub>	b <sub>4</sub>	b <sub>5</sub>	b <sub>6</sub>	
	Фактори							
		C	Si	Cr	W	Mo	V	
Коефіцієнти залежності T <sub>HRC40</sub> від хімічного складу								
	587,1	58	-2,9	-2,7	13,0	14,1	5,3	
Коефіцієнти залежності KCU від хімічного складу								
20	92,5	-117	-6	0	-7	-2	5	≥40 Дж/см <sup>2</sup>
600	126,5	-150	-8	0	-10	2	9	≥55 Дж/см <sup>2</sup>
Коефіцієнти залежності σ <sub>0,2</sub> від хімічного складу								
20	1255	374	-7	27	-59	215	25	≥1560 МПа
600	885	52	-71	7	-52	50	-11	≥850 МПа
Коефіцієнти залежності ψ від хімічного складу								
20	118,9	-155	9,6	-6	-14,9	0,8	-1,4	≥25%
600	25,1	23	4,9	4,7	2,8	7,4	7,8	≥50%
		C						≤0,5%
		C						≥0,3%
			Si					≤1,3%
			Si					≥0,5%
				Cr				≤4,5%
				Cr				≥2,5%
					W			≤1,5%
					W			≥0,5%
						Mo		≤1,5%
						Mo		≥0,5%
							V	≤1,5%
							V	≥0,5%

Таблиця 3.8 – Хімічний склад дослідної сталі (% мас.)

Марка сталі	C	Si	Cr	W	Mo	V
4X3BMФC	0,38-0,45	0,6-1,0	2,5-3,0	1,3-1,7	1,3-1,7	1,3-1,6

Розрахункові значення властивостей сталі порівняли з експериментальними, отриманими на металі лабораторного виробництва (прутки перерізом 35\*35 мм, що отримали із зливка масою 50кг).

Твердість дослідної сталі після гартування з 1120 °C з охолодженням в олії в залежності від температури відпуску та механічні властивості при різних температурах випробувань наведені в таблиці 3.9.

Таблиця 3.9 – Механічні властивості дослідної сталі (температура гартування 1120 °C, охолодження в олії, температура відпуску 640 °C)

Марка сталі	$t_{\text{випр}}$ , °C	Механічні властивості					$T_{\text{HRC40}}$ , °C
		$\sigma_B$ , МПа	$\sigma_{0,2}$ , МПа	$\delta$ , %	$\psi$ , %	KCU, Дж/см <sup>2</sup>	
4X3BMФC	20	— 1830	<u>1622</u> 1620	— 10,5	<u>26,7</u> 40,5	<u>40</u> 40	<u>665</u> 670
	600	— 1085	<u>842</u> 915	— 16,0	<u>51,7</u> 52,0	<u>55</u> 50	

Примітка: в чисельнику надані розрахункові значення, в знаменнику – експериментальні.

З таблиці видно, що розрахункові та експериментальні значення досить близькі, що свідчить про доцільність прийнятих в розрахунках припущень.

Таким чином, за результатами лабораторних досліджень можна зробити висновок, що розрахований хімічний склад сталі типу 4X3BMФC близький до оптимального. Далі проводили порівняльні дослідження властивостей сталей ДИ22 та 4X3BMФC (ДИ71) на зношування за описаною методикою в розділі 2.

При цьому встановили, що опір зношуванню сталі з оптимізованим хімічним складом приблизно у 1,4 рази вищий порівняно з таким же показниками для сталі ДИ22.

## 4. ЕКОНОМІЧНА ЧАСТИНА

### 4.1 Тенденції розвитку світового ринку технологій

Ринок технологій є найважливішим фактором сучасної міжнародної економіки.

Сучасна ринкова середовище характеризується тим, що технології, безперервно розвиваючись, змінюють ринок, формуючи нові потреби і видозмінюючи зв'язані технологічні ланцюжки.

Світові ринки технологій служать своєрідним полігоном, на якому проходять вирішальні випробування і здійснюється відбір нововведень, що розробляються в науково-дослідних і виробничо-технічних підрозділах різних країн.

На думку деяких західних учених, економічний підйом після енергетичної кризи 70-х рр.. XX ст. був викликаний не досягненнями фундаментальної науки, а зростаючою роллю нововведень у підвищенні промислової конкурентоспроможності та розвитком світових ринків технологій. Технологічні нововведення породжують нові способи виробництва та споживання, зачіпають всі сектори економічного і соціального життя і має за основу свого втілення гнучкі і централізовані підприємства, здатні швидко пристосовуватися до ринку і відповідати на потреби кінцевого споживача.

Глобальний ринок термообробки тільки в Машинобудуванні оцінюється в 0,9-1 млрд. Доларів США. Причому, за нашою оцінкою, в Україні практично 99% вартості на цьому ринку створюють підприємства, що випускає кінцеву продукцію (машини та обладнання).

На відміну від вітчизняної практики, досвід розвинених країн показує, що близько 15% ринку термообробки зайнято комерційними центрами. Ці центри надають послуги не тільки з традиційних видів ТО і ХТО (загартування, цементації і азотування), але і по інноваційних методів ХТО (типу Arcor, Tenifer,

Durofer, Stanal 400 і ін.) з метою отримання граничних характеристик поверхневого шару оброблених деталей.

Вважаючи, що розвиток ринку термообробки в Україні піде тим самим шляхом, що і в розвинених країнах, можна зробити прогноз, що обсяг ринку комерційної термообробки в Україні може становити ті ж 15% від обсягу всього ринку, тобто досягати 140-150 млн. доларів. На даний момент цей ринок комерційної термообробки практично порожній, що дає можливість його наповнення в розумні терміни.

Оволодіння передовими технологіями є ключовим моментом в досягненні конкурентних переваг національної економіки.

## 4.2 Техніко-економічні розрахунки

### 4.2.1. Характеристика продукції

Таблиця 4.1- Вхідні техніко-економічні показники

Метою цього розділу є обґрунтування доцільності використання технології термічної обробки штампів гарячого формування.

Найменування виробу,	Базовий виріб	Новий виріб
1. Сталь горяче-штампова	ДИ22	ДИ71
2. Технологія зміцнення	Гартування, Відпуск	Гартування, Відпуск
3. Програма випуску,	10	10
Ціна грн. за тону	103 718	114 089,8

Відомо, що для розрахунку собівартості нового виробу (Сн) необхідно розрахувати собівартість термічної обробки деталі.

Вартість сировини і основних матеріалів розраховується на основі технічно обґрунтованих норм використання на виробництво одиниці виробу, цін відповідних видів матеріальних ресурсів. При цьому враховуються транспортно-заготівельні витрати. Сума витрат на сировину та матеріали зменшується на величину зворотних відходів, які створюються в процесі виробництва.

Вартість сировини та основних матеріалів наведена в таблиці 4,1

Таблиця 4.2 – Вартість основних матеріалів при термічній обробці та гальванічному покриттю

Найменування сировини та основних матеріалів	Норма використання	Ціна, Грн.,т	Вартість, грн
ендогаз	60 л	13 950	837
Масло машинне	50 л	9671	483,55
Разом	1 10	23 621	1320,55

Основна заробітна плата основних виробничих робітників на одиницю виробу розраховується на основі трудомісткості виготовлення та часових тарифних ставок.

Розрахунок основної заробітної плати на одиницю продукції наведений в таблиці 4.3.

Таблиця 4.3- Заробітна плата на одиницю продукції (розцінка)

Найменування операції	Норма часу, н-годин	Розряд робіт	Часова тарифна ставка, грн.	Заробітна плата на одиницю продукції (розцінка), грн.
Відпуск	4	IV	45	180
Гартування	5	IV	45	225
Усього	9		90	405

Додаткова заробітна плата виробничих робітників виплачується за кількість та якість виконаної роботи. Вона вміщує надбавки і доплати, премії за виробничі результати, оплату чергових та додаткових відпусток та інше. Додаткова заробітна плата складає 40% від основної, та розраховується за формулою

$$ЗД = ЗО \cdot \frac{K_d}{100}, \text{ грн} \quad 405 \cdot 40 / 100 = 162 \text{ грн.}$$

де  $K_d$  – процент додаткової заробітної плати.

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

$$ВС = (ЗО + ЗД) \cdot \frac{K_{вс}}{100}, \text{ грн} \quad (405 + 162) \cdot 22 / 100 = 124,74 \text{ грн}$$

де ПП – премії з прибутку, грн;

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

Витрати на утримання та експлуатацію обладнання (ВУЕО – 400% від ЗО) вміщують витрати на технічне обслуговування машин і механізмів, витрати на поточний ремонт обладнання, цехового транспорту та інструментів, знос малоцінних і швидкозношуваних приладів, заробітну плату допоміжного персоналу та інші.

$$ВУЕО = ЗО \cdot \frac{\alpha}{100}, \quad 405 \cdot 400 / 100 = 1620 \text{ грн}$$

Загальновиробничі витрати (ЗВВ -300% від ЗО) вміщують витрати на утримання та експлуатацію обладнання, цехові витрати і послуги виробничого характеру. Загальновиробничі витрати складають в середньому 400% до основної заробітної плати та розраховуються за формулою

$$ЗВВ = ЗО \cdot \frac{\alpha}{100}, \text{ грн} \quad 405 \cdot 300 / 100 = 1215 \text{ грн}$$

де  $\alpha$  - % загально виробничих витрат.

Вищенаведені витрати складають виробничу собівартість.

Адміністративні витрати вміщують (АВ=200% від ЗО) витрати, пов'язані з утриманням адміністративно - управлінського персоналу підприємства, а також утриманням та експлуатацією основних засобів загального виробничого призначення, охорону праці та техніку безпеки персоналу та інші. Адміністративні витрати складають в середньому 100% від основної заробітної плати основних виробничих робітників та розраховуються за формулою

$$AB = ZO \cdot \frac{\beta}{100}, \text{ грн } 405 \cdot 200 / 100 = 810 \text{ грн}$$

де  $\beta$  - % адміністративних витрат.

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

$$BZ = C_v \cdot \frac{\gamma}{100}, \text{ грн } (1320,55 + 405) \cdot 2 / 100 = 34,511 \text{ грн}$$

де  $C_v$  – собівартість виробнича, грн;

$\gamma$  - % витрат на збут .

Прибуток складає 30% від повної собівартості і розраховується за формулою

$$P = C \cdot \frac{P}{100}, \text{ грн } (1320,55 + 405) \cdot 30 / 100 = 517,655 \text{ грн}$$

де  $P$  – рентабельність виробу, %.

Податок на додану вартість згідно законодавства становить 20% від оптової ціни і розраховується за формулою



$$ПДВ = Ц \cdot \frac{H_{\text{пов}}}{100}, \text{ грн } 517,655 \cdot 20/100 = 102,533 \text{ грн}$$

де  $H_{\text{пов}}$  – норматив податку на додану вартість, %.

Ціна продажу виробу розраховується за формулою

$$Ц_{\text{пр}} = Ц + ПДВ, \text{ грн } (1320,55 + 405) + 517,655 + 102,533 = 2345,738 \text{ грн}$$

Калькуляція собівартості і ціни продукції наведена в таблиці 4.4.

Таблиця 4.4 – Калькуляція термічної обробки партії (10шт.) штампів гарячого формування

Статті витрат	Сума, грн
1 Сировина і основні матеріали	1320,55
2 Купівельні комплектуючі вироби	0
3 Основна заробітна плата основних виробничих робітників	405
4 Додаткова заробітна плата основних виробничих робітників	162
5 Відрахування на соціальні заходи з заробітної плати основних виробничих робітників	124,74
6. Витрати на утримання та експлуатацію обладнання	1620
7 Загальновиробничі витрати	1215
8 Собівартість виробнича	4722,55
9 Адміністративні витрати	810
10 Витрати на збут	34,511
11 Собівартість повна	5532,55
12 Прибуток	517,655
13 Ціна оптова	5274,71 6
14 Податок на додану вартість	102,533
15 Ціна продажу	6187,24 9

В результаті розрахунків ми отримали собівартість термічної обробки партії деталей: 472255 грн

Тоді економія експлуатаційних витрат штампів після термічної обробки складе:

$$E = N (C_n \times K_e - C_b) = 10(5274,716430 - 4722,55) = 1\,535\,189,3 \text{ грн}$$

Таким чином, можна зазначити, що проведення термічної обробки приводить до збільшення ціни готової продукції, але також збільшує експлуатаційну довговічність виробу, що в свою чергу приводить до зменшення збитків на їх відновлення.

## 5 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА У НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ

В розділі надані основні заходи із охорони праці, при дослідженні впливу легувальних елементів на отримання різних зміцнювальних фаз у сплавах із дисперсійним твердінням.

### 5.1 Аналіз потенційних небезпек :

а) небезпеки які пов'язані, з порушенням вимог ергономіки стосовно, організації робочих місць дослідів в приміщенні дослідницької лабораторії;

б) можливість ураження електричним струмом, внаслідок порушення правил з електричної безпеки, що може привести до електричних травм, або летального наслідку;

в) небезпеки які пов'язані із проведенням випробувань механічних властивостей дослідницьких зразків, зокрема можливості отримання механічних травм;

г) небезпеки які пов'язані із дослідженням мікроструктури на електронному мікроскопі «Tesla BS 540», зокрема негативний вплив іонізуючих випромінювань, що може привести до розвитку тяжких захворювань.

д) небезпеки які пов'язані із дослідженням структури на оптичному мікроскопі МИМ-8, зокрема пошкодження органів зору внаслідок хибного вибору світлофільтрів;

е) небезпеки які пов'язані із обробкою результатів досліджень із використанням ПК, зокрема ушкодження кістково-м'язового апарату внаслідок довготривалої роботи в однотипній позі;

є) незадовільні параметри повітряного середовища в приміщенні дослідницької лабораторії, внаслідок неефективної роботи систем опалення та повітря обміну;

- ж) незадовільне освітлення робочих зон, дослідницької лабораторії;
- з) можливість загоряння внаслідок порушень правил пожежної безпеки, що може привести до пожежі;
- к) небезпеки які пов'язані із умовами праці у надзвичайних ситуаціях;

## 5.2 Заходи щодо забезпечення безпеки :

а) Згідно ГОСТ 12.2.032-78. «СС. Рабочее место при выполнении работ сидя. Общие эргономические требования» конструкція робочого місця повинна забезпечувати оптимальне положення співробітника, що досягається за рахунок регулювання висоти сидіння та підставки для ніг. Підставка для ніг повинна регулюватися по висоті. Ширина повинна бути не менше 300 мм, довжина – не менш 400 мм. Поверхня підставки повинна бути рифленою. По передньому краю слід передбачити борти висотою 10 мм. Важливим фактором є простір під столом, його має бути досить, що можна було зручно згинати та розгинати коліна. Стіл повинен мати криволінійну форму. Крісло повинно забезпечити фізіологічно раціональну робочу позу, при якій порушується циркуляція крові і не було іншого шкідливого впливу. Для цього необхідно, щоб у крісла була пружна спинка анатомічної форми, яка зменшить навантаження на хребет. Також крісло обов'язково повинно бути з підколінниками і мати можливість повороту, зміни висоти і кута нахилу сидіння й спинки. Монітор повинен розташовуватися на робочому столі прямо, і віддаленням від очей мінімум на 50-60 см. Верхня границя екрану повинна бути на рівні очей або не нижче 15 см від рівня очей. Клавіатура повинна розташовуватися в 10-15 см (в залежності від довжини ліктя) від краю стола. Глибина стола повинна дозволяти повністю положити лікті на стіл, відсунути клавіатуру до монітора.

б) З метою забезпечення електробезпеки, необхідним є знання основних заходів, для попередження уражень електричним струмом.

Організаційні заходи – до виконання робіт допускаються особи не молодше 18 років, які пройшли навчання, та перевірку знань з електробезпеки. Основним

нормативним актом є ПУЄ ( правовий устрій з електроустанов). Ремонт обладнання повинен здійснювати тільки спеціальний підготовлений персонал. Для кожного електроспоживного обладнання повинні бути складені експлуатаційні схеми нормальної і аварійної роботи.

Технічні заходи – розташування струмоведучих частин на недоступній висоті ( до 1000 В ), не менше 3,5 м ( більше 1000 В – 6 м ). Всі не ізольовані струмопровідні лінії повинні бути надійно огороженні суцільними огорожами. Відкриття яких можливі тільки за допомогою спеціальних пристроїв. Опір ізоляції електричних дротів повинен бути не менше 0,5 Ом. Обов'язковим є захисне заземлення або занурення. Обов'язковим є використання індивідуальних засобів захисту, зокрема гумовий діелектричний килимок, опір якого слід періодично перевіряти. Обов'язковим є встановлення автоматичних блокуючих пристроїв, які запобігають небезпечним діям людини. Блокуючі пристрої розподіляють на механічні, електричні, та електромеханічні.

в ) При випробуванні на механічні властивості дослідницьких зразків негативно на стан працездатності людини впливають різні шуми. Шум – сукупність звуків різної частоти та інтенсивності. Негативно впливає на організм людини, викликає психологічні та фізіологічні порушення, знижує працездатність та сприйнятливості зовнішньої інформації. Шум підвищує ступінь ризику травматизму та нещасних випадків пов'язаних з порушенням сприйняття людиною попереджувальних сигналів, змін в роботі обладнання та технологічного процесу. Шум нормується ГОСТом 12.1.003-83 «Шум. Загальні вимоги безпеки», ДСТУ 2325-93 «Шум. Терміни та визначення» та ДСН 3.3.6-037-99 «Державні санітарні норми виробничого шуму, ультразвуку та інфразвуку». Основою нормування є обмеження звукової енергії, яка діє на людину протягом робочої зміни значеннями, безпечними для її здоров'я і працездатності.

Методи захисту від шуму:

Зниження шуму в джерелі виникнення:

- підвищення якості балансування обертових деталей, класу точності їх виготовлення;

- недопущення перекосів деталей і вузлів, люфтів і зазорів;

Зниження шуму на шляху його поширення.

Досягається будівельно-акустичними заходами, за рахунок застосування звукоізолюючих облицювань.

Акустична обробка приміщень (ефективна в зоні відбитого звуку).

Передбачає вкривання стелі та верхньої частини стін звукопоглинальними матеріалами. Ефективність методу незначна (зниження шуму на 4-7 дБ) і проводиться в поєднанні з іншими методами.

Звукоізоляція.

Застосовується для захисту від шуму, що проникає зовні. Досягається створенням герметичних перепон, стін, кожухів, екранів. Застосовують матеріали, що мають високий коефіцієнт відбиття, наприклад: метал, скло, залізобетон, бетон та інші. В залежності від герметичності, товщини та властивостей матеріалів звукоізоляція дає можливість зменшити шум на 30-50 дБ.

Звукопоглинання.

Застосовують пористі матеріали з великим коефіцієнтом поглинання, наприклад: паропласт, войлок, базальтове волокно та інші.

Для попередження механічних травм, зони випробувань повинні огорожувати спеціальними прозорими екранами з триплексу.

г) Для електронного мікроскопа «Tesla BS 540» можливі 3 варіанти аварійної ситуації:

- відключення електроживлення;

- відключення води;

- прорив повітря в вакуумну систему.

У таких ситуаціях першочерговим завданням вважається охолодження печі дифузійного насоса і, по можливості, збереження вакууму в системі. У всіх випадках слід спочатку відключити високу напругу, піч диф. насоса і вимкнути головний автомат на стінці. При відмові водопостачання постарати ся обмотати мокрими ганчірками піч диф. насоса і включити вентилятор для обдування. Гарячі мокрі ганчірки слід міняти, поки вакуум в системі не почне падати. після охолодження приступити до усунення несправності. При прориві повітря в колону мікроскопа, як правило, спрацьовує автоматика, відсікаючи дифузійний насос від решти обсягу, і вимикається напруження катода і висока напруга. Треба тільки простежити, щоб форвакуумний насос не працював «на повітря», а переключити його на закритий обсяг, наприклад на відкачку боксу з фотопластинками.

В цьому випадку найнебезпечнішим для мікроскопа випадком може з'явитися тріщина в керамічному ізоляторі високовольтного введення. Тому найкраще буде якомога швидше усунути протікання.

Електронний мікроскоп «Tesla BS 540», має потужне джерело іонізуючих випромінювань, що як наслідок негативно впливає на організм людини при зовнішньому опромінюванні. Зовнішнє опромінення — це дія на організм іонізуючих випромінювань від зовнішніх відносно нього джерел випромінювання. Під дією іонізуючих випромінювань в організмі людини відбувається іонізація молекул і атомів тканини, порушується хімічна структура сполук, утворюються сполуки, не властиві живій клітині, що в свою чергу призводить до її відмирання. Зміни фізичних і біологічних процесів в організмі залежно від дози опромінювання.

Для попередження шкідливої дії іонізуючих випромінювань необхідно усувати всяку можливість опромінювання організму дозами, які перевищують гранично допустимі. Ступінь ураження радіоактивними речовинами організму людини залежить від ряду чинників: виду випромінювання (альфа-, бета-, гамма-

промені і т. ін.); кількості ізотопу (активності); його властивостей (енергії частинок в період піврозпаду та ін.); шляхів попадання в організм людини та його індивідуальної чутливості.

Для захисту від зовнішнього опромінювання, яке має місце при роботі із закритими джерелами випромінювання, основні зусилля необхідно направити на попередження переопромінення персоналу шляхом:

- збільшення відстані між джерелом випромінювання і людиною (захист відстанню);
- скорочення тривалості роботи в зоні випромінювання (захист часом);
- екранування джерела випромінювання (захист екранами).

д) Горизонтальний металографічний мікроскоп МИМ-8 призначений для дослідження мікроструктури металів і інших непрозорих об'єктів в світлому полі при прямому і косому освітленні, а також в темному полі і в поляризованому світлі. Для візуального спостереження об'єктів мікроскоп забезпечений монокулярної і біноклярної насадками. Власне збільшення біноклярної насадки - 2,5 х.

Набір ахроматичних і апохроматичних об'єктивів і окулярів забезпечує збільшення мікроскопа при візуальному спостереженні - від 100х до 1350х. Предметний столик мікроскопа забезпечений механізмами для координатного переміщення об'єкта. Освітлення здійснюється від електролампи розжарювання потужністю 170 Вт, 17 В, живиться від освітлювальної мережі 220 В через понижуючий трансформатор, забезпечений секційним перемикачем для регулювання яскравості напруження лампи. Сам мікроскоп і все його частини встановлені на станині, що представляє собою оптичну лаву довжиною 1,8 м. Станина встановлюється на чотири демпфера, призначених для запобігання мікроскопа від вібрації. демпфери вмонтовані в стіл, який має з боків дві тумби з висувними ящиками для зберігання приладдя.

Правильне використання мікроскопа виходить тільки за умови раціональної комбінації об'єктивів, окулярів. При вживанні їх треба пам'ятати, що збільшення повинно знаходитися в межах від 500 до 1000 апертур. Об'єктиви апохромати в поєднанні з



компенсаційними окулярами для візуального спостереження дають збільшення.

Крім правильної комбінації об'єтивів і окулярів, не менш важливе значення має і правильне застосування світлофільтрів. Як правило, при роботі з об'єктивами-ахроматами слід застосовувати світлофільтри, а з апохроматами можна працювати і без них.

Об'єктиви-ахромати мають корекцію тільки для середніх кольорів видимої частини спектра; з цієї причини при білому світі вони дають зображення з нечіткими контурами, пофарбованими головним чином по краю поля зору. Щоб погасити всі кольори, в яких об'єкт не має корекції, застосовують жовто-зелений світлофільтр. З огляду на те, що об'єктиви-апохромати мають корекцію майже для всіх кольорів видимої частини спектра, жовто-зелені світлофільтри для них зайві.

е) Персонал, що працює на комп'ютері зобов'язаний дотримуватися вимог інструкції, розробленої на підставі Санітарних норм і правил СанПин 2.2.2.542-96 «Гігієнічні вимоги для відео дисплейних терміналах, персональними електророзрахунковими машинами і організації робіт», а також нести особисту відповідальність за дотримання вимог безпеки своєї парці і за створення небезпечного чи шкідливого виробничого фактора для інших працюючих і поломку комп'ютера.

При роботі з комп'ютером шкідливими і небезпечними чинниками є :

- електростатичні поля;
- електромагнітне випромінювання;
- локальне стомлення, загальна втома;

Режими праці та відпочинку при роботі з комп'ютером повинні організовуватися в залежності від виду та категорії трудової діяльності.

Види трудової діяльності поділяються на 3 групи:

Група А – робота із зчитуванням інформації з екрану комп'ютера з попереднім запитом;

Група Б – робота з введенням інформації;

Група В - творча робота в режимі діалогу;

За основну роботу з комп'ютером слід приймати таку, яка займає не менше 50 % роботи протягом часу роботи комп'ютера.

Для видів трудової діяльності встановлюється 3 категорії тяжкості і напруженості роботи з комп'ютером, які визначаються:

- для групи А – по сумарному числу опрацьованих знаків за час роботи з комп'ютером, але не більше 60 000 знаків;

- для групи Б – по сумарному числу зчитуються або вводяться знаків за час роботи з комп'ютером, але не більше 40 000 знаків;

- для групи В – по сумарному часу безпосередньої роботи з комп'ютером, але не більше 6 годин за час роботи з комп'ютером;

Для забезпечення оптимальної працездатності і збереження здоров'я протягом часу роботи необхідно переконатися, що монітори комп'ютера мають анти блокове покриття (окрім групи А) з коефіцієнтом відбиття не більше 0,5. Покриття повинне також забезпечувати зняття електростатичного заряду з поверхні екрана, іскріння і накопичення пилу. Корпус монітора повинен забезпечувати захист від іонізуючих та неіонізуючих випромінювань. Необхідно перевірити робоче положення комп'ютера відстань між стіною з віконними прорізами і столом має бути не менше 0,8 м. При невеликій кількості робочих місць бажано розташувати столи біля протилежної стіни щодо віконних прорізів. Відстань між робочими столами повинно бути не менше 1,2 м. Не допускається знаходження другого робочого місця з боку задньої стінки комп'ютера. Оптимальними параметрами температури в кабінеті є 19-21° С, допустимі 18-22 °С, відносна вологість повітря 62-55 %.

Тривалість безперервної роботи з комп'ютером без регламентованої перерви не повинна перевищувати 2 годин. Під час регламентованої перерви з метою зниження нервово-емоційного напруження, стомлення зорового аналізатора, усунення впливу гіподинамії, запобігання розвитку втоми доцільно

виконувати комплекси вправ. Рівень шуму в приміщенні під час роботи комп'ютерів не повинен перевищувати 50 дБ. Конструкція відео монітора повинна передбачати заходи, що забезпечують хорошу розбірливість зображення, незалежну від зовнішнього освітлення.

### 5.3 Заходи щодо виробничої санітарії та гігієни праці :

є) Для нормалізації параметрів повітряного середовища в виробничих приміщеннях передбачається використовувати технічні засоби по забезпеченню нормованих параметрів. До них відноситься водяне або парове опалення, природна вентиляція. У адміністративних приміщеннях використовуються кондиціонери.

Розрахунок надходження теплоти у приміщення,  
та визначення кондиціонера.

Визначаємо надходження теплоти в приміщення о 18 год. Орієнтування будівлі на ПівдЗ. Площа приміщення складає 35 м<sup>2</sup>, висота 4 м. Розміри вікна 2x1,2 м<sup>2</sup>, площа тіні 0,33 м<sup>2</sup>, подвійне скління. Вікна без сонцезахисних пристроїв. Атмосфера району – незабруднена. Кількість робочих місць 6: 4 жінки та 2 чоловіки. Освітлення здійснюється за допомогою люмінесцентних ламп, загальна потужність яких в приміщенні складає 1,75 кВт. Температура в приміщенні складає 38° С.

За таблицею 5.3.1 визначаємо значення прямої ( $q_{в.п.}$ ) та розсіяної ( $q_{в.р.}$ ) сонячної радіації о 18 годині:

$$q_{в.п.} = 344 \text{ ккал}/(\text{год} \cdot \text{м}^2)$$

$$q_{в.р.} = 95 \text{ ккал}/(\text{год} \cdot \text{м}^2)$$

Таблиця 5.3.1 Максимальні значення кількості теплоти прямої ( $q_{в.п.}$ ) та розсіяної ( $q_{в.р.}$ ) сонячної радіації

Показник	Кількість теплоти при заповненні світлових прорізів в залежності від часу доби та орієнтування світлових прорізів, ккал/(год*м <sup>2</sup> )							
	До полудня							
	Пі	ПівнС	Сх	ПівдС	Пів	ПівдЗ	З	ПівнЗ
	Після полудня							
	Пів	ПівнЗ	З	ПівдЗ	Півд	Півд	Сх	Півн
q <sub>в.п.</sub>	80	426	423	344	257	96	-	-
q <sub>в.р.</sub>	64	93	112	95	75	66	56	54

Кількість теплоти, що знаходиться до приміщення через подвійне скління для розрахункової години розраховуємо:

$$Q_{\text{с.пр.}} = (q_0 F_n + q_1 F_p) K_{\text{відн}} \quad \text{ккал/год} \quad (5.1)$$

де  $q_0$  та  $q_1$  – кількість теплоти, яка надходить до приміщення через світлові прорізи, які опромінюються та не опромінюються прямою сонячною радіацією;

$F_n$  та  $F_p$  – площа заповнення світлового прорізу, яка опромінюється прямою та розсіяною сонячною радіацією відповідно, м<sup>2</sup>;

$K_{\text{відн}}$  – коефіцієнт відносного проникнення сонячною радіації через заповнення світлового прорізу.

Таблиця 5.3.2 Коефіцієнт  $K_1$ , який враховує затінення скління світлових прорізів перепахотами та забруднення атмосфери

Скління	Значення коефіцієнту для світлових прорізів $K_1$ та атмосфери		
	Незабрудненої (незалежно від опромінення)	Забрудненій в промислових районах	
		Які опромінюються сонцем в розрахункову годину	Які в розрахункову годину перебувають в тіні
Одинарне без перепахотів	1	0,75	1,75
Подвійне без перепахотів	0,9	0,68	1,58

перепльотів			
-------------	--	--	--

Таблиця 5.3.3 Коефіцієнт  $K_2$ , який враховує забруднення скла

Забруднення скла	Значення коефіцієнту
Значне	0,85
Помірне	0,9
Незначне	0,95
Чисте скло	1

$$q_0 = (q_{в.п.} + q_{в.р.})K_1K_2 \quad \text{ккал}/(\text{год} \cdot \text{м}^2) \quad (5.2)$$

Площа віконного прорізу, яка опромінюється сонячною радіацією складає:

Площа віконного прорізу, яка опромінюється сонячною радіацією складає:

$$F_{пр} = F_{о.с.} -$$

$$F_p \quad (\text{м}^2) \quad (5.3)$$

Загальна кількість теплоти, яка надходить до приміщень через віконний проріз, визначається формулою:

$$Q_{с.пр.} = (q_0F_n + q_1F_p) K_{відн} \quad \text{ккал}/(\text{год} \cdot \text{м}^2) \quad (5.4)$$

$K_{відн}$  - коефіцієнт відносного проникнення сонячної радіації через заповнення світлового прорізу. При одинарному склінні  $K_{відн} = 0,9 \dots 1,0$ ; при подвійному  $K_{відн} = 0,8 \dots 0,9$ .

Виділення теплоти від штучного освітлення розраховують за формулою:

$$Q_{осв} = 860 * n * N_{осв} \quad \text{ккал}/\text{год} \quad (5.5)$$

де  $n$  – коефіцієнт переходу електричної енергії в теплову; для люмінесцентних ламп  $n = 0,5$ ;

$N_{осв}$  – сумарна потужність джерел освітлення, кВт.

При розрахунках слід пам'ятати правила переведення енергетичних одиниць:

$$1 \text{ кВт} = 860 \text{ ккал}/\text{год};$$

1 ккал/год = 1,163 Вт;

1 Вт = Дж/с;

Розрахунок виділеної теплоти людьми, відповідно до табл.5.3.4, за умовою, що в приміщенні знаходяться 2 чоловіки, та 4 жінки, температура в приміщенні 38° С.

Таблиця 5.3.4

Кількість теплоти, яка виділяється дорослими людьми (чоловіками)

Кількість теплоти, ккал/год, яка виділяється однією людиною при температурі повітря в приміщенні, ° С					
10	15	20	25	30	35
130	105	85	55	35	5

$$Q_{\text{л}} = 5 \cdot 2 + 5 \cdot 4 \cdot 0,85 = 27 \text{ ккал/год} \quad (5.6)$$

Загальна кількість теплоти в розрахункову годину в липні, яку необхідно відвести за допомогою кондиціонування, визначається сумою теплоти джерел тепло надходження:

$$Q_{\text{заг}} = Q_{\text{спр}} + Q_{\text{осв}}$$

$$+ Q_{\text{л}} = 642,4 + 752,5 + 27 = 1421 \text{ ккал/год.} \quad (5.7)$$

Оскільки площа приміщення складає 35 м<sup>2</sup>, то найбільш доцільним є використання кондиціонера типу COOPER&HUNTER CH-S12LHA з холодопродуктивністю 3100 ккал/год. Тоді, за формулою (5.8) знаходимо час, який необхідний для охолодження приміщення за допомогою цього кондиціонера:

$$\tau = C \cdot \gamma \cdot V \cdot (t_{\text{вид}} - t_{\text{норм}}) / 3600 \cdot 1,163 \cdot Q_{\text{конд}} = 1000 \cdot 1,2 \cdot 140 \cdot (27 - 22) / 3600 \cdot 1,163 \cdot 3100 = 0,0647 \text{ год.}$$

(5.8) де С – масова теплоємність припливного повітря (складає 1000 Дж/кг°С);

$\gamma$  – густина припливного повітря (складає 1,2 кг/м<sup>3</sup>);

V – об'єм приміщення, м<sup>3</sup>;

$t_{\text{вид}}$  – температура повітря, що складається з приміщення, °С;  $t_{\text{норм}}$  –

нормована (оптимальна) температура в приміщенні, яку необхідно досягти шляхом кондиціонування (прийняти ріною 22° С); ж) 3 метою

організації нормованого освітлення виробничого приміщення доцільним є використовувати систему загального штучного освітлення, що поєднане із природним освітленням.

Нормоване освітлення складає 300 люкс.

До складу системи входять люмінесцентні лампи моделі ЛД 40-60, встановлені у світильники типу ЛПП.

#### 5.4 Заходи з пожежної безпеки :

з) Для попередження пожеж передбачається використовувати первинні засоби пожежогасіння. До них відносяться: вогнегасники, пожежний інвентар (покривала з негорючого полотна, ящика з піском, бочки з водою, пожежні відра, совкові лопати, ломи, сокири тощо), системи автоматичного пожежогасіння.

Первинні засоби пожежогасіння, в залежності від категорії приміщень, можуть розташовуватись як окремо, так і в складі пожежних щитів.

Також необхідно періодично проводити протипожежні інструктажі, навчання та тренування персоналу.

Визначення категорії приміщення в конструкторському бюро За вибухо-пожежною небезпекою приміщення й будівлі поділяють на п'ять категорій: А,Б,В,Г,Д.

Встановлення категорії приміщення виконується шляхом послідовної перевірки належності приміщення до категорій від найвищої (А) до на найнижчої (Д) з урахуванням характеру технологічних процесів і пожежо-небезпечних властивостей речовин, що в них застосовується, з метою виявлення можливих обставин і причин виникнення вибухів і пожеж та їх наслідків.

Приймаємо категорію Д, так як ця категорія більш підходить по характеристиці речовин і матеріалів, що зберігаються в приміщенні, а саме знаходяться незаймісті речовини і матеріали в холодному стані, а також кабельні

електропроводки до устаткування, окремі предмети меблів на місцях.

### Визначення класу пожежі

Залежно від агрегатного стану й особливостей горіння різних горючих речовин й матеріалів пожежі за ДБНВ.1.1.7-2002 «Пожежна безпека об'єктів будівництва» поділяються на відповідні класи та підкласи:

- клас А – пожежі твердих речовин, переважно органічного походження, горіння яких супроводжується тлінням (деревина, текстиль, папір);
- клас В – пожежі горючих рідин або твердих речовин, які розтоплюються;
- клас С – пожежі газів;
- клас D – пожежі металів та їх сплавів;
- клас Е (додатковий) – пожежі, пов'язані з горінням електроустановок.

Обираємо клас Е (додатковий) пожежі, пов'язані з горінням електроустановок.

### Вибір типу та визначення необхідної кількості первинних засобів пожежогасіння

Визначення видів та кількості первинних засобів пожежогасіння слід проводити з урахуванням фізико–хімічних та пожежо-небезпечних властивостей горючих речовин, їх взаємодії з вогнегасними речовинами, а також розмірів площ виробничих приміщень, відкритих майданчиків та установок.

Необхідну кількість первинних засобів пожежогасіння визначають окремо для кожного поверху та приміщення, а також для майданчиків та установок.

Для виробничих приміщень правила розташування та вибору засобів пожежогасіння є такими:

Пожежний інвентар з пожежним інструментом і вогнегасниками



розміщується на спеціальних пожежних щитах (стендах). Такі щити (стенди) відповідно до "Правил пожежної безпеки в Україні" встановлюють на території об'єкта з розрахунку один щит (стенд) на площу 5000 м<sup>2</sup>. До комплекту засобів пожежогасіння, які розміщують на стенді, слід включити: вогнегасники – 3 шт.; ящик із піском – 1 шт.; пожежне покривало розміром 2Ч2 м – 1 шт.; гаки – 3 шт.; лопати – 2 шт.; ломи – 2 шт.; сокири – 2 шт. Ящик із піском, який є елементом конструкції пожежного щита (стенда), повинен мати місткість не менше 0,1 м<sup>3</sup> та виключати потрапляння в нього опадів.

Серед первинних засобів пожежогасіння особливе місце займають вогнегасники, які відзначаються високою ефективністю дії.

Вибір типу та визначення потрібної кількості вогнегасників здійснюється згідно вогнегасної здатності вогнегасників, граничної площі, класу пожежі горючих речовин та матеріалів у захищуваному приміщенні, або на об'єкті (стандарт ISO 3941–77). Крім перерахованих параметрів береться до уваги також категорія приміщень за вибухопожежною та пожежною небезпекою.

Вибір типу вогнегасника (пересувний чи переносний) зумовлений розмірами можливих осередків пожеж; у разі збільшених їх розмірів рекомендується використовувати пересувні вогнегасники.

Відстань від можливого осередку пожежі до місця розташування вогнегасника не має перевищувати: 20 м – для громадських будівель та споруд; 30 м – для приміщень категорій А, Б, В (горючі гази та рідини); 40 м – для приміщень категорій В, Г; 70 м – для приміщень категорії Д.

Для гасіння великих загорянь у приміщеннях категорій А, Б, В застосовують стаціонарні установки водяного, газового, хімічного та повітрянопінного гасіння.

#### 5.5 Заходи безпеки у надзвичайних ситуаціях:

к) Інженерно-технічні заходи, спрямовані на підвищення стійкості виробничих об'єктів до впливу ударної хвилі.

Ударною хвилею називається область різкого стиску середовища, що поширюється у вигляді сферичного шару від місця вибуху з надзвуковою швидкістю. Ударні хвилі класифікуються в залежності від середовища поширення. Ударна хвиля в повітрі виникає за рахунок передачі стиснення і розширення шарів повітря. Зі збільшенням відстані від місця вибуху хвиля слабшає і перетворюється на звичайну акустичну. Хвиля при проходженні через дану точку простору викликає зміни в тиску, що характеризуються наявністю двох фаз: стиснення та розширення. Період стиснення настає відразу і триває порівняно невеликий час в порівнянні з періодом розширення. Руйнівна дія ударної хвилі характеризують надлишковий тиск у її фронті (передній межі), тиск швидкісного напору, тривалість фази стиснення.

Вражаюче дія ударної хвилі характеризується величиною надлишкового тиску. Надмірний тиск – це різниця між максимальним тиском у фронті ударної хвилі і нормальним атмосферним тиском перед ним. При надлишковому тиску 20-40 кПа незахищені люди можуть одержати легкі поразки (легкі забиті місця і контузії). Вплив ударної хвилі з надлишковим тиском 40-60 кПа призводить до поразок середньої важкості: втраті свідомості, ушкодженню органів слуху, сильним вивихів кінцівок, кровотечі з носа і вух. Важкі травми виникають при надлишковому тиску понад 60 кПа. Вкрай важкі поразки спостерігаються при надлишковому тиску понад 100 кПа. Ударна хвиля ядерного вибуху може на значній відстані від центра вибуху завдавати поразки людям, руйнувати споруди і ушкоджувати бойову техніку. Ударна хвиля являє собою область сильного стиснення повітря, що розповсюджується з великою швидкістю у всі сторони від центра вибуху.

Швидкість поширення її залежить від тиску повітря у фронті ударної хвилі; поблизу центра вибуху вона в декілька разів перевищує швидкість звуку,

але із збільшенням відстані від місця вибуху різко падає. Вражаюча дія ударної хвилі на людей і руйнуючу дію на бойову техніку, інженерні споруди і матеріальні кошти передусім визначаються надмірним тиском і швидкістю рушення повітря в її фронті. Незахищені люди можуть, крім того поранитися осколками скла, що летять з величезною швидкістю і обломками будівель, що руйнуються, падаючими деревами, а також частинами бойової техніки, що розкидаються, камінням і іншими предметами, що приводяться в рушення швидкісним натиском ударної хвилі.

Найбільші непрямі поразки будуть спостерігатися в населених пунктах і в лісі; в цих випадках втрати військ можуть виявитися більшими, ніж від безпосередньої дії ударної хвилі. Ударна хвиля здатна завдавати поразки і в закритих приміщеннях, проникаючи туди через щілини і отвори. Поразки, що наносяться ударною хвилею, поділяються на легкі, середні, важкі і надто важкі. Легкі поразки характеризуються тимчасовим пошкодженням органів слуху, загальною легкою контузією, ударами і вивихами кінцівок. Важкі поразки характеризуються сильною контузією всього організму; при цьому можуть спостерігатися пошкодження головного мозку і органів черевної порожнини, сильна кровотеча з носа і вух, важкі переломи і вивихи кінцівок.

Механічне вплив ударної хвилі оцінюється за ступенем руйнувань, викликаних дією хвилі (виділяються слабке, середнє, сильне і повне руйнування). Енергетичне, промислове і комунальне обладнання в результаті дії ударної хвилі може отримати пошкодження, також оцінюються за їх тяжкості (слабкі, середні і сильні). Вплив ударної хвилі може призвести також до пошкоджень транспортних засобів, гідровузлів, лісових масивів. Як правило, шкода, яка завдається впливом ударної хвилі, дуже великий, він наноситься як здоров'ю людей, так і різним спорудам, устаткуванню і т.д.



## ВИСНОВКИ

В даній роботі показано, що використання методів математичного моделювання дає змогу отримати раціональний хімічний склад сталі, який забезпечує максимальне значення цільової функції (теплостійкості) при збереженні основних механічних властивостей на необхідному рівні.

Було проведено факторний експеримент за допомогою матриці планування, в якій були використані кодовані значення факторів. Отримані рівняння регресії та проведені розрахунки за допомогою стандартної комп'ютерної програми. Після виконання розрахунків отримано хімічний склад дослідної сталі 4Х3ВМФС (ДИ71) та проведено порівняльні дослідження цієї сталі та ДИ22. В результаті встановлено, що сталь ДИ71 має вищу теплостійкість та зносостійкість ніж сталь ДИ22.

## ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Позняк Л.А. Штамповые стали / Л.А. Позняк, Ю.М. Скрынченко, С.И. Тишаев. – М.: Металлургия, 1980. – 244 с.
2. Бельский Е.И. Стойкость кузнечных штампов / Е.И. Бельский. – Минск: Наука и техника, 1975. – 239с.
3. Горелов В.И. Исследование реологических свойств сталей пресового инструмента / В.И. Горелов, Г.А. Денисов // Технология легких сплавов.– 1984.– №12. – С. 19 – 22.
4. Тылкин М.А. Штампы для горячего деформирования металлов / М.А. Тылкин, Д.Н. Васильев, А.М. Рогольов. – М.: Высшая школа, 1977. – 496с.
5. Соколов Л.Д. Сопротивление материалов пластической деформации / Л.Д. Соколов. – М.: Металлургиздат, 1963. – 251с.
6. Выбор легирующего комплекса при разработке сталей. – В сборнике: Оптимизация металлургических процессов / Ю.В. Колипаров, Д.Е. Солнцева, Ю.П. Солнцев. – М.: Металлургия, 1971. – С. 184–188.
7. Геллер Ю.А. Инструментальные стали / Ю.А. Геллер. – М.: Металлургия, 1983. – 526 с.
8. Позняк Л.А. Инструментальные стали / Л.А. Позняк. – К.: Наукова думка, 1996. – 473 с.
9. Гуляев А.П. Инструментальные стали: Справочник / А.П. Гуляев, К.А. Малинина, С.М. Саверина. – М.: Машиностроение, 1975. – 272 с.
10. Скрынченко Ю.Н. Работоспособность и свойства инструментальных сталей / Ю.Н. Скрынченко, Л.А. Позняк. – Киев.: Наукова думка, 1979. – 167с.
11. Позняк Л.А. Теплостойкость и механические свойства высокопрочных штампованных сталей горячего деформирования / Л.А. Позняк, Ю.М. Скрынченко, С.И. Тишаев // Производство и исследования быстрорежущих и штамповых сталей: сб. тр. УкрНИИ Спецсталь. – М., 1970. С. 70-73.
12. Скрынченко Ю.М. Новая штамповая сталь 45ХЗВЗМФС для пресового инструмента горячего деформирования / Ю.М. Скрынченко, Л.А.

Позняк, С.И. Тишаев // Кузнечно-штамповочное производство. – М., 1971.– №7. – С. 15-17.

13. Позняк Л.А. Особенности легирования и свойства среднеуглеродных штамповых сталей / Л.А. Позняк, Ю.М. Скрынченко, С.И. Тишаев // Сталь. – М., – 1972. – №9. – С. 840-843.

14. Сандомирский М.М. Карбидная фаза в штампованных сталях / М.М. Сандомирский // Metallovedenie i termicheskaya obrabotka metallov. – М., – 1970. – №9. – С. 45-46.

15. Геллер Ю.А. О влиянии карбидной фазы на свойства хромистых штампованных сталей / Ю.А. Геллер, В.Ф. Моисеев, А.О. Арапович // Черная металлургия. – 1971. – №1. – С. 145-148.

16. Безпрозванных А.В. Штамповые безвольфрамовые стали повышенной теплостойкости / А.В. Безпрозванных, А.И. Капустин, И.В. Барышева // Metallovedenie i termicheskaya obrabotka metallov. – 1989. – №2. – С. 36 – 38.

17. Безпрозванных А.В. Свойства штамповых сталей с пониженным содержанием вольфрама / А.В. Безпрозванных, Т.А. Воробьева // Metallovedenie i termicheskaya obrabotka metallov. – 1988. – №7. – С. 20 – 22.

18. Тишаев С.И., Совершенствование структуры производства и потребления легированных инструментальных сталей / С.И. Тишаев, Б.Э. Натапов, В.В. Нахабин // Материально-техническое снабжение. ЦНИИТЭИМС. Серия 5. – 1982. – С. 45.

19. ГОСТ 5950 – 73. Сталь инструментальная легированная. Технические условия.

20. Грабовский В.Я. Аустенитные штамповые стали и сплавы для горячего деформирования металлов / В.Я. Грабовский, В.И. Канюка // Metallovedenie i termicheskaya obrabotka metallov. – 2001. – №10. – С. 31 – 34.

21. Грабовський В.Я. Структурні перетворення матриць при гарячому пресуванні титанових та сталевих профілів / В.Я. Грабовський // Metaloznavstvo ta obrobka metaliv. – 2000. – №3. – С. 17 – 20.

22. Грабовский В.Я. Применение для прессового инструмента нового аустенитного сплава на железоникелевой основе, упрочняемого  $\gamma$ -фазой / В.Я. Грабовский, В.И. Канюка, В.В. Артюшов, М.А. Ермакова // Пути повышения стойкости штампов и формообразующего инструмента: Материалы семинара. – 1992. – С. 124 – 129.

23. Озерский А.Д. Штамповые стали с регулируемым аустенитным превращением при эксплуатации / А.Д. Озерский, А.А. Кругляков. – Л.: ЛДНТП, – 1988. – 28с.

24. Грабовский В.Я. О перспективности разработки новых высокотеплостойких штамповых сталей с аустенитно-мартенситной структурой / В.Я. Грабовский, А.П. Колесник, И.А. Бирюкова, В.Г. Волкова // Новые марки инструментальных и подшипниковых сталей: Сборник. – М.: Металлургия, 1986. – С. 61 -66.

25. Тишаев С.И. Чувствительность штамповой стали 4Х4ВМФС к скорости охлаждения при закалке / С.И. Тишаев, Л.А. Позняк // Metallovedenie i termicheskaya obrabotka metallov. – 1974. – №9. – С.16-19.

26. Ершова Л.С. Исследование механизма разупрочнения штамповых сталей для горячего деформирования / Л.С. Ершова, С.И. Тишаев, Л.А. Позняк // Производство и исследования сталей и сплавов. – М., – 1970. – С. 135 – 142.

27. Тишаев С.И. Об оценке сопротивления штамповых сталей зарождению и развитию усталостной трещины / С.И. Тишаев, Ю.М. Политаев, В.С. Винниченко // Инструментальные и подшипниковые стали. – М., – 1979. – С. 28 – 32.

28. Тишаев С.И. Новая сталь 4Х3ВМФС (ДИ71) для тяжело нагруженных прессовых инструментов горячего деформирования / С.И. Тишаев, Ю.М. Политаев, А.А. Мяненьков // Кузнечно-штамповочное производство. – 1983. – №10. – С. 29 – 30.

29. Тишаев С.И. Структура и свойства теплостойких штамповых сталей 4Х3ВМФС и 3Х3ВМФ / С.И. Тишаев, Ю.М. Политаев, Р.А. Зыкова // Metallovedenie i termicheskaya obrabotka metallov. – 1985. – №11. – С. 38 – 41.



30. Шварцман Л.А. // Проблемы металловедения и физики металлов: Сб. тр. / ЦНИИчермет. – М., – 1962. – №7 – С. 345 – 347.
31. Спиридонов А.А. Планирование эксперимента при исследовании технологических процессов / А.А. Спиридонов. – М. Машиностроение, 1981. – 184с.
32. Виноград М.И. О механизме роста зерна аустенита в конструкционной стали / М.И. Виноград, И. Ю. Ульянова, Г.А. Файвилевич // Металловедение и термическая обработка металлов. – 1975. – №1. – С. 5–11.
33. Металловедение и термическая обработка стали: Справочник: Т.2/ Под ред. М.П. Бернштейна, А.Г. Рахштадта. – М.: Металлургия, 1983. – 367с.
34. Кремлев Л.С. Развитие теории легирования и разработка оптимальных составов теплостойких инструментальных сталей: Дис. докт. техн. наук / Л.С. Кремлев. – М. – 1974 – 305с.
35. УНИАН, новости фондовых рынков, металлургия. – Режим доступа: <http://investfunds.ua/news/ukraina-opustilas-na-12-e-mesto-v-mirovom-rejtinge-proizvoditelej-stali-unian-127759/>