

Міністерство освіти і науки, молоді та спорту України
Сумський державний університет

Л. Ф. РУДЕНКО, Т. П. ГОВОРУН

ЛЕГОВАНІ СТАЛІ ТА СПЛАВИ

Навчальний посібник

Рекомендовано Міністерством освіти і науки, молоді та спорту України

Суми
Сумський державний університет
2012

УДК 669.15-194 (075.8)

ББК 34.651

Р 83

Рецензенти:

О. Д. Погребняк – доктор фізико-математичних наук, професор Сумського інституту модифікації поверхні, м. Суми;

С. М. Козьменко – доктор економічних наук, професор Української академії банківської справи Національного банку України, м. Суми;

О. І. Олемскої – доктор фізико-математичних наук, професор Інституту прикладної фізики НАН України, м. Суми

*Рекомендовано Міністерством освіти і науки, молоді та спорту України як навчальний посібник для студентів вищих навчальних закладів, які навчаються за напрямом підготовки
«Прикладне матеріалознавство»
(лист № 1/11-5794 від 26.04.12 р.)*

Руденко Л. Ф.

Р 83

Леговані сталі та сплави : навч. посіб. / Л. Ф. Руденко, Т. П. Говорун. – Суми : Сумський державний університет, 2012. – 171 с.

ISBN 978-966-657-431-5

Посібник містить відомості про легуючі елементи та їх вплив на фізико-хімічні процеси, що відбуваються у сталях. Розглянуто особливості фаз, що утворюються легуючими елементами у сплавах на основі заліза, висвітлено питання про легування конструкційних поліпшуваних, конструкційних цементованих, ресорно-пружинних, шарикопідшипникових зносостійких, інструментальних та будівельних сталей, дано оцінку економічній ефективності застосування легованих матеріалів і визначено шляхи зменшення їх собівартості. Вміщує програму, методичні вказівки, конспект лекцій, лабораторні роботи, завдання для контрольної роботи та приклад її виконання і додатки, що дозволять більш глибоко засвоїти матеріал дисципліни «Леговані сталі та сплави» і виконати контрольну роботу на досить високому рівні.

Посібник може бути корисним для студентів-матеріалознавців під час виконання комплексних, випускних кваліфікаційних і самостійних робіт із дисциплін навчального плану спеціальності 8.090101 «Прикладне матеріалознавство».

УДК 669.15-194 (075.8)

ББК 34.651

ISBN 978-966-657-431-5

© Руденко Л. Ф., Говорун Т. П., 2012

© Сумський державний університет, 2012

З М І С Т

Вступ.....	С. 4
Загальні методичні вказівки.....	5
1. Робоча програма та методичні вказівки.....	7
Розділ 1. Завдання та значення дисципліни «Леговані сталі та сплави».....	7
Розділ 2. Особливості фаз, що утворюються легуючими елементами у сплавах на основі заліза.....	8
Розділ 3. Вплив легуючих елементів на фізико-хімічні процеси, що проходять у сталі.....	9
Розділ 4. Легування конструкційної поліпшуваної сталі.....	11
Розділ 5. Легування конструкційних цементованих сталей.....	13
Розділ 6. Низьколеговані конструкційні сталі підвищеної міцності.....	14
Розділ 7. Легування ресорно-пружинних сталей.....	15
Розділ 8. Легування шарикопідшипникових сталей.....	16
Розділ 9. Легування будівельних сталей.....	17
Розділ 10. Легування інструментальних сталей.....	18
2. Конспект лекцій.....	20
2.1. Вплив легуючих елементів на температури фазових перетворень.....	20
2.2. Вплив легуючих елементів на температуру евтектоїдного перетворення на максимальну розчинність вуглецю в аустеніті та його вміст в евтектоїді.....	23
2.3. Розподіл легуючих елементів у фазах сталі.....	25
2.4. Вплив легуючих елементів на перетворення у легованих сталях.....	30
2.5. Класифікація легованих сталей.....	39
2.6. Леговані конструкційні сталі.....	42
3. Лабораторні роботи.....	62
4. Виконання контрольної роботи.....	108
Додаток А.....	128
Додаток Б.....	164
Список літератури.....	170

ВСТУП

Для спеціаліста-металознавця або терміста важливо на достатньому рівні володіти знаннями у галузі легованих сталей і сплавів, а також глибоко розуміти основні положення теорії легування сталей, а саме: взаємодію легуючих елементів із залізом і вуглецем, розподіл їх між фазами у сплавах, вплив їх на перетворення при термічній обробці та на формування властивостей.

Метою курсу «Леговані сталі та сплави» є вивчення впливу на структуру, властивості і технологію термічної обробки легуючих елементів, уведених у сталь. Знання принципів раціонального легування дає можливість правильного підходу при виборі матеріалів для деталей і конструкцій, а також проведення технологічно й економічно досконалих та обґрунтованих режимів термічної обробки. Це особливо актуально на сьогодні, коли собівартість продукції визначає її конкурентоспроможність.

Завдання вивчення дисципліни. У результаті вивчення дисципліни студент повинен:

- **уміти** вибрати матеріал для виготовлення деталі, виходячи із умов її роботи, метод і режим термічної обробки, використовуючи при виборі одержані знання з раціонального легування сталі;

- **мати** уявлення про перспективи розвитку теорії і практики легування.

ЗАГАЛЬНІ МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ

Відповідно до навчального плану дисципліна «Леговані сталі та сплави» вивчається на четвертому курсі у 8-му семестрі шляхом самостійної роботи над навчальною літературою і шістнадцятьмагодинними аудиторними заняттями.

Рекомендується така послідовність вивчення дисципліни:

- ознайомитися з програмою теми, що вивчається, і методичними вказівками до неї, які наведені у розділі «Робоча програма і методичні вказівки». У методичних вказівках наведені рекомендації про найбільш цілеспрямовані послідовності вивчення навчального матеріалу і додаткова інформація з окремих питань програми;

- розглянути матеріал лекції відповідного розділу, прочитаної в період настановної сесії;

- ознайомитися з матеріалом теми з рекомендованої літератури, список якої наведений у кінці посібника. У процесі роботи рекомендується конспектувати основні положення матеріалу, що вивчається, і складати таблицю впливу легуючих елементів на поліморфізм, кристалічні ґратки, властивості, положення критичних точок діаграми стану залізо-цементит і т. п.

Курс, що вивчається, є практичним предметом, тому засвоєння матеріалу поєднують із практичним вивченням технологічних процесів термічної обробки легованих сталей, їх мікроструктури і дефектності; після вивчення теми потрібно відповісти на питання самоперевірки.

Для успішного вивчення курсу навчальним планом передбачені аудиторні заняття (табл. 1).

Таблиця 1 – Витяг із навчального плану

Курс	Се- местр	Загаль ний обсяг	Аудиторні заняття			Самостійна робота		КР	Форма контро лю
			усього	лекції	лаб.	усього	ІРС		
4	8	108	16	8	8	92	4	1	іспит

Лекційні та лабораторні заняття проводяться в період настановної сесії. Тематика лекцій наведена у табл. 2.

Таблиця 2 – Тематичний план лекцій

Тема лекцій	Затрати часу, год
1. Особливості фаз, що утворюються легуючими елементами у сплавах на основі заліза	0,6
2. Вплив легуючих елементів на фізико-хімічні процеси, що відбуваються у сталі	2,0
3. Легування конструкційних поліпшуваних сталей	0,5
4. Легування конструкційних цементованих сталей	
5. Низьколеговані конструкційні сталі підвищеної міцності	0,5
6. Легування ресорно-пружинних сталей	0,5
7. Легування шарикопідшипникових зносостійких сталей	0,5
8. Легування будівельних сталей	0,2
9. Легування інструментальних сталей	2,5
10. Економічна ефективність застосування легованих матеріалів й шляхи зменшення їх собівартості	0,2
Усього:	8

Перелік лабораторних робіт і літератури, яка необхідна для їх виконання, наведений у розділі «Лабораторні роботи».

Після вивчення курсу виконують контрольну роботу.

Варіант завдань контрольної роботи (креслення деталі із легової сталі) видається в період настановної сесії.

Методичні вказівки та приклад виконання завдання наведені у розділі «Контрольні роботи». Необхідні консультації з їх виконання надаються у міжсесійний період на індивідуальних заняттях. Виконані контрольні роботи у встановленому порядку здаються на кафедру для рецензування.

До здачі іспиту з курсу допускаються студенти, які мають зараховану контрольну роботу і які виконали й захистили у повному обсязі лабораторні роботи.

1. РОБОЧА ПРОГРАМА І МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ

Розділ 1. Завдання та значення дисципліни «Леговані сталі та сплави»

Роль легування у сучасній техніці. Історія розвитку і становлення теорії та практики легування. Значення курсу для підготовки спеціалістів. Перспективи розвитку легування сталей у світі нових техніко-економічних завдань.

Методичні вказівки

Вивчення матеріалу почніть з розгляду історії розвитку металургії й акцентуйте свою увагу на розвитку легування сталі в усіх країнах світу. Зверніть увагу і на історичні етапи розвитку теорії та практики легування, пов'язуючи це з етапами розвитку таких наук, як: «Металознавство»,

«Хімія», «Фізика твердого тіла», «Кристалографія» й т. ін. Дуже важливо зрозуміти, що в усіх країнах і на сьогодні інтенсивно працюють дослідники над проблемою комплексного впливу декількох легуючих елементів, що містяться в сталі, та їх взаємодії. Актуальною є тема впливу малих домішок дефіцитних і дорогих металів, рідкоземельних елементів й т. ін. Необхідно звернути увагу на актуальність проблеми одержання легованих сталей в нашій країні із застосуванням електроплавлення, рафінування сталі різними методами та порошкової металургії. Успіхи у цьому напрямку дозволять і частково уже дозволяють намітити нові шляхи економії легуючих елементів.

Портібно звернути увагу і на перспективу розвитку теорії та практики легування у взаємодії з математичними методами розрахунку комплексного впливу легуючих елементів, які, врешті-решт, дозволять «проекувати» сталь з будь-якими заданими властивостями.

Література: [1, с. 3–6]; [3, с. 5–6].

Питання для самоперевірки

1. Що таке легована сталь?
2. Які зарубіжні й вітчизняні вчені зробили значний внесок у розвиток науки легування сталі та сплавів?
3. Сучасні методи легування сталі.
4. Які науки забезпечують розвиток теорії та практики легування?
5. Дайте визначення поняття мікролегування.
6. Перспективи розвитку легування сталей та сплавів.

Розділ 2. Особливості фаз, утворюваних легуючими елементами у сплавах на основі заліза

Фази, утворювані у сталях і сплавах при введенні легуючих домішок; тверді розчини, хімічні сполуки з металевим і неметалевим типом зв'язку, а також розподіл легуючих елементів у фазах сталі.

Методичні вказівки

Під час вивчення даного розділу необхідно розглянути такі домішки, які вводяться, впливають на зміну складу і властивостей фаз, що існують у вуглецевій сталі, а також які нові фази можуть утворитись у процесі легування. Необхідно звернути увагу на те, що утворення нових фаз впливає на зміну властивостей, відкриває перспективи застосування нових видів термічної обробки. У той самий час деякі фази впливають на властивості у небажаному напрямку, проте їх вплив можна нейтралізувати або послабити різними методами і прийомами.

Література: [1, с. 40–74]; [2, с. 347–355].

Питання для самоперевірки

1. Як розподіляються легуючі елементи у сталях?
2. Які метали наявні у легованих сталях у вільному стані?
3. За яких умов утворюються інтерметаліди?
4. Умови утворення оксидів, сульфідів у сталях.
5. Які легуючі елементи утворюють тільки розчини із залізом і не входять до карбідів?
6. Які метали утворюють карбіди та їх розміщення у періодичній системі елементів?
7. Охарактеризуйте карбіди I групи.
8. Охарактеризуйте карбіди II групи.
9. Який порядок розчинення карбідів у аустеніті?

Розділ 3. Вплив легуючих елементів на фізико-

хімічні процеси, що проходять у сталі

Вплив легуючих елементів на перетворення у сталі при нагріванні й охолодженні (на IV основних перетвореннях при термічній обробці), а також на евтектичні перетворення й дисперсне твердіння.

Методичні вказівки

Під час вивчення цього розділу необхідно розглянути вплив легуючих елементів на кількість вуглецю в евтектоїді та класифікацію легованих сталей за рівноважною структурою. Особливу увагу необхідно звернути на наявність первинних карбідів у структурі сталей ледебуритного класу. Дуже важливе глибоке поняття впливу легуючих елементів на кінетику перетворень при нагріванні й охолодженні сталей (чотири основні перетворення). Знання особливостей перетворень при термічній обробці у легованих сталях дають можливість правильно призначити режими термічної обробки (температуру нагрівання, час витримки при фазових перетвореннях, швидкість охолодження та інше). У цьому розділі потрібно також розібратись у питаннях впливу легуючих елементів на загартовуваність і прогартовуваність сталі, а ще на формування структури після усіх видів термічної обробки, оскільки структури легованих сталей мають ряд серйозних відмінностей порівняно з вуглецевими сталями.

Велике значення має і вивчення особливостей дисперсного твердіння легованих сталей та сплавів.

Оскільки сплави на основі заліза, вуглецю і легуючих домішок є найбільш широко застосовуваними у промисловості, розгляньте також класифікацію сталей після охолодження на повітрі, класифікацію за складом і

призначенням. Рекомендується також повторити маркування легованих сталей згідно із чинними державними стандартами.

Література: [1, с. 75–200]; [2, с. 347–364].

Питання для самоперевірки

1. Вплив легуючих елементів на кінетику розпаду аустеніту.

2. Особливості впливу на кінетику розпаду аустеніту карбідотвірних і сильно карбідотвірних легуючих елементів.

3. Вплив легуючих елементів на прогартовуваність.

4. Вплив легуючих елементів на ріст зерна аустеніту при нагріванні.

5. Спадково дрібно- і крупнозернисті сталі.

6. Теорія структурних бар'єрів.

7. Вплив легуючих елементів на перегрівання і природа його впливу.

8. Вплив легуючих елементів на С-криві переохолодженого аустеніту.

9. Кількісні характеристики і критерії прогартовуваності.

10. Дефекти структури перегрітої сталі.

11. Вплив легуючих елементів на кінетику мартенситного перетворення.

12. Особливості перетворень легованого аустеніту при охолодженні зі швидкістю більше $V_{кр}$.

13. Вплив легуючих елементів на перетворення остаточного аустеніту.

14. Вплив легуючих елементів на перетворення при відпуску сталі.

15. Що таке дисперсне твердіння і роль легуючих елементів у цьому процесі.

Розділ 4. Легування конструкційної поліпшуваної сталі

Основні характеристики конструкційних сталей. Роль легуючих елементів у конструкційних сталях. Вплив відпуску на механічні властивості конструкційних легованих сталей. Відпускна крихкість I і II родів. Флокени у конструкційних сталях. Роль легуючих елементів у процесі флокеноутворення. Сучасні тенденції легування конструкційних сталей.

Методичні вказівки

Вивчення теми почніть з повторення характеристик механічних властивостей сталі, тому що основна мета легування конструкційних сталей спрямована на підвищення механічних характеристик сталі. Зверніть увагу на вплив легуючих елементів (їх сполучення) на загартовуваність сталі, оскільки для деяких деталей вибір марки залежить від глибини загартованої зони. Розгляньте питання такого дефекту легованих сталей, як відпускна крихкість II роду, вивчіть природу цього явища і методи його усунення.

Зверніть увагу і на дефекти великих поковок із легованих конструкційних сталей – флокени. Вивчіть методи попередження утворення флокенів.

Вивчіть вплив легування на формування механічних властивостей поліпшуваних сталей як за нормальних температурних умов, так і при низьких температурах.

Під час вивчення теми зверніть особливу увагу на нові тенденції у галузі легування конструкційних поліпшуваних сталей і шляхи підвищення їх міцності.

Література: [1, с. 200–317]; [2, с. 383–390]; [3, с. 150–164].

Питання для самоперевірки

1. Наведіть приклад марок конструкційних легованих сталей.

2. Що таке термополіпшення?

3. Основна мета легування поліпшуваних сталей.

4. У якому випадку проявляється відпускна крихкість II роду.

5. Методи запобігання впливу відпускнуї крихкості II роду на властивості поліпшуваних сталей.

6. Що таке флокени?

7. Основні методи попередження флокуєноутворєння.

8. Сучасні прийоми у галузі легування поліпшуваних сталей.

Розділ 5. Легування конструкційних цементованих сталей

Вимоги, які ставляться до цементованих сталей, роль і вплив легуючих елементів на процес цементації і властивості після хіміко-термічної обробки легованих цементованих сталей. Сучасні тенденції у галузі легування цементованих сталей.

Методичні вказівки

Вивчення цього розділу почніть зі з'ясування мети легування цементованих сталей і вимог, які ставляться до їх механічних властивостей. Розгляньте також, які структурні зміни будуть спостерігатися після цементації та термічної обробки цементованих легованих сталей порівняно з вуглецевими сталями.

Зверніть увагу і на сучасні тенденції легування цементованих сталей та одержання середньо- і високоміцних цементованих сталей.

Література: [1, с. 347–370]; [2, с. 371–396].

Питання для самоперевірки

1. Наведіть приклади марок легованих цементованих сталей.
2. Основні легуючі елементи та їх оптимальна кількість у цементованих сталях.
3. Мета легування цементованих сталей.
4. Особливості термічної обробки легованих цементованих сталей.
5. Тенденції легування цементованих сталей.

Розділ 6. Низьколеговані конструкційні сталі підвищеної міцності

Основні вимоги, що ставляться до сталей підвищеної міцності. Вплив легуючих елементів на основні властивості низьколегованої сталі. Вплив легування на механічні властивості, корозійну стійкість і зварюваність. Сучасні тенденції у галузі легування сталей підвищеної міцності.

Методичні вказівки

Під час вивчення цього розділу зверніть увагу на вимоги, що ставляться до високоміцних сталей і які легуючі домішки сприяють підвищенню міцнісних властивостей. Потрібно також відмітити, що економне легування сприяє підвищенню стійкості проти атмосферної корозії й впливає на поліпшення зварюваності. Важливе значення мають знання сучасних тенденцій легування високоміцних сталей.

Література: [1, с. 371–396]; [4, с. 220–222].

Питання для самоперевірки

1. Приклади марок легованих високоміцних сталей.
2. Мета легування високоміцних сталей.
3. Основні легуючі елементи у високоміцних сталях.
4. Особливості економного легування.
5. Тенденції у легуванні високоміцних сталей.

Розділ 7. Легування ресорно-пружинних сталей

Вимоги, що ставляться до властивостей ресорно-пружинних сталей. Вплив легуючих елементів на властивості ресорно-пружинних сталей. Сучасні тенденції легування ресорно-пружинних сталей.

Методичні вказівки

Під час вивчення цього розділу потрібно розглянути вимоги, що ставляться до пружних елементів – ресор, пружин та ін. Виходячи із вимог, що ставляться до пружних елементів, вивчіть також вплив легуючих елементів на плинність, стійкість до релаксаційних процесів.

Зверніть увагу на вплив чистоти і якості поверхні пружних елементів на властивості, а також вивчіть методи поліпшення якості поверхні. Вивчіть сучасні тенденції легування ресорно-пружинних сталей.

Література: [2, с. 403–406]; [3, с. 202–206].

Питання для самоперевірки

1. Приклади марок ресорно-пружинних сталей.

2. Основні легуючі елементи ресорно-пружинних сталей.

3. Вимоги, що ставляться до пружних елементів.

4. Як впливають поверхневі дефекти на властивості пружних елементів?

5. Якими методами зменшують вплив поверхневих дефектів на властивості пружних елементів?

6. Які сучасні тенденції у легуванні ресор і пружин?

Розділ 8. Легування шарикопідшипникових сталей

Вимоги, що ставляться до підшипникових сталей. Вплив легуючих елементів на процеси тертя та зношування. Зношування в умовах тиску й ударних навантажень. Основні прийоми та тенденції легування зносостійких сталей.

Методичні вказівки

Вивчіть вимоги, що ставляться до зносостійких сталей щодо механічних властивостей, чистоти з неметалевих включень і карбідної ліквіації.

Визначтеся з метою легування, а також основними легуючими елементами зносостійких сталей.

Зверніть увагу на особливості маркування шарикопідшипникових сталей.

Проаналізуйте весь спектр марок легованих сталей для великих роликів підшипників, підшипників, що працюють в агресивних і високотемпературних середовищах. Вивчіть сучасні тенденції легування зносостійких сталей.

Література: [2, с. 406–408]; [3, с. 190–199].

Питання для самоперевірки

1. Приклади марок шарикопідшипникових сталей.
2. Вимоги, що ставляться до зносостійких сталей.
3. Вплив карбідної неоднорідності на властивості шарикопідшипникових сталей.
4. Вплив неметалевих включень на властивості шарикопідшипникових сталей.
5. Основні легуючі елементи та їх вплив на зносостійкість і контактну міцність.
6. Які сучасні тенденції легування зносостійких сталей?

Розділ 9. Легування будівельних сталей

Вимоги, що ставляться до будівельних сталей. Вплив легуючих елементів на зварюваність, міцність, надійність, поріг холодноламкості. Основні тенденції легування будівельних сталей.

Методичні вказівки

Вивчення розділу потрібно починати зі з'ясування, для чого призначені будівельні сталі (будівельні конструкції - мости, газо- і нафтопроводи, ферми, котли, арматура, профілі, дрід й т. ін.), і принципів їх легування. На відміну від конструкційних легованих сталей будівельні сталі підвищеної міцності не піддають термічній обробці. Структура і службові характеристики формуються в них у процесі виробництва сталі. Під час вивчення звернути увагу на процес «контрольованої прокатки», при якій без термічної обробки одержують комплекс властивостей, близький до термopolіпшення. Арматурні леговані сталі класів А IV – А VIII піддають термopolіпшенню. Вивчення цього розділу завершує розгляд тенденцій легування будівельних сталей.

Література: [2, с. 397–402]; [3, с. 167–168].

Питання для самоперевірки

1. Приклади марок будівельних легованих сталей.
2. Вимоги, що ставляться до будівельних легованих сталей.
3. Мета введення легуючих елементів у будівельні сталі.
4. Основні легуючі елементи будівельних сталей.
5. Особливості одержання будівельних сталей методом «контрольованої прокатки».
6. Поясніть механізм одержання дрібного зерна у будівельній легованій сталі.
7. Поясніть вплив термічної обробки на властивості арматурних сталей.

Розділ 10. Легування інструментальних сталей

Найважливіші службові й технологічні властивості, які потрібні від інструментальних сталей. Фізико-хімічні фактори та процеси, що визначають властивості інструментальних сталей. Роль і вплив легуючих елементів та вуглецю в інструментальних сталях. Легування різальних сталей. Швидкорізальні сталі. Особливості термічної обробки швидкорізальної сталі. Механізм впливу легуючих елементів і тенденції легування. «Замінники» швидкорізальних сталей. Штампові та інструментальні леговані сталі.

Методичні вказівки

Приступаючи до вивчення матеріалу, необхідно ознайомитися з основними вимогами, що ставляться до різних видів інструментів – різального, штампового і вимірювального.

Розглянути класифікацію легованих інструментальних сталей і вивчити особливості легування сталей. Повторити особливості маркування інструментальних легованих сталей. Звернути особливу увагу на легування швидкорізальних сталей та їх заміників. Вивчити способи підвищення теплостійкості економно легованих низьковольфрамкових сталей. Особливу увагу приділити вивченню дефектів інструментальних сталей – хімічній неоднорідності, карбідній ліквідації, нафталіновому зламу, підвищеному вмісту залишкового аустеніту в загартованих швидкорізальних сталях, а також освоїти методи попередження й усунення цих дефектів.

Під час вивчення штампових сталей звернути увагу на особливості легування і термічної обробки штампів для холодного і гарячого деформування, а також прес-форм.

Розібратися у різноманітності легованих сталей для вимірального інструменту.

Література: [1, с. 397–494]; [2, с. 411–447]; [5].

Питання для самоперевірки

1. Які властивості необхідні інструментальним сталям?
2. Вплив легуючих елементів і вуглецю на властивості інструментальних сталей.
3. Маркування легованих інструментальних сталей.
4. Особливості термічної обробки інструментальних сталей.
5. Структура інструментальних сталей до і після термообробки.
6. Дефекти інструментальних сталей і методи їх усунення.
7. Механізм впливу елементів у швидкорізальній сталі й тенденції у галузі її легування.

8. Методи підвищення червоностійкості економно легованих інструментальних сталей.

9. Вимоги, що ставляться до легування штампових сталей для холодного штампування.

10. Вимоги, що ставляться до легування штампових сталей для гарячого штампування.

2. КОНСПЕКТ ЛЕКЦІЙ

2.1. Вплив легуючих елементів на температури фазових перетворень

2.1.1. Класифікація домішок у сталях

Відповідно до класифікації, запропонованої Н. Т. Гурцовим, усі домішки (хімічні елементи), що містяться у сталі, можна поділити на чотири групи:

1. **Постійні домішки.** До цієї групи відносять марганець, кремній та алюміній, які застосовуються як розкислювачі; ці елементи наявні у будь-якій добре розкисненій сталі. Вміст цих елементів знаходиться у межах: 0,3-0,7% Mn, 0,2-0,4% Si, 0,01-0,02% Al. До постійних «шкідливих» домішок потрібно віднести сірку, фосфор, миш'як, селен, які потрапляють у сталь із шихтових матеріалів. Вміст цих елементів знаходиться у сталях у межах: 0,01-0,05% P, 0,01-0,04% S.

2. **Приховані домішки.** Це гази – кисень, водень і азот, які наявні у сталі в дуже малих і складно визначуваних кількостях. Їх кількість у сертифікатах сталей не зазначається.

3. **Випадкові домішки.** Ці домішки потрапляють у сталь із шихтових матеріалів і випадково (з металевого лому).

4. **Легуючі елементи.** Елементи, які спеціально вводяться у сталь у певній кількості з метою зміни властивостей та її структури, називаються легуючими домішками (елементами). У сталі спеціально вводиться до 80% елементів Періодичної системи Д. І. Менделєєва. Сталі, у які для одержання потрібних спеціальних властивостей вводять легуючі елементи, називають **легованими сталями**.

На сьогодні широко використовується **мікролегування**, коли наявність легуючого елемента приблизно 0,1%. У таких кількостях спеціально вводять алюміній, ванадій, титан, ніобій та ін.

2.1.2. Вплив легуючих елементів на поліморфізм (алотропію) заліза

Зміна температур фазових перетворень у легованих сталях насамперед пов'язана з впливом легуючих елементів на алотропні форми заліза. Усі елементи, що розчиняються в залізі, змінюють температурний інтервал існування його алотропних модифікацій, тобто зсовують критичні точки A_3 і A_4 . За характером впливу на алотропні перетворення заліза їх можна поділити на дві групи.

Елементи першої групи (нікель, манган, мідь, кобальт, вуглець, азот та ін.) розширюють межі стійкого стану аустеніту. Вони підвищують температуру, що відповідає точці A_4 , і знижують температуру, яка відповідає точці A_3 . На рис. 1 а, в показано типові схеми діаграм стану заліза з такими елементами. На осі абсцис відкладається вміст «С» легуючого елемента.

У сплавах заліза з манганом, нікелем, кобальтом область існування гомогенного γ -твердого розчину «відкривається» (див. рис. 1а), тобто у певному інтервалі температур існує необмежена розчинність компонентів один в одному у твердому стані з утворенням твердих

розчинів з графцетрованими гратками. При концентрації легуючого елемента, що дорівнює чи перевищує «а», аустеніт стійкий при кімнатній і більш низьких температурах. Такі сплави називаються аустенітними.

У випадках, коли при збільшенні вмісту легуючого елемента утворюються нові фази, спостерігається «діаграма з розширеною, але «закритою» областю існування аустеніту (рис. 1 в). Такі діаграми характерні для сплавів заліза з вуглецем, азотом, міддю.

Елементи другої групи (хром, ванадій, молібден, вольфрам, кремній, алюміній, титан та ін.) підвищують температуру, яка відповідає точці A_3 , і знижують температуру, яка відповідає точці A_4 (рис. 1 б, г), де по осі абсцис, як і на рис. 1 а, в, відкладається вміст «С» легуючого елемента.

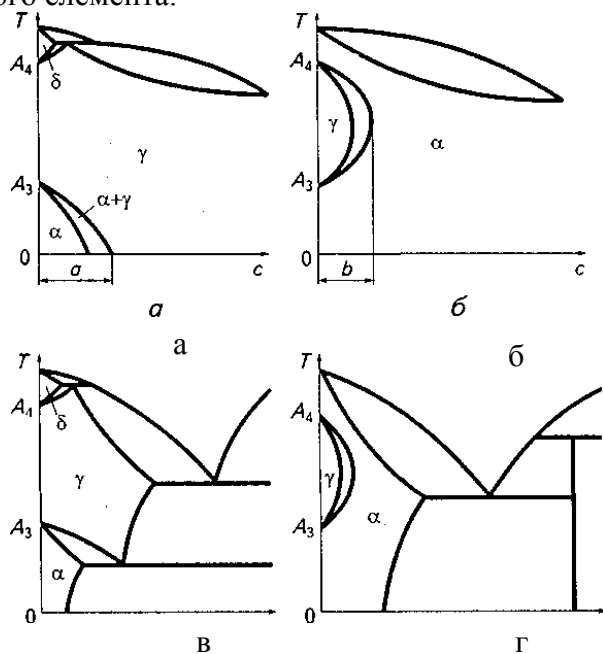


Рисунок 1 – Типові схеми діаграм стану заліза з легуючими елементами першої (а, в) та другої (б, г) груп

Тоді область стійкого стану аустеніту звужується, а розширюється область стійкого стану фериту. При деякому вмісті легуючого елемента, що дорівнює «в», температури, які відповідають точкам A_3 та A_4 , збігаються – відбувається «замикання» γ -області на діаграмі стану.

За необмеженої розчинності легуючого елемента (хром, ванадій) в залізі область існування фериту «відкривається» (рис. 1 б). Однофазні сплави, що містять легуючого елемента більше, ніж «в», називаються феритними.

Якщо легуючі елементи, які замикають γ -область, утворюють із залізом проміжні фази, обмежено розчинні у Fe_α , то при певних концентраціях домішки на діаграмі з'являється лінія, що обмежує область існування однорідного α -розчину (рис. 1 г). Праворуч від неї розміщуються двофазні області. Такі діаграми є характерними для сплавів заліза з алюмінієм, кремнієм, вольфрамом, молібденом та ін.

В аустенітних і феритних сталях фазові перетворення під час нагрівання й охолодження не відбуваються. Тому вони не можуть піддаватися деяким видам термообробки, пов'язаним із фазовою перекристалізацією (наприклад, гартуванню, нормалізації та ін.).

2.2. Вплив легуючих елементів на температуру евтектоїдного перетворення та максимальну розчинність вуглецю в аустеніті та його вміст в евтектоїді

Під впливом легуючих елементів відбувається зміщення ліній PSK, GS і SE (критичні точки A_1 , A_3 і A_m) на діаграмі стану залізо-цементит.

Елементи першої групи, які збільшують стійкість аустеніту (нікель, манган, мідь та ін.), зміщують їх у бік нижчих температур. Легуючі елементи, що зменшують стійкість аустеніту (титан, хром, кремній та ін.), зміщують

ці лінії в бік вищих температур. Так, якщо критичним точкам A_{c1} і A_{c3} сталей 45 відповідають 725 і 775⁰С, то для сталі 45Г2 – це 718 і 765⁰С, а для сталі 45Х3 – 780 і 820⁰С. Вплив деяких легуючих елементів на температуру евтектоїдного перетворення при нагріванні сталі показано на рис. 2, де по осі абсцис відкладено вміст легуючого елемента.

Більшість легуючих елементів зменшують розчинність вуглецю в аустеніті при всіх температурах, що рівнозначно зміщенню лінії SE на діаграмі стану в бік меншої концентрації вуглецю (рис. 3), де по осі ординат відкладено вміст «С» легуючого елемента. Такий зсув точки «S» означає, що перліт у легуваних сталях може мати значно менше вуглецю, ніж у вуглецевих. Аналогічно зсув точки E ліворуч означає, що за наявності легуючих елементів ледебурит у

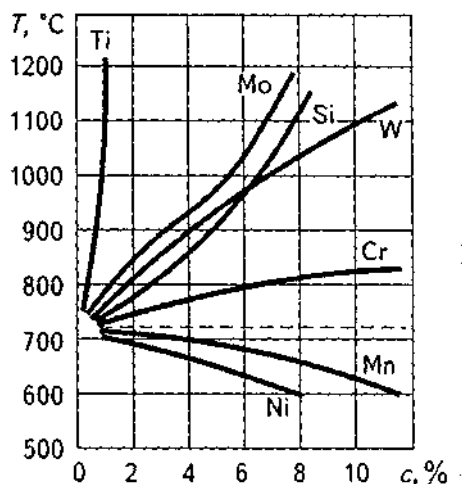


Рисунок 2 – Вплив легуючих елементів на температуру евтектоїдного перетворення при нагріванні сталі

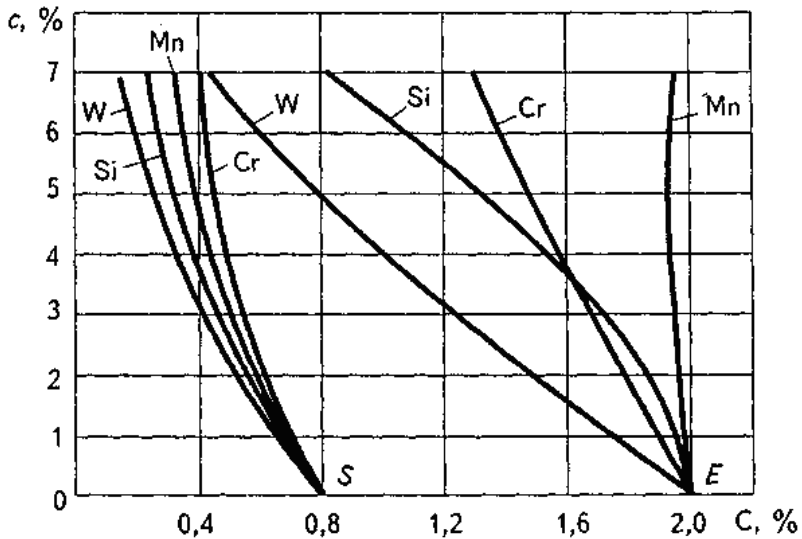


Рисунок 3 – Вплив легуючих елементів на максимальну розчинність вуглецю в аустеніті та його вміст в евтектоїді структурі залізовуглецевих сплавів може утворюватися при менших концентраціях вуглецю, ніж 4,3%. При високому вмісті легуючих елементів він з'являється також у структурі сталей. Такі сталі називають ледебуритними. Так, при 5% Cr сталь з 0,6% C є заевтектоїдною, а з 1,5% C – ледебуритною.

У легованих сталях, що містять кілька елементів, зміна положення критичних точок залежить від їх кількісного співвідношення і є досить складною. Це потрібно ураховувати під час вибору температур нагрівання для термообробки. Значення критичних точок сталей публікуються в довідковій літературі.

2.3. Розподіл легуючих елементів у фазах сталі

Розподіл легуючих елементів у фазах сталі може бути різним. Більшість елементів розчиняються або в аустеніті,

або у фериті, утворюючи тверді розчини. Деякі легуючі елементи взаємодіють із вуглецем, утворюючи карбіди. При взаємодії легуючих елементів один з одним чи із залізом утворюються інтерметалеві сполуки (їх ще називають інтерметалідами).

Більшість легуючих елементів із залізом утворюють **тверді розчини заміщення**, лише елементи з малим атомним радіусом (вуглець, азот, бор та ін.), розчиняючись у залізі, дають тверді розчини проникнення. Атоми легуючих елементів відрізняються своїми розмірами від атомів заліза і створюють у ґратках фериту або аустеніту додаткові спотворення. Зміна розмірів кристалічних ґраток заліза впливає на властивості твердих розчинів. Усі легуючі елементи підвищують міцнісні властивості (межу міцності, твердість) легованих фериту й аустеніту при деякому зниженні їх пластичності.

Зміцнення фериту зростає при збільшенні вмісту «С» розчиненого в ньому легуючого елемента (рис. 4 а). Ще більшого ефекту зміцнення легованого фериту можна домогтися після його термообробки. Так, легований хромом, манганом або нікелем безвуглецевий аустеніт при швидкому охолодженні перетворюється на мартенсит із типовою голчатою будовою. Твердість його досягає 350 НВ. Проте практично всі легуючі елементи (за винятком нікелю і частково хрому) знижують пластичність й ударну в'язкість фериту (рис. 4 б), де по осі абсцис відкладено вміст легуючого елемента.

Властивості легованого аустеніту істотно відрізняються від властивостей аустеніту вуглецевої сталі. Легований аустеніт має високу міцність як при кімнатній, так і при високих температурах. Його можна зміцнювати дисперсійним твердінням завдяки виділенню високодисперсних сполук – карбідів, нітридів, інтерметалідів або наклепуванням. Розчиняючись в

аустеніті, більшість легуючих елементів збільшують його корозійну стійкість та зносостійкість.

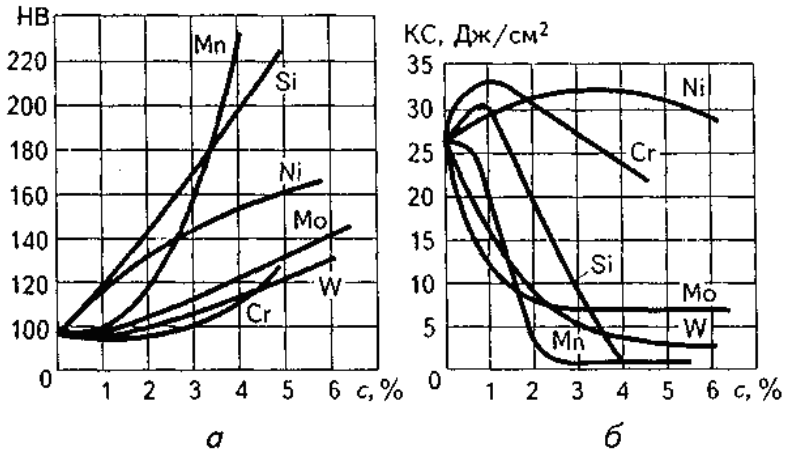


Рисунок 4 – Вплив легуючих елементів на властивості фериту

Великий вплив на властивості сталі має рівномірність розподілу легуючих елементів по об'єму зерен. Поверхнево-активні (горофільні) легуючі елементи концентруються в основному на межах зерен. При введенні їх у сталь навіть у дуже малій кількості (наприклад, бору в кількох тисячних частках відсотка) вони дуже сильно впливають на розміри зерна, прогартуваність та інші властивості сталі. Елементи, які розчиняються рівномірно по всьому зерну чи в основному в його об'ємі (горофобні), сприяють зміцненню твердих розчинів при введенні їх від десятих часток відсотка до кількох відсотків. Важливе значення має вплив елементів на поріг холодноламкості, що характеризує схильність сталі до крихкого руйнування (рис. 5). Аналізуючи графік, можна зробити висновок, що тільки нікель інтенсивно знижує поріг холодноламкості, зменшуючи тим самим схильність сталей до крихкого руйнування.

Легуючі елементи залежно від їх взаємодії з вуглецем поділяються на **карбідотвірні** та **некарбідотвірні (графітизуючі)**.

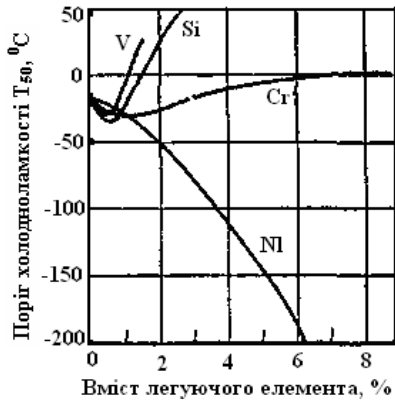


Рисунок 5 – Вплив легуючих елементів на поріг холодноламкості сталей

Легуючі елементи, розміщені у періодичній системі лівіше від заліза, частково розчиняючись у фериті або аустеніті, утворюють у сталі карбіди. Вони мають вищу міцність і стійкість при нагріванні, ніж карбід заліза (цементит). За зменшенням здатності до карбідоутворення метали можна розмістити так: Ti, Nb, V, W, Mo, Cr, Mn, Fe. У такому порядку знижуються міцність та стійкість при нагріванні утворених цими металами карбідів.

У легованих сталях можна виділити дві групи карбідів.

- **карбіди першої групи** мають складні кристалічні ґратки. При відповідному нагріванні вони порівняно легко дисоціюють і розчиняються в аустеніті. Карбіди цієї групи – складні сполуки типу M_3C , $M_{17}C_3$, $M_{23}C_6$, M_6C (M – метал). При невеликій кількості легуючих елементів у сталі (десять частки відсотка, а для несильних карбідоутворювачів – 1,2%) їх атоми частково заміщують атоми заліза в

цементиті, легуючи його, наприклад $(\text{Fe}, \text{Cr})_3\text{C}$, $(\text{Fe}, \text{Mn})_3\text{C}$ та ін. Такий цементит називають легованим. При збільшенні вмісту легуючого елемента утворюються спеціальні карбіди, наприклад Cr_7C_3 , Cr_{23}C_6 та ін.;

- **карбіди другої групи** мають прості кристалічні ґратки. Вони відрізняються високою твердістю, тугоплавкістю і розчиняються в аустеніті лише частково при дуже високій температурі нагрівання. Такі карбіди утворюють сильні карбідоутворювачі (Mo, W, V, Nb, Ti та ін.). До цієї групи належать спеціальні карбіди типу MC, M_2C (W_2C , VC, TiC, NbC, TaC) та ін.

Карбіди мають високу твердість і зносостійкість. Забезпечуючи підвищену стійкість при нагрівання, вони гальмують ріст аустенітного зерна. Сталі, леговані карбідотвірними елементами, зберігають дрібнозернисту будову до високих температур нагрівання. Проте карбіди збіднюють аустеніт вуглецем і тому сприяють зниженню прогартовуваності сталі. Графітізуючі елементи розчиняються у фериті або аустеніті. За зменшенням здатності до графітоутворення вони розміщуються у такому порядку: Si, Al, Cu.

Інтерметалеві сполуки наявні в основному у структурі високолегованих сталей та жароміцних сплавів і сприяють їх зміцненню при термообробці. В основному це фази змінного складу, здатні до взаємного розчинення та утворення твердих розчинів з металами. Прикладами інтерметалевих сполук у легованих сталях можуть бути Fe_7W_6 , Fe_7Mo_6 , Fe_7W_3 , Fe_3N_2 , Fe_3Ti , Ni_3Al , CoW, TiCr₂, FeCr, NiCr та ін.

При легуванні сталі карбідотвірними елементами та за наявності в ній вуглецю інтерметаліди утворюються при вмісті легуючого елемента понад ту кількість, яка потрібна для зв'язування його в карбідах.

Легуючі елементи сталей можуть утворювати неметалеві хімічні сполуки: оксиди, сульфіди, фосфіди та ін. Утворювати оксиди можуть багато елементів, що мають більшу спорідненість до кисню, ніж залізо. Тому у процесі виробництва сталі такі елементи, введені у останній момент плавлення, розкиснюють сталь, забираючи кисень у заліза: $\text{FeO} + \text{M} \rightarrow \text{MnO}_m + \text{Fe}$. У результаті реакції розкиснення утворюються окисли Al_2O_3 , TiO_2 , V_2O_5 та ін. Крім більшої спорідненості до кисню, деякі елементи мають більшу спорідненість до сірки або фосфору, ніж залізо, і при введенні їх утворюються сульфіди або фосфіди.

Неметалеві включення утворюють у сталях області підвищених мікронапружень і знижують ударну в'язкість сталей, втомні та інші характеристики. Але на відміну від більшості перелічених неметалевих включень, що підвищують поріг холодноламкості, сульфіди знижують його за рахунок подрібнення зерна (явище сульфідного ефекту).

2.4. Вплив легуючих елементів на перетворення у легованих сталях

2.4.1. Перлітне та проміжне перетворення у легованих сталях

Легуючі елементи істотно впливають на кінетику (від грецького *kinitikos* – надавати руху) і характер перетворення аустеніту. Це пов'язано з дією кількох факторів, які можуть впливати на цей процес спільно чи окремо: утворення нових фаз, зниження швидкості $\gamma \rightarrow \alpha$ -перетворення, мала швидкість дифузії вуглецю за наявності легуючих елементів тощо. У зв'язку з цим у легованих сталях змінюється вигляд діаграм ізотермічного перетворення аустеніту. Типові С-

подібні діаграми стану легованих сталей зображено на рис. 6. Для порівняння на рис. 6 а штриховою лінією показано положення С-кривих вуглецевої сталі.

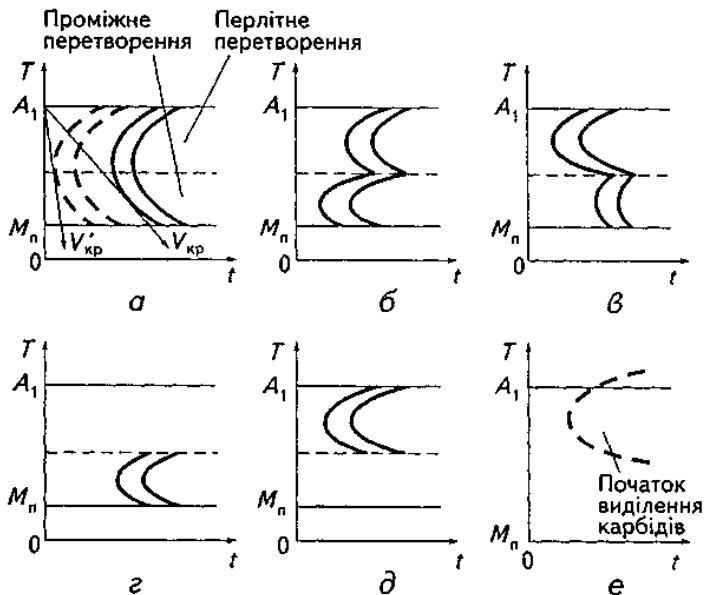


Рисунок 6 – Типові діаграми стану легованих сталей

Усі легуючі елементи, крім кобальту, підвищують стійкість переохолодженого аустеніту і зменшують лінії початку та кінця розпаду аустеніту в бік більших витримок (праворуч). При цьому сумісне введення кількох елементів може діяти на стійкість аустеніту значно сильніше, ніж окремо.

У більшості низько- і середньолегованих сталей дифузійний розпад аустеніту відбувається з помітною швидкістю при порівняно невеликому переохолодженні – поблизу критичної точки A_1 . Продуктами перетворення, як і у вуглецевих сталях, є феритно-карбідні суміші та надмірні фази. При цьому вміст карбідотвірних елементів у карбідній фазі значно вищий, ніж середній вміст їх у сталі. При певній

кількості цих елементів можуть утворитися спеціальні карбіди.

При зниженні температури ізотермічного перетворення дифузійний перерозподіл легуючих елементів стає все більш утрудненим. Тому вміст легуючих елементів у карбідній фазі знижується й утворюється легований цементит типу $(Fe, M)_3C$.

Перетворення аустеніту легованих сталей у проміжній області не супроводжується дифузійним перерозподілом легуючих елементів. Тому карбідна фаза, що утворилася, - це легований цементит з вмістом легуючих елементів, який дорівнює середньому складу сталі. Утворена за мартенситним механізмом α -фаза, як і у вуглецевих сталях, дещо перенасичена вуглецем.

На відміну від вуглецевих сталей проміжні перетворення у багатьох легованих сталях не завершуються і припиняються при збереженні деякої частини аустеніту неперетвореним. Це приводить до зниження мартенситної точки при подальшому охолодженні сталі та до збільшення кількості залишкового аустеніту в ній при кімнатній температурі. У деяких сталях частина аустеніту, що залишається, може зазнавати перлітного перетворення.

Вплив легуючих елементів на кінетику перетворення аустеніту та будову продуктів, які утворилися, дуже різноманітний. Остання змінюється в широких межах залежно від кількості стану легуючих елементів та вуглецю у сталі.

При легуванні сталі невеликою кількістю некарбідотвірних елементів (Ni, Si) і манганом криві ізотермічного перетворення зберігають ту саму форму, що й для вуглецевих сталей. Проте стійкість легованого аустеніту зростає, тому С-криві зміщуються праворуч (див. рис. 6 а).

У сталях, легованих переважно карбідотвірними елементами (Cr, W, V, Mo та ін.), перлітне та проміжне

перетворення розділяються інтервалом підвищеної стійкості аустеніту (рис. 6 б, в). На діаграмі ізотермічного розпаду з'являються два максимуми. Це є характерною ознакою легованих сталей.

Різний вплив карбідотвірних елементів на перлітне і проміжне перетворення зумовлений закономірностями утворення карбідів. Для утворення карбідних фаз під час перлітного перетворення сталі потрібна дифузія легуючих елементів, швидкість якої мала. Утворення цих фаз при проміжному перетворенні сталі відбувається взагалі без дифузійного перерозподілу легуючих елементів.

Швидкості перлітного та проміжного перетворень сталі залежать від вмісту вуглецю в ній. При малому вмісті вуглецю в легованому карбідотвірними елементами аустеніті проміжні перетворення відбуваються швидше, ніж перлітне. У цьому випадку діаграма ізотермічного перетворення сталі має вигляд, показаний на рис. 6 б. При значному вмісті вуглецю у легованій сталі швидкість утворення продуктів проміжного перетворення значно менша, ніж швидкість перлітного перетворення, і діаграма набирає вигляду, зображеного на рис. 6 в.

У складнолегованих сталях при високому вмісті некарбідотвірних елементів і низькому вмісті вуглецю перлітне перетворення може бути заглушеним (рис. 6 г). Про такі сталі говорять, що вони не відпалюються. У високо-хромистих корозійностійких сталях з невеликим вмістом вуглецю, навпаки, заглушується проміжне перетворення (рис. 6 д).

Якщо сталь має аустенітну структуру при будь-яких температурах і не зазнає $\gamma \rightarrow \alpha$ -перетворення, то С-подібна діаграма її містить чисте поле (рис. 6 е). Переохолоджений аустеніт таких сталей має дуже високу стійкість, і його перетворення не відбувається при досить тривалих, не обмежених практичними міркуваннями витримках. За

наявності вуглецю в цих сталях можна виділити надмірні карбіди, провівши високотемпературний відпуск. Якщо мартенситна точка M_n такої сталі розміщена при температурах вище кімнатної, то охолодження аустеніту з будь-якою швидкістю приводить до утворення мартенситної структури. Таку сталь називають **мартенситною**, вона загартовується на мартенсит навіть при охолодженні на повітрі.

Розглянуті перетворення в легованій сталі відбуваються згідно з С-діаграмами за умови, що легуючі елементи повністю розчинені в аустеніті. Нерозчинені карбіди здатні зв'язати значну частину легуючих елементів і можуть служити готовими центрами кристалізації при подальших перетвореннях аустеніту, стійкість якого може зменшитися. У цьому напрямку діє також хімічна неоднорідність аустеніту, зумовлена, наприклад, прискореним нагріванням сталі. Ці особливості необхідно враховувати, вибираючи режимні параметри термообробки легованих сталей.

2.4.2. Мартенситне перетворення у легованих сталях

Мартенситне перетворення у легованих і вуглецевих сталях має однакову природу. Проте легуючі елементи, змінюючи положення мартенситних точок M_n та M_k , впливають на його кінетику.

Більшість легуючих елементів (мідь, нікель, хром, молібден, манган) знижують мартенситні точки (рис. 7 а), інші (кобальт, алюміній) – підвищують, а деякі (кремній) – практично не впливають на їх положення. Особливо різко знижує мартенситні точки манган.

Сумісний вплив деяких легуючих елементів на положення мартенситних точок може бути більш складним, ніж показаний на рис. 7 а. З достатньою для практики точністю положення точки мартенситного перетворення M_n для сталей із середнім вмістом вуглецю можна визначити за формулою

$M_n = 520 - 320C - 45Mn - 30Cr - 20Ni + Mo + Cu - 5Si$,
де C, Mn, Cr, Ni, Mo, Si – вміст легуючих елементів, % (за масою).

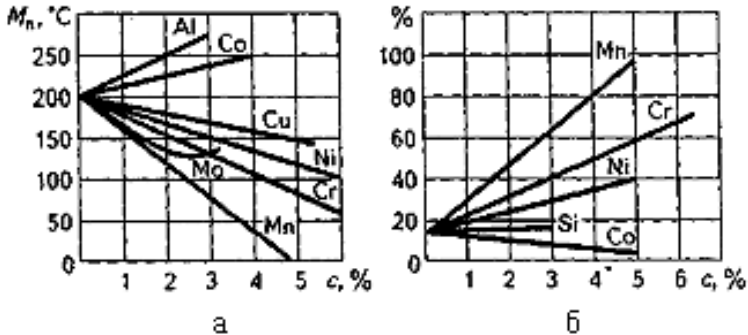


Рисунок 7 – Вплив легуючих елементів на температуру початку мартенситного перетворення (а) і кількість залишкового аустеніту (б) у сталі, що містить 1% вуглецю

Легуючі елементи, які знижують температуру мартенситного перетворення, підвищують кількість залишкового аустеніту (рис. 7 б), де по осі ординат відкладено його вміст, а по осі абсцис, як і на рис. 7 а, – вміст «С» легованого елемента. Спостерігається пряма залежність: чим різкіше знижується мартенситна точка, тим більша кількість аустеніту зберігається в сталі після гартування неперетвореним.

Усі легуючі елементи, крім кобальту, знижують критичну швидкість гартування $V_{кр}$ і сприяють збільшенню прогартовуваності сталі (рис. 6 а). Це і є однією із переваг легованих сталей. Термічно оброблені вуглецеві сталі мають досить високий комплекс механічних властивостей, але в малих перерізах, оскільки прогартовуваність їх у зв'язку з високою критичною швидкістю гартування мала. Уже в перерізах деталей діаметром, більшим від 20-25 мм, вони не можуть забезпечити потрібний рівень властивостей. У цьому разі застосовують леговані сталі, які дають змогу

досконаліше та повніше використати вплив термообробки на їхні механічні властивості. Позитивний вплив легуючих елементів виявляється тим сильнішим, чим більший переріз деталей.

Найбільше зростає прогартовуваність у сталях, легованих манганом, молібденом, хромом. При одночасному легуванні сталі кількома елементами прогартовуваність збільшується більш різко, ніж при легуванні одним елементом. Однак карбідотвірні елементи збільшують прогартовуваність сталі лише тоді, коли при нагріванні для гартування вони повністю розчинилися в аустеніті.

2.4.3. Вплив легуючих елементів на ріст зерна аустеніту (аустенітне перетворення)

При утворенні аустеніту легуючі елементи здебільшого розчиняються у ньому, утворюючи тверді розчини заміщення. Дифузія легуючих елементів відбувається значно повільніше, ніж дифузія вуглецю. Тому легування сталі потребує, як правило, більш високих температур нагрівання й більш тривалої витримки при високих температурах для одержання однорідного аустеніту, в якому розчиняються карбіди легуючих елементів.

У більшості випадків інтенсивність росту аустенітного зерна легованих сталей зменшується внаслідок дії легуючих елементів. Особливо інтенсивно гальмують ріст аустенітного зерна елементи, що утворюють стійкі карбіди типу фаз упродовження (Ti, Zr, V, Mo, W), а також азот; мало впливають вуглець і некарбідотвірні елементи (Si, Ni, Co, Cu). Марганець прискорює ріст аустенітного зерна. Мала схильність до зростання аустенітного зерна є однією з технологічних переваг більшості легованих сталей.

2.4.4. Перетворення в легованих сталях при відпуску

Легуючі елементи, маючи малу дифузійну рухливість, зменшують дифузійну рухливість атомів заліза та вуглецю. Тому вони (крім нікелю і мангану) істотно впливають на процеси, що відбуваються при відпуску загартованих сталей.

На першій стадії розпаду мартенситу (при нагріванні до 150°C), для розвитку якої потрібна лише дифузія атомів вуглецю, вплив легуючих елементів незначний. Частинки метастабільного карбіду, що утворилися при цьому, мають ту саму концентрацію легуючих елементів, що й вихідний мартенсит.

Друга стадія перетворення в легованих сталях відбувається значно повільніше, ніж у вуглецевих сталях, і зміщується в область вищих температур (іноді до $500\text{--}600^{\circ}\text{C}$), оскільки легований мартенсит стійкіший, ніж нелегований. Найсильніше уповільнюють його розпад карбідотвірні елементи (хром, молібден, вольфрам, ванадій). Вплив некарбідотвірних елементів на цей процес дещо слабкіший. Так, температура відпуску, при якій практично повністю завершується розпад мартенситу в сталі, що містить $0,4\% \text{C}$, становить: у вуглецевій – 300°C , з $1,75\% \text{Si}$ – 500°C , із $3\% \text{Ni}$ – 500°C , із $2,4\% \text{Mn}$ – 550°C , із $2\% \text{Cr}$ – 650°C , із $0,5\% \text{Mo}$ – 700°C .

Більшість легуючих елементів затримують також розпад залишкового аустеніту. При цьому у високолегованих сталях (високохромистих, швидкорізальних) він відбувається не при температурі відпуску, а при охолодженні. Продуктом розпаду його є мартенсит. У зв'язку з тим, що в таких сталях після гартування зберігається значна кількість залишкового аустеніту, його перетворення на відпущений мартенсит сприяє збереженню твердості до вищих температур (рис. 8).

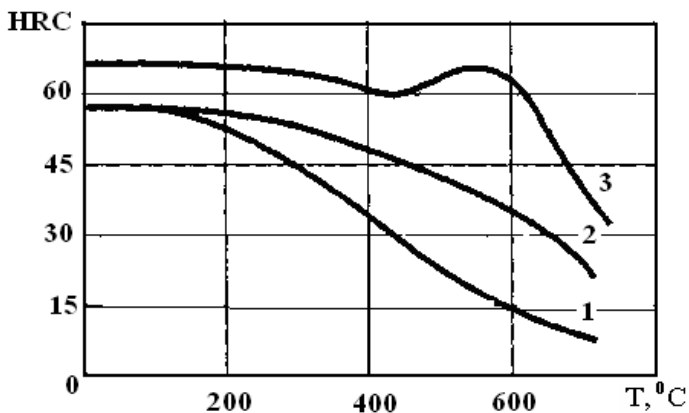


Рисунок 8 – Зміна твердості загартованих сталей при відпуску:
 1 – вуглецевої; 2 – низьколегованої; 3 - високолегованої (швидкорізальної)

Здатність сталі зберігати тривалий час високу твердість і зносостійкість при нагріванні до високих температур (температур червоного розжарення) називається *червонотійкістю* (теплостійкістю).

Продуктами розпаду мартенситу в легованих сталях є карбідцементитного типу та α -твердий розчин. На останньому етапі розпаду мартенситу дифузійна рухливість атомів легуючих елементів збільшується, внаслідок чого з'являється можливість їх перерозподілу між феритом і цементитом. Карбідотвірні елементи дифундують у карбіди, некарбідотвірні – замикаються у твердому розчині. При певному вмісті легуючого елемента в цементиті відбувається перетворення його на спеціальний карбід. У сталях з високим вмістом карбідотвірних елементів спеціальні карбіди (типу $M_{23}C_6$, M_7C_3 , M_2C , MC) можуть утворитися також безпосереднім виділенням із твердого розчину.

Спеціальні карбіди відзначаються високою дисперсністю, їх виділення сприяє значному підвищенню

твердості сталі. Цим і пояснюється поява вторинної твердості сталі після відпуску в інтервалі температур 500–600 °С (рис. 8, крива 3).

Процеси коагуляції та зростання карбідних частинок, властиві третій і четвертій стадіям перетворення, в легованих сталях стають помітними при температурах, вищих за 500 °С, і відбуваються значно повільніше, ніж у вуглецевій сталі. Найповільніше коагулюють спеціальні карбіди типів M_6C та MC , помітне збільшення яких відбувається при температурах, вищих за 550–600 °С.

Як і у вуглецевих сталях, структура легової сталі залежить від температури відпуску і може складатися з відпущеного мартенситу, троститу або сорбіту. Проте в легованих сталях внаслідок уповільнення процесів виділення та коагуляції карбідів для досягнення заданого зниження міцності, а також твердості або заданого підвищення пластичності необхідно застосовувати вищу температуру відпуску. Це забезпечує надійне зняття внутрішніх напружень і одержання вищих, ніж у вуглецевих сталях, міцності та пластичності. Саме тому для виготовлення виробів відповідального призначення, які зазнають в експлуатації складних навантажень, переважно використовують леговані сталі.

2.5. Класифікація легованих сталей

Леговані сталі можуть бути класифіковані за чотирма ознаками: за рівноважною структурою, за структурою після охолодження на повітрі, за складом і за призначенням.

2.5.1. Класифікація за рівноважною структурою

За структурою, що формується в умовах рівноваги, леговані сталі можуть бути доевтектоїдними, евтектоїдними та заевтектоїдними. Однак, виходячи зі структури, сталі

діляться на 6 класів: перлітний, аустенітний, феритний, напівферитний, напіваустенітний і ледебуритний (рис. 9).

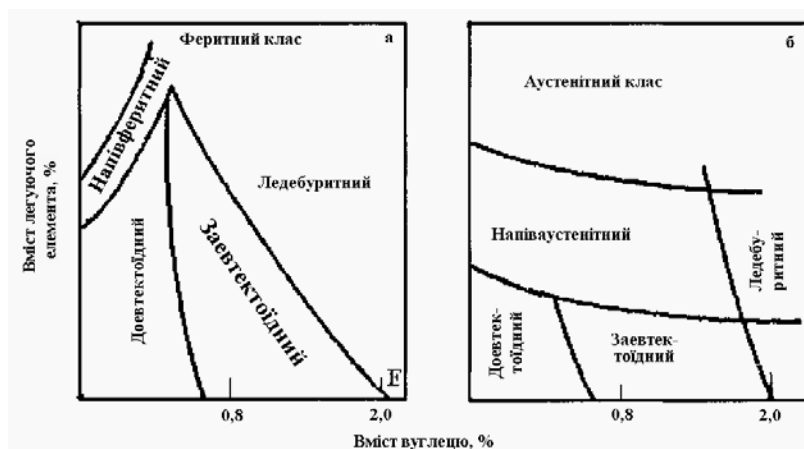


Рисунок 9 – Класифікація сталей за структурою у потрійній системі залізо-вуглець – легуючий елемент: а – легуючий елемент звужує сферу γ -фази; б – легуючий елемент звужує сферу α -фази

У перлітний клас об'єднуються сталі, які містять перліт. Це як доетектоїдні, так і етектоїдні та заетектоїдні сталі. Серед легуваних сталей виділяються так звані ледебуритні сталі, які у литому стані містять етєктику, однією зі складових якої є первинні карбїди (об'ємна частка первинних і вторинних карбїдів у них досягає 30–35%). За структурою ледебуритні сталі потрібно було б розглядати як білі чавуни. Але оскільки ці сплави містять менше 2% С і можуть куватися, то їх відносять до сталей.

Лєговані сталі феритного класу утворюються при відносно низькому вмісті вуглецю і великому вмісті легуючих елементів, що збільшують область існування фериту (Cr, W, Mo, V, Si). При всіх температурах структура

цих сталей складається із легованого фериту, іноді із найбільшим вмістом карбідів.

Аустенітні сталі одержують при високому вмісті таких легуючих елементів, як Ni і Mn. Однак часто структура сталей, що містять ці елементи, складається із суміші фериту та аустеніту.

Сталі, які мають таку структуру, відносять до ферито-аустенітних, або до аустенітно-феритних залежно від того, яка фаза переважає.

2.5.2. Класифікація за структурою після охолодження на повітрі

Ураховуючи структуру, що одержана після охолодження на спокійному повітрі зразків найбільшої товщини, можна виділити три основні класи сталей: перлітний, мартенситний, аустенітний.

Сталі перлітного класу характеризуються відносно малим вмістом легуючих елементів, мартенситного – більш значним і, нарешті, аустенітного – високим вмістом легуючих елементів.

Одержання трьох класів сталі обумовлене тим, що у міру збільшення вмісту легуючих елементів стійкість аустеніту в перлітовій області зростає, а температурна область мартенситного перетворення знижується, що й відображено на діаграмах ізотермічного розпаду аустеніту (рис.10).

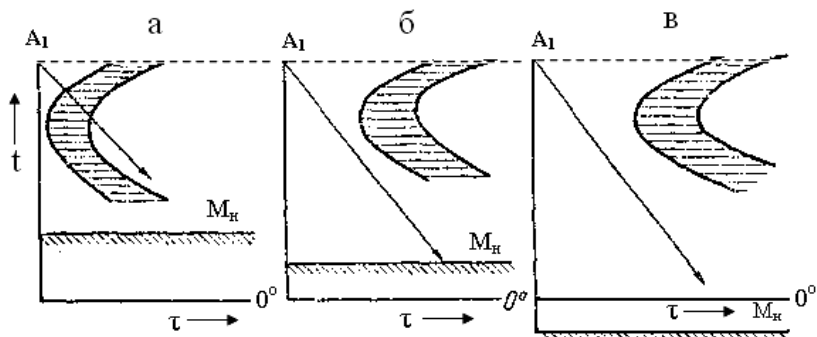


Рисунок 10 – Діаграма ізотермічного розпаду аустеніту для сталей трьох класів (схема): а – перлітний клас; б – мартенситний клас; в – аустенітний клас

Для легованих сталей перлітного класу (як і для вуглецевих) крива швидкості охолодження на повітрі перетинатиме область перлітового розпаду і виходитимуть структури – перліт, сорбіт, тростит.

У сталей мартенситного класу область перлітового розпаду вже значно зміщена вправо. Тому охолодження на повітрі не призводить до перетворення в перлітовій області – аустеніт тут переохолоджується без розпаду до температур мартенситного перетворення, де й відбувається утворення мартенситу.

Подальше збільшення вмісту вуглецю і легуючих елементів не тільки зміщує праворуч область перлітного розпаду, але й знижує мартенситну точку, переводячи її в область від’ємних температур. У цьому випадку сталь, охолоджена на повітрі до кімнатної температури, зберігає аустенітний стан.

2.5.3. Класифікація за складом

Залежно від складу леговані сталі класифікують як нікелеві, хромисті, хромонікелеві, хромонікелемолібденові

й тому подібні сталі. Класифікаційна ознака – наявність у сталі тих або інших легуючих елементів.

2.5.4. Класифікація за призначенням

Залежно від призначення сталі можна об'єднати у такі групи.

Перша – конструкційна сталь, що використовується для виготовлення деталей машин. Конструкційні сталі піддають термічній обробці (різним її видам). Тому конструкційні сталі ділять на:

- а) цементовані;
- б) поліпшувані;
- г) ресорно-пружинні;
- д) зносостійкі сталі та сплави.

Друга – інструментальна сталь, що використовується для виготовлення різального, вимірювального, штампового та іншого інструменту.

Третя – сталі та сплави з особливими властивостями. До них відносять сталі, що мають які-небудь виражені фізичні, хімічні, технологічні або механічні властивості, а саме:

- а) нержавіючі;
- б) жароміцні;
- в) теплостійкі;
- г) з особливостями теплового розширення;
- д) з особливими магнітними властивостями;
- е) з особливими електричними властивостями і т. д.

2.6. Леговані конструкційні сталі

2.6.1. Особливості термічної обробки конструкційних легованих сталей та їх специфічні недоліки

Для ефективного використання легованих сталей спеціаліст повинен розуміти їх позитивні сторони і недоліки порівняно з вуглецевими сталями.

1. Позитивні особливості легованих сталей виявляються в термічно обробленому стані. Тому з легованих сталей виготовляються деталі, що обов'язково піддаються термічній обробці.

2. У термічно обробленому стані (гартування + відпуск) усі леговані сталі знаходять вищі показники опору пластичним деформаціям σ_T порівняно з вуглецевими сталями при однаковому вмісті вуглецю.

3. Більшість легуючих елементів стабілізують аустеніт (збільшують його стійкість). У зв'язку з цим за інших рівних умов прогартуваність легованих сталей вища, ніж вуглецевих. Тому навантажені деталі великого перерізу потрібно виготовляти з легованої конструкційної сталі, вибираючи при цьому сталь такого складу, яка в заданому перерізі прожарюється наскрізь.

4. У зв'язку з гальмівною дією легуючих елементів на розпад аустеніту виявляється й інша позитивна особливість легованих сталей – можливість застосування при гартуванні «м'яких» охолоджувачів (масла).

Гартування в маслі значною мірою знижує брак щодо гартівних тріщин і викривлення. Тому за необхідності проведення термічної обробки виробів складної форми, навіть коли ці вироби мають невеликий переріз, застосування легованих сталей переважне, тому що зменшується ймовірність браку.

5. Підвищення запасу в'язкості та опору холодноламкості легованої сталі після гартування і відпуску за рахунок легування (особливо нікелем), унаслідок чого збільшується експлуатаційна надійність деталей машин.

6. У високовідпущеному стані вплив легуючих елементів на крихку міцність визначається тим, як ці елементи впливають на коагуляцію карбідів і на феритну фазу. Особливо сприятливо діє нікель, що різко знижує поріг холодноламкості. Такий вплив нікелю спостерігається

і в складнолегованих сталях, у складі яких наявний цей елемент.

Проте леговані сталі мають і специфічні недоліки.

1. Багато легованих сталей схильні до оборотної відпускнуї крихкості.

2. У високолегованих сталях після гартування є підвищена кількість залишкового аустеніту, що знижує твердість, опір утомленості. Для усунення $A_{ост}$ потрібна додаткова обробка.

3. Леговані сталі більше вуглецевих сталей схильні до дендритної ліквідації, тому що швидкість дифузії легуючих елементів у залізі мала. Тому при кристалізації дендрити збіднюються легуючими елементами, міждендритний матеріал збагачується ними. Після кування, плющення таких сталей утворюється характерна рядкова структура і збільшується неоднорідність властивостей сталі вздовж і впоперек напрямку деформації. Сталь із такою структурою також погано обробляється різанням.

Леговані сталі, будучи міцними порівняно з вуглецевими, здебільшого при однаковому вмісті вуглецю мають гіршу оброблюваність різанням. Це ж утруднює обробку тиском легованих сталей. Результат ліквідації виявляється і після термічної обробки сталі.

4. Дуже небезпечним дефектом легованих сталей є флокени (особливо у сталях, легованих нікелем). Флокени – це світлі плями в зламі. У поперечному перерізі флокени виявляються у вигляді дрібних тріщин з різною орієнтацією. Причиною виникнення флокенів є виділення водню, розчиненого у сталі.

Розчинність водню у сталі зменшується зі зниженням температури. Якщо охолодження сталі повільне, то водень, що виділяється із сталі, встигне продифундувати через товщу зливка і флокени не утворюються. При порівняно швидкому охолодженні водень не встигає продифундувати і залишається у сталі, створюючи великий

внутрішній тиск, що призводить до утворення тріщин. Якщо у сталі відбуваються також фазові перетворення, які проходять різночасно в різних ділянках зливків через неоднорідність складу, то з'являються додатково ще й фазові напруження, що посилюють флокеноутворення. Заходами боротьби з флокенами є зменшення вмісту водню у сталі при її виплавці і повільне охолодження зливків у області температур флокеноутворення (від 200 °С і нижче), а також ізотермічний відпал зливків. Сталь, у якій флокени вже утворилися, можна виправити плющенням або куванням заготовки на дрібніші перерізи. При гарячій обробці тиском флокени зварюються. Флокеночутливі сталі відмічені у табл. 1 знаком «+».

5. Леговані сталі дорожче вуглецевих. Сталі, що містять нікель, крім того, є дефіцитними. У табл. 1, 2 у колонці «Індекс вартості» наводяться дані про відносну вартість деяких легованих сталей. За одиницю взята вартість сталі Ст3.

2.6.2. Основне призначення легуючих елементів у конструкційних сталях

Як конструкційні машинобудівні сталі дуже часто використовуються сталі, леговані хромом (0,8–1,2%). Ці сталі мають дещо вищу прогартуваність, ніж вуглецеві сталі.

Хром сприяє отриманню високої і рівномірної твердості сталі. Поріг холодноламкості хромових сталей 0–100°С.

Нижче розглядається вплив додаткового легування на властивості хромових сталей.

1. Для підвищення прогартуваності хромові сталі додатково легують бором (0,003%). Такі сталі мають поріг холодноламкості на рівні відповідних вуглецевих сталей +20 ... (-60) °С, тому що бор підвищує поріг холодноламкості.

2. Прогартовуваність підвищують введенням у хромові сталі марганцю (D_{95} сталі 40ХГР порядку 25 мм). Проте марганець сприяє зростанню зерна, підвищує поріг холодноламкості до $+40 \dots (-60) ^\circ\text{C}$.

3. Для подрібнення зерна до складу хромомарганцевих сталей вводиться титан ($\sim 0,1\%$). Сталі 18ХГТ, 30ХГТ є поширеними сталями для виготовлення невеликих шестерень.

4. Уведення у хромові сталі молібдену (0,15–0,45 %) підвищує прогартовуваність, знижує поріг холодноламкості до $(-20)–(-120) ^\circ\text{C}$. Молібден підвищує статичну, динамічну і міцність від утомленості сталі; усуває схильність до внутрішнього окиснення при нагріванні сталі в середовищі ендогазу.

Ванадій у хромових сталях (0,1–0,3%) подрібнює зерно і підвищує міцність та в'язкість.

5. Уведення у хромові сталі нікелю дуже підвищує міцність, прогартовуваність, знижує температурний поріг холодноламкості тим більше, чим більше нікелю у складі сталі. Додаткова добавка молібдену знижує відпускну крихкість, до чого схильні хромові сталі, що містять нікель. Хромонікелеві сталі мають якнайкращий комплекс властивостей. Проте нікель дефіцитний і тому на практиці обмежують використання сталей, що містять нікель. Заміна значної кількості нікелю рівною кількістю міді не погіршує в'язкості легованої нікелем сталі.

6. При легуванні хромомарганцевих сталей кремнієм одержують сталі під назвою хромансиль (20ХГС, 30ХГСА). Ця група сталей має високий комплекс властивостей міцності та в'язкості, добре зварюється, штампується і обробляється різанням. Наголошується, що наявність 1,0–1,7 % кремнію у складнолегованих сталях супроводжується підвищенням ударної в'язкості та температурного запасу в'язкості.

7. Для підвищення прогартовуваності та механічних властивостей (в'язкості) хромансилі додатково легують нікелем (сталь 30ХСНА). Високий комплекс міцності та в'язкості мають деталі з хромансилів також після ізотермічного гартування. (Сталь 30ХГС після ізотермічного гартування при 280–310 °С має $\sigma_b = 1650$ МПа, $\sigma_{0,2} = 1300$ МПа, $\delta = 9\%$, $\psi = 40\%$ і $KCU = 40$ Дж/см²). Ці сталі широко використовуються в літакобудуванні. Основним матеріалом у сучасному літакобудуванні є нікелеві хромансилі типу 30ХГСНА.

8. Для найвідповідальніших деталей великого перерізу застосовуються складнолеговані хромонікельмолібденові сталі типу 18Х2Н4В(М) А і 40ХНМА.

9. З підвищенням вмісту вуглецю у всіх сталях підвищується поріг холодноламкості, що необхідно мати на увазі при виборі сталі.

10. Присадка свинцю, кальцію покращує оброблювану різанням.

11. У сталях зміцнювальними фазами можуть бути: 1) карбіди різного складу; 2) нітриди; 3) карбонітриди; 4) інтерметаліди; 5) чисті метали, малорозчинні в залізі, наприклад майже чиста мідь. Найефективніше зміцнення досягається такими фазами, які здатні розчинятися у твердому розчині (в аустеніті при нагріванні), а потім виділятися з нього і зберігатися в дрібнодисперсному стані при температурах обробки або використанні виробу. Так, цементит, нітриди заліза не відносять до таких фаз, тому що хоча вони добре розчиняються в аустеніті, але, відділившись із мартенситу при відпуску, схильні до коагуляції. Карбід титану неефективний, тому що він дуже погано розчиняється в аустеніті. Ефективними зміцнювачами є VC, VN, NbC, NbN, MoC і комплексні фази на їх основі.

Оптимальне зміцнення від дисперсних частинок досягається тоді, коли ці частинки дрібні й коли відстань між ними у твердому розчині мала.

Для середньовуглецевих поліпшуваних сталей ефективні для дисперсного зміцнення елементи ванадій (до 0,1-0,15%) і ніобій. Наявність інших легуючих елементів (Cr, Mo, W та ін.) у цих сталях підвищує прогартовуваність, усуває відпускну крихкість. Після відпуску дисперсна фаза повинна бути повністю відокремлена із твердого розчину. Це досягається високим відпуском, під час призначення температури якого необхідно уникати відпускну крихкості.

Таким чином, найбільший ефект підвищення механічних і технологічних властивостей сталі залежить від призначення різних легуючих елементів та їх комбінацій.

2.6.3. Цементовані леговані конструкційні сталі (табл. 1)

До цементованих відносять маловуглецеві сталі із вмістом вуглецю до 0,25 %. Ці сталі використовуються для виготовлення деталей, які в процесі роботи піддаються інтенсивному зношуванню і від яких потрібні високі механічні властивості (опір статичним, динамічним навантаженням або утомленості). Для посилення зміцнювальних властивостей підвищують вміст вуглецю у цементованих сталях до 0,25-0,3%. Для досягнення необхідних властивостей деталі з цих сталей піддають також ціануванню або нітроцементациї.

Цементовані сталі залежно від ступеня зміцнюваності серцевини деталі прийнято підрозділяти на три групи:

1. Вуглецеві сталі з незміцнювальною серцевиною.
2. Низьколеговані сталі зі слабозміцнювальною серцевиною.
3. Високолеговані сталі із сильнозміцнювальною серцевиною.

До третьої групи відносять також порівняно малолеговані сталі з підвищеним вмістом вуглецю (0,25–0,3 %). У табл. 1 наведені найбільш широко використовувані марки цементованих сталей, режими їх термообробки і механічні властивості залежно від перерізу деталі, а також індекс вартості, що показує, у скільки разів наведена сталь дорожча сталі Ст.3.

Таблиця 1 - Цементовані конструкційні сталі

Група	Марка сталі	Температура термооброби, °С			Переріз заготовк и, мм	Механічні властивості					Твердість		Індекс варто сті
		цементация	гартування I	відпуск		σ _T	σ _b	δ	ψ	КСУ, Дж/см ²	серцевин и НВ	поверхн і HRC	
I	10		320	200	20	250	400	25	55		140		
	15		800	200	50	270	500	20	50		150		
	20		800	200	50	320	550	18	45		150		
II	15Г		800	200	-	300	500	17	45				
	15Х	930	880	180	До 40	500	600	12	45	70	≥179	56-62	1,15
	15ХРА		860	180		15	550	750	15				
	20Х	930	-	180	25	650	800	11	40	50	≥212	56	1,2
	20ХР	930	880	200	15	650	850	11	45	80	≥212	56-62	1,2
	18ХГТ	930		200	50	800	1000	-	50	80	≥240	56-62	1,2
	20ХГР	930		200	15	800	1000	9	50	80	43HRC	56-62	1,25
15ХГНТА	930	960	200		700	950	10	50	90	≥229			
III	30ХГТЦ	970	870	200		1100	1500	9	45	60			
	30ХГТ	930		200	120	750	940	12	33	60	270	56-62	1,4
	20ХФ	930		200	25	800	900	17	52		240	56-62	1,25
	12ХНЗА		860	180	15	700	950	11	55	90			
	20ХНР	Норм 930		200	75	1100	1160	12,5	60	135	321		1,7
	14ХГ2СР		930	840	200	100	1070	1170	14	48	110	350	56-62
	15ХНГ2ВА	930	860 (відп)*	190	110	1180	1280	11	43	96	363	56-62	
	15ХГ2СВА	930	860 (відп)*	180	150	1150	1240	13,5	44	92	363	56-62	
	18Х2Н4В (М) А	900	860 (відп)*	160	До 120	1000	1200	10	45	100	370	58-63	
	18Х2Н4 (М) А			190	До 500	700	900	10	40	50	276		

*Перед гартуванням відпуск при 650°С

Прийняті такі умовні позначення: ц. – цементация; г. – гартування; в. – відпуск; г.в. – гартування у воді; г.м. – гартування в маслі; г. I – гартування I; г. II – гартування II, якщо проводиться подвійне гартування; норм. – нормалізація; від. – відпуск. Якщо після температури відпуску стоїть літера «в.» або «м.», то це означає, що охолодження після відпуску повинне бути у воді (в.) або в маслі (м.).

Необхідно зазначити, що як у табл. 1 для цементованих сталей, так і в табл. 2 для поліпшуваних сталей наведені режими термообробки за державними стандартами для контрольних зразків під час приймання сталі. Така термообробка забезпечує отримання властивостей зразків, що гарантуються.

Реальні деталі можуть оброблятися за абсолютно іншими режимами. Так, деталі з маловуглецевих сталей 20X, 18XГТ, 12ХНЗА та інших піддаються цементации, гартуванню і низькому відпуску, а для зразків під час приймання цих сталей за державними стандартами рекомендується застосовувати тільки гартування і відпуск. Для деталей фактично не застосовується і подвійне гартування та ін.

Для більш повної характеристики сталей у довідниках наводяться і додаткові цінні дані – графіки зміни механічних властивостей залежно від значення $T_{\text{відп}}$. Наводяться також діаграми для визначення прогартовуваності сталей.

Цементовані сталі найбільш широко використовують для виготовлення шестерень, оскільки висока твердість у поверхневому шарі підвищує міцність від утомленості зубів і зменшує віспоподібний знос (пітинг).

Суть віспоподібного зносу полягає в утворенні у поверхневому шарі втомних мікротріщин від циклічної дії навантаження під час роботи. Поступово від поверхні зуба відокремлюються невеликі луски металу й утворюються віспини (виразки). Чим вищі твердість поверхневого шару

і межа текучості серцевини зуба, тим вищі контактна витривалість і загальна міцність від утомленості зубів шестерні. Щоб уникнути полонки зубів шестерень, твердість серцевини зуба повинна бути 30–40 HRC.

В умовах масового виробництва нітроцементация маловуглецевих сталей і карбонітрування підвищено-легованих сталей мають переваги перед простою цементациєю. Застосування нітроцементации вуглецевих сталей забезпечує кращу прогартовуваність поверхневого шару, що дозволяє отримати високу твердість і зносостійкість деталей при гартуванні у маслі, тоді як цементований шар при гартуванні у маслі має знижену твердість перехідних структур.

Для карбонітрування найкращою є сталь 25ХГМТ. Ця сталь рівнозначна за прогартовуваністю сталі 12Х2Н4А і рекомендується як замітник хромонікелевої цементованої сталі. Сталь 25ХГМТ має хороші технологічні властивості.

Сталь 25ХГМТ стає основним матеріалом для виготовлення шестерень в автотракторній промисловості, зміцнюваних карбонітруванням або гартуванням. Використовування карбонітрування для сталей типу 12Х2Н4А, 20Х2Н4А призводить до різкого збільшення (до 60–70%) залишкового аустеніту, що знижує контактну міцність від утомленості деталей. За даними ЗІЛа, гранично допустимий вміст Ні в карбонітрованих сталях становить 1,2% (сталь 20ХГНТР).

Для підвищення міцності від утомленості карбонітрованих деталей у ряді випадків застосовується дробоструминний наклеп поверхневого шару. Міцність деталей при цьому підвищується як за рахунок утворення стискних напружень, так і структурних змін у поверхневому шарі, які виявляються у зменшенні кількості залишкового аустеніту.

Усунення залишкового аустеніту в легованих сталях можна досягти нагріванням їх перед гартуванням до температури ~ 650 °С.

З метою підвищення продуктивності у ряді випадків можна замінити цементацію поверхневим гартуванням СВЧ з низьким відпуском (180 °С) сталей типу 55ПП (0,55% С, ПП – знижена прогартуваність). При цьому одержують твердість 61–61,5 HRC на глибині 1-2 мм.

2.6.4. Поліпшувані леговані конструкційні сталі (табл. 2)

Такими сталями є вуглецеві та леговані сталі із вмістом вуглецю 0,3–0,5%.

У табл. 2 наводяться деякі марки таких сталей і режими термообробки, властивості у заготовках різних перерізів, значення температури верхнього і нижнього порогів холодноламкості. Знаками «+» показана чутливість сталі до відпускнуї крихкості і до флокеноутворення.

Поліпшувані сталі умовно поділені на п'ять груп.

До I групи відносять вуглецеві сталі. Зважаючи на малу прогартуваність, високі механічні властивості під час використання цих сталей досягаються в деталях малого перерізу (до 10 мм) при гартуванні у воді. Сталі цієї групи використовують також у нормалізованому стані.

До II групи віднесені сталі, леговані переважно хромом або хромом і бором (для збільшення прогартуваності). Ці сталі мають дещо вищу прогартуваність і приблизно однаковий з вуглецевими сталями рівень опору крихкому руйнуванню.

Для підвищення прогартуваності хромові сталі піддаються додатковому легуванню марганцем, хромом, молібденом (сталі 40ХГ, 40ХГР, 30ХГС, 30ХМ, 30ХГТ), домішки титану подрібнюють зерно. Ці сталі відносять до III групи. Сталі, леговані марганцем, мають знижений запас в'язкості (вищий поріг холодноламкості).

До IV групи відносять сталі, до складу яких входить 1–1,5% Ni. Ці сталі мають підвищену прогартовуваність, низьке значення температури холодноламкості й підвищену конструкційну міцність. Їх рекомендують для деталей перерізом 40–70 мм.

Таблиця 2 - Поліпшувані конструкційні сталі

Група	Марка сталі	Температура, °С		Переріз заготовки, мм	σ_T	σ_H	δ	ψ	КСУ, Дж/см ²	Поріг холодноломкості, °С	Схильність до		Індекс вартості
		гартування	відпуск		МПа		%				відпускнуї крихкості	флокенів	
I	40	850	550-620	До 60	400	700	18	40	45	+20 – -60	-	-	1,05
	40Г	840	550	50	590	840	20		90				1,1
	45	560-600	560-600	До 100	450	750	17	35	50	+20 – -60			1,05
II	35ХРА	860	600	20	460	630	20	71	20				
	40Х	850 в.м.	540-580	До 50	700	850	10	40-50	60	0 – -60	+	+	1,15
	40ХР	840 м.	520 – в.м.	25	800	1000	12	50	90	+20 – -60	+	+	1,2
	50	830	600	20	520	750	15						
III	38ХС	900 м.	630 м.		750	950	12	50	70				
	30ХМ	830 в.м.	540 в.м.	До 25	750	950	12	50	90	-20 – -120	-	+	1,6
	40ХР	840 м.	520 в.м.	25	850	1000	9	45	60	+20 – -60	+	+	1,3
	40ХГР	850 м.	570 в.м.	25	800	1000	11	45	80	+20 – -60	+	+	1,3
	30ХГС	870	550 в.м.	60	700	900	9	45	900	+40 – -60	+	+	1,4
IV	25ХГС	870 м.	550 м.		650	800	12	45					
	40ХН	820 м.	500	25	800	1000	11	45	70	30 – -100	+	+	1,55
	40ХНР	830 м.	500-550	До 100	750	900	12	45	70				
	30ХГР	850 м.	600		800	880	19	69		0 – -80	+	+	1,6
	40ХНР	850 м.	500 в.м.	25	900	1100	10	55	80	+20 – -60	+	+	1,7
	40ХНМА	850 м.	520 в.м.	40	1500	1650	9	45	50	-40 – -120	(+)	+	2,2
	40ХНМА	850 м.	520 в.м.	До 30	500	700	15	50	60	-40 – -120	(+)	+	«
V	34ХНЗМ	860 м.	600	105-130	750	870	14	38	60				3,0
	38ХНЗМ (В) ФА	860 м.	620	До 800	750	900	11	38	550	-60 – -140	+	+	3,1
	30ХН2ВФА	860 м.	680	25	800	900	10	40	90	-40 – -120	+		

Примітка. В.м. – охолодження в маслі або у воді; м. – охолодження в маслі

Сталі V групи мають 2–3% Ni і додатково леговані молібденом, вольфрамом для зменшення оборотної відпускної крихкості при високому відпуску. Сталі мають високу прогартовуваність і рекомендуються для деталей перерізом >70 мм.

При виборі поліпшованої сталі потрібно керуватися конкретним призначенням деталі.

Високі значення від σ_T і σ_B характеризують лише один бік конструкційної міцності – опір матеріалу деформації. Поряд із високими значеннями σ_T матеріал повинен мати також високий опір крихкому руйнуванню S_{OT} . Зміна значень σ_T і σ_B сталі у бік підвищення спричиняє зменшення значення S_{OT} і підвищення порога холодноламкості. Схильність до крихкого руйнування залежить також від коефіцієнта жорсткості напруження. Легування, зміцнюючи матеріал, може сприяти крихкому руйнуванню, тому не рекомендується прагнути до використання сталей надмірно легованих. Оскільки легування збільшує прогартовуваність, то для деталей, працюючих в умовах дії ударних навантажень або великих розтягальних напружень, потрібно обмежуватися таким ступенем легування, який забезпечить при гартуванні одержання мартенситу по всьому перерізу деталей (необхідні значення D_{95} , $D_{99,9}$). Для деталей, що працюють в умовах дії згину або зрізу безударної дії навантажень, можна обмежитись одержанням по перерізу структури 90% мартенситу на глибину, що дорівнює 1/2 радіуса деталі. Таким чином, важливим критерієм при виборі марки сталі є значення критичного діаметра D_{50} і D_{95} . Оскільки різні сталі можуть мати однакову прогартовуваність, то перевагу потрібно віддати сталі, яка має нижчий поріг холодноламкості. Проте у довідковій літературі не завжди наводяться дані про поріг холодноламкості. Тому важливого значення набуває

встановлення температурного порога холодноламкості безпосередньо у заводській лабораторії.

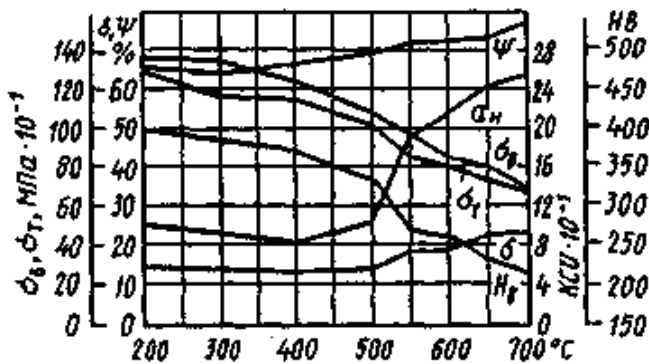
Крім наведених типових режимів термічної обробки, деталі із середньовуглецевих конструкційних сталей можуть піддаватися відпуску при нижчій температурі, що дає вищі значення σ_T , σ_B , але зменшує пластичність і запас в'язкості. Робити висновок про утворення механічних властивостей у цих випадках можна за діаграмами, подібними до показаних на рис. 10. У тому разі, якщо деталі, виготовлені із середньовуглецевої сталі, повинні мати підвищену зносостійкість, після поліпшення можна проводити поверхневе гартування СВЧ і низький відпуск.

Основною перевагою індукційного гартування є сильне подрібнення аустенітного зерна і відповідно одержання дрібногочастого мартенситу. Створення високих залишкових напружень стиснення після гартування СВЧ підвищує міцність від утомленості.

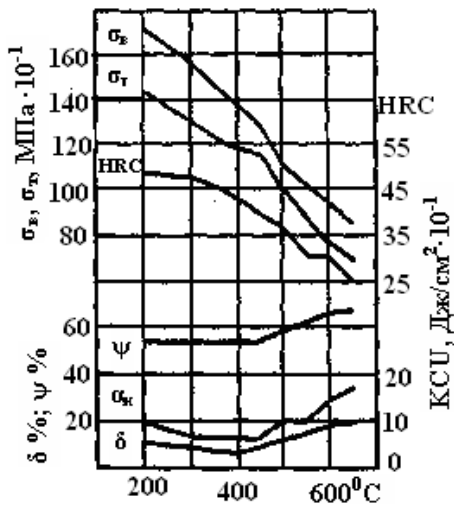
Основні напрями підвищення конструкційної міцності сталевих деталей. Як свідчить аналіз табл. 1, 2 і рис. 10, максимальні зміцнювальні властивості σ_T до 1500 МПа при достатній в'язкості $KCU = 50$ Дж/см² можуть бути досягнуті у середньовуглецевих сталей у поліпшеному стані і у низьковуглецевих сталей гартуванням і низьким відпуском. Подальше підвищення межі текучості може бути легко здійснене під час використання сталей з вищим вмістом вуглецю в загартованому і низьковідпущеному станах (рис. 10 б), проте пластичність і в'язкість деталей з таких матеріалів низькі, у зв'язку з чим під час роботи виникає небезпека крихкого руйнування (деталі стають ненадійними в роботі).

На сьогодні існує в основному два напрями для підвищення конструкційної міцності сталевих деталей:

а) створення нових високоміцних сплавів; б) використання нових методів зміцнювальної обробки сталі.



а)



б)

Рисунок 10 – Залежність властивостей сталей від температури відпуску: а – сталь 18ХГТ; б – сталь 30ХГТ

2.6.5. Ресорно-пружинні леговані сталі

Основними вимогами, що ставляться до деталей типу ресор і пружин, є висока межа пружності, високий опір втоми при достатній пластичності. Для вуглецевих пружинних сталей значення $\sigma_{0,2}$ повинне бути не нижчим 800 МПа, для легованої сталі – не нижчим 1000 МПа. Пластичність $\delta \sim 5\%$, $\psi \sim 20\text{--}25\%$.

Підвищені значення межі пружності пружинних сталей досягаються гартуванням з подальшим середньотемпературним відпуском при 400–480°C (залежно від марки сталі).

Для сталей, використовуваних для пружин і ресор, необхідно забезпечити наскрізну прогартуваність деталей, щоб одержати після відпуску структури трооститу відпуск по всьому перерізу. Пружні й зміцнювальні властивості пружинної сталі досягаються також при ізотермічному гартуванні.

У табл. 3 наведені декілька марок і механічні властивості ресорно-пружинних сталей. Найвищі механічні властивості дроту для пружин досягаються патентуванням і подальшим протягуванням при ступені деформації $\epsilon = 95\%$, $\sigma_b = 2600$ МПа. Ці операції здійснюються на металургійному заводі. На машинобудівних заводах проводяться часто тільки навивання пружин і відпуск при 300–350 °С.

Таблиця 3

Марки сталі	Механічні властивості	
	σ_b	σ_T
	МПа	
65, 70, 75, 86, 55ГС, 65Г	1000-1150	800-1000
55С2, 60С2, 60ГС, 55СГ28, 50ХФА,	1200-1300	1100-1200
65С2А, 70С3А, 60С2ХА, 65С2ВА,		1400-1700
60С2Н2А	1600-1900	

Крім сталей, що використовуються для виготовлення пружин у термічно обробленому стані, як пружинний матеріал застосовують також високовуглецеві сталі (У7-У12) у вигляді холоднотягнутого шліфованого дроту (сріблянки). Навіті пружини із сріблянки рекомендується піддавати нагріванню до 250–300 °С для зменшення внутрішніх напружень.

Пружини з вуглецевої, марганцевистої, крем'янистої сталей можуть працювати при температурах до 200 °С. Із сталі 50ХФА можна виготовити пружини, що працюють при розігріванні до 300 °С. Для вищих температур використовуються теплостійкі сталі 3Х2В8Ф (до 500 °С), Р18 – при температурах до 600 °С.

Пружини, що працюють в агресивних середовищах, виготовляють з хромових нержавіючих сталей марок 3Х13, 4Х13, 9Х18 або з хромонікелевої аустенітної сталі Х18Н9.

З метою підвищення міцності від утомленості не допускається зневуглицювання при нагріванні під гартування і потрібна висока якість поверхні від зовнішніх дефектів. Рекомендується поверхнєве зміцнення пружин і ресор шляхом наклепу. При цьому на поверхні створюються залишкові напруження стиснення, що сприяють підвищенню міцності від утомленості. Межа втоми σ_{-1} у результаті такої обробки підвищується у 1,5–2 рази.

2.6.6. Зносостійкі леговані сталі та сплави

Зносостійкість матеріалу більшою мірою залежить від характеру зношування. Здебільшого матеріали, зносостійкі в одних умовах зношування, виявляються абсолютно не зносостійкими у разі зміни умов зношування.

Нижче будуть розглянуті деякі зносостійкі сталі та сплави, які можна використовувати для виготовлення деталей машин і механізмів у відповідних умовах зношування.

Сталі та сплави, зносостійкі в умовах стираючого зносу (тертя кочення, тертя ковзання). У подібних умовах працюють деталі типу шарико- і роликотидшипників, вали, деталі дорожніх і землерийних машин.

Щоб матеріал мав підвищену зносостійкість у таких умовах, необхідна висока твердість (рис. 11).

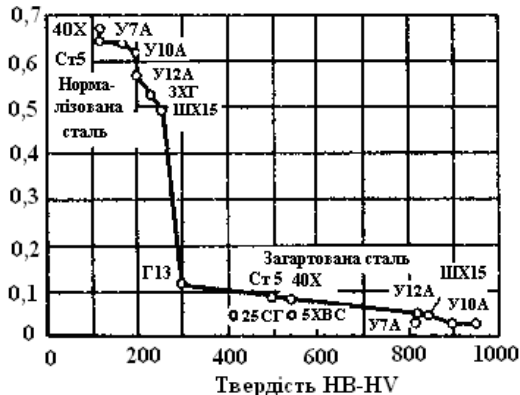


Рисунок 11 – Залежність абразивного зносу від твердості

Поряд із високовуглецевими сталями і якістю зносостійких матеріалів використовують білий чавун, тверді сплави. Останні мають винятково високу зносостійкість.

Особливу групу зносостійких сталей становлять шарикотидшипникові сталі, що мають близько 7 % С і від 0,6 до 1,5 % Сг: ШХ6 (0,6 % С), ШХ9 (0,9% 3), ШХ15 (1,5% С) та ін.

При легуванні хромом у шарикотидшипникових сталях досягається підвищення прогартовуваності й зносостійкості. До цих сталей ставляться підвищені вимоги

до чистоти від неметалевих включень, які можуть бути центрами при зародженні втомних дефектів під час роботи підшипника. Твердість сталей після гартування і низького відпуску (150–200 °С) 61–66 HRC.

Як зносостійкий сплав використовується і графітизована сталь. Така сталь має у своєму складі підвищений вміст вуглецю (1,3–1,75%) і кремнію (0,75–1,25%). Завдяки цьому частина вуглецю у сталі виділяється у вигляді графіту.

На відміну від чавуну графітизована сталь має здатність пластично деформуватися. У загартованому стані вона має високі твердість і зносостійкість. Графітизовані сталі застосовуються для виготовлення штампів, калібрів, валів ($\sigma_v \approx 800$ МПа, $\delta \approx 6$ %).

Зносостійкі матеріали в умовах дії ударного зношування в абразивному струмені. Типовими деталями, що піддаються подібному зносу, є робочі органи дезінтеграторів (вітряків для дроблення піску). Механізм зношування металу в абразивному струмені ще недостатньо вивчений. Проте встановлено, що загартовані сталі, білий чавун, які мають хорошу зносостійкість при стираючій дії абразиву, не мають практично переваги при зношуванні ударним абразивом перед звичною сталлю Ст3. Найбільш зносостійкими матеріалами в умовах ударного абразивного зносу є тверді сплави типу ВК, що складаються з карбідів вольфраму і кобальту при вмісті кобальту близько 6% (ВК6), але цей матеріал дуже дорогий і дефіцитний. Перспективнішими є спечені сталі із зміцненням карбіду, у яких зносостійкість, крім карбідів, створюється зміцнювальною термічною обробкою.

Зносостійка високомарганцевиста сталь марки Г13 для роботи в умовах зношування, супроводжуваного великими питомими навантаженнями. Сталь Г13 має у своєму складі 1–1,4 % вуглецю і 12–14 % марганцю, вона має аустенітну структуру і відносно низьку твердість (200–250 НВ). У процесі роботи, коли на деталь діють високі

навантаження, які викликають у матеріалі напруження, що перевершують межу текучості, відбуваються інтенсивна наклепка сталі Г13 і зростання її твердості та зносостійкості (рис. 12). При цьому сталь зберігає високу в'язкість. Завдяки цим властивостям сталь Г13 широко використовується для виготовлення таких деталей, як корпуси кульових вітряків, щік каменедробарок, хрестовин рейок, гусеничних траків, козирків землечерпалок і т. д. Схильність до інтенсивного наклепу є характерною особливістю сталей аустенітного класу.

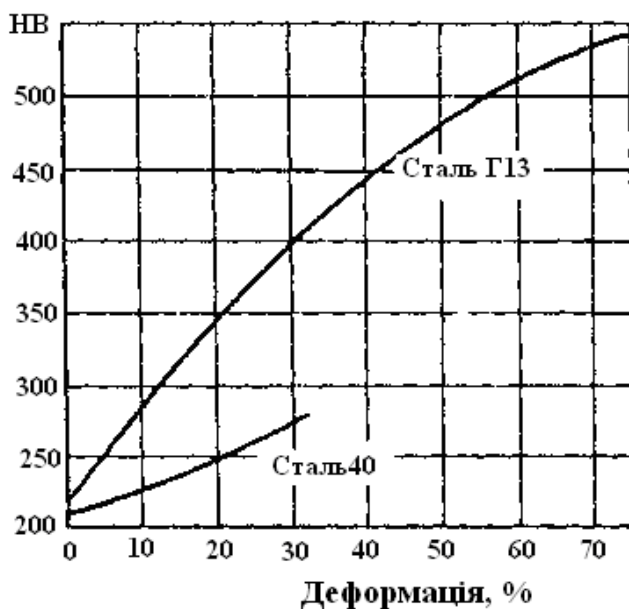


Рисунок 12 – Вплив наклепу на твердість вуглецевої сталі 40 і сталі Г13

3. ЛАБОРАТОРНІ РОБОТИ

Теми: 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10

Легування конструкційних цементованих сталей. Низьколеговані конструкційні сталі підвищеної міцності. Легування ресорно-пружинних сталей. Легування шарикопідшипникових зносостійких сталей. Легування будівельних сталей. Легування інструментальних сталей. Економічна ефективність застосування легованих матеріалів і шляхи зменшення їх собівартості.

Лабораторна робота 1

«Особливості термічної обробки легованих сталей»

Обсяг аудиторних занять з роботи – 4 год.

Література: Пчелинцев В. А., Руденко Л. Ф., Капуста В. А. Особенности термической обработки легированных сталей и изучение влияния пластической деформации и рекристаллизации на структуру и свойства металлов. – Харьков, 1989. – 28 с.

Теми: 3.3.1, 4.3, 4.5

Вплив легуючих елементів на фізико-хімічні процеси, що проходять у легованих сталях; легування конструкційних поліпшуваних сталей; легування інструментальних сталей.

Лабораторна робота 2

«Вивчення дефектів легованої сталі»

Обсяг аудиторних занять з роботи – 4 год.

Література: Руденко Л. Ф. Вивчення дефектів легованої сталі. – Суми : СумДУ, 2006. – 18 с.

Лабораторна робота 3

«Структура і класи легованих сталей після відпалу і нормалізації»

Обсяг аудиторних занять з роботи – 4 год.

Література: Руденко Л. Ф. Структура и классы легированных сталей после отжига и нормализации. – Сумы :

СумГУ, 1998. – 14 с.

Лабораторна робота 1
«Особливості термічної обробки
легованих сталей»

I. МЕТА РОБОТИ

Ознайомитися з особливостями термічної обробки легованих конструкційних сталей.

Вивчити зміни твердості загартованої сталі залежно від температури відпуску.

2. ОБЛАДНАННЯ, МАТЕРІАЛИ
ТА ПРИСТОСУВАННЯ

- 2.1. Твердомір Роквелла.
- 2.2. Піч для нагрівання зразків під гартування.
- 2.3. Зразки легованої сталі.
- 2.4. Заточувальний верстат.

3. ОСНОВНІ ПОЛОЖЕННЯ

Легованою називають сталь, в яку для отримання необхідних властивостей і структури спеціально вводять певну кількість легуючих елементів.

Леговані сталі широко застосовуються у промисловості завдяки своїм високим механічним або особливим фізичним і хімічним властивостям, одержуваним після відповідної термічної обробки.

Широко застосовуються такі легуючі елементи (згідно з державними стандартами вони позначаються певними літерами): Н – нікель, Х – хром, К – кобальт, С – кремній, В – вольфрам, Ф – ванадій, М – молібден, Г – марганець, Д – мідь, Т – титан, Ю – алюміній, Р – бор.

При позначенні легованих конструкційних сталей існує правило: на першому місці стоять цифри, що вказують вміст вуглецю у сотих відсотка; потім літерами вказуються легуючі елементи, при цьому, якщо після літер цифр немає, то легуючого елемента міститься близько 1 %, якщо стоять цифри, то вони вказують на ціле число відсотків даного елемента.

Наприклад, сталь 38Х2МЮА містить: вуглецю – 0,38 %; хрому – близько 2 %; молібдену – 1 %; алюмінію – 1 %. Літера А в кінці марки означає, що ця сталь високої якості.

Уведення легуючих елементів призводить до утворення нових фаз і структурних складових, змінює кінетику перетворень і технологію термічної обробки. Більшість легуючих елементів розчиняється в основних фазових складових сталі: у фериті, утворюючи легований ферит, легуючі елементи підвищують його міцність і знижують в'язкість; в аустеніті й цементиті, утворюючи відповідно леговані аустеніт і цементит. Легуючі елементи, що створюють з вуглецем карбіди, називають карбідотвірними, а елементи, що не утворюють карбіди, – некарбідотвірними.

Легуючі елементи впливають на поліморфізм заліза і змінюють температуру поліморфного перетворення в залізі, тобто зсовують точки A_3 і A_4 .

Частина легуючих елементів (наприклад, марганець, нікель, платина та ін.) розширює сферу γ -заліза, знижуючи точку A_3 і підвищуючи точку A_4 (рис. 1 а). Друга група, до якої відносять більшість легуючих елементів: ванадій, кремній, титан, вольфрам, молібден та ін., навпаки, знижує точку A_4 , тобто розширює сферу існування α -заліза (рис. 1 б).

Леговані сталі класифікують: за способом виробництва, хімічним складом, призначенням, структурою у рівноважному стані (відпал) і структурою в нормалізованому стані (охолодження на повітрі).

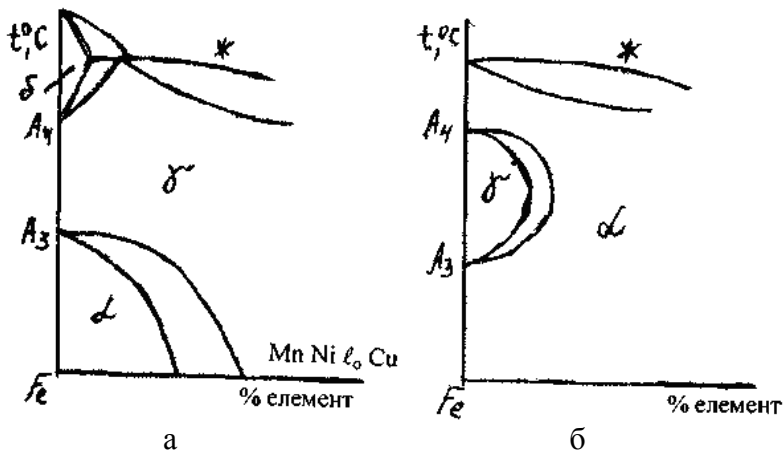


Рисунок 1 - Схема діаграм залізолегуючих елементів: а - розширювальних γ -сфери; б - розширювальних α -сфери

За призначенням леговані сталі підрозділяють на конструкційні, інструментальні та сталі з особливими властивостями.

Конструкційні сталі застосовують для виготовлення різних деталей машин і елементів будівельних конструкцій. Основними вимогами, що ставляться до конструкційної сталі, є висока міцність і пластичність. Залежно від умов роботи і вимог до механічних властивостей, що ставляться, конструкційну сталь можуть піддавати цементації, тоді її називають цементованою (0,1–0,3% вуглецю), або поліпшенню (гартуванню і високому відпуску) – у цьому разі її називають поліпшуваною сталлю (0,3–0,6% вуглецю).

Інструментальні сталі застосовують для виготовлення різного різального, вимірювального і штампового інструменту. Основні вимоги, що ставляться до таких сталей, – висока твердість і стійкість проти стирання. Ці сталі містять 0,7–1,3% вуглецю і 1–25% легуючих елементів. За важких умов різання різальна кромка інструменту нагрівається, тому основною вимогою для такого інструменту є червоностійкість, тобто збереження твердості при тривалому нагріванні.

Основна вимога до сталі для штампового інструменту – підвищена твердість при достатній пластичності. Ця сталь містить 0,3–1% вуглецю і 1–10% легуючих елементів. Для різних видів інструменту застосовують різні типи сталей. Склади їх дуже різноманітні, їх поділяють на вуглецеві, леговані та швидкорізальні.

До особливої групи інструментальних матеріалів входять так звані тверді сплави, використовувані для інструменту, що працює при високих швидкостях різання.

Сталі особливої групи мають специфічні фізико-хімічні властивості. До цієї групи відносять: нержавіючі, окалиностійкі й жароміцні, магнітні, з особливими тепловими та електричними властивостями. Такі сталі, як правило, містять велику кількість легуючих елементів.

За структурою у рівноважному стані леговані сталі поділяють на такі класи (рис. 2):

- доевтектоїдні, структура яких є перлітом і надлишковим феритом;
- евтектоїдні, зі структурою перліту;
- заевтектоїдні, які мають структуру перліту з надлишковими вторинними карбідами, що виділилися з аустеніту при охолодженні;
- ледебуритні, у структурі яких містяться первинні (евтектичні) карбіди;
- феритні, структура яких складається з легованого фериту і деякої кількості карбідів;
- аустенітні, які мають аустенітну структуру з деякою кількістю карбідів, які утворюються при високому вмісті легуючих елементів, що розширюють γ -сферу (Ni, Co, Cu, Mn).

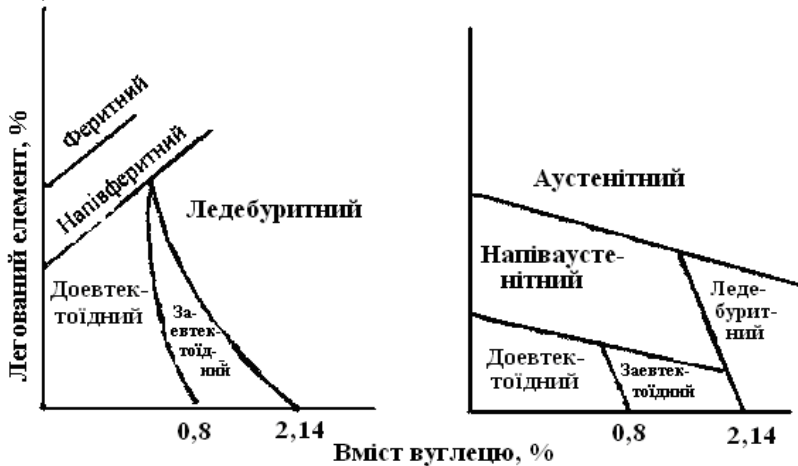


Рисунок 2 – Структурні діаграми легованої сталі

Необхідно відзначити, що межа між доевтектоїдними, евтектоїдними, заевтектоїдними і ледебуритними класами

у легованих сталях проходить при меншому вмісті вуглецю, ніж у вуглецевих сталях.

Сталь ледебуритного класу застосовують частіше як інструментальну. Вона містить значну кількість вуглецю (0,7–1,7%) і велику кількість (до 25%) карбідотвірних елементів (Cr, W, V, Mo). Характерна особливість ледебуритної сталі – наявність великої кількості карбідів. Найтиповішою сталлю цього класу є швидкорізальна.

За структурою у нормалізованому стані леговані сталі поділяють на перлітові, мартенситні та аустенітні класи (рис. 3).

Сталь перлітного класу – найпоширеніша конструкційна й інструментальна легована сталь. Вона містить різну кількість вуглецю і порівняно невелику кількість (до 6%) легуючих елементів. Після нормалізації залежно від вмісту вуглецю утворюється структура: перліт, сорбіт, троостит або перліт і ферит, перліт і цементит. Утворення таких структур пояснюється тим, що крива швидкості охолодження при нормалізації для сталі даного класу перетинає криву ізотермічного розпаду аустеніту в зоні утворення феритоцементитної суміші (рис. 3 а).

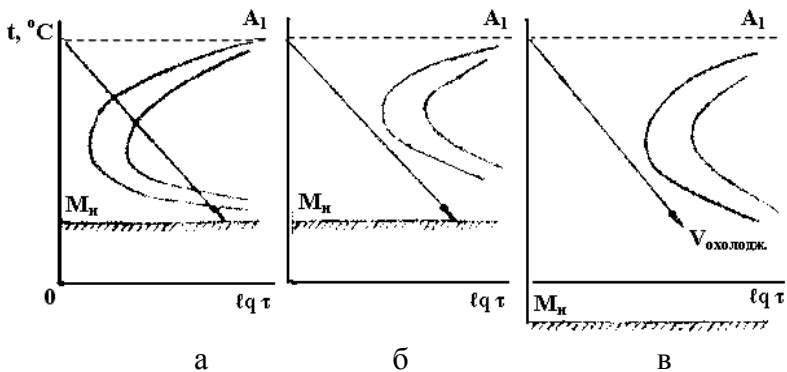


Рисунок 3 – Схеми утворення різних структур при нормалізації:
а – перлітовий, б – мартенситний, в – аустенітний класи

Конструкційні малолеговані сталі із вмістом 0,3–0,6% С (40Х, 38ХМА) широко застосовуються при виготовленні деталей машин (осі, вали, шестерні). Легуючі елементи збільшують прогартовуваність сталі і тим самим дають можливість набувати високих механічних властивостей у деталях великих перерізів. З легованих сталей із вмістом 0,4–0,7% С (5ХНТ, 5ХНВ) виготовляють інструмент для гарячої обробки (штампи, матриці, пуансони та ін.). Для виготовлення різального і вимірювального інструменту широко застосовуються леговані високовуглецеві сталі із вмістом вуглецю 0,8% С і більше (ХВГ, 9ХС). Після відповідної термічної обробки (гартування з низьким відпуском) ці сталі мають високу твердість і зносостійкість.

Сталь мартенситного класу має обмежене поширення. Вона містить до 10–15% легуючих елементів. При нормалізації утворюється мартенсит, тому що за наявності значної кількості легуючих елементів крива ізотермічного розпаду аустеніту зміщується вправо. У зв'язку з цим крива швидкості охолодження при нормалізації для сталі даного класу (рис. 3 б) не перетинає криву ізотермічного розпаду і аустеніт переохолоджується до температур точки M_n з утворенням мартенситу.

Сталь аустенітного класу, що вже зазначалося, є в основному сталлю, яка має специфічні фізико-хімічні властивості. Вона містить 20–30% легуючих елементів, що знижують критичну точку A_3 і підвищують A_4 , тобто розширюють сферу γ -заліза. Після нормалізації утворюється структура аустеніту. Утворення аустеніту пояснюється тим, що при великому вмісті легуючих елементів крива ізотермічного перетворення зміщена вправо, а точка початку мартенситного перетворення M_n

розміщена нижче за кімнатну температуру (рис. 3 в). У зв'язку з цим крива швидкості охолодження на повітрі (нормалізації) для сталі зазначеного класу не перетинає криву ізотермічного розпаду аустеніту і не доходить до температури точки M_n , тому структура зберігається аустенітною.

Зміцнення цих сталей, як правило, здійснюють методами холодної обробки (плющення, наклеп).

Приблизний склад і клас деяких сталей наведені у табл. 1, 2.

Таблиця 1 – Приблизний склад деяких сталей

Марка сталі	Хімічний склад, %						Критична точка, °С		
	C	Cr	Ni	Mn	W	Ti	A _c	A _{c3}	
Конструкційні сталі. Низьковуглецеві цементовані сталі									
10	0,05-0,15	-	-	-	-	-	735	890	
15X	0,12-0,20	0,7-1,0	-	-	-	-	750	850	
18ХГТА	0,17-0,24	1,0-1,4	-	0,9-1,2	-	0,05-0,15	-	-	
12Х2Н4А	0,10-0,15	1,25-1,75	3,25-3,75	-	-	-	-	-	
18ХНВА	0,14-0,21	1,35-1,65	4,0-4,5	-	0,8-1,2	-	700	800	
Марки сталі	Механічні властивості								
	у відпаленому стані				у загартованому і низьковідпущеному станах				
	σ_b , МПа		ψ , %		σ_b , МПа		ψ , %		α_H , кгм/см ²
10	400		60		400		60		
15X	600		60		800		55		8
18ХГТА	600		60		1200		60		10
12Х2Н4А	600		60		1300		60		12
18ХНВА	800		60		1400		60		14

Продовження таблиці 1

Марка сталі	Хімічний склад, %						Критична точка, °C					
	C	Cr	Ni	Mn	W	Ti	A _c	A _{c3}				
Середньовуглецеві поліпшовані сталі												
30	0,27-0,35	-	-	-	-	-	732	813				
40	0,35-0,45	-	-	-	-	-	730	800				
40ХА	0,34-0,42	0,8-1,1	-	-	-	-	740	800				
30ХГСА	0,25-0,35	0,8-1,1	-	-	0,9-1,2	0,8-1,1	750	840				
37ХНЗА	0,33-0,44	1,2-1,6	3,0-3,5	-	-	-	-	-				
40ХНМА	0,36-0,44	0,6-0,9	1,25-1,75	0,15-0,25	-	-	730	810				
30ХНЗМА	0,29-0,37	0,8-1,1	2,5-3,0	0,20-0,30	-	-	720	790				
Марки сталі	Механічні властивості											
	у відпаленому стані				у загартованому і низьковідпущеному станах							
	σ _B , МПа		ψ, %		НВ		σ _B , МПа		ψ, %		α _H , кгм/см ²	
30	480		50		179		-		-		-	
40	600		50		197		800		50		10	
40ХА	600		50		207		1000		50		12	
30ХГСА	600		50		229		1200		50		10	
37ХНЗА	700		50		-		1200		60		12	
40ХНМА	700		50		270		-		60		12	
30ХНЗМА	700		50		280		1300		60		12	

Продовження таблиці 1

Марка сталі	Хімічний склад, %					Критична точка, °C		
	З	Mn	Si	Cr	V	A _c	A _{c3}	
Пружинні сталі								
65	0,6-0,7	-	-	-	-	727	752	
65Г	0,55-0,65	0,7-1,0	-	-	-	260	765	
60С2	0,55-0,65	0,6-0,9	1,5-2,0	-	-	750	820	
50ХФ	0,45-0,55	-	-	0,7-1,1	0,15-0,25	752	788	
Марки сталі	Хімічний склад, %							
	З	Mn	Si	Cr	W	V		
Інструментальні сталі								
X05	1,25-1,40	0,2-0,4	0,4	0,4-0,6	-	-	-	
X	1,0-1,15	0,4	0,4	1,3-1,6	-	-	-	
9ХС	0,85-0,95	0,3-0,6	1,2-1,6	0,95-1,25	-	-	-	
XГ	1,3-1,5	0,45-0,7	0,4	1,3-1,6	-	-	-	
XВГ	0,9-1,05	0,8-1,1	0,4	0,9-1,2	1,2-1,6	-	-	
X12Ф1	1,20-1,45	0,4	0,4	11,0-12,5	-	-	0,7-0,9	
Сплав	Хімічний склад, %							
	C	Cr	Ni	Mn	Si	Co	W	Fe
Литі тверді сплави								
Сормайт № 1	2,5-3,3	25-31	3,5	0/5-1,5	2,8-4,2	-	-	55-67
Сормайт № 2	1,5-2,1	13,4-17,5	1,5-2,5	до 1	1,5-2,0	-	-	74,8-81
Сталініт	10	18	-	15	-	-	-	57
Стеліт	1,8-2,5	27-38	-	1	1-2	47-53	13-17	до 2

Продовження таблиці 1

Група	Марка	Хімічний склад, %							$\sigma_{\text{в}}$, МПа при $^{\circ}\text{C}$		
		C	Cr	Ni	W	Mo	Ti	Co	600	700	800
Аустенітні жароміцні сталі											
18-8	1X18H94	0,10			-	-	-	-	340	250	150
	1X18H95	0,12	16-20	8-11	-	-	-	-	340	250	150
	1X18H9M	0,14	16-20	8-11	-	2,5	-	-	450	300	200
14-142	EI69	0,4-0,5	13-15	8-11	2-2,5	0,2-0,4	-	-	500	350	230
	EI257	0,2	13-15	13-15	2-2,5	0,2-0,4	-	-	-	-	-
	EI-127	0,2	13-15	13-15	2-2,5	0,2-0,4	1-1,5	-	-	-	-
		0,2	13-15	13-15	2-2,5	-	0,1	6,8	500	350	250
15-30	EI395	0,1	15-17	24-27	-	5,7	-	-	-	450	300
		0,1	14-16	28032	-	-	15,2	-	-	500	250

Таблиця 2 - Склад і клас сталей за структурою

Марка сталі	Хімічний склад, % (за масою)								Клас сталі в нормалізованому стані
	C	Mn	Si	Cr	Ni	S	P	решта	
08X13	0,08	0,8	0,8	12,0-14,0	0,6	0,025	0,03		
15X28	0,15	0,8	1,0	27,0-30,0	0,6	0,025	0,035		Феритний
40X	0,36-0,44	0,5-0,8	0,17-0,37	0,8-1,1	0,4	0,03	0,035		
5ХНВ	0,50-0,60	0,5-0,8	0,15-0,35	0,5-0,8	1,4-1,8	0, -3	0,3	0,4-0,7	Перлітовий
9ХС	0,85-0,95	0,3-0,6	1,201,6	0,95-1,25	0,35	0,03	0,3		
40X13	0,36-0,45	0,8	0,8	0,8	12,0-14,0	0,6	0,025		Мартенситний
12X189Т	0,12	2,0	0,8	17,0-19,0	8,0-9,5	0,02	0,035	до 0,8 Т	Аустенітний
P9	0,85-0,95	0,4	0,5	3,8-4,4	3,8-4,4	0,4	0,03	8,5-10,0	
								2,0-2,6	Ледебуритний
X12M	1,45-1,65	0,15-0,4	0,15-0,35	11,0-12,5	0,35	0,03	0,03	0,4-0,6	
								0,15-0,3	

3.1. Вплив легуючих елементів при термічній обробці

Легування дуже впливає на перетворення переохолодженого аустеніту. Механізм перетворення аустеніту в легованих сталях багато у чому аналогічний до перетворення аустеніту й у вуглецевих сталях. Проте, зважаючи на малу швидкість дифузії як легуючих елементів, так і вуглецю у легованих сталях, кінетика перетворення аустеніту в цих сталях змінює форму і положення ліній діаграм ізотермічного перетворення.

Елементи, які тільки розчиняються у фериті та цементиті й не утворюють спеціальних карбідів (Ni, Si, Al, Cu), уповільнюють процес розпаду аустеніту, зміщуючи С-зображувані криві вправо (рис. 4 а).

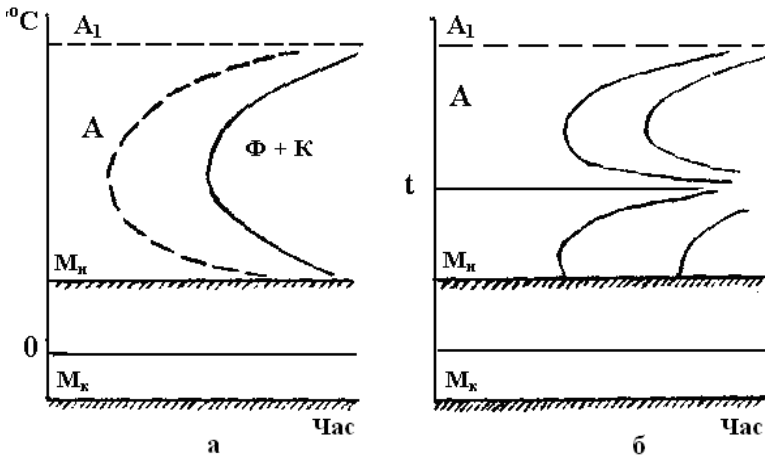


Рисунок 4 – Схеми, що показують вплив легуючих елементів на вигляд і форму діаграми ізотермічного розпаду аустеніту: а – для некарбідотвірних елементів (пунктиром показана лінія початку розпаду аустеніту для вуглецевих сталей, суцільною – для легованих); б – для карбідотвірних елементів

Карбідотвірні елементи (Mn, Cr, Mo, V) уповільнюють при 700–500 °С і 400–300 °С перетворення аустеніту у феритоцементитну суміш, в інтервалі 500–400 °С швидкість перетворення дуже мала. Це обумовлює появу на кривих ізотермічного перетворення двох максимумів (рис. 4 б). Подібний вплив виявляється й у комплексно-легованих сталях карбідотвірними й некарбідотвірними елементами. Після проміжного перетворення в легованих сталях спостерігається підвищена кількість залишкового аустеніту, який може зберегтися або перетворитися на мартенсит при подальшому охолодженні сталі. Температура максимальної стійкості t аустеніту залежить від виду карбідотвірного елемента, а час стійкості збільшується із збільшенням ступеня легуваності сталі.

Оскільки у більшості складнолегованих сталей спостерігається зміщення вправо, то аустеніт у них має меншу критичну швидкість гартування. Це забезпечує вищу прогартуваність легованих сталей при гартуванні, тобто отримання мартенситної структури у глибших від поверхні шарах.

Легуючі елементи впливають на положення температурного інтервалу мартенситного перетворення, що, у свою чергу, відображається на кількості залишкового аустеніту. Більшість легуючих елементів знижує температуру мартенситних точок, окрім алюмінію і кобальту, які підвищують її, а також кремнію, що практично не впливає на положення мартенситної точки. Чим нижча температура мартенситного перетворення, тим більша кількість залишкового аустеніту в сталі.

Усі легуючі елементи, крім марганцю, зменшують схильність аустенітного зерна до зростання. Найбільший вплив на схильність до зростання чинять карбідотвірні елементи. Цей вплив тим більший, чим вища стійкість

карбідів, що утворюються, і чим важче вони розчиняються в аустеніті.

Легуючі елементи утруднюють дифузійні процеси і уповільнюють процес розпаду мартенситу, а також процес коагуляції карбідів. Таким чином, для отримання заданої твердості необхідно леговану сталь нагрівати до вищих температур відпуску, ніж вуглецеву. При відпуску в інтервалі 400–570 °С для легованих сталей спостерігається явище оборотної відпускнуої крихкості, яке супроводжується підвищенням схильності до крихкого руйнування. Дослідники пов'язують це явище з процесом відокремлення карбідів із твердого розчину при температурах максимальної стійкості аустеніту до перетворення.

Вплив деяких легуючих елементів на структуру і властивості сталей:

нікель після відповідної термообробки сталі надає їй тонкої структури, що визначає високу пластичність і в'язкість;

хром зміцнює сталь унаслідок його розчинення в залізній основі і утворення карбідів, збільшує прогартовуваність;

марганець збільшує прогартовуваність і міцність сталі, прискорює процес цементації і підвищує зносостійкість;

вольфрам підвищує твердість за допомогою утворення складних карбідів і зберігає твердість сплаву при відпуску, зменшує його схильність до зростання зерна, підвищує зносостійкість і теплостійкість;

молібден зменшує схильність сталі до відпускнуої крихкості, підвищує прогартовуваність, додає підвищену міцність, пластичність і в'язкість;

ванадій різко зменшує зростання зерна при нагріванні, збільшує стійкість проти зниження твердості при відпуску,

покращує зварюваність, але погіршує шліфованість матеріалу;

кремній покращує прогартовуваність сталі, знижує її чутливість до перегрівання, сприяє рівномірному розподілу карбідів.

4. ПОРЯДОК ВИКОНАННЯ РОБОТИ

Робота проводиться на зразках вуглецевої і легованої сталі з однаковим вмістом вуглецю (наприклад, сталь 40 і 40ХНМА або сталі ШХ15 і У12) і виконується бригадами по 3–4 студенти.

4.1. Одержати від лаборанта зразки сталі і встановити для них температуру гартування й охолодне середовище.

4.2. Завантажити зразки вуглецевої сталі у нагріту піч із необхідною температурою і дати витримку 15 хв після нагрівання до заданої температури та охолодити три зразки у воді й один у маслі.

4.3. Завантажити зразки легованої сталі у нагріту піч. Після необхідної витримки охолодити три зразки у маслі й один у воді.

4.4. Охолоджені зразки зачистити від окалини з двох боків на наждачному крузі, а потім на наждачному папері та визначити твердість на приладі Роквелла. Результати вимірювань записати в табл. 3.

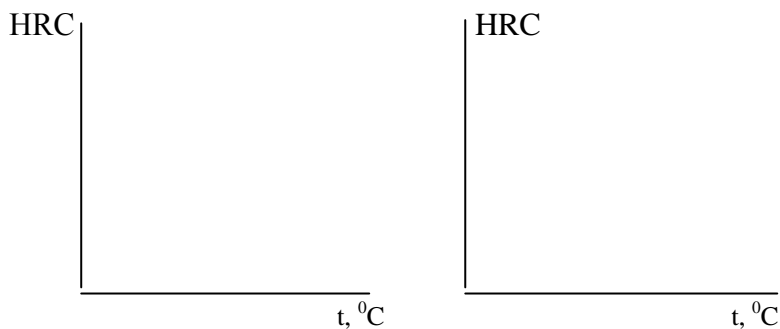
Таблиця 3 – Результати вимірювання твердості

Номер зразка	Марка сталі	Режим гартування	Твердість після гартування	Режим відпуску	Твердість після відпуску	Мікро-структура
1						
2						
3						
4						

4.5. Загартовані зразки помістити в муфельні печі для відпуску. Відпуск провести при трьох температурах, вказаних викладачем (наприклад, 160, 350, 550 °С). Відпуску, при кожній із зазначених температур, піддають два зразки: один із вуглецевої та один із легованої сталей. Після відповідної витримки зразки охолоджують на повітрі.

4.6. Виміряти твердість відпущених зразків на приладі Роквелла і дані записати в табл. 3.

4.7. Побудувати графіки впливу температур відпуску досліджених сталей на їх твердість:



4.8. Зробити висновки про зв'язок між складом, структурою і властивостями досліджених сталей.

5. ЗМІСТ ЗВІТУ

5.1. Зазначити тему, мету роботи, описати сутність легованих сталей.

5.2. З наведених таблиць або довідкової літератури виписати хімічний склад досліджуваних сталей, значення механічних характеристик і галузь застосування.

5.3. Навести у таблиці результати виконаної роботи.

5.4. Побудувати графік зміни твердості залежно від температури відпуску.

5.5. Зробити необхідні висновки за результатами досліджень.

Перед виконанням лабораторної роботи студенти повинні вивчити матеріал, викладений у розділі 3 цих методичних вказівок або скориставшись такою літературою:

1. Лахтин Ю. М. Материаловедение / Ю. М. Лахтин, В. П. Леонтьева. – М. : Машиностроение, 1960. – 493 с.

2. Гуляев А. Л. Металловедение / А. Л. Гуляев. – М. : Металлургия, 1977. – 664 с.

3. Геллер С. А. Инструментальные стали / С. А. Геллер. – М. : Металлургия, 1968. – 526 с.

Лабораторна робота 2
«Вивчення дефектів легованої сталі»
(тривалість роботи 4 год.)

1. МЕТА РОБОТИ

1.1. Вивчити мікрошліфи з характерними дефектами легованої сталі.

1.2. Провести досліди зі сталями, що мають властивість до відпускнуї крихкості II роду.

1.3. Навчитися за мікроструктурою визначати наявність дефектів у легованій сталі.

2. ОБЛАДНАННЯ ТА ІНСТРУМЕНТИ

2.1. Набір мікрошліфів легованих сталей.

2.2. Зразки з конструкційних легованих сталей 40X, 40XН, 40XНМА для випробування на ударну в'язкість.

2.3. Печі лабораторні для проведення термічної обробки.

2.4. Мікроскопи металографії МІМ-7, МІМ-8.

2.5. Маятниковий копер для проведення випробувань на ударну в'язкість.

**3. ХАРАКТЕРИСТИКА ДЕФЕКТІВ
ЛЕГОВАНИХ СТАЛЕЙ**

Високі механічні властивості легованих сталей забезпечили їх широке застосування у багатьох галузях машинобудування і спеціального машинобудування (авіації, автомобілебудуванні і т. д.) Разом з тим у

легованих сталях виникають характерні лише для них дефекти внутрішньої будови: дендритна ліквіація, відпускна крихкість, флокени, неоднорідність карбіду, властивість міжкристалітної корозії (МКК), окрихчування високохромових сталей, що мають у своїй структурі σ -фазу.

3.1. Дендритна ліквіація

Поява дендритної ліквіації обумовлена нерівноважною кристалізацією сплавів, що приводить до неоднорідності хімічного складу, дендритної і зональної ліквіації. Наявність у сталі легуючих елементів збільшує температурний інтервал кристалізації, утрудняє проходження дифузійних процесів і сприяє розвитку явищ дендритної ліквіації, оскільки збільшує різницю в концентрації між кристалами з рідкого розплаву, що випали раніше і пізніше. Мікроструктура дендритної ліквіації легової сталі наведена на рис. 1.

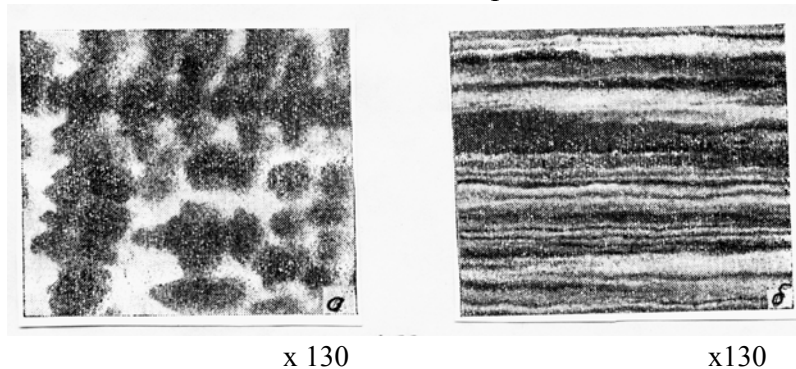


Рисунок 1 – Мікроструктура: а) дендритної ліквіації;
б) смужкуватість

Після прокатки або кування вилівка з дендритною ліквациєю одержують волоконну структуру з напрямом волокна уздовж прикладання сил деформацій. Випробування механічних властивостей вздовж і впоперек волокна показують неоднаковість властивостей ($\sigma_{0,2}$, ψ , КСУ). Це явище має назву «анізотропія механічних властивостей». Дендритну ліквацию у сталях виявляють і оцінюють за ГОСТом 10243-75.

Для зменшення дендритної ліквациї вдаються до дифузійного відпалу зливків перед прокаткою, який полягає у тривалому нагріванні сталі при високих температурах (1000–1200 °С).

3.2. Карбідна неоднорідність

У високовуглецевих (~ 1,0% С) хромистих, а також інструментальних швидкорізальних сталях спостерігаються так звані неоднорідності (рис. 2) карбіду, які є залишками ділянок ледебуритної евтектики, не розбиті до кінця у процесі кування. Чим більше виражена карбідна ліквация, тим нижча якість сталі (знижується стійкість деталей та інструменту в роботі, збільшується його крихкість). У шарикопідшипникових сталях, де навантаження є локальним (у точках дотику кульки (ролика) і кільця), якщо виявиться карбідна ліквация, то може відбутися місцеве руйнування (викришування), а внаслідок цього довговічність роботи підшипника знизиться. Тому згідно з ГОСТом 801-60 кожна плавка, в будь-якому профілі, перевіряється на неоднорідність карбіду і оцінюються якість і придатність сталі. Для усунення карбідної ліквациї при отриманні заготовки

застосовують велике уковування. Чим більше уковування, тим сильніше роздробляються скупчення карбідів, тим краща якість сталі. Уковування досягається поперемінними осадкою і витяжкою. Далі відбувається відпал.

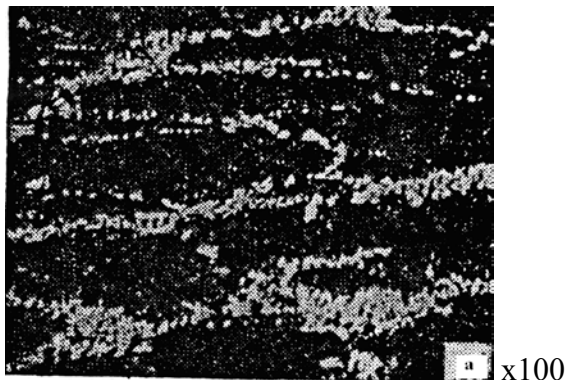


Рисунок 2 – Карбідна ліквация у швидкорізальній сталі

3.3 Флокени.

Флокени у зламі плями – це (пластівці) (рис. 3), а в поперечному мікрошліфі – мікротріщини. Наявність тріщин викликає зниження механічних властивостей. Флокени (тріщини) тим небезпечніші, чим вища міцність сталі. У високоякісних сталях флокени – дуже небезпечний дефект. Найбільш часто вони трапляються в легованих хромистих, хромонікелевих, хромонікелевольфрамових, хромомарганцевих та інших сталях.

Флокени можуть бути у кованих і катаних сталях, у литій сталі вони виявляються рідко.

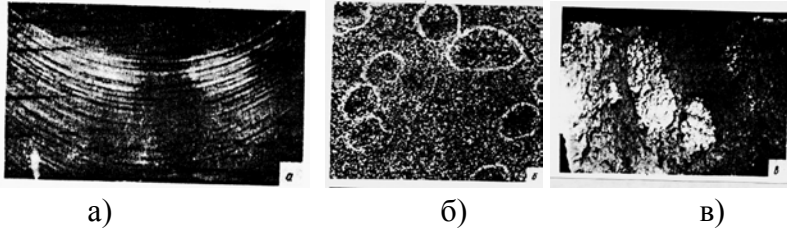


Рисунок 3 – Флокени у сталі: а) у поздовжньому перерізі;
 б) у поперечному перерізі поковки; в) у зламі

Виникають флокени у тих сталях, які швидко охолоджуються в межах 200°C і нижче (швидкість охолодження вище температури 200°C не впливає на флокеноутворення). Флокеночутливість залежить також і від кількості розчиненого в рідкій сталі водню, який при температурі нижче 200°C виділяється з розчину і створює сильні внутрішні напруження, які і призводять до утворення тріщин. На сьогодні вважають, що флокени реалізуються при вмісті водню $4\text{--}8\text{ см}^3$ на 100 г металу під дією додаткових внутрішніх напружень – структурних, термічних і механічних. Якщо ж сталь охолоджується повільно, то водень встигає продифундувати з розчину і видалитися зі сталі. У результаті сталь стає нечутливою до флокеноутворення. Утворення флокенів залежить і від діаметра заготовки – у малих перерізах менше $25\text{--}30\text{ мм}$ їх не виявляють. Контроль сталей на наявність флокенів проводять за ГОСТом 10243-75.

Для зменшення флокеночутливості проводять спеціальну термічну обробку, яка передбачає операцію ізотермічної витримки при субкритичних температурах, що забезпечує підвищену рухомість водню, його дифузію та операцію сповільненого охолодження з температури ізотермічної витримки з метою забезпечення допустимого мінімуму залишкових внутрішніх напружень у поковках.

3.4. Відпускна крихкість II роду

Окрихчування легованої конструкційної сталі (хромистої, хромонікелевої, хромомарганцевої) в умовах відпуску при температурах більше 500°C .

Характерна особливість крихкості цього виду полягає у тому, що вона виявляється внаслідок повільного охолодження після відпуску; при швидкому охолодженні в'язкість не зменшується, а монотонно зростає з підвищенням температури відпуску (див. рис. 4).

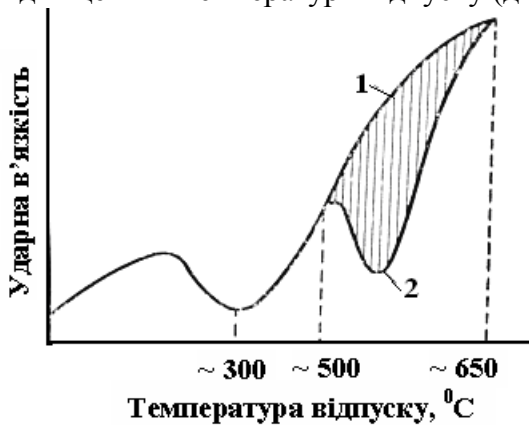


Рисунок 4 – Вплив відпуску на ударну в'язкість легованої сталі: 1 – швидке охолодження; 2 – повільне охолодження

Проте відпусна крихкість II роду знову може бути викликана новим високим відпуском із подальшим сповільненим охолодженням, тому відпускну крихкість II роду називають оборотною відпусною крихкістю.

Не всі сталі мають властивість до відпускну крихкості II роду. Вона не виникає у вуглецевих сталях. Властивість до відпускну крихкості виникає при легуванні сталі карбідоутворювальними елементами (марганець, хром) за наявності в ній більше 0,001% фосфору. Хром робить сталь особливо чутливою до умов охолодження при

відпуску, особливо якщо, крім хрому, сталь містить ще нікель або у підвищеній кількості марганець.

Якщо марганець і фосфор підсилюють цю чутливість, то молібден і меншою мірою вольфрам зменшують властивість до відпускнуї крихкості II роду.

Природа відпускнуї крихкості II роду і методи зменшення її впливу на властивості сталі.

Л. М. Утевський запропонував таке пояснення явища відпускнуї крихкості II роду. При високому відпуску по межі зерна відбуваються більш прискорене карбідоутворення (порівняно з об'ємом зерна) і насичення фази карбиду марганцем, хромом, а також утворення спеціальних карбідів.

Збіднення меж зерен карбідотвірними елементами при подальшому повільному охолодженні приводить до дифузії фосфору у напрямі цих ділянок. У результаті через ослаблення міжатомних зв'язків сталь окрихчується (рис. 5).

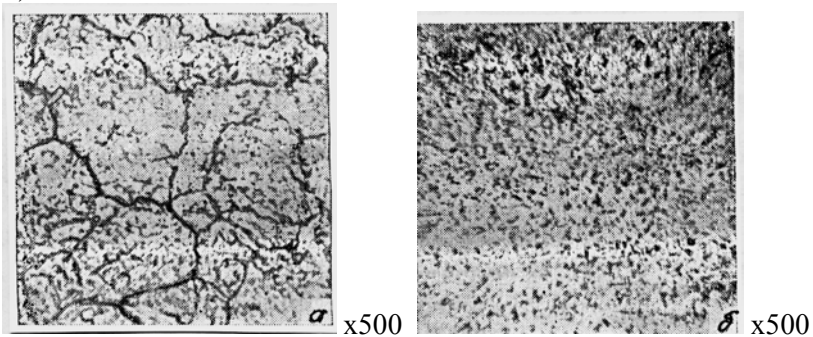


Рисунок 5 – Мікроструктура сталі 40XHA після відпуску при 550 °C: а) повільне охолодження – крихкий стан; б) швидке охолодження – в'язкий стан

Сприятливий вплив невеликих домішок молібдену (до 0,5-0,6%), що гальмують відпускну крихкість II роду, пояснюється тим, що молібден слабо бере участь в

утворенні легованого цементиту $(\text{Fe}, \text{Mo})_3\text{C}$ і при такому вмісті не утворює спеціальних карбідів. Наявність молібдену в розчині зменшує різницю в дифузійній рухливості атомів по межах і в об'ємі зерна й тим самим ослаблює виникнення неоднорідності в карбідотвірних елементах. Молібден також усуває шкідливий вплив фосфору по межі зерна.

При вищому вмісті молібдену в сталі утворюються спеціальні карбіди молібдену і це призводить до збіднення меж зерен молібденом при відпуску і до збагачення їх фосфором при сповільненому подальшому охолодженні. Отже, при вищому вмісті молібден сприятиме розвитку відпускнуї крихкості. Так само діє і вольфрам.

Окрихчування сталі при прояві відпускнуї крихкості II роду контролюють випробуванням на удар, визначаючи коефіцієнт в'язкості на зразках за ГОСТом 9454-60, а також проводять металографічний аналіз, досліджуючи мікроструктуру, що виявляється травленням пікриновою кислотою. Таке травлення виявляє збагачені фосфором межі зерен.

3.5. Міжкристалітна корозія

Міжкристалітна корозія – один із найбільш небезпечних видів корозії, оскільки призводить до ослаблення зв'язку між зернами сталі й різким падінням її пластичності та в'язкості.

Міжкристалітній корозії піддаються аустенітні хромонікелеві, хромомарганцевонікелеві й високохромисті феритні та напівферитні сталі, що містять 16–28 % Cr.

Явище міжкристалітної корозії пов'язане зі зниженням корозійної стійкості меж зерен унаслідок того, що в утворенні фази ($M_{23}C_6$) карбїду на межах зерен бере участь практично весь вуглець (успішно продифундований сюди з глибини зерна), а хром, у фазі карбїду, виникає тільки з примежових шарів зерен, оскільки через малу швидкість дифузії він не встигає надходити з глибини зерна. У результаті цього вміст хрому у твердому розчині на межі зерна виявляється менше 12%, тобто нижче за ту межу, яка забезпечує корозійну стійкість (рис. 6).

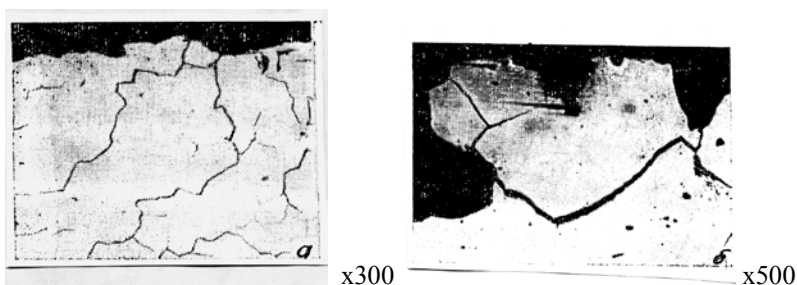


Рисунок 6 – Мікроструктура аустенітної нержавіючої сталі, ураженої міжкристалітною корозією

Процес міжкристалітної корозії виникає лише внаслідок нагрівання загартованої аустенітної сталі в певній області температур 500–700 °С. Такий нагрів викликає виділення карбїдів по межах зерен.

Властивість сталі до міжкристалітної корозії має важливе значення для виробів, що працюють у небезпечному інтервалі температур, але ще важливіше для виробів, що піддаються зварюванню. Одна з особливостей високохромистих сталей полягає у тому, що виготовлені з них зварні з'єднання уражаються міжкристалітною

корозією не на деякій відстані від шва, а в зоні, безпосередньо прилеглий до шва, що бачимо на рис. 7.

Усунути або значно зменшити властивість сталей до міжкристалітної корозії можна кількома способами: зниженням вмісту вуглецю у сталі до 0,02–0,03%; найпоширеніший спосіб полягає в додатковому легуванні її титаном або ніобієм. Основна мета введення цих елементів – зв'язувати вуглець, що міститься в сталі, у стійких карбідах, які на відміну від карбідів хрому не повинні розчинятися при температурі аустинізації, завдяки чому запобігати виділенню їх по межах зерен при подальшому нагріванні. Кількість титану або ніобію, що вводитьься, звичайно відповідає стехіометричному співвідношенню для їх карбідів, а саме: титану не нижче 5(C–0,03) %, а ніобію – не нижче 8(C–0,03) %.

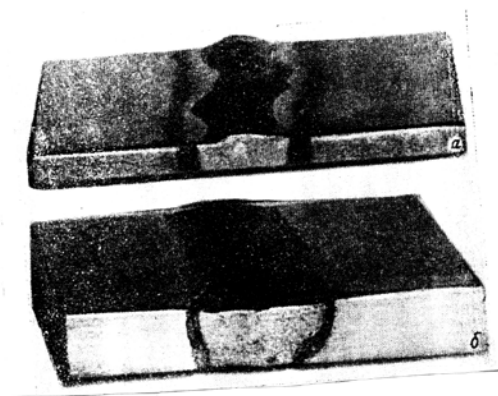


Рисунок 7 – Міжкристалітна корозія зварних з'єднань:
а) сталь з 18–20% Cr і 8–11%Ni; б) сталь з 17% Cr

Чутливість до міжкристалітної корозії визначається за ГОСТом 6032-89.

3.6. Крупнозернистість і σ -фаза

Великим недоліком хромистих сталей феритного класу є те, що крупнозернистість, яка виникає при перегріві (наприклад, при зварюванні) не може бути усунена термічною обробкою, оскільки в цих сталях немає фазових перетворень.

Крупнозернистість створює підвищену крихкість сталі (поріг холодноламкості підвищується і переходить в область додатних температур). Зростання зерна в цих сталях дещо стримується при додаванні титану, ванадію та азоту внаслідок утворення карбідів або нітридів титану й ванадію, як правило, розміщених на межі зерна і перешкоджаючих його зростанню.

Явище окрихчування спостерігається в цих сталях і при дрібнозернистій структурі як результат витримки в області температур 600–700 °С через виділення крихкої σ -фази (FeCr) (рис. 8) або через процес впорядкування твердого розчину при короткотривалих витримках при температурі близько 450–550 °С. Контролюють наявність σ -фази у структурі високохромистих сталей, виявляючи її електрохімічним травленням.

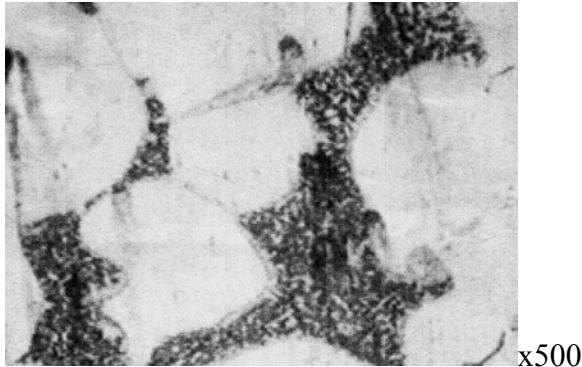


Рисунок 8 – σ -фаза у хромистих і феритних сталях

4. ПОРЯДОК ПРОВЕДЕННЯ РОБОТИ

Кожен студент у процесі проведення роботи повинен:

4.1. Проглянути при різних збільшеннях (від 100 до 500 крат) зразки легованих сталей з характерними дефектами: дендритною ліквіацією (макрошліф), неоднорідністю карбіду, флокенами, порівняти мікроструктури зразків сталей з відпускнуою крихкістю і без цього дефекту, міжкристалітною корозією і σ -фазою. Вивчити злами сталей з відпускнуою крихкістю і без неї.

4.2. Відзначити характерні особливості кожної мікрота макроструктури і зарисувати в кругах діаметром 60 мм або у квадратах 60х60 мм.

4.3. Під кожною зарисовкою дати відомості про сталь (марка, структурний клас, хімічний склад, режим обробки, структурні складові, вид дефектів і збільшення).

4.4. На кожній зарисованій мікроструктурі показати стрілками різні фази, структурні складові та дефекти.

4.5. Зробити відпуск заздалегідь загартованих зразків, виготовлених за ГОСТом 9454-60 із сталі 40X, 40XH і 40XHMA для випробування на ударну в'язкість при температурах 200, 300, 400, 500, 550 і 600 °С. Одну партію зразків охолодити на спокійному повітрі, іншу – у воді.

4.6. Виміряти твердість усіх зразків на приладі Роквелла до і після відпуску.

4.7. Зробити випробування зразків на ударну в'язкість.

4.8. Побудувати графіки зміни ударної в'язкості від температури відпуску для зразків усіх марок сталі, охолоджених на повітрі та у воді.

4.9. Побудувати графіки зміни твердості від температури відпуску для зразків всіх марок сталі, охолоджених на спокійному повітрі та у воді.

4.10. Досліджувати злами зразків усіх марок сталі. Особливу увагу звернути на злами зразків, відпущених при температурі 500–550 °С.

4.11. Робота виконується по підгрупах, кожній підгрупі студентів для самостійної роботи (під керівництвом лаборанта) видаються партія зразків і завдання. Побудова графіків і заповнення таблиць здійснюються з використанням даних, одержаних усіма підгрупами.

5. ЗМІСТ ЗВІТУ

Звіт про проведену лабораторну роботу повинен містити:

5.1. Мету роботи.

5.2. Короткі теоретичні відомості про всі види дефектів легованих сталей.

5.3. Протокол виконання індивідуального завдання: марка сталі, хімічний склад, температура відпуску, тривалість відпуску і середовище охолодження після відпуску.

5.4. Таблицю (зведена) результатів випробування зразків студентами всієї групи за такою формою:

Марка сталі	Температура відпуску, °С	Ударна в'язкість, кДЖ/см ²		Твердість НРС	Вид зламу
		охолодження на повітрі	охолодження у воді		
40Х	200				
	300				
	400				
	500				
	550				
	600				
40ХН	200				
	300				
	400				
	500				
	550				
	600				
40ХНМА	200				
	300				
	400				
	500				
	550				

	600				
--	-----	--	--	--	--

5.5. Графіки зміни ударної в'язкості й твердості від температури відпуску.

5.6. Опис зламів, одержаних у результаті випробування зразків на ударну в'язкість.

5.7. Рисунки макро- і мікроструктур усіх видів дефектів легованих сталей з відповідними поясненнями.

5.8. Висновки, що відповідають поставленій меті даної лабораторної роботи.

КОНТРОЛЬНІ ЗАПИТАННЯ

1. Перелічіть види дефектів, характерні лише для легованих сталей.
2. У чому виявляється негативний вплив на властивості дендритної ліквації в легованих сталях?
3. Якими методами зменшують вплив дендритної ліквації на властивості?
4. Чому у виливках легованих сталей виникає дендритна ліквація?
5. Наслідком якого дефекту є волоконна структура із анізотропними властивостями?
6. Які умови виникнення неоднорідності карбіду в сталях?
7. Який дефект характерний для сталей із неоднорідністю карбіду?
8. Як усувається неоднорідність карбіду?
9. Які легуючі елементи належать до карбідотвірних?
10. Як розміщені щодо Fe у періодичній системі елементів карбідотвірні метали?
11. У яких видах заготовок можливий дефект – флокен?
12. Що таке флокен?
13. У яких легованих сталях найчастіше утворюються флокени?
14. Які умови утворення флокенів?
15. Які види напружень у легованих сталях сприяють утворенню флокенів?
16. Який фактор (окрім виду заготовки, швидкості охолодження і наявності водню) впливає на процес утворення флокенів?
17. Як зменшити флокеночутливість легованих сталей?
18. У яких легованих сталях виявляється відпускна крихкість II роду?

19. Які елементи підвищують схильність до відпускнуої крихкості II роду?
20. Умови утворення відпускнуої крихкості II роду?
21. Які механічні властивості аномально вважаються при відпускнуї крихкості II роду?
22. Основні причини виникнення відпускнуої крихкості.
23. Після якої термообробки спостерігається відпускуна крихкість II роду?
24. У яких сталях можлива відпускуна крихкість?
25. Яка структура сталі після гартування і високотемпературного відпуску?
26. Якими методами можна усунути появу відпускнуої крихкості II роду?
27. Якими методами можна виявити відпускуна крихкість II роду?
28. Визначте, які з наведених марок сталі схильні до відпускнуої крихкості II роду?
29. Визначте, які з наведених марок сталі не схильні до відпускнуої крихкості?
30. Що таке міжкристалітна корозія (МКК)?
31. Що відбувається внаслідок МКК?
32. Визначте, які із наведених марок сталі схильні до міжкристалітної корозії.
33. Структурні класи сталей, схильних до міжкристалітної корозії.
34. За яких умов в аустенітних сталях виникає МКК?
35. Яка кількість вуглецю в аустенітних сталях знижує їх схильність до МКК?
36. Яка кількість хрому в сталях необхідна для корозійної стійкості?
37. Які легуючі елементи знижують схильність до МКК?
38. У якій кількості вводять титан в аустенітні сталі для зменшення схильності до МКК?

39. У якій кількості вводять ніобій в аустенітні сталі для зменшення схильності до МКК?

40. У яких видах заготовок виявляються МКК під час їх отримання?

41. Який дефект хромових сталей феритного класу неможливо усунути термічною обробкою?

42. Яку характеристику механічних властивостей знижує крупнозернистість хромових феритних сталей?

43. Яким методом можна зменшити схильність хромових сталей феритного класу до зростання зерна?

44. Який механізм впливу Ti, V і N₂ на зменшення схильності хромових сталей до зростання зерна?

45. Які із наведених легованих сталей феритного класу не схильні до зростання зерна?

46. Які із наведених легованих сталей феритного класу схильні до зростання зерна?

47. У якому випадку леговані хромові сталі феритного класу крихкі і при дрібному зерні?

48. Що таке σ -фаза?

49. За яких умов у легованих сталях феритного класу утворюється σ -фаза?

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Гуляев А. П. *Металловедение* / А. П. Гуляев. – М. : *Металлургия*, 1977; 1986.

2. Меськин В. С. *Основы легирования стали* / В. С. Меськин. – М. : *Государственное научно-техническое издательство литературы по черной и цветной металлургии*, 1959.

Лабораторна робота 3

«Структура і класи легованих сталей після відпалу і нормалізації»

1. МЕТА РОБОТИ

1.1. Вивчити склад реактивів протравлювачів, що використовуються для виявлення мікроструктури легованих сталей і оволодіти методикою виявлення мікроструктури.

1.2. Вивчити мікроструктури легованих сталей у рівноважному стані (після відпалу) і після охолодження на повітрі (у нормалізованому стані).

1.3. Визначити структурні класи легованих сталей на контрольних мікрошліфах, запропонованих індивідуально кожному студенту.

2. ОБЛАДНАННЯ, ПРИЛАДИ ТА МАТЕРІАЛИ

2.1. Металографічні мікроскопи.

2.2. Колекції мікрошліфів легованих сталей після відпалу і нормалізації.

2.3. Реактиви для виявлення мікроструктури легованих сталей.

3. КОРОТКІ ВІДОМОСТІ

3.1. Легованими називають сталі, в яких для зміни структури і властивостей, окрім вуглецю, спеціально вводять у заданих концентраціях інші елементи (Ni, Cr, V, Mo, W, Co та ін.), що одержали назву легуючих.

Леговані сталі класифікують за призначенням, структурою у рівноважному стані (після відпалу),

структурою у нормалізованому стані (після охолодження на повітрі), хімічним складом і способом виробництва.

За призначенням леговані сталі поділяють на три групи: конструкційні, інструментальні та сталі з особливими властивостями.

Конструкційні сталі застосовують для виготовлення деталей машин, яким залежно від умов експлуатації потрібні різні механічні властивості. У зв'язку з цим змінюються їх хімічний склад, термічна обробка і підгрупа призначення.

Конструкційні сталі поділяють на: **цементовані сталі для хіміко-термічної обробки** (0,1–0,3% вуглецю) і **нітралої** (0,35–0,45% вуглецю) – сталі для азотизації (наприклад, сталь 15X, 18XГГ, 12X2Н4А, 38ХМЮА, 40ХФА та ін.); **поліпшувані сталі** (0,3–0,5% С) – піддають гартуванню і високотемпературному відпуску (наприклад, сталь 40X, 40ХНМА, 50ХФА, 30ХГСА та ін.); **ресорно-пружинні сталі** (0,5–0,7% С) – піддають гартуванню і середньотемпературному відпуску (наприклад, сталь 55С2, 65Г, 60С2А, 70С3А); **зносостійкі сталі** (0,9–1,1% С) – піддають гартуванню і низькотемпературному відпуску (наприклад, сталь ШХ9, ШХ15, ШХ15СГ, ШХ15СГШФШ та ін.); **високоміцні** конструкційні сталі з межею міцності більше

2000 МПа (0,03–0,6% С) – піддають термомеханічній обробці, гартуванню і старінню (наприклад, сталь 35Х5М2ФСА, 45ХНЗМФА, 38ХНЗМА, Х14Н4К14МЗТ, Н18К9М5Т, Н13К15М10, 30Х9Н8М4Г2С2, 25Н24М4 та ін.).

Інструментальні сталі застосовують для виготовлення інструменту, що використовується при механічній обробці, для обробки матеріалів холодною і гарячою деформацією і для вимірювальних інструментів.

Інструментальні сталі для **різального інструменту** (0,7–1,3% вуглецю) піддають гартуванню і

низькотемпературному відпуску. Від сталей цієї підгрупи вимагається не тільки висока твердість, контактна міцність і зносостійкість, але й **червоностійкість**, тобто збереження твердості й міцності тривалий час у процесі експлуатації (при розігріванні різальної кромки інструменту). Ці сталі, як правило, містять тугоплавкі елементи: хром, вольфрам, молібден, ванадій (наприклад, сталь ХВГ, ХВ5, Р6М3, Р6АМ5, Р6М5К5, Р9, Р18, 4Х2В5МФ, 4Х5В2ФС та ін.).

Інструментальні сталі для **холодного штампування** (0,5–1,1% вуглецю) повинні мати високу твердість при достатній пластичності. Їх піддають гартуванню і низькотемпературному відпуску (наприклад, сталь 4Х2В2С, 5ХВ2С, Х12Ф1, Х12М, Х12Ф4М).

Інструментальні сталі для **гарячої деформації** (0,3–0,5% С), крім зносостійкості, червоностійкості, в'язкості, повинні мати високу **розпалостійкість**, тобто тривалий час упродовж роботи, циклічного нагрівання й охолодження поверхні штампа, а отже, поперемінно розширення і стиснення поверхневих шарів робочої частини зберігати термостійкість і чинити опір появі розпальних тріщин. Штампи для гарячого штампування піддають гартуванню і високотемпературному відпуску (наприклад, сталь 5ХНМ, 5ХНСВ, 3Х2В8, 4Х5В2ФС та ін.).

Інструментальні сталі для **вимірювального інструменту** повинні мати високу твердість, зносостійкість, а також здатність зберігати точну форму і розміри тривалий час. Як правило, для вимірювальних інструментів використовують заевтектоїдні сталі (0,9–1,1% вуглецю) після гартування і низькотемпературного відпуску (наприклад, сталь Х, 12ХГ, ХВГ та ін.).

Сталі з особливими властивостями мають специфічні фізико-хімічні властивості. До цієї групи відносять: **нержавіючі** (наприклад, сталь 10Х13, 20Х13, 40Х13, 12Х17, 12Х18Н8, 12Х18Н9Т, 08Х18Н12Б,

08X21H6M2T та ін.); окалиностійкі й жароміцні (наприклад, сталь Х6С, Х10С2М, 10Х14Н16Б, 08Х18Н12Т, 40Х12Н8Г8МФБ та ін.); з особливими **тепловими та електричними** властивостями (наприклад, сталь ЕХ3, ЕХ9К15М, Х13Ю14, 10Х25Ю5 та ін.); **антикавітаційні, кріогенні** тощо. Ці сталі містять велику кількість легуючих елементів.

3.2. Леговані сталі після відпалу у рівноважному стані поділяють на шість класів: перлітовий, ледебуритний, феритний, аустенітний, напівферитний і напіваустенітний.

У перлітовий клас об'єднують сталі, що містять перліт. Це доевтектоїдні, евтектоїдні та заевтектоїдні сталі.

Сталі ледебуритного класу в литому стані містять евтектику – ледебурит, карбіди, які при куванні або плющенні розбиваються на відособлені карбіди (об'ємна частка їх досягає 30–35%) й аустеніт. За структурою ледебуритні сталі потрібно було б розглядати як білі чавуни, але оскільки ці сплави містять менше 2% вуглецю і можуть куватися, то їх відносять до сталей.

Леговані сталі феритного класу утворюються при низькому вмісті вуглецю і великому вмісті легуючих елементів, що обмежують область існування аустеніту і розширюють область існування фериту (Cr, W, Mo, V, Si).

При всіх температурах структура таких сталей складається з легованого фериту, іноді з невеликим вмістом карбідів.

Аустенітні сталі отримують при високому вмісті таких легуючих елементів, як Ni та Mn. Проте часто структура легованих сталей складається із суміші фериту й аустеніту. Сталі, що мають таку структуру, відносять до **феритно-аустенітних**, або до аустенітно-феритних залежно від того, яка фаза переважає.

3.3. За структурою після нормалізації сталі поділяють на такі класи: перлітовий, мартенситний, аустенітний.

Сталі перлітового класу мають невисоку стійкість переохолоджуваного аустеніту (рис. 2 а). При охолоджуванні на повітрі вони набувають структури перліту, сорбіту або троститу, в якій можуть бути наявними також надлишкові карбіди або ферит.

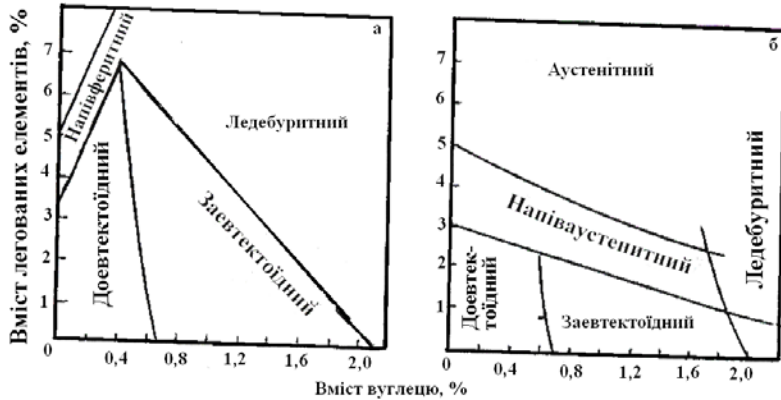


Рисунок 1 – Класифікація сталей (у відпаленому стані) за структурними класами у потрійній системі залізо-вуглець – легуючий елемент: а – легуючий елемент звужує сферу γ -фази; б – легуючий елемент звужує сферу α -фази

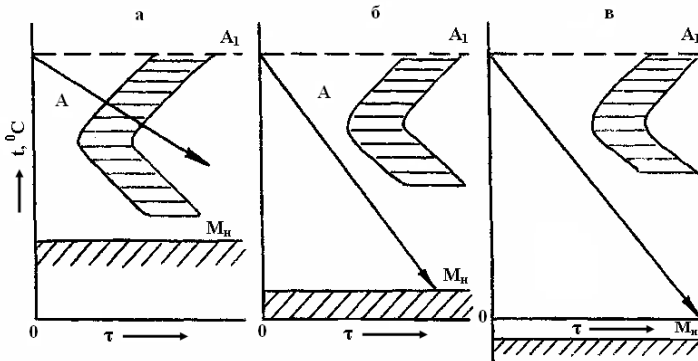


Рисунок 2 – Діаграма ізотермічного розпаду аустеніту для сталей трьох класів: а – перлітовий клас; б – мартенситний клас; в – аустенітний клас

Сталі перлітового класу – це велика група сталей, що широко застосовуються. У колекції мікрошліфів, що використовуються у лабораторній роботі, перлітові сталі таких марок: 30ХГСА, 40Х, 40ХН2М2, 65Г, ШХ15 та ін.

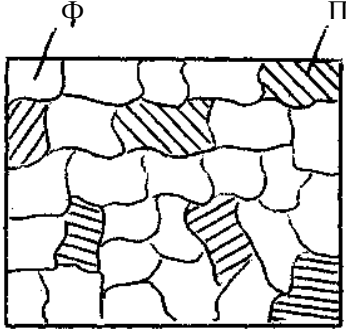
Сталі мартенситного класу відрізняються високою стійкістю переохолодженого аустеніту (рис. 2 б), при охолодженні на повітрі вони гартуються на мартенсит. До сталей цього класу відносять середньо- і високолеговані сталі з великим, як правило, вмістом вуглецю. У колекції мікрошліфів, що використовуються у лабораторній роботі, мартенситні сталі таких марок: 20Х13, 30Х13, 40Х13, Р18, Р6М5, Х12М.

Сталі аустенітного класу через підвищений вміст нікелю або марганцю (як правило, в поєднанні з хромом) мають інтервал мартенситного перетворення ($M_n - M_k$) нижче $0\text{ }^\circ\text{C}$ і зберігають аустеніт при температурі $20\text{--}25\text{ }^\circ\text{C}$ (рис. 2 в). Розпад аустеніту в перлітовій і проміжній областях відсутній. До сталей аустенітного класу відносять сталі, леговані елементами, що розширюють γ -сферу до температури нижче $0\text{ }^\circ\text{C}$. У колекції мікрошліфів цієї групи сталі марок 12Х18Н10Т, 12Х18Н9Т.

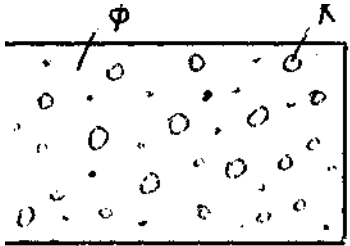
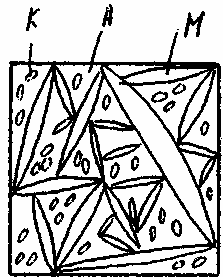
3.4 Виявлення структури полірованих мікрошліфів здійснюється методом хімічного травлення. Поліровану поверхню зразка занурюють у реактив або наносять декілька крапель реактиву на поверхню на 3–15 с до появи рівномірного матового відтінку без яких-небудь плям. Потім шліф промивають спиртом або водою і просушують фільтрувальним папером. Для сталей перлітового класу і високолегованих швидкорізальних сталей мартенситного класу для хімічного травлення застосовують 3–4% розчин HNO_3 в етиловому спирті, для високолегованих сталей аустенітного класу - «царську горілку» (три частини HCl і одна частина HNO_3 кислот), для високохромових сталей феритного, феритно-мартенситного і мартенситного класів - реактив, що складається з $20\text{ см}^3\text{ HCl}$, 5 г CuSO_4 і 20 см^3

H₂O. Протравлені мікрошліфи вивчають за допомогою оптичних мікроскопів для визначення їх мікроструктури. Схеми мікроструктур усіх структурних класів легованих сталей після відпалу і нормалізації з коротким описом їх основних ознак наведені в табл.1.


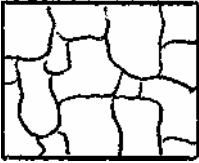
Таблиця 1 – Характеристика і схеми мікроструктур легованих сталей різних класів

Марка сталі	Структурний клас	Описання мікроструктури	Схема зарисовки мікроструктури
1	2	3	4
30ХГСА, 40Х, 65Х, 40ХН2М2	Перлітний клас Ф + П	Структура цих сталей складається із фериту – світлі зерна і перліту – темні зерна. У великопластинчастому перліті при невеликих збільшеннях можна розглянути чергування пластинок фериту і цементиту, якщо пластинки зливаються між собою, перліт – темні або темно-сірі однорідні за забарвленням зерна	 <p data-bbox="1102 740 1289 768">Ферит і перліт</p>

Продовження таблиці 1

1	2	3	4
<p>ШХ15, 9ХС, ХГВ</p>	<p>П + К</p>	<p>Структура сталей складається із перліту і карбідів: Fe_3C, $(Fe, Cr)_3C$, $(FeW)_3C$ та ін., рівномірно розподілених за світлою феритною матрицею</p>	 <p>Перліт зернистий і карбіди</p>
<p>20Х13, 30Х13, 40Х13</p>	<p>Мартенситний клас М + А + К</p>	<p>Структура сталей мартенситного класу після нормалізації складається із мартенситу голчастого з геометричним орієнтуванням голок під кутами 30, 60 і 120°, більшої кількості аустеніту залишкового (світле поле) і карбідів (чітко обкреслені межами включення в аустеніті залишковому)</p>	 <p>Мартенсит, аустеніт і карбіди</p>
<p>Р18, Р6М5, Х12М</p>	<p>Ледебуритний клас</p>		

Продовження таблиці 1

1	2	3	4
12X18H9T, 12X18H10T	Аустенітний клас А	Структура аустеніту складається з чітких меж зерен і характерних для аустеніту двійників (паралельні межі зерен)	 <p data-bbox="1114 451 1227 479">Аустеніт</p>
10X13, 12X17, 15X25Г	Феритний клас Ф	Структура сталей складається зі світлих округлої форми зерен фериту різного розміру (спостерігається різнозернистість)	 <p data-bbox="1129 708 1214 736">Ферит</p>

4. ПОРЯДОК ПРОВЕДЕННЯ ЛАБОРАТОРНОЇ РОБОТИ

4.1. Виявити мікроструктури полірованих зразків згідно з поданими рекомендаціями.

4.2. Переглянути і вивчити при збільшенні від 200 до 600 разів мікроструктури легованих сталей різних структурних класів.

4.3. Зарисувати мікроструктури (згідно з державним стандартом) у колах діаметром ~ 60 мм.

4.4. Під кожною зарисовкою мікроструктури позначити марку сталі, структурний клас, вид термічної обробки, найменування структури і збільшення.

4.5. На кожній зарисованій мікроструктурі вказати стрілками різні фази та структурні складові і біля стрілок на полях написати їх найменування.

4.6. Отримати у викладача або лаборанта 2–3 зразки легованих сталей (без маркування) для самоконтролю і оцінки ступеня засвоєння вивченого матеріалу.

5. ЗМІСТ ЗВІТУ

У звіті про лабораторну роботу необхідно відобразити:

5.1. Мету роботи.

5.2. Основні класифікації легованих сталей з рисунками для визначення класів легованих сталей після відпалу і нормалізації.

5.3. Зарисовки мікроструктур з короткою характеристикою.

5.4. Висновок про виконану роботу.

КОНТРОЛЬНІ ЗАПИТАННЯ

1. Структурні класи легованих сталей після відпалу.
2. Структурні класи легованих сталей після нормалізації.
3. Від чого залежить належність легованих сталей до різних структурних класів?
4. Реактиви для виявлення структури напівмартенситних і мартенситних легованих сталей.
5. Реактиви для виявлення структури аустенітних сталей.
6. Реактиви для виявлення структури перлітових легованих сталей.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Гуляев А. П. *Металловедение*. – М.: *Металлургия*, 1977. – С. 359–362.
2. Травин О. В. *Материаловедение* / О. В. Травин, Н. Т. Травина. – М. : *Металлургия*, 1989. – С. 138–139.
3. *Материаловедение* /под ред. Б. Н. Арзюмова. – М. : *Машиностроение*, 1986. – С. 140–141.

4. ВИКОНАННЯ КОНТРОЛЬНОЇ РОБОТИ

4.1. Загальні методичні вказівки

З дисципліни «Леговані сталі і сплави» передбачено виконання однієї контрольної роботи.

Контрольна робота містить завдання, яке охоплює всі розділи курсу.

Кожне контрольне завдання індивідуальне, тому що дається за кресленням конкретної деталі із легованої сталі та видається студентові у період настановної сесії.

Контрольна робота має описовий характер. Для виконання достатньо відомостей, наведених у поданому списку літературних джерел.

Кожна контрольна робота виконується на аркушах формату А4 обсягом до 15–20 аркушів. Завдання потрібно виконувати у порядку поставлених питань. Відповіді повинні бути чіткими і не повторювати текст підручника. Сторінки, рисунки й таблиці потрібно пронумерувати. У додатку до роботи помістити зведену таблицю впливу легуючих елементів і креслення-завдання. Оформлення роботи повинне відповідати державному стандарту.

Після рецензування контрольної роботи необхідно вивчити зауваження рецензента і дати на них письмові відповіді у кінці роботи. Якщо контрольна робота не зарахована, то після відповіді на зауваження вона здається на повторне рецензування.

4.2. Завдання до контрольної роботи

1. Аналіз умов роботи деталі. Вибір матеріалу (легованої сталі)* з описанням його хімічного складу, механічних, фізичних властивостей, критичних точок та ін.

* Якщо влаштовує за умов роботи марка легованої сталі, наведена у кресленні, можна її не змінювати.

2. Описання впливу легуючих елементів на властивості, перетворення при термічній обробці, структуру.

2.1. Вплив на поліморфізм заліза і залізовуглецевих сплавів.

2.2. Вплив легуючих елементів на аустеніт і ферит.

2.3. Вплив легуючих елементів на кінетику розпаду аустеніту.

2.4. Вплив легуючих елементів на мартенситне перетворення.

2.5. Вплив легуючих елементів на схильність до росту зерна.

2.6. Вплив легуючих елементів на перетворення при відпуску сталі.

2.7. Вплив легуючих елементів на деформаційне і термічне старіння.

2.8. Вплив легуючих елементів на комплекс властивостей деталі із обраної марки сталі.

3. Аналіз діаграми стану обраної сталі.

4. Вибір режиму термічної обробки деталі (схематичний), що забезпечує необхідні властивості.

5. Скласти зведену таблицю впливу легуючих елементів на властивості, положення критичних точок, перетворення при термічній обробці та ін.

4.3. Приклад виконання контрольної роботи

Міністерство освіти і науки, молоді та спорту України
Сумський державний університет
Кафедра «ПМ і ТКМ»

КОНТРОЛЬНА РОБОТА
з дисципліни «Леговані сталі і сплави»

Виконав

_____ студент

Група

Перевірив

_____ викладач

2012

ЗМІСТ

С.

1. Аналіз умов експлуатації деталі. Вибір матеріалу.....
 2. Вибір марки сталі і матеріалу замінника для деталі.....
 3. Опис впливу легуючих елементів на властивості.
Діаграма стану Fe - Cr. Вибір термообробки даної деталі.....
 4. Схема термообробок даної деталі.....
 5. Таблиця «Вплив легуючих елементів на властивості сталі».....
- Список літератури.....
- Додаток А. Робоче креслення деталі.....

1. АНАЛІЗ УМОВ ЕКСПЛУАТАЦІЇ ДЕТАЛІ. ВИБІР МАТЕРІАЛУ

Муфти застосовуються у багатьох машинах і механізмах, вони є відповідальними вузлами, від їх правильного вибору можуть залежати рівень і характер навантаженості деталей машин.

Муфтами приводів називають пристрої, що з'єднують вали спільно працюючих агрегатів і передають обертальний момент.

Муфта привода виконує такі функції:

- компенсацію невеликих монтажних відхилень;
- роз'єднання або подовження валів;
- напівавтоматичне управління;
- безступінчасте регулювання передавального відношення;
- запобігання механізмів від критичних навантажень.

Основне призначення муфт – з'єднання валів і передача обертального моменту. Муфти можуть виконувати ще ряд важливих додаткових функцій. За цією ознакою і класифікують муфти. Існує клас **постійних** (нерозчіпних) муфт, що забезпечують постійне, протягом усього часу експлуатації машини, з'єднання валів. Крім того, в деяких машинах застосовують муфти **зчеплення**, що забезпечують з'єднання (зчеплення) агрегатів або їх роз'єднання під час роботи машини. У свою чергу, муфти зчеплення поділяють на керовані і **самокеровані** (самодіючі).

Керовані муфти з'єднують (роз'єднують) агрегати машин за певною командою.

Самокеровані муфти спрацьовують автоматично, з'єднуючи або роз'єднуючи вали залежно від специфіки роботи машини і принципу дії муфти.

2. ВИБІР МАРКИ СТАЛІ ТА МАТЕРІАЛУ ЗАМІННИКА ДЛЯ ДЕТАЛІ

Виходячи з вищепереліченого для виробництва деталі «Муфта», я обираю таку марку сталі: **38ХНМА** – хромонікелемолібденову.

Вид поставки – стільниковий прокат, зокрема фасонний: ГОСТ 4543-71, ГОСТ 2590-71, ГОСТ 2591-71, ГОСТ 2879-69.

Калібрований пруток ГОСТ 7417-75, ГОСТ 8559-75, ГОСТ 8560-78, ГОСТ 1051-73. Шліфований пруток і сріблянка ГОСТ 14955-77. Смуга ГОСТ 103-76. Поковки і ковани заготовки ГОСТ 1133-71, ГОСТ 8479-70. Труби ГОСТ 14-21-77.

Марка	38ХНМА (38Х2Н2МА)
Класифікація	Сталь конструкційна легована
Продукція, пропонується підприємствами-рекламодавцями:	немає даних
Примітка:	Вали, шатуни, болти, шпильки та інші великі особливо відповідальні важконавантажені деталі складної конфігурації, використовувані у поліпшеному стані

Хімічний склад у % матеріалу 38ХНМА

C	Si	Mn	Ni	S	P	Cr	Mo	Cu
0,33- 0,4	0,17- 0,37	0,25- 0,5	1,3- 1,7	До 0,025	До 0,025	1,3- 1,7	0,2- 0,3	До 0,3

Температура критичних точок матеріалу 38ХНМА

Термообробка, стан поставки	σ_T , МПа	σ_B , МПа	δ , %	ψ , %	KCU, Дж/м ²	HB
	930	1080	12	50	78	
КП 440	440	635	11	30	39	197-235
КП 735	735	880	13	40	59	277-321
КП 785	785	930	12	40	59	293-331

Механічні властивості залежно від температури відпуску

t відпуску, °C	$\sigma_{0,2}$, МПа	σ_B , МПа	δ_5 , %	ψ , %	KCU, Дж/м ²	HRC _E
200	1520	1810	11	46	44	53
300	1420	1630	10	45	37	49
400	1350	1470	10	46	39	46
500	1190	1240	13	55	68	40
600	880	960	17	64	137	32

Механічні властивості залежно від перерізу

Термообробка, стан поставки	Переріз, мм	$\sigma_{0,2}$, МПа	σ_B , МПа	δ_5 , %	δ_{10} , %	ψ , %	KCU, Дж/м ²
Місце вирізки зразка - центр	30	860	1000	19		64	137
Місце вирізки зразка - центр	50	830	970	19		61	144
Місце вирізки зразка - центр	80	750	900	16		61	150
Місце вирізки зразка - центр	120	740	900	18		60	144
Місце вирізки зразка - край	120	770	940	19		61	151
Місце вирізки зразка - центр	200	750	900	18		52	66
Місце вирізки зразка - край	200	770	930	17		57	72
Місце вирізки зразка - центр	500	760	930		15	52	57
Місце вирізки зразка - край	500	770	960		17	55	53
Місце вирізки зразка - центр. Зразки поперечні	500	740	930		11		23
Місце вирізки зразка - край. Зразки поперечні	500	760	930		11	23	22
Місце вирізки зразка - центр	700	740	900		17	51	45
Місце вирізки зразка - край	700	740	930		17	52	
Місце вирізки зразка - центр. Зразки поперечні	700	790	900				15
Місце вирізки зразка - край. Зразки поперечні	700	730	880		11	20	57
Місце вирізки зразка - центр	900	710	850		7	16	26
Місце вирізки зразка - край	900	700	890		16	49	46
Місце вирізки зразка - центр.	900	690	730			6	20

Зразки поперечні							
Місце вирізки зразка – край.	900	700	870		11	22	24
Зразки поперечні							

Механічні властивості при $T = 20^{\circ}\text{C}$ матеріалу 38ХНМА

Сортамент	Розмір, мм	Напр.	$\sigma_{0.2}$, МПа	σ_s , МПа	δ_5 , %	ψ , %	КСУ, Дж/м ²	Термообр.
Пруток	Ø 25		1080	930	12	50	780	Гартування та відпуск
Твердість матеріалу 38ХНМА після відпалу							НВ $10^{-1} = 269$ МПа	

Фізичні властивості матеріалу 38ХНМА

T, град.	E 10^{-5} , МПа	α 10^6 , 1/град	λ , Вт/(м·град.)	ρ , кг/м ³	C, Дж/(кг·град.)	R 10^9 , Ом·м
20	2,13		38			322
100	2,06	11,9	37		490	398
200	1,94	12,5	35		502	482
300	1,8	13,1	35		523	592
400	1,74	13,3	33		532	740
500	1,64	13,8	32		565	910
600	1,57	14,1	30		590	1090
700	1,41	14,6	28		615	1300
800	1,29	11,8	28		670	
T	E 10^{-5}	α 10^6	λ	ρ	C	R 10^9

Технологічні властивості матеріалу 38ХНМА

Зварюваність	Не застосовується для зварних конструкцій
Флокеночутливість	Чутлива
Схильність до відпускнуї крихкості	Не схильна
Температура кування	Початку – 1200, кінця – 800. Охолодження повільне

Ударна в'язкість КСУ, Дж/см²

Стан поставки, термообробка	+20	-40	-50
Заготовки перерізом 30 мм. Гартування 860 °С. Відпуск 560 °С, вода	137	129	122
Заготовки перерізом 50 мм	144	138	112
Заготовки перерізом 80 мм	150	93	85
Заготовки перерізом 120 мм	144	76	73
Заготовки перерізом 200 мм	66	34	

Межа витривалості

σ_{-1} , МПа	N	σ_B , МПа	$\sigma_{0,2}$, МПа
363	5E+6		880
300	5E+6	720	520

Гартування 845 °С. Твердість для смуг прогартуваності

Відстань від торця, мм/HRC _E									
1,5	3	5	9	13	20	25	30	40	50
51,5-59	51,5-59	50,5-59	49,5-58	49,5-58	47,5-57	69,5-57	45,5-56	44,5-56	42,5-56
Крит. діам. в маслі, мм					Крит. твердість HRC _E				
100					53				

Короткочасна тепломіцність

Температура випробувань	$\sigma_{0,2}$, МПа	σ_B , МПа	Δ_5 , %	ψ , %
100	820	930	17	64
200	860	910	16	64
300	730	880	16	65
400	690	780	18	73
500	570	620	22	80
600	340	400	35	82

Фізичні властивості

Температура випробувань, °С	20	100	200	300	400	500	600	700	800	900
Модуль нормальної пружності E, ГПа	213	206	194	180	174	164	157	141	129	
Модуль пружності при зсуві крученням G, ГПа	84	80	76	71	67	63	59	59	48	
Коефіцієнт теплопровідності λ , Вт/(м·°С)	38	37	35	35	33	32	30	28	28	
Питомий електроопір, ρ , Ном·М	322	398	482	482	740	910	1090	1300		
Температура випробування, °С	20-100	20-200	20-300	20-400	20-500	20-600	20-700	20-800	20-900	20-1000
Коефіцієнт лінійного розширення α , $10^{-6} 1/^\circ\text{C}$	11,9	12,5	13,1	13,3	13,8	14,1	14,6	11,8		
Питома теплосмність C, Дж/кг	490	502	523	532	565	560	615	670		

	Зварюваність:
без обмежень	- зварювання проводиться без підігріву і без подальшої термообробки
обмежено зварювана	- зварювання можливе при підігріві до 100–120 град і подальшій термообробці
важкозварювана	- для одержання якісних зварних

	з'єднань потрібні додаткові операції: підігрів до 200–300 град. при зварюванні, термообробці після зварювання – відпал
--	--

3. ОПИС ВПЛИВУ ЛЕГУЮЧИХ ЕЛЕМЕНТІВ НА ВЛАСТИВОСТІ. ДІАГРАМА СТАНУ Fe - Cr. ВИБІР ТЕРМООБРОБКИ ДАНОЇ ДЕТАЛІ

Хром. Хром сприяє одержанню високої і рівномірної твердості сталі. Поріг холодноламкості хромистих сталей 0 – 100 °С.

Розчинність у фериті цього елемента необмежена. Розчинність в аустеніті становить 12,8 %. Хром підвищує міцність, твердість, коерцитивну силу фериту. Знижує ударну в'язкість, магнітну індукцію і магнітну проникність. Хром утворює карбіди $Cr_{23}C_6$ і Cr_4C_3 . Хром підвищує точку A_1 і знижує точки A_3 і A_4 . Зміщує точку S вліво. Також цей елемент знижує схильність зерна до росту, дуже збільшує прогартовуваність. Хром дає дві зони найменшій стійкості аустеніту при 700–300 і 400–250 °С. Зменшує критичну швидкість гартування, знижує мартенситну точку M_n і збільшує кількість залишкового аустеніту.

Хром значно підвищує стійкість проти корозії та окиснення, дуже збільшує зносостійкість і жаростійкість.

Молібден. Уведення у хромові сталі Мо (0,15 – 0,45 %) підвищує прогартовуваність, знижує поріг холодноламкості до – 20 – 120 °С. Молібден підвищує статичну, динамічну міцність від утомленості сталі.

Розчинність у фериті – 5% при 20 °С і 38% при 1450 °С, в аустеніті -3,5%. Вплив молібдену на властивості фериту підвищує міцність і коерцитивну силу, знижує магнітну індукцію і магнітну проникність, не змінює пластичності. Молібден утворює фазу впровадження Mo_2C і карбідну сполуку $\text{Fe}_3\text{Mo}_3\text{C}$.

Вплив молібдену на властивості аустеніту підвищує точки A_1 і A_3 і знижує точку A_4 . Зміщує точку S вліво. Звужує γ -область. Перешкоджає зростанню зерна. Зменшує критичну швидкість гартування, дає дві зони якнайменшої стійкості аустеніту 350 і 600 °С. Знижує мартенситну точку M_n і дещо збільшує кількість залишкового аустеніту.

Молібден зменшує схильність сталі до відпускнуї крихкості. Збільшує червоність і підвищує схильність до знеуглецювання сталі. Підвищує температуру росту зерна аустеніту.

Молібден зменшує схильність до відпускнуї крихкості II роду.

Відпускна крихкість II роду виявляється після відпуску вище 500 °С. Характерна особливість крихкості цього виду полягає у тому, що вона виявляється внаслідок повільного охолодження після відпуску, при швидкому охолодженні в'язкість не зменшується, а монотонно зростає з підвищенням температури відпуску. Однак відпускна крихкість II роду знову може бути спричинена новим високим відпуском з подальшим уповільненим охолодженням.

Необхідно зазначити, що решта характеристик механічних властивостей практично не залежить від швидкості охолодження після відпуску.

Не всі сталі схильні до відпускнуї крихкості II роду. Її не буває у вуглецевих сталей. Схильність до відпускнуї крихкості виникає при легуванні сталі карбідотвірними елементами (марганцю, хрому) за наявності в ній більше

0,001 % P. Хром робить сталь особливо чутливою до умов охолодження при відпуску, особливо якщо, крім хрому, сталь містить ще нікель або у підвищеній кількості марганець. Якщо марганець і фосфор посилюють цю чутливість, то молібден і меншою мірою вольфрам зменшує її. Досліди показали, що якщо леговану сталь, швидко охолоджену після відпуску при 650 °С, знову піддати тривалому нагріванню при 500–520 °С, то незалежно від швидкості подальшого охолодження у сталі розвивається крихкість. Отже, у сталі при температурах нижче 600 °С здійснюються якісь дифузійні процеси, що призводять до окрихчування.

Яка природа відпускнуї крихкості II роду?

Металографічно показано, що розвиток відпускнуї крихкості супроводжується тут виділенням надлишкових фаз по межах зерна.

Також з'ясовується, що разом із цим відбувається збагачення меж зерна фосфором, що виявляється травленням пікриновою кислотою (рис. 1 а). Таке саме травлення сталі відбувається у в'язкому стані, але не виявляє меж зерен (рис. 1 б).

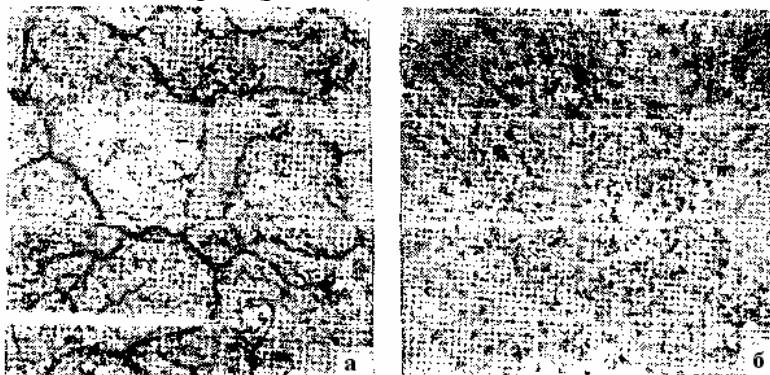


Рисунок 1 – Мікроструктура хромонікелевої сталі після відпуску при 550°С. Х500: а – повільне охолодження – крихкий стан; б – швидке охолодження – в'язкий стан. Х500

Запропоноване пояснення явища відпускнуї крихкості II роду (Л. М. Утевським) коротко зводиться до такого.

При високому відпуску по межах зерна відбувається більш прискорене (порівняно з об'ємом зерна) карбідотворення і насичення карбідної фази марганцем, хромом, а також утворення спеціальних карбідів (при відповідній легованості). Цей процес призводить до збіднення карбідотвірними елементами примежових шарів зерна. При подальшому повільному охолодженні (або під час витримки при 500–520 °С) відбувається збагачення цих примежових шарів фосфором, оскільки при температурах нижче 600 °С фосфор прагне до дифузійного перерозподілу в напрямі ділянок, збіднених карбідотвірними елементами (явище висхідної дифузії), а дифузійна рухливість атомів фосфору при цих температурах достатньо велика. У результаті сталь окрихчується через ослаблення міцності міжзеренних зчеплень.

При новому відпуску з подальшим швидким охолодженням крихкість буде знята. Відбудеться це тому, що вище 600 °С нерівномірності розподілу фосфору по зерну вже не може зберегтися, його концентрація вирівнюється, а при швидкому охолодженні (температура нижче 600 °С) фосфор теж не встигає перерозподілитися і знову збагачує межі зерен.

Сприятливий вплив невеликих домішок молібдену (до 0,5–0,6%), що гальмують і навіть іноді знімають відпускну крихкість II роду, пояснюється тим, що молібден слабо бере участь в утворенні легованого цементиту $(\text{Fe}, \text{Mo})_3\text{C}$ і при такому вмісті не утворює спеціальних карбідів. Тому збіднення примежових ділянок зерен молібденом не відбувається. Наявність молібдену в розчині зменшує

різницю в дифузійній рухливості атомів по межах і в об'ємі зерна і тим самим ослабляє виникнення неоднорідності за іншими утворювальними елементами. Разом з тим молібден усуває шкідливий вплив фосфору по межах зерен.

При більш високому вмісті молібдену у сталі вже може виникати спеціальний карбід. Це приводить до збіднення меж зерна молібденом при відпуску і до збагачення їх фосфором при сповільненому подальшому охолодженні. Отже, при вищому вмісті молібден вже сприятиме розвитку відпускнуї крихкості. Приблизно так само діє і вольфрам.

Звідси випливає таке: щоб уникнути окрихчування, потрібно уникати інтервалу температур відпускнуї крихкості першого роду (300–400 °C). Для сталей, схильних до відпускнуї крихкості другого роду, потрібно передбачати швидке охолодження після відпуску. Ці сталі не повинні під час роботи нагріватися до високих температур (500–600 °C), оскільки це може також призвести до окрихчування. У тих випадках, коли після відпуску не можна створити швидке охолодження (наприклад, для дуже великих деталей), необхідно застосовувати сталі, леговані молібденом, що уповільнює розвиток відпускнуї крихкості другого роду.

Застосування чистих сталей за фосфором у першу чергу, а так само за домішками впровадження (киснем, азотом, воднем) і кольоровими металами (олово та ін.) ще ефективніший засіб, ніж додаткове легування молібденом або вольфрамом, для усунення схильності до відпускнуї крихкості другого роду.

Нікель. Розчинність у фериті – 5% при 700 °C і 10% при 400 °C; розчинність в аустеніті – не обмежена. Вплив нікелю на властивості фериту підвищує міцність, твердість, пластичність, питомий електроопір і

коерцитивну силу, знижує магнітну індукцію і магнітну проникність. Підвищує ударну в'язкість при вмісті нікелю до 2%. Не має схильності до карбідоутворення.

Вплив на властивості аустеніту знижує точки A_1 і A_3 і підвищує A_4 , зміщує точку S вліво, дещо впливає на зменшення схильності до росту зерна. Дещо збільшує прогартовуваність, зменшує критичну швидкість гартування, знижує мартенситну точку M_n , збільшує кількість залишкового аустеніту.

Нікель у сталі разом із хромом підвищує прогартовуваність. Також нікель підвищує в'язкісні характеристики сталі, що є важливою умовою роботи деталі «Муфта». Нікель підвищує стійкість в агресивних середовищах, впливає на поліморфізм заліза, збільшує температурний інтервал між критичними точками A_3 і A_4 .

Діаграма стану Fe-Cr

На діаграмі стану системи залізо – хром (рис. 2), побудованій за результатами термічних, мікроскопічних, ділатометричних і рентгеноструктурних досліджень, область γ - α -перетворення поширюється до 13% Cr. Крім сполуки FeCr, за даними магнітного дослідження, встановлене існування ще двох фаз, яким приписані формули Fe_4Cr_3 і Fe_7Cr_6 ; проте магнітометричні вимірювання повинні бути доповнені рентгеноструктурними дослідженнями. На основі аналізу форми кривої γ - α -перетворення та існування екстремальних точок на кривих склад – властивості висловлене припущення про існування сполуки Fe_2Cr при температурах нижче 450 °С. Іншими дослідниками підтверджена ця точка зору (за результатами вимірювання електроопору і гальваномагнітного ефекту), і припускається, крім того, існування $FeCr_2$ і $Fe_{14}Cr$.

Хром знижує обидві точки алотропічного перетворення заліза A_3 і A_4 . Точка A_4 знижується швидше, ніж точка A_3 , тому вони зливаються і область γ замикається при вмісті Cr у сплавах 13%. Поблизу співвідношення хрому до заліза 1:1 утворюються нестійкі хімічні сполуки FeCr або σ -фаза. Верхня температура існування σ -фази становить 815–820 °С. σ -Фаза є дефектною структурою хромових сталей, тому що вона підвищує крихкість. При вмісті 13 і більше відсотків хрому у сталях вони стають корозійностійкими.

При малому вмісті вуглецю (0,1-0,15%) сталі із вмістом 13 і більше відсотків хрому відносять до феритного класу. Якщо вуглецю більше 0,15%, то сталь мартенситного класу. Введення хрому в кількості 1% збільшує прогартовуваність удвічі.

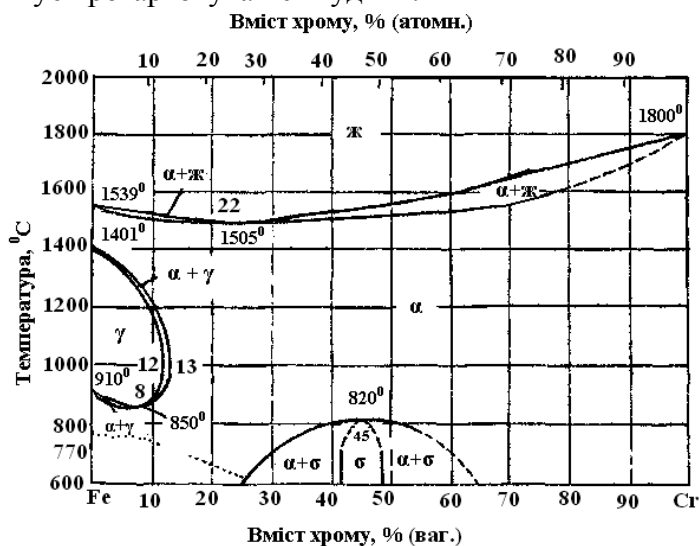


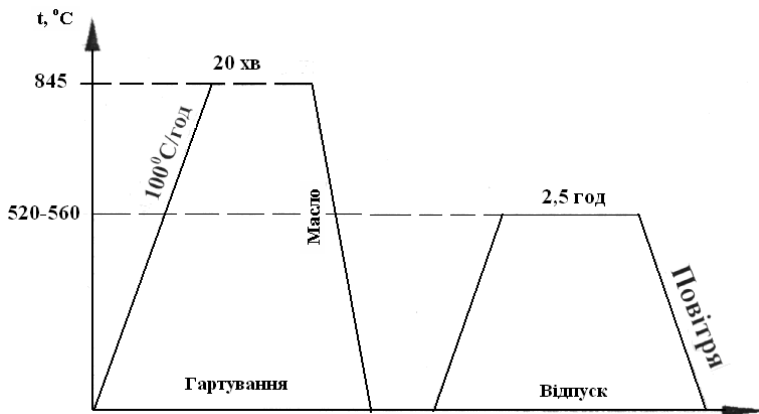
Рисунок 2 – Діаграма стану Fe - Cr

Виходячи із вищезазначеного, що дана деталь виготовляється із сталі 38ХНМА, я вибираю такі види термічної обробки:

1) гартування + високий відпуск. Гартування здійснюю з витримкою при температурі 845 °С 15–20 хвилин, після чого – охолодження в маслі.

Далі проводжу високий відпуск (520–560 °С). Витримую 2,5 години з подальшим охолодженням на повітрі.

Схема термообробки даної сталі



Температурний режим гартування сталі 38ХНМА.
Температурний режим відпуску сталі 38ХНМА

Таблиця 1 – Вплив легуючих елементів на властивості сталі

Легуючий елемент		Ni	Mn	Pt	P	Be	W	Mo	V	Ti	Sn	Sb	Cr	Si	Co	Al	Zr	Cu	C	B	Nb	Ta, Hf та ін.	
Властивості																							
Поліморфізм	A ₄																						
	A ₃																						
Вплив на ферит	Параметри ґратки																						
	Твердість																						
	В'язкість																						
	Поріг холодноламкості																						
	НВ і σ_0 швидкоохолодного фериту																						
Карбідотвірні елементи																							
Вплив на A _{c1}																							
Вплив на схильність до росту зерна																							
Вплив на стійкість аустеніту																							
Вплив на M _s і M _e																							
Вплив на прогартуваність																							
Вплив на час розпаду мартенситу																							
Вплив на стійкість A _{сг}																							
Вплив на положення точок	C																						
	S																						
	E																						
Утворення інтерметалідів																							
Утворення карбідів I і II родів																							
Входить у твердий розчин з Fe і змінює його																							
Здатність до розкиснення																							
Підвищує опір корозії																							

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Гуляев А. П. Металловедение. – М. : Металлургия, 1977. – 647 с.
2. Лахтин Ю. М. Материаловедение. – М.: Машиностроение, 1972. – 510 с.
3. Мозберг Р. К. Материаловедение: учеб. пособие. - 2-е изд., перераб. – М. : Высш. шк., 1991. – 448 с.: ил.
4. Сорокин В. Г. Марочник сталей и сплавов / В. Г. Сорокин, С. А. Волосникова. – М. : Машиностроение, 1989. – 640 с.

ДОДАТОК А (обов'язковий)

Довідкові матеріали до контрольної роботи

Короткі відомості про використання сталей

Сталі, які цементуються

Сталь 10

Замінник – сталі 08, 15, 08кп

Призначення - деталі, які працюють при температурі від -40 до 450 °С, до яких ставляться вимоги високої пластичності, після хіміко-термічної обробки – деталі з високою поверхневою твердістю при невисокій міцності серцевини.

Температура критичних точок, °С

Ac ₁	Ac ₃ (Ac _m)	Ag ₃ (Ag _m)	Ag ₁
732	870	854	680

Хімічний склад, % (ГОСТ 1050-74)

C	Si	Mn	Cr	S	P	Cu	Ni	A
			не більше					
0,07-0,14	0,17-0,37	0,35-0,65	0,15	0,04	0,035	0,25	0,25	0,08

Механічні властивості

Стан поставки	МПа	δ	ψ	НВ, не більше
		%		
Цементация 920-950°С. Гартування 790-810°С, вода. Відпуск 180-200°С, повітря	390	25	55	Серцевини > 137 HRB, поверхні HRC 57-63

Технологічні властивості

Температура кування, °С: початку – 1300, кінця – 700. Охолодження на повітрі.

Зварюваність – зварюється без обмежень, крім деталей після хіміко-термічної обробки.

Способи зварювання: РДС, АДС під флюсом і газовим захистом, КТС.
Оброблюваність різанням - у гарячекатаному стані при НВ 99-107 і $\sigma_b = 450$ МПа.

Флокеночутливість - не чутлива.

Схильність до відпускнуї крихкості - не схильна.

Продовження додатка А

Сталь 15

Замінник – сталі: 10, 20.

Призначення – болти, гвинти, гаки та інші деталі, до яких ставляться вимоги високої пластичності та які працюють при температурі від -40 до 450°C; після хіміко-термічної обробки – важелі, кулачки, гайки та інші деталі, до яких ставляться вимоги високої поверхневої твердості при невисокій міцності серцевини.

Температура критичних точок, °C

Ac ₁	Ac ₃ (Ac _m)	Ag ₃ (Ag _{c_m})	Ag ₁
735	860	840	685

Хімічний склад, % (ГОСТ 1050-74)

C	Si	Mn	Cr	S	P	Cu	Ni	A	
			не більше						
0,12-0,19	0,17-0,37	0,35-0,65	0,15	0,04	0,035	0,25	0,25	0,08	

Механічні властивості

Твердість сталі після термообробки		Межа витривалості			
Цементація 900-920°C, повітря; гартування 760-780°C, вода; відпуск 160-200°C, повітря	HRC поверхні 57-63	Σ ₁ ,	n	Стан сталі	
		МПа	176	10 ⁷	σ _{0,2} = 220 МПа, σ _B = 395 МПа
		213	-	σ _{0,2} = 310 МПа, σ _B = 470 МПа	
		293	-	σ _{0,2} = 370 МПа, σ _B = 410 МПа	

Технологічні властивості

Температура кування, °C: початку – 1300, кінця – 700. Охолодження на повітрі.

Зварюваність – зварюється без обмежень, крім деталей після хіміко-термічної обробки. Способи зварювання: РДС, АДС під флюсом і газовим захистом, КТС.

Оброблюваність різанням – у гарячекатаному стані при HB 143 і K_v тв.спл = 1,8.

Флокеночутливість – не чутлива.

Схильність до відпускну крихкості – не схильна.

Продовження додатка А

Сталь 20

Замінник – сталі: 15, 25.

Призначення – після нормалізації або без термообробки гаки кранів, муфти, вкладиші підшипників та інші деталі, які працюють при температурі від -40 до 450°C під тиском, після хіміко-термічної обробки – шестерні, черв'яки та інші деталі, до яких ставляться вимоги високої поверхневої твердості при невисокій міцності серцевини.

Температура критичних точок, °C

A_{c1}	A_{c3} (A_{cm})	A_{r3} (A_{rcm})	A_{r1}
735	850	835	680

Хімічний склад, % (ГОСТ 1050-74)

C	Si	Mn	Cr	S	P	Cu	Ni	A	
			не більше						
0,14-0,24	0,17-0,37	0,35-0,65	0,15	0,04	0,035	0,25	0,25	0,08	

Механічні властивості

Режим ХТО	Пере-різ, мм	$\sigma_{0,2}$	σ_b	δ	ψ	КCU, Дж/см ²	НВ, не більше
		МПа		%			
		не більше					
Цементація 900-920°C, повітря. Гартування 760-780°C, вода. Відпуск 160-200°C, повітря	50	290-340	490-590	18	45	54	Серцевини 156 HRB, поверхні 55-63 HRC

Технологічні властивості

Температура кування, °C: початку – 1280, кінця – 750. Охолодження на повітрі.

Зварюваність - зварюється без обмежень, крім деталей після хіміко-термічної обробки. Способи зварювання: РДС, АДС під флюсом і газовим захистом, КТС.

Оброблюваність різанням - у гарячекатаному стані при НВ 126-131 і $\sigma_b = 450-490$ МПа $K_{V_{тв.спл}} = 1,7$ і $K_{V_{б-ст}} = 1,6$.

Флокеночутливість - не чутлива.

Схильність до відпускнуї крихкості - не схильна.

Продовження додатка А

Сталь 15Г

Замінник – сталь 20Г.

Призначення – після поліпшення – заклепки відповідального призначення; після цементації або ціанування – поршневі пальці, фрикційні диски, пальці ресор, кулачкові валики, болти, гайки, гвинти, шестерні, черв'яки та інші деталі з високою твердістю і зносостійкістю поверхні; без термообробки – зварні під моторні рами, башмаки, косинки, штуцери, втулки.

Температура критичних точок, °С

A_{c1}	$A_{c3} (A_{cm})$	$A_{Г3} (A_{Гcm})$	$A_{Г1}$
735	863	840	685

Хімічний склад, % (ГОСТ 4543-71)

C	Si	Mn	P	S	Cu	Ni	Cr	
			не більше					
0,12-0,19	0,17-0,37	0,70-1,00	0,035	0,035	0,030	0,030	0,030	

Технологічні властивості

Температура кування, °С: початку – 1200, кінця – 825. Охолодження на повітрі.

Зварюваність – зварюваність хороша.

Оброблюваність різанням – при НВ 163, K_v _{тв.спл} = 1,6 і K_v _{б.ст} = 1,6 після відпалу.

Флокеночутливість – не чутлива.

Схильність до відпускнуї крихкості – не схильна.

Продовження додатка А

Сталь 15Х

Замінник – сталь 20Х.

Призначення – втулки, пальці, шестерні, валики, штовхачі, до яких ставляться вимоги високої поверхневої твердості при невисокій міцності серцевини, деталі, які працюють в умовах зносу при терті.

Температура критичних точок, °С

A_{c1}	A_{c3} (A_{cm})	A_{r3} (A_{rcm})	A_{r1}
766	838	799	702

Хімічний склад, % (ГОСТ 4543-71)

С	Si	Mn	S	P	Cr	Ni	Cu
			не більше			не більше	
0,12-0,19	0,17-0,37	0,70-1,00	0,035	0,035	0,70-1,00	0,30	0,30

Механічні властивості

Температура відпуску, °С	$\sigma_{0,2}$	σ_b	δ	ψ	КСУ, Дж/см ²
	МПа		%		
Гартування 880°С					
200	550	780	7	46	39
300	560	750	4	55	49
400	560	720	6	59	78
500	540	680	9	61	98
600	530	630	10	61	127
Стан поставки, режими термообробки					НВ (HRC _c) не більше
Пруток.	370	610	15	45	179
Цементація 910°С, гартування 790°С, вода, відпуск 190°С					(HRC _c) поверхні 58–64)

Технологічні властивості

Температура кування, °С: початку – 1260, кінця – 800. Заготовки перерізом до 200 мм охолоджують на повітрі, 200-700 мм піддаються низькотемпературному відпалу.

Зварюваність – зварюється без обмежень (крім деталей після хіміко-термічної обробки). Способи зварювання: РДС, КТС без обмежень.

Оброблюваність різанням – при $\sigma_b = 730$ МПа, $K_{v\delta-ст} = 1,9$, $K_{v\tauв.спл} = 1,0$. Флокеочувливість – не чутлива.

Схильність до відпускнуї крихкості – не схильна.
Продовження додатка А

Сталь 20Х

Замінник – сталі: 15Х, 20ХН, 12ХН2, 18ХГТ.

Призначення – втулки, шестерні, обойми, гільзи, диски, плунжери, важелі та інші деталі, що цементуються, до яких ставляться вимоги високої поверхневої твердості при невисокій міцності серцевини, деталі, які працюють в умовах зносу при терті.

Температура критичних точок, °С

Ac ₁	Ac ₃ (Ac _m)	Ar ₃ (Ar _{c_m})	Ar ₁	Mn
750	825	755	665	390

Хімічний склад, % (ГОСТ 4543-71)

C	Si	Mn	Cr	S	P	Cu	Ni
				не більше			
0,17-0,23	0,17-0,37	0,50-0,80	0,70-1,00	0,035	0,035	0,30	0,30

Механічні властивості

Температура відпуску, °С	$\Sigma_{0,2}$	σ_b	δ	ψ	KCU, Дж/см ²		
	МПа		%				
Пруток діаметром 25 мм. Гартування 900°С, масло							
200	650	880	18	58	118		
300	690	880	16	65	147		
400	690	850	18	70	176		
500	670	780	20	71	196		
600	610	730	20	70	225		
Стан поставки, режими термообробки	Переріз	$\sigma_{0,2}$	σ_b	δ	ψ	KCU, Дж/см ²	НВ (HRC _c) не більше
Пруток. Цементация 920-950°С, повітря, гартування 800°С, масло, відпуск 190°С, повітря	60	390	640	13	40	49	250 (поверхні 55-63)

Технологічні властивості

Температура кування, °С: початку – 1260, кінця – 750. Заготовки перерізом до 200 мм охолоджують на повітрі, 201–700 мм піддаються низькотемпературному відпау.

Зварюваність – зварюється без обмежень (крім деталей після хіміко-термічної обробки). Способи зварювання: РДС, КТС без обмежень.

Оброблюваність різанням – у гарячекатаному стані при НВ 131 і $\sigma_b = 460$ МПа, K_v б-ст = 1,3, K_v тв.спл = 1,7.

Флокеночутливість - малочутлива.

Схильність до відпускнуї крихкості – не схильна.

Продовження додатка А

Сталь 18ХГТ

Замінник – сталі: 30ХГТ, 25ХГТ, 12ХН3А, 12Х2Н4А, 20ХН2М, 14ХГСН2МА, 20ХГР.

Призначення – деталі, що поліпшуються або цементуються відповідального призначення, від яких потрібні підвищені міцність і в'язкість серцевини, а також висока поверхнева твердість, що працюють під дією ударних навантажень.

Температура критичних точок, °С

Ac ₁	Ac ₃ (Ac _m)	Ag ₃ (Ag _{c_m})	Ag ₁	Mn
740	825	730	650	360

Хімічний склад, % (ГОСТ 4543-71)

C	Si	Mn	Cr	Ti	S	P	Cu	Ni
					не більше			
0,17-0,23	0,17-0,37	0,80-1,10	1,00-1,30	0,03-0,09	0,035	0,035	0,30	0,30

Механічні властивості

Стан поставки, режимі термообробки	Переріз, мм	$\sigma_{0,2}$	σ_b	Δ	ψ	КСУ, Дж/см ²	НВ (НРС), не більше
		МПа		%			
		не менше					
Цементация 920-950°С, повітря. Гартування 820-860°С, масло. Відпуск 180-200°С, повітря	20	930	1180	10	50	78	Серцевина 341, поверхня (53-63)
	60	780	980	9	50	78	Серцевина 240-300, поверхня (53-63)

Технологічні властивості

Температура кування, °С: початку – 1200, кінця – 800. Заготовки перерізом до 200 мм охолоджують на повітрі, 251-350 мм – у ямі.

Зварюваність - зварюється без обмежень (крім деталей після хіміко-термічної обробки). Способи зварювання: РДС, КТС.

Оброблюваність різанням – після нормалізації при НВ 156-159 і $\sigma_b = 530$ МПа, $K_{v\text{ б-ст}} = 1,0$, $K_{v\text{ тв.спл}} = 1,1$.

Флокеночутливість – не чутлива.

Схильність до відпускнуї крихкості – малосхильна.

Продовження додатка А

Сталь 20ХГР

Замінник – сталі: 20ХН3А, 20ХН2М, 12ХН3А, 18ХГТ, 12ХН2.

Призначення – зубчасті колеса, вали-шестерні, черв'яки, кулачкові муфти, валики, пальці, втулки та інші деталі, що поліпшуються або цементуються, які працюють під дією ударних навантажень.

Температура критичних точок, °С

A_{c1}	A_{c3} (A_{cm})	A_{r3} (A_{rm})	A_{r1}
735	835	760	670

Хімічний склад, % (ГОСТ 4543-71)

C	Si	Mn	Cr	B	S	P	Cu	Ni
					не більше			
0,18-0,24	0,17-0,37	0,70-1,00	0,75-1,05	0,001-0,005	0,035	0,035	0,30	0,30

Механічні властивості

Режим хіміко-термічної обробки	НВ (HRC), не більше
Цементация 920–950 ⁰ С, охолодження сповільнене у колодязях або у цементацийних ящиках. Гартування 820–840 ⁰ С, масло. Відпуск 180–200 ⁰ С, повітря або масло	Серцевина 341. Поверхня (57-63)

Технологічні властивості

Температура кування, °С: початку – 1150, кінця – 800.

Заготовки перерізом більше 75 мм охолоджують повільно.

Флокочутливість – не чутлива.

Схильність до відпускнуї крихкості – малосхильна.

Продовження додатка А

Сталь 30ХГТ

Замінник – сталі: 18ХГТ, 20ХН2М, 25ХГТ, 12Х2Н4А.

Призначення – деталі, що поліпшуються або цементуються, від яких потрібні підвищена міцність і в'язка серцевина та висока поверхнева твердість, що працюють при великих швидкостях і з підвищеним питомим тиском під дією ударних навантажень.

Температура критичних точок, °С

Ac ₁	Ac ₃ (Ac _m)	Ag ₃ (Ag _{c_m})	Ag ₁
770	825	740	665

Хімічний склад, % (ГОСТ 4543-71)

C	Si	Mn	Cr	Ti	S	P	Cu	Ni
					не більше			
0,24-0,32	0,17-0,37	0,80-1,10	1,00-1,30	0,03-0,09	0,035	0,035	0,30	0,30

Механічні властивості

Стан поставки, режим термообробки	Переріз, мм	σ _{0,2}	σ _в	Δ	ψ	КСУ, Дж/см ²	НВ (НРС), не більше
		МПа		%			
		не менше					
Цементація 920-950°С. Гартування 840-860°С, масло. Відпуск 180-200°С, повітря	до 60	780	1080	12	35	59	Серцевина 300, поверхня (57-63)
	100	730	880	12	35	59	Серцевина 270, поверхня (57-63)
	150	690	830	12	30	49	Серцевина 240-300, поверхня (57-63)

Технологічні властивості

Температура кування, °С: початку – 1220, кінця – 800. Заготовки перерізом до 200 мм охолоджують у зольниках, більше 200 мм – у печях.

Зварюваність – обмежено зварювана. Способи зварювання: РДС, КТС. Рекомендуються підігрів і подальша термообробка.

Оброблюваність різанням – після нормалізації при НВ 364 і σ_в = 530 МПа, K_{у б-ст} = 0,25, K_{у тв.спл} = 0,45.

Флокеночутливість – не чутлива.
 Схильність до відпускнуї крихкості – схильна.
 Продовження додатка А

Сталь 12ХНЗА

Замінник – сталі: 12ХН2, 20ХНЗА, 25ХГТ, 12Х2Н4А, 20ХНР.

Призначення – шестерні, вали, черв'яки, кулачкові муфти, поршневі пальці та інші деталі, до яких ставляться вимоги високої міцності, пластичності й в'язкості серцевини і високої поверхневої твердості, які працюють під дією ударних навантажень або при від'ємних температурах.

Температура критичних точок, °С

Ac ₁	Ac ₃ (Ac _m)	Ag ₃ (Ag _{c_m})	Ag ₁	Mn
715	773	726	659	380

Хімічний склад, % (ГОСТ 4543-71)

C	Si	Mn	Cr	Ni	S	P	Cu
					не більше		
0,09-0,16	0,17-0,37	0,30-0,60	0,60-0,90	2,75-3,15	0,025	0,025	0,30

Механічні властивості

Стан поставки, режими термообробки	Перері із, мм	σ _{0,2}	σ _B	Δ	ψ	КСУ, Дж/см ²	НВ (HRC), не більше
		МПа		%			
		не менше					
Цементація 920-950 ⁰ С. Гартування 800-820 ⁰ С, масло. Відпуск 160-200 ⁰ С, повітря	60	830	980	12	55	118	Серцевини 303, поверхні (59-64)
	100	690	830	10	50	78	Серцевини 250, поверхні (57-63)

Технологічні властивості

Температура кування, °С: початку – 1220, кінця – 800. Заготовки перерізом до 100 мм охолоджують на повітрі, 101-300 мм – у ямі.

Зварюваність – обмежена. Способи зварювання: РДС, АДС під флюсом.

Оброблюваність різанням – у гарячекатаному стані при НВ 183–187, K_{v б-ст} = 0,95, K_{v тв.спл} = 1,26.

Флокеночутливість – чутлива.

Схильність до відпускнуї крихкості – схильна.

Продовження додатка А

Сталь 20ХГНР

Замінник – сталі: 20ХН3А, 12ХН2, 12ХН3А.

Призначення – зубчасті колеса, вали-шестерні, черв'яки, кулачкові муфти, валики, втулки та інші деталі, які працюють в умовах ударних навантажень.

Температура критичних точок, °С

Ас ₁	Ас ₃ (Ас _м)	АГ ₃ (АГс _м)	АГ ₁	Мн
740	830	725	650	365

Хімічний склад, % (ГОСТ 4543-71)

С	Si	Mn	Cr	Ni	S	P	Cu	Ti	В
					не більше				
0,16-0,23	0,17-0,37	0,70-1,00	0,70-1,10	0,80-1,10	0,035	0,035	0,30	0,06	0,001-0,005

Механічні властивості

Стан поставки, режим термобробки	Переріз, мм	σ _{0,2}	σ _в	Δ	ψ	КСУ, Дж/см ²	НВ (HRC), не більше
		МПа		%			
		не менше					
Цементація 930-950°С. Гартування 830-850°С, масло. Відпуск 170-230°С, повітря	15	1360	1460	13	60	118	Поверхні (57-63)
	25	1310	1410	14	64	127	Поверхні (57-63)
	50	1160	1260	13	64	127	Серцевини 340, поверхні (57-63)
	75	1080	1140	12	60	127	Серцевини 331, поверхні (57-63)
	100	930	1040	17	66	127	Серцевини 302, поверхні (57-63)
	150	880	1040	17	50	108	Серцевини 286, поверхні (57-63)

Технологічні властивості

Температура кування, °С: початку – 1150, кінця – 800. Заготовки перерізом більше 60 мм охолоджують повільно.

Зварюваність – РДС. Рекомендують підігрів і подальшу термообробку.
 Флокочутливість – чутлива.
 Схильність до відпускнуї крихкості – схильна.
 Продовження додатка А

Сталь 18Х2Н4МА (18Х2Н4ВА)

Замінник – сталі: 15Х2ГН2ТРА, 20Х2Н4А.

Призначення – у цементованому і поліпшеному стані застосовується для відповідальних деталей, до яких ставляться вимоги високої міцності, в'язкості та зносостійкості, а також деталей, що піддаються високим вібраційним і динамічним навантаженням. Сталь може застосовуватися при температурі від -70 до +450°С.

Температура критичних точок, °С

Ac ₁	Ac ₃ (Ac _m)	Ag ₃ (Ag _{c,m})	Ag ₁	Mn
700	810	400	350	336

Хімічний склад, % (ГОСТ 4543-71)

Сталь	C	Mn	Si	Cr						
18Х2Н4МА	0,14-0,20	0,25-0,55	0,17-0,37	1,35-1,65						
18Х2Н4В	0,14-0,20	0,25-0,55	0,17-0,37	1,35-1,65						
Сталь	Ni	Mo	W	S			P		Cu	
				не більше						
18Х2Н4МА	4,00-4,40	0,30-0,40	-	0,025	0,025	0,30				
18Х2Н4В	4,00-4,40	-	0,80-1,20	0,025	0,025	0,30				

Механічні властивості

Стан поставки, режими термообробки	Переріз, мм	σ _{0,2}	σ _B	δ	ψ	KCU, Дж/см ²	НВ (HRC), не більше
		МПа		%			
		не менше					
Цементація 930-950°С. Нормалізація 900-950°С. Гартування 900-950°С, масло. Відпуск (подвійний) 630-250°С, повітря	80	1270	1370	12	-	88	Серцевини 321-400, поверхні > (57)

Технологічні властивості

Температура кування, °С: початку – 1200, кінця – 800. Охолодження повільне до 150 °С з подальшим високим відпуском не пізніше 4–6 год.
 Зварюваність – важко зварювана. Способи зварювання: РДС, АДС під флюсом, ЕШС. Необхідні підігрів і подальша термообробка.
 Оброблюваність різанням – при σ_B = 880 МПа і НВ 277-321.

Флокеночутливість – чутлива.

Схильність до відпускнуї крихкості – не схильна.

Продовження додатка А

Поліпшувані сталі

Сталь 40

Замінник – сталі: 35, 45, 40Г.

Призначення – після поліпшення – колінчасті вали, шатуни, зубчасті вінці, маховики, зубчасті колеса, болти, осі та інші деталі; після поверхневого зміцнення з нагрівом струмами високої частоти (СВЧ) – деталі середніх розмірів, до яких ставляться вимоги високої поверхневої твердості та підвищеної зносостійкості при малій деформації (довгі вали, ходові валики, зубчасті колеса).

Температура критичних точок, °С

Ac ₁	Ac ₃ (Ac _m)	Ag ₃ (Ag _{c_m})	Ag ₁	Mn
730	790	780	690	340

Хімічний склад, % (ГОСТ 1050-74)

C	Si	Mn	Cr	S	P	Cu	Ni	As
не більше								
0,37-0,45	0,17-0,37	0,50-0,80	0,25	0,04	0,035	0,25	0,25	0,08

Механічні властивості залежно від температури відпуску

Температура відпуску, °С	σ _{0,2}	σ _в	δ	ψ	KCU, Дж/см ²	НВ
	МПа		%			
Гартування 850°С, масло						
200	750	930	7	45	29	267
300	710	860	8	51	69	247
400	640	790	10	57	88	225
500	550	730	12	62	127	208
600	450	660	16	66	167	188
700	380	620	17	71	206	170

Технологічні властивості

Температура кування, °С: початку – 1250, кінця – 800. Охолодження заготовок перерізом до 400 мм на повітрі.

Зварюваність – обмежено зварювана. Способи зварювання: РДС, АДС під флюсом і газовим захистом, ЕШС. Рекомендуються підігрів і подальша термообробка. КТС без обмежень.

Оброблюваність різанням – у гарячекатаному стані при $\sigma_b = 520$ МПа і НВ 170. Флокеночутливість – чутлива. Схильність до відпускнуї крихкості – не схильна.
Продовження додатка А

Сталь 45

Замінник – сталі: 40Х, 50, 50Г2.

Призначення – вали-шестерні, колінчасті й розподільні вали, шестерні, шпинделі, бандажі, циліндри, кулачки та інші нормалізовані, поліпшені та які піддаються поверхневій термообробці деталі, від яких потрібна підвищена міцність.

Температура критичних точок, °С

A_{c1}	A_{c3} (A_{cm})	$A_{Г3}$ ($A_{Гm}$)	$A_{Г1}$	Mn
730	755	690	780	350

Хімічний склад, % (ГОСТ 1050-74)

C	Si	Mn	Cr	S	P	Cu	Ni	As	
			не більше						
0,42-0,50	0,17-0,37	0,50-0,80	0,25	0,04	0,035	0,25	0,25	0,08	

Механічні властивості залежно від температури відпуску

Температура відпуску, °С	$\sigma_{0,2}$	σ_b	δ	ψ	ККУ, Дж/см ²	НВ
	МПа		%			
Гартування 850 °С, вода. Зразки діаметром 15 мм						
450	830	980	10	40	59	-
500	730	830	12	45	78	-
550	640	780	16	50	98	-
600	590	730	25	55	118	-
Гартування 840 °С, вода. Діаметр заготовки 60 мм						
400	520-590	730-840	12-14	46-50	50-70	202-234
500	470-520	680-770	14-16	52-58	60-90	185-210
600	410-440	610-680	18-20	61-64	90-120	168-190

Технологічні властивості

Температура кування, °С: початку – 1250, кінця – 700. Заготовки перерізом до 400 мм охолоджують на повітрі.

Зварюваність – важкозварювана. Способи зварювання: РДС і КТС. Необхідні підігрів і подальша термообробка.

Оброблюваність різанням – у гарячекатаному стані при $\sigma_b = 640$ МПа і НВ 170-179.

Флокеночутливість – малочутлива.

Схильність до відпускнуї крихкості – не схильна.

Продовження додатка А

Сталь 50

Замінник – сталі: 45, 50Г, 50Г2, 55.

Призначення – після нормалізації з відпуском і гартуванням з відпуском – зубчасті колеса, прокатні валки, штоки, важконавантажені вали, осі, бандажі, малонавантажені пружини та ресори, лемеші, пальці ланок гусениць, муфти зчеплення коробок передач, корпуси форсунок та інші деталі, які працюють на тертя.

Температура критичних точок, °С

Ac ₁	Ac ₃ (Ac _m)	Ag ₃ (Ag _{cм})	Ag ₁	Mn
725	760	750	690	300

Хімічний склад, % (ГОСТ 1050-74)

C	Si	Mn	Cr	S	P	Cu	Ni	As
не більше								
0,47-0,55	0,17-0,37	0,50-0,80	0,25	0,040	0,035	0,25	0,25	0,08

Механічні властивості залежно від температури відпуску

Температура відпуску, °С	$\sigma_{0,2}$	σ_b	δ	ψ	КСУ, Дж/см ²	НВ
	МПа		%			
Діаметр заготовки 40 мм. Гартування 840 °С, вода						
400	600	830	14	50	64	240
500	530	760	15	56	88	215
600	450	680	17	64	139	190
Гартування 840°С, вода. Діаметр заготовки 60 мм						
400	550	770	14	48	56	217
500	490	710	15	55	70	200
600	420	630	19	63	108	180

Технологічні властивості

Температура кування, °С: початку – 1250, кінця – 800. Заготовки перерізом до 400 мм охолоджують на повітрі.

Зварюваність – важкозварювана. Способи зварювання: РДС і КТС. Рекомендуються підігрів і подальша термообробка.

Оброблюваність різанням – у гарячекатаному стані при $\sigma_b = 640$ МПа і НВ 196–202.

Флокеночутливість – малочутлива.

Схильність до відпускної крихкості – не схильна.

Продовження додатка А

Сталь 40Г

Замінник – сталі: 45, 40Х.

Призначення – осі, колінчасті вали, шестерні, штоки, бандажі, деталі арматури, шатуни, зірочки, розподільні вали, головки плунжерів та інші деталі, до яких ставляться вимоги підвищеної міцності.

Температура критичних точок, °С

Ac ₁	Ac ₃ (Ac _m)	A _{Г3} (A _{Гсm})	A _{Г1}
723	785	770	680

Хімічний склад, % (ГОСТ 1050-74)

C	Si	Mn	P	S	Cu	Ni	Cr
			не більше				
0,37-0,45	0,17-0,37	0,70-1,00	0,035	0,035	0,30	0,30	0,30

Механічні властивості

Стан поставки, режими термообробки	Перері з, мм	$\sigma_{0,2}$	σ_b	δ	ψ	KCU, Дж/см ²	HRC, не більше
		МПа		%			
		не менше					
Пруток. Гартування 860°С, вода. Відпуск 600°С, повітря	25	350	590	17	45	59	-
Гартування 830-850°С, Вода. Відпуск 180- 200°С, повітря	-	Не визначаються					43-49

Технологічні властивості

Температура кування, °С: початку – 1250, кінця – 800. Заготовки перерізом до 400 мм охолоджують на повітрі.

Зварюваність – важко зварювана. Способи зварювання: РДС, АДС під флюсом. Рекомендуються підігрів і подальша термообробка. КТС без обмежень. Схильність до відпускної крихкості – схильна.

Оброблюваність різанням – у нормалізованому стані при НВ 174–207.

Флокеночутливість – малочутлива.

Продовження додатка А

Сталь 38ХС

Замінник – сталь 40ХС.

Призначення – вали, шестерні, муфти, пальці та інші поліпшені деталі невеликих розмірів, до яких ставляться вимоги високої міцності, пружності й зносостійкості.

Температура критичних точок, °С

Ac ₁	Ac ₃ (Ac _m)	Ag ₃ (Ag _{c_m})	Ag ₁	Mn
763	810	755	680	330

Хімічний склад, % (ГОСТ 1050-74)

C	Si	Mn	Cr	P	S	Cu	Ni
				не більше			
0,34-0,42	1,00-1,40	0,30-0,60	1,30-1,60	0,035	0,035	0,30	0,30

Механічні властивості

Стан поставки, режими термообробки	Перері- з, мм	σ _{0,2}	σ _b	δ	ψ	КСУ, Дж/см ²	HRC, не більше
		МПа		%			
		не менше					
Гартування 900°С, вода. Відпуск 630°С, вода або масло	25	730	930	12	50	69	-
Поковки. Гартування. Відпуск	До 100	540 590	685 735	15 14	45 45	59 59	223-262 235-277

Технологічні властивості

Температура кування, °С: початку – 1200, кінця – 800. Заготовки перерізом до 250 мм охолоджують на повітрі, 251–350 мм – у ямі.

Зварюваність – важко зварювана. Способи зварювання: РДС – необхідні підігрів і подальша термообробка. КТС – необхідна подальша термообробка.

Оброблюваність різанням – при σ_b = 780-880 МПа і НВ 250-300.

Флокеночутливість – нечутлива.

Схильність до відпускнуї крихкості – схильна.

Продовження додатка А

Сталь 40ХС

Замінник – сталі: 38ХС, 35ХГТ.

Призначення – вали, шестерні, муфти, пальці та інші поліпшені деталі невеликих розмірів, до яких ставляться вимоги високої міцності, пружності й зносостійкості.

Температура критичних точок, °С

Ac ₁	Ac ₃ (Ac _m)	Ar ₃ (Ar _{c,m})	Ar ₁	Mn
763	810	755	680	320

Хімічний склад, % (ГОСТ 1050-74)

C	Si	Mn	Cr	P	S	Cu	Ni
				не більше			
0,37-0,42	1,20-1,60	0,30-0,60	1,30-1,60	0,035	0,035	0,30	0,30

Механічні властивості

Стан поставки, режими термообробки	Переріз, мм	σ _{0,2}	σ _B	δ	ψ	КСУ, Дж/см ²	НВ (HRC), не більше
		МПа		%			
		не менше					
Гартування 900 °С, вода або масло. Відпуск 540 °С, вода або масло. Ізотермічне гартування 900-910 °С, селітра при 330-350 °С, потім охолодження на повітрі	25	1080	1220	12	40	34	-
	25	1080	1220	12	40	49	-
Гартування 900-920 °С, масло. Відпуск 240-260 °С, повітря	40	-	1670	8	40	39	(46-51)
Гартування 870-890 °С, вода або масло. Відпуск 600-650 °С, вода або масло	110	640	830	15	50	88	241-285

Технологічні властивості

Температура кування, °С: початку – 1150, кінця – 850. Заготовки перерізом більше 75 мм охолоджують повільно.
 Зварюваність – важкозварювана.
 Флокочутливість – чутлива.
 Схильність до відпусної крихкості – схильна.
 Продовження додатка А

Сталь 30ХМ (30ХМА)

Замінник – сталі: 35ХМ, 35ХРА.
 Призначення – шестерні, вали, цапфи, шпильки, гайки та різні інші деталі, які працюють при температурі до 450–500 °С.

Температура критичних точок, °С

Ac ₁	Ac ₃ (Ac _m)	Ar ₃ (Ar _{cм})	Ar ₁
757	807	763	693

Хімічний склад, % (ГОСТ 1050-74)

C	Si	Mn	Cr	Mo	P	S	Cu	Ni
					не більше			
0,26-0,33	0,17-0,37	0,40-0,70	0,80-1,10	0,15-0,25	0,035 0,025*	0,035 0,025	0,30	0,30
*Для сталі 30ХМА								

Механічні властивості

Стан поставки, режими термообробки	Переріз, мм	σ _{0,2}	σ _B	δ	ψ	КCU, Дж/см ²	НВ (HRC), не більше
		МПа		%			
		не менше					
Пруток. Гартування 880°С, масло. Відпуск 540°С, вода або масло	15	735	930	11	45	78	Сталь 30ХМ. Сталь 30ХМА
	До 100	395	615	17	45		
Поковки. Гартування. Відпуск	100-	440	635	16	45	59	197-235.
	300	440	635	14	40	54	197-235
	До 100	490	655	16	45	59	212-248

Технологічні властивості

Температура кування, °С: початку – 1260, кінця 760–800. Заготовки перерізом до 100 мм охолоджують на повітрі, 101-300 мм – у мульді.
 Зварюваність – обмежено зварювані. Способи зварювання: РДС, АДС під флюсом і газовим захистом. Рекомендуються підігрів і подальша

термообробка. Оброблюваність різанням – після гартування і відпуску при $\sigma_b = 930$ МПа і НВ 229–269.
 Флокочутливість – малочутлива.
 Схильність до відпускнуї крихкості – не схильна.

Продовження додатка А

Сталь 30ХГС

Замінник – сталі: 40ХФА, 35ХМ, 40ХН, 35ХГСА.

Призначення – різні деталі, що поліпшуються: вали, осі, зубчасті колеса, гальмівні стрічки моторів, фланці, корпуси обшивки, лопатки компресорних машин, важелі, штовхачі, відповідальні зварні конструкції, які працюють при знакозмінних навантаженнях, кріпильні деталі.

Температура критичних точок, °С

A_{c1}	A_{c3} (A_{cm})	A_{r3} (A_{rcm})	A_{r1}	Mn
760	830	705	670	352

Хімічний склад, % (ГОСТ 1050-74)

C	Si	Mn	Cr	P	S	Cu	Ni
				не більше			
0,28-0,35	0,90-1,20	0,80-1,10	0,80-1,10	0,035	0,035	0,30	0,30

Механічні властивості

Стан поставки, режими термообробки	Переріз, мм	$\sigma_{0,2}$	σ_b	δ	ψ	КСУ, Дж/см ²	НВ (HRC), не більше
		МПа		%			
		не менше					
Гартування 880°С, масло. Відпуск 540°С, вода або масло	25	830	1080	10	45	44	-
Поковки. Нормалізація	До 100	395	615	17	45	59	187-229
Гартування 860-880°С, масло. Відпуск 200-250°С, повітря	30	1270	1470	7	40	-	(43-51)
Гартування 860-880°С, масло. Відпуск 540-560°С, вода або масло	60	690	880	9	45	59	> 225

Технологічні властивості

Температура кування, °С: початку – 1240, кінця – 800. Заготовки перерізом до 50 мм охолоджують у штабелях на повітрі, 51–100 мм – у ящиках.

Зварюваність – обмежено зварювана. Способи зварювання: РДС, АДС під флюсом і газовим захистом, Арес, ЕПШ. Рекомендуються підігрів і подальша термообробка, КТС без обмежень.

Оброблюваність різанням – у гарячекатаному стані при $\sigma_b = 710$ МПа і НВ 207-217. Флоєночутливість – чутлива.

Схильність до відпускнуї крихкості – схильна.

Продовження додатка А

Сталь 25ХГСА

Замінник – сталь 20ХГСА.

Призначення – відповідальні зварні та штамповані деталі, що застосовуються у поліпшеному стані, ходові гвинти, осі, вали, черв'яки, колінчасті вали, штоки та інші деталі.

Температура критичних точок, °С

A_{c1}	A_{c3} (A_{cm})	A_{r1}
755	840	690

Хімічний склад, % (ГОСТ 1050-74)

C	Si	Mn	Cr	P	S	Cu	Ni
				не більше			
0,22-0,28	0,90-1,20	0,80-1,10	0,80-1,10	0,025	0,025	0,30	0,30

Механічні властивості

Стан поставки, режими термообробки	Переріз, мм	$\sigma_{0,2}$	σ_b	δ	ψ	КСУ, Дж/см ²
		МПа		%		
		не менше				
Пруток. Гартування 880°С, масло. Відпуск 480°С, вода або масло	15	830	1080	10	40	59
Листи 4, 5-ї категорії. Гартування 880°С, масло. Відпуск 470-550°С, вода або масло	Зразки	-	1030	10	-	49

Технологічні властивості

Температура кування, °С: початку – 1180, кінця – 850.

Зварюваність – зварювання без обмежень .

Оброблюваність різанням – після гартування, відпуску $\sigma_B = 780\text{--}900$ МПа і НВ 228–262.

Флокеночутливість – чутлива.

Схильність до відпускнуї крихкості – схильна.

Продовження додатка А

Сталь 40ХН

Замінник – сталі: 45ХН, 50ХН, 38ХГН, 40Х, 35ХГФ, 40ХНР, 40ХНМ, 30ХГВТ.

Призначення – осі, вали, шатуни, зубчасті колеса, вали екскаваторів, муфти, вали-шестерні, шпинделі, болти, важелі, штоки, циліндри та інші відповідальні навантажені деталі, що піддаються вібраційним і динамічним навантаженням, до яких ставляться вимоги підвищеної міцності й в'язкості. Валки рейкобалкових і великосортних станів для горячого прокатування металу.

Температура критичних точок, °С

A_{c1}	A_{c3} (A_{cm})	A_{r3} (A_{rcm})	A_{r1}	Mn
735	768	700	660	305

Хімічний склад, % (ГОСТ 1050-74)

C	Si	Mn	Cr	Ni	P	S	Cu
					не більше		
0,36-0,44	0,17-0,37	0,50-0,80	0,45-0,75	1,00-1,40	0,035	0,035	0,30

Механічні властивості

Стан поставки, режими термообробки	Переріз, мм	$\sigma_{0,2}$	σ_B	δ	ψ	ККУ, Дж/см ²	НВ (HRC), не більше
		МПа		%			
		не менше					
Пруток. Гартування 820°С, вода або масло. Відпуск 500°С, вода або масло.	25	785	980	11	45	69	-
	300-500	345	590	14	38	49	174-217
Поковки. Гартування Відпуск	До 100						

Технологічні властивості

Температура кування, °С: початку – 1250, кінця – 830. Заготовки перерізом до 50 мм охолоджують на повітрі, від 51-200 мм – охолодження у мульдi, з 201 до 300 мм – з піччю.

Зварюваність – важко зварювана. Способи зварювання: РДС, АДС під флюсом, ЕШС. Необхідні підігрів і подальша термообробка.

Оброблюваність різанням – у гарячекатаному стані при $\sigma_b = 690$ МПа і НВ 166–170.

Флокеночутливість – підвищено чутлива.

Схильність до відпускнуї крихкості – схильна.

Продовження додатка А

Сталь 38ХНЗМФА

Призначення – найбільш відповідальні важконавантажені деталі, які працюють при температурі до 400°С.

Температура критичних точок, °С

Ac ₁	Ac ₃ (Ac _m)	Ar ₃ (Arc _m)	Ar ₁	Mn
725	775	300	250	260

Хімічний склад, % (ГОСТ 1050-74)

C	Mn	Si	Cr	Ni	Mo	V	P	S	Cu
							не більше		
0,33-0,40	0,25-0,50	0,17-0,37	1,20-1,50	3,00-3-50	0,35-0,45	0,10-0,18	0,025	0,025	0,30

Механічні властивості

Стан поставки, режими термообробки	Переріз, мм	$\sigma_{0,2}$	σ_b	δ	ψ	КСУ, Дж/см ²	НВ (HRC), не більше
		МПа		%			
		не менше					
Пруток. Гартування 850°С, масло. Відпуск 600°С, повітря	25	1080	1180	12	50	78	-
	500-800	640	785	10	30	39	248-293
Поковки. Гартування. Відпуск	До 100						

Технологічні властивості

Температура кування, °С: початку – 1180, кінця – 780. Заготовки перерізом до 100 мм охолоджують у ямі, вище 100 мм піддаються низькотемпературному відпалу.

Зварюваність – не застосовується для зварних з'єднань.

Флокочутливість – підвищено чутлива.

Схильність до відпускнуї крихкості – не схильна.

Продовження додатка А

Сталь 34ХН3М

Замінник – сталі: 35ХНВ, 35ХГНМ, 38Х2Н1М, 34ХН1М, 34ХН3МА, 34ХН3МФА.

Призначення – великі особливо відповідальні деталі з високими вимогами до механічних властивостей.

Температура критичних точок, °С

A_{c1}	A_{c3} (A_{cm})	A_{r3} (A_{rcm})
720	790	490

Хімічний склад, % (ТУ 24-1-12-179-75)

C	Mn	Si	Cr	Ni	P	S	Mo
					не більше		
0,30-0,40	0,50-0,80	0,17-0,37	0,70-1,10	2,75-3,25	0,035	0,030	0,25-0,40

Механічні властивості

Стан поставки, режими термообробки	Переріз, мм	$\sigma_{0,2}$	σ_B	δ	ψ	КСУ, Дж/см ²	НВ (HRC), не більше
		МПа		%			
		не менше					
Гартування.	300-500	735	880	11	30	39	277-321
Відпуск	300-500	735	880				

Технологічні властивості

Температура кування, °С: початку – 1240, кінця – 780. Заготовки перерізом до 100 мм охолоджують на повітрі, 101-350 мм – у ямі.

Зварюваність – обмежено зварювана. Способи зварювання - РДС, ЕШС. Необхідні підігрів і подальша термообробка.

Оброблюваність різанням – у відпаленому стані при $\sigma_b = 640$ МПа і НВ 210–230.

Флокеночутливість – підвищено чутлива.

Схильність до відпускнуї крихкості – малосхильна.

Продовження додатка А

Ресорно-пружинні сталі Сталь 60С2

Замінник – сталі: 55С2, 50ХФА.

Призначення – важконавантажені пружини, торсійні вали, пружинні кільця, цанги, фрикційні диски, шайби пружинні.

Температура критичних точок, °С

Ac ₁	Ac ₃ (Ac _m)	Ar ₃ (Arc _m)	Ar ₁	Mn
770	820	770	700	305

Хімічний склад, % (ГОСТ 14959-79)

C	Si	Mn	Cr	Cu	Ni	P	S
			не більше				
0,57-0,65	1,5-2,0	0,60-0,90	0,30	0,20	0,25	0,035	0,035

Механічні властивості

Стан поставки, режими термообробки	Переріз, мм	$\sigma_{0,2}$	σ_b	δ	ψ	KCU, Дж/см ²	НВ (HRC), не більше
		МПа		%			
		не менше					
Сталь категорій: 3, 3А, 3В, 3В, 3Г, 4, 4А, 4Б. Гартування 870°С, масло. Відпуск 470°С	Зразки	1175	1270	6	25	-	-
Ізотермічне гартування 860-880°С, розплавлена сіль 310-330°С. Відпуск 310-330°С, повітря	10	1590	1760	12	50	62	(47-50)
Пружини. Навивання при 850-950°С. Гартування 850-870°С, масло. Відпуск 430-460°С,	Не визначаються						388-477

повітря		
Ресори. Гартування 850-870°C, масло. Відпуск 400-450°C, повітря	Не визначаються	387-418

Технологічні властивості

Температура кування, °С: початку – 1200, кінця – 800. Охолодження заготовок перерізом до 250 мм на повітрі, перерізом 251-350 мм – у ямі.

Зварюваність – не застосовується для зварних з'єднань.

Оброблюваність різанням – у гарячекатаному стані при $\sigma_B = 1080$ МПа, НВ 270–320.

Флокеночутливість – не чутлива.

Схильність до відпускнуї крихкості – не схильна.

Продовження додатка А

Сталь 50ХФА

Замінник – сталі: 60С2А, 50ХГФА, 9ХС.

Призначення – важконавантажені відповідальні деталі, до яких ставляться вимоги високої міцності від утомленості, пружини, що працюють при температурі до 300 °С, та інші деталі.

Температура критичних точок, °С

Ac ₁	Ac ₃ (Ac _m)	Ar ₃ (Arc _m)	Ar ₁	Mn
752	788	746	688	300

Хімічний склад, % (ГОСТ 14959-79)

C	Mn	Si	Cr	V	Cu	Ni	P	S
					не більше			
0,46-0,54	0,50-0,80	0,17-0,37	0,80-1,10	0,10-0,20	0,20	0,25	0,025	0,025

Механічні властивості

Стан поставки, режими термообробки	Переріз, мм	$\sigma_{0,2}$	σ_B	δ	ψ	КСУ, Дж/см ²	НВ (HRC), не більше
		МПа		%			
		не менше					
Сталь категорій: 3, 3А, 3Б, 3В, 3Г, 4, 4А, 4Б. Гартування 850°C, масло. Відпуск 470°C	Зразки	1080	1270	8	35	-	-
Поківки. Гартування. Відпуск. Изотермічне гартування 870°C, розплавлена сіль 320-330°C. Відпуск 330°C, повітря	100-300	685	835	12	38	49	262-311
	20	1430	1570	6	45	60	(44-50)

Пружини. Гартування 840-860°C. Відпуск 420-450°C, повітря. Відпал: повний ізотермічний сфероїдувальний	15	1270	1470	12	40	-	44-50
	-	420	710	16	56	-	-
	-	350	650	20	58	-	-
	-	350	570	22	71	-	-

Технологічні властивості

Температура кування, °С: початку – 1180, кінця – 800. Охолодження заготовок перерізом до 50 мм проводиться на повітрі, перерізом 51–180 мм – у колодязях.

Зварюваність – не застосовується для зварних з'єднань.

Оброблюваність різанням – у гарячекатаному стані при $\sigma_b = 900$ МПа, НВ 269. Флокеночутливість – не чутлива.

Схильність до відпускнуї крихкості – малосхильна.

Продовження додатка А

Сталь 60С2Н2А

Замінник – сталі: 60С2А, 60С2ХА.

Призначення – відповідальні важконавантажені пружини і ресори.

Температура критичних точок, °С

Ac ₁	Ac ₃ (Ac _m)
765	780

Хімічний склад, % (ГОСТ 14959-79)

C	Mn	Si	Ni	Cr	Cu	P	S
				не більше			
0,56-0,64	0,40-0,70	1,4-1,8	1,4-1,7	0,30	0,20	0,025	0,025

Механічні властивості

Стан поставки, режими термообробки	$\sigma_{0,2}$	σ_b	δ	ψ	НВ (HRC), не більше
	МПа		%		
	не менше				
Сталь категорій: 3, 3А, 3Б, 3В, 3Г, 4, 4А, 4Б. Гартування 870°C, масло. Відпуск 470°C Відпал 720°C, піч	1325 410	1470 700	8 19	30 50	-
Пружини. Відпал або відпуск перед волочінням 730°C, гаряче навивання 850-900°C, гартування 850-	-	-	-	-	420-475

870°C. Відпуск 380-420°C, повітря					
Гартування 850°C, масло.	1570	1710	5	20	-
Відпуск 420°C, повітря					

Технологічні властивості

Температура кування, °C: початку – 1150, кінця – 850.

Зварюваність – не застосовується для зварних з'єднань.

Флокеночутливість – чутлива.

Схильність до відпускнуї крихкості – не схильна.

Продовження додатка А

Сталь 65С2ВА

Замінник – сталі: 60С2А, 60С2ХА.

Призначення – відповідальні важко навантажені пружини і ресори.

Хімічний склад, % (ГОСТ 14959-79)

С	Mn	Si	W	Cr	Cu	Ni	S	P
				не більше				
0,61-0,69	0,70-1,0	1,5-2,0	0,80-1,20	0,30	0,20	0,25	0,025	0,025

Механічні властивості

Стан поставки, режими термообробки	$\sigma_{0,2}$	σ_b	δ	ψ
	МПа		%	
	не менше			
Сталь категорій: 3, 3А, 3Б, 3В, 3Г, 4, 4А, 4Б. Гартування 850 °C, масло. Відпуск 420 °C	1665	1860	5	20

Технологічні властивості

Температура кування, °C: початку – 1100, кінця – 900.

Зварюваність – не застосовується для зварних з'єднань.

Флокеночутливість – не чутлива.

Схильність до відпускнуї крихкості – не схильна.

Нержавіючі корозійностійкі сталі

Сталь 30Х13

Замінник – сталь 40Х13.

Призначення – різальний, мірильний інструмент, пружини, карбюраторні голки, штоки поршневих компресорів, деталі внутрішніх приладів апаратів та інші різні деталі, що працюють на знос у слабоагресивних середовищах до 450 °С.

Температура критичних точок, °С

Ac ₁	Ac ₃ (Ac _m)	Ar ₃ (Arc _m)	Ar ₁	Mn
810	860	660	710	240

Хімічний склад, % (ГОСТ 14959-79)

C	Si	Mn	Cr	S	P	Ti	Cu	Ni
	не більше			не більше				
0,26-0,35	0,8	0,8	12,8-14,0	0,025	0,030	0,2	0,30	0,6

Продовження додатка А

Механічні властивості

Стан поставки, режими термообробки	Переріз, мм	$\sigma_{0,2}$	σ_B	δ	ψ	KCU ₂ Дж/см ²	НВ (HRC), не більше
		МПа		%			
		не менше					
Гартування 950-1020°С, масло. Відпуск 200-300°С, повітря або масло	Зразки	-	-	-	-	-	(50)
Прутки шліфовані, оброблені на задану міцність	1-30	-	530-780	12	-	-	-
Поковки. Гартування 1000-1050°С. Відпуск 700-750°С, повітря	До 1000	588	735	14	40	29	Поверхні 235-277
Дріт термооброблений	1-6	-	490-830	12	-	-	-

Технологічні властивості

Температура кування, °С: початку – 1250, кінця – 850. Заготовка перерізом до 400 мм піддається низькотемпературному відпалу з одним переохолодженням.

Зварюваність – не застосовується для зварних з'єднань.

Оброблюваність різанням – у загартованому і відпущеному стані при $\sigma_B = 730$ МПа, НВ 241.

Флокеночутливість – не чутлива.

Схильність до відпускнуї крихкості – малосхильна.

Сталь 40X13

Замінник – сталь 30X13.

Призначення – різальний, мірильний інструмент, пружини, карбюраторні голки, предмети домашнього вжитку, клапанні пластини компресорів та інші деталі, що працюють при температурі до 400–450 °С, а також деталі, що працюють у корозійних середовищах. Сталь корозійностійка мартенситного класу.

Температура критичних точок, °С

Ac ₁	Ac ₃ (Ac _m)	Ar ₁	Mn
820	870	780	270

Хімічний склад, % (ГОСТ 5632-72)

C	Si	Mn	Cr	S	P	Ti	Cu	Ni
	не більше			не більше				
0,36-0,45	0,8	0,8	12,0-14,0	0,025	0,030	0,2	0,30	0,6

Продовження додатка А

Механічні властивості

Стан поставки, режими термообробки	Пере-різ, мм	σ _b , МПа	δ ₅ , %	НВ (HRC), не більше
		не менше		
Прутки. Гартування 1000-1050°С, масло. Відпуск 200-300°С, охолодження на повітрі або у маслі	зразки	-	-	н. м. (52)
Прутки: шліфовані, оброблені на задану міцність, відпалені. Листи гарячекатані або холоднокатані. Відпал або відпуск 740-800°С (зразки поперечні). Дріт термооброблений	1-30	590-810	10	-
	> 5	-	-	420–475
	до 3,9	550	15	-
	1-6	590-880	10	-

Технологічні властивості

Температура кування, °С: початку – 1200, кінця – 850. Переріз до 200 мм піддається низькотемпературному відпалу.

Зварюваність – не застосовується для зварних з'єднань.

Оброблюваність різанням – у загартованому і відпущеному стані при σ_b = 730 МПа і НВ 340.

Інструментальні сталі

Сталь 3Х2В8Ф

Замінник – сталі: 4Х5В2ФС, 4Х2В2МФС, 5Х3В3МФС.

Призначення – важконавантажений пресовий інструмент (дрібні вставки кінцевого штампового рівчака, матриці та пуансони для видавлювання і т. д.) при гарячому деформуванні легованих конструкційних сталей і жароміцних сплавів, прес-форми лиття під тиском мідних сплавів.

Температура критичних точок, °С

Ac ₁	Ac ₃ (Ac _m)	Ar ₃ (Ar _m)	Ar ₁	Mn
800	850	750	690	380

Продовження додатка А

Хімічний склад, % (ГОСТ 14959-79)

C	Si	Mn	Cr	W	V	S	P	N	Cu	Mo
0,30-0,40	0,15-0,40	0,15-0,40	2,20-2,70	7,50-8,50	0,20-0,50	0,030	0,030	0,35	0,030	0,50
не більше										

Механічні властивості залежно від температури відпуску

Температура відпуску, °С	σ _{0,2}	σ _b	δ	ψ	KCU ₂ Дж/см ²	НВ
	МПа		%			
Гартування при температурі 1130°С, масло. Витримка при відпуску 2 год						
600	-	1720	10	41	20	52
625	1460	1640	7	28	25	50
650	1390	1530	12	36	20	48
675	1310	1430	10	36	25	45

Технологічні властивості

Температура кування, °С: початку – 1200, кінця – 900. Охолодження до 700°С на повітрі, далі у піску.

Зварюваність – не застосовується для зварних з'єднань.

Оброблюваність різанням – при σ_b = 710 Мпа і НВ 200–220.

Флокеночутливість – чутлива.

Схильність до відпускнуої крихкості – схильна.

Сталь 9ХС

Замінник – сталі: ХВГ, ХВСГ.

Призначення – свердла, розвертки, мітчики, плашки, гребінки, фрези, машинні штемпелі, клейма для холодних робіт. Відповідальні деталі, матеріал яких повинен мати підвищену зносостійкість, міцність від утомленості при згині, крученні, контактному навантаженні, а також пружні властивості.

Температура критичних точок, °С

Ac ₁	Ac ₃ (Ac _m)	Ar ₁	Mn
770	870	730	160

Продовження додатка А

Хімічний склад, % (ГОСТ 5950-73)

C	Si	Mn	Cr	S	P	Ni	Cu	W	Mo	Ti	V
				не більше							
0,85-0,95	1,20-1,60	0,30-0,60	0,95-1,25	0,030	0,030	0,35	0,30	0,20	0,20	0,03	0,15

Механічні властивості

Стан поставки, режими термообробки	Переріз, мм	σ _{0,2}	σ _B	ψ, %	КCU Дж/см ²	НВ (HRC), не більше
		МПа				
Ізотермічний відпал 790-810°С. Температура ізотермічної витримки 710°С. Гартування 870°С, масло. Відпуск 180-240°С, 450-500°С*	-	295-390	590-690	50-60	-	(197-241)
	До 40	-	-	-	78	59-63
	До 30	-	-	-	-	46-50

*Температура відпуску рекомендується для цанг та інших деталей пружинного типу, а також для навантажених валів

Технологічні властивості

Температура кування, °С: початку – 1180, кінця – 800. Переріз до 200 мм охолоджується у колодязі.

Зварюваність – не застосовується для зварних з'єднань. Допустима КТС.

Оброблюваність різанням – у гарячекатаному стані при НВ 221.

Флокеночутливість – не чутлива.

Схильність до відпускнуої крихкості – схильна.

Сталь ХВГ

Замінник – сталі: 9ХС, ХГ, 9ХВГ, ХВСГ, ШХ15СГ.

Призначення – мірильний і різальний інструмент, для якого підвищене жолоблення при гартуванні недопустиме, нарізні калібри, протяжки, довгі мітчики, довгі розвертки та інший вид спеціального інструменту, холодновисаджувальні матриці та пуансони, технологічна оснастка.

Температура критичних точок, °С

Ac ₁	Ac ₃ (Ac _m)	Ar ₁	Mn
750	940	710	210

Продовження додатка А

Хімічний склад, % (ГОСТ 5950-73)

C	Si	Mn	Cr	W	S	P	Ni	Cu	Mo
					не більше				
0,85-0,95	1,20-1,60	0,30-0,60	0,95-1,25	1,20-1,60	0,030	0,030	0,35	0,30	0,20

Технологічні властивості

Температура кування, °С: початку – 1070, кінця – 860. Охолодження повільне.

Зварюваність – не застосовується для зварних з'єднань.

Оброблюваність різанням – у гарячекатаному стані при HB 221 і $\sigma_b = 760$ МПа.

Флоєночутливість – чутлива.

Схильність до відпускнуої крихкості – малосхильна.

Сталь 5ХНМ

Замінник – сталі: 5ХНВ, 5ХГМ, 4ХМФС, 5ХНВС, 4Х5В2ФС.

Призначення – молотові штампи пароповітряних та пневматичних молотів з масою падаючих частин більше 3 т, пресові штампи і штампи машинного швидкісного штампування при гарячому деформуванні легких кольорових сплавів, блоки матриць для вставок горизонтально-кувальних машин.

Температура критичних точок, °С

Ac ₁	Ac ₃ (Ac _m)	Ar ₃ (Ar _{c,m})	Ar ₁	Mn
810	860	660	710	240

Хімічний склад, % (ГОСТ 5950-73)

C	Si	Mn	Cr	Mo	Ni	S	P	Cu
не більше								
0,50-0,60	0,10-0,40	0,50-0,80	0,50-0,80	0,15-0,30	1,40-1,80	0,030	0,030	0,30

Механічні властивості залежно від перерізу

Переріз, мм	$\sigma_{0,2}$	σ_B	δ	ψ	КСУ, Дж/см ²	Твердість	
	МПа		%			поверхні HRC	серцевини HB
Гартування при температурі 850°C, масло. Відпуск 460-520 °C							
До 100	-	-	-	-	-	-	-
100-200	1420	1570	9	35	34	42-47	375-429
200-300	1270	1470	11	38	44	40-44	352-397
300-500	1130	1320	12	36	49	37-42	321-375
500-700	930	1180	15	40	178	35-39	302-341

Продовження додатка А

Технологічні властивості

Температура кування, °C: початку – 1070, кінця – 860. Охолодження повільне.

Зварюваність – не застосовується для зварних з'єднань.

Оброблюваність різанням – у гарячекатаному стані при HB 235 і $\sigma_B = 760$ МПа.

Флокеночутливість – чутлива.

Схильність до відпускнуї крихкості – малосхильна.

Зносостійкі сталі

Сталь ШХ15

Замінник – сталі: ШХ9, ШХ12, ШХ15СТ.

Призначення – кульки діаметром до 150 мм, ролики діаметром до 23 мм, кільця підшипників з товщиною стінки до 14 мм, втулки плунжерів, плунжери, нагнітальні клапани, корпуси розпилювачів, ролики штовхачів та інші деталі, від яких потрібні висока твердість, зносостійкість і контактна міцність.

Температура критичних точок, °C

Ac ₁	Ac ₃ (Ac _m)	Ar ₃ (Ar _{c_m})	Ar ₁	Mn
724	900	713	700	210

Хімічний склад, % (ГОСТ 801-78)

C	Si	Mn	Cr	S	P	Ni	Cu
				не більше			
0,95-1,05	0,17-0,37	0,20-0,40	1,30-1,65	0,020	0,027	0,30	0,25

Механічні властивості

Режим термообробки	Переріз, мм	$\sigma_{0,2}$	σ_B	δ	ψ	КСУ, Дж/см ²	НВ (HRC), не більш
		МПа		%			
		не менше					
Відпал 800 °С, піч до 730 °С, потім до 650 °С зі швидкістю 10–20 град./год, повітря	-	370-410	590-730	15-25	35-55	44	(179-207)
Гартування 810 °С, вода до 200 °С, потім масло. Відпуск 150 °С, повітря	30-60	1670	2160	-	-	5	62-65

Продовження додатка А

Технологічні властивості

Температура кування, °С: початку – 1150, кінця – 800. Переріз до 250 мм охолоджується на повітрі, 251–350 мм – у ямі.

Зварюваність – спосіб зварювання – КТС.

Оброблюваність різанням – у загартованому і відпущеному стані при $\sigma_B = 740$ МПа і НВ 202.

Флокеночутливість – чутлива.

Схильність до відпускнуї крихкості – схильна.

Шліфувальність – хороша.

Сталь ШХ15СГ

Замінник – сталі: ХВГ, ШХ15, 9ХС, ХВСГ.

Призначення – великогабаритні кільця шарико- і роликопідшипників зі стінками товщиною більше 20–30 мм, кульки діаметром більше 50 мм, ролики діаметром більше 35 мм.

Температура критичних точок, °С

Ac ₁	Ac ₃ (Ac _m)	Ar ₁	Mn
750	910	688	205

Хімічний склад, % (ГОСТ 801-78)

C	Si	Mn	Cr	S	P	Ni	Cu
				не більше			
0,95-1,05	0,40-0,65	0,90-1,20	1,30-1,65	0,020	0,027	0,30	0,25

Механічні властивості

Режим термообробки	$\sigma_{0,2}$	σ_B	δ	ψ	КСУ, Дж/см ²	НВ (HRC), не більше
	МПа		%			
	не менше					
Відпал 790-810°C, охолодження з піччю до 730°C, від 730 до 650°C зі швидкістю 10-20 град./год, далі – на повітрі (відпал ізотермічний)	370-410	590-730	15-25	35-55	44	179-217
Гартування 810-840°C, масло. Відпуск 150°C, повітря	-	1960-2350	-	-	3-7	61-65

Продовження додатка А

Технологічні властивості

Температура кування, °С: початку – 1150, кінця – 800. Переріз до 250 мм охолоджується на повітрі, 251-350 мм – у ямі.

Зварюваність – спосіб зварювання – КТС.

Оброблюваність різанням – у загартованому і відпущеному стані при $\sigma_B = 740$ МПа і НВ 202.

Флокеночутливість – чутлива.

Схильність до відпускнуї крихкості – схильна.

Сталь 110Г13Л

Призначення – корпуси вихрових і шарових вітряків, шоки і конуси дробарки, зубці і передні стінки ковшів екскаваторів, залізничні хрестовини та ін. важконавантажені деталі, що працюють під дією статистичних і високих динамічних навантажень і від яких потрібна висока зносостійкість.

Хімічний склад, % (ГОСТ 2176-77)

C	Si	Mn	Cr	S	P	Ni	Cu
				не більше			
0,95-1,05	0,40-0,65	0,90-1,20	1,30-1,65	0,020	0,027	0,30	0,25

Механічні властивості відливків перерізом 30 мм при різних температурах дослідження

$\sigma_{0,2}$	σ_b	δ	ψ	КСУ, Дж/см ²						
МПа		%		Температура дослідження, °С						НВ
				+20	-20	-40	-60	-80		
Гартування при температурі 1050-1100°С, вода										
360-380	654-830	34-53	34-43	260-350	240-320	220-300	190-300	90-210	186-229	

Технологічні властивості

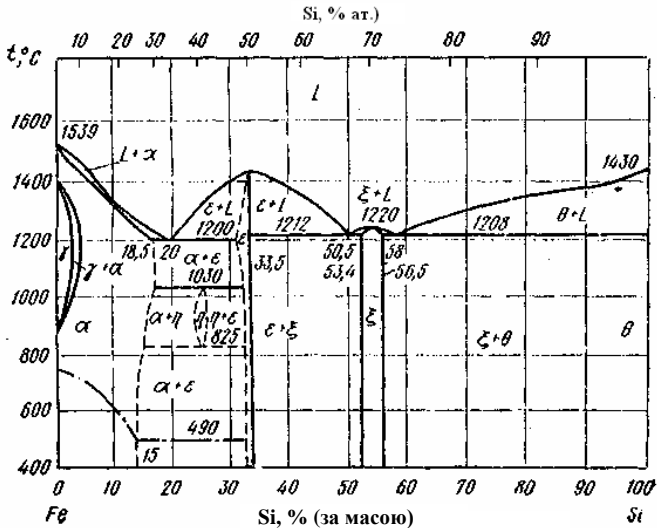
Зварюваність – не застосовується для зварних з'єднань.

Оброблюваність різанням – при НВ 229.

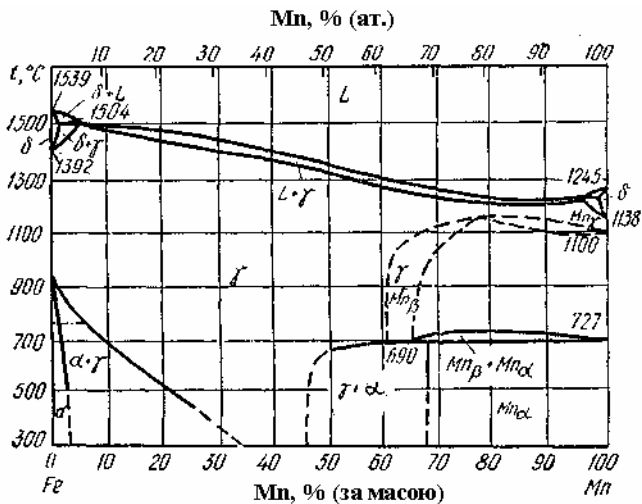
Флокеночутливість – не чутлива.

Схильність до відпускнуї крихкості – не схильна.

ДОДАТОК Б (обов'язковий) ДІАГРАМИ СТАНУ ЛЕГОВАНИХ СТАЛЕЙ

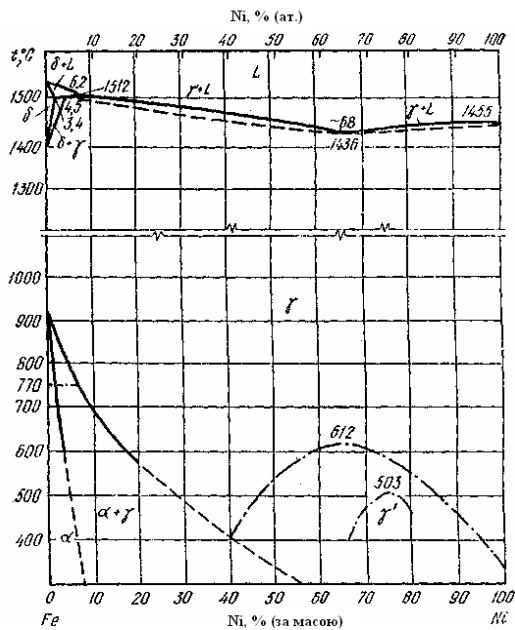


Діаграма залізо – кремній

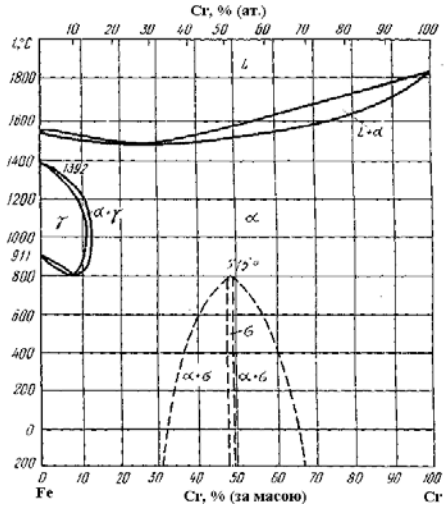


Діаграма залізо – марганець

Продовження додатка Б

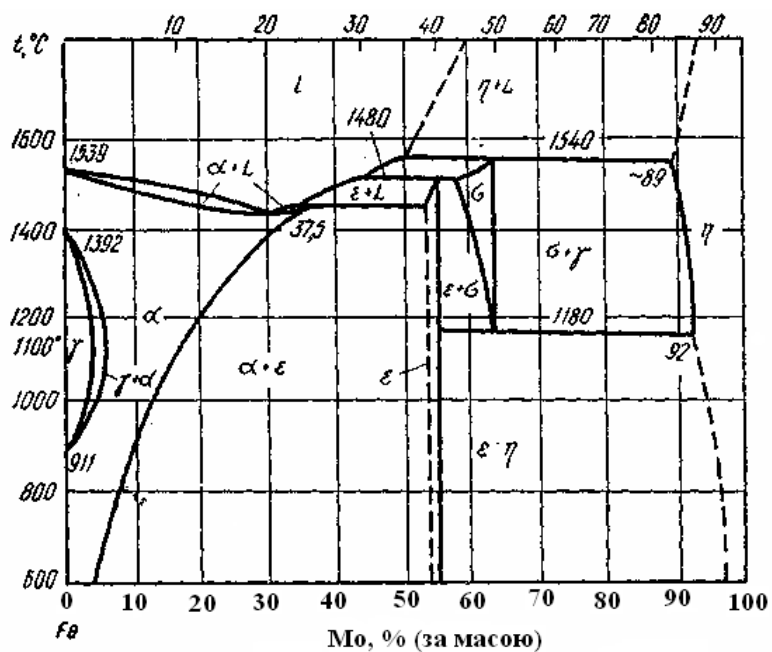


Діаграма залізо – нікель



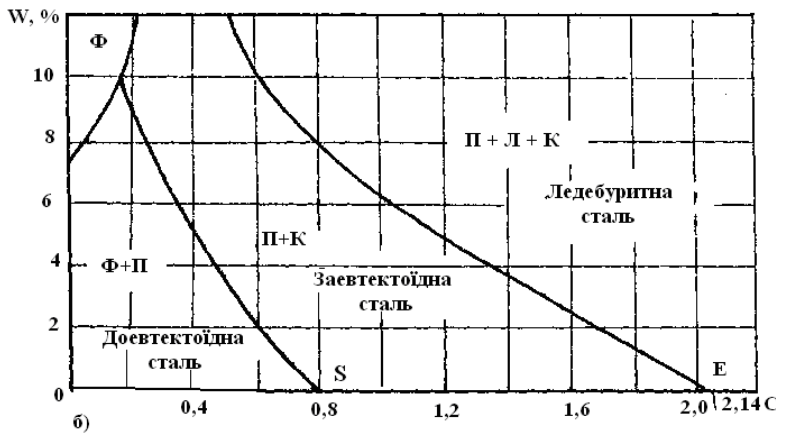
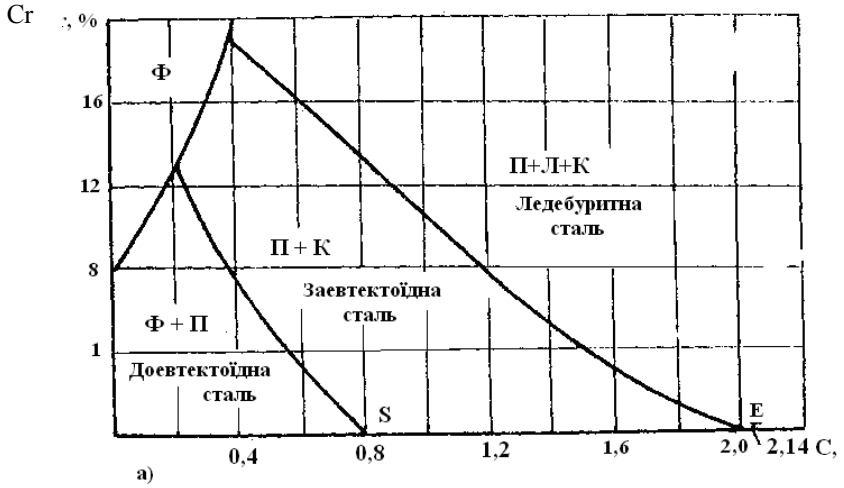
Діаграма залізо – хром

Продовження додатка Б



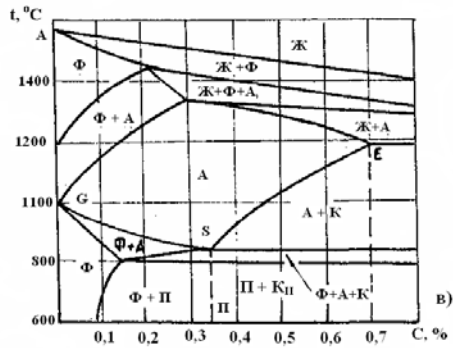
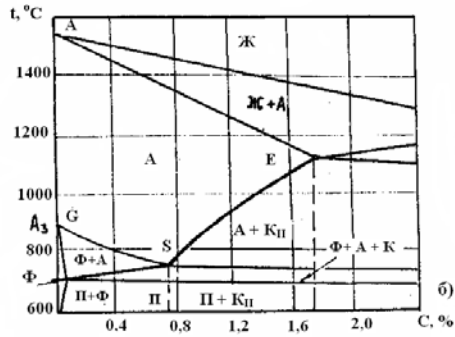
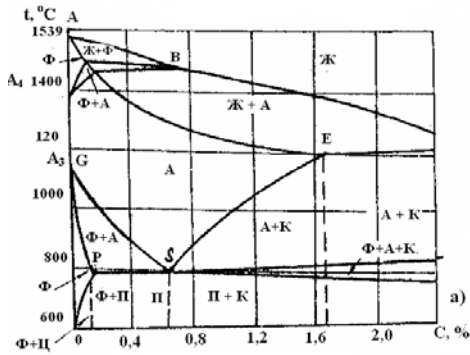
Діаграма залізо – молибден

Продовження додатка Б

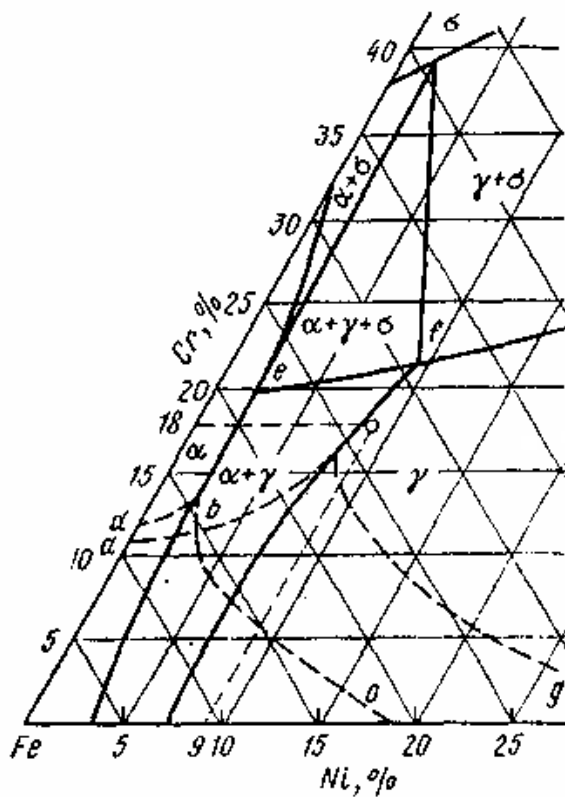


Структурні діаграми: а) Fe-C-Cr; б) Fe-C-W

Продовження додатка Б



Вертикальні розрізи: а) діаграма Fe-C-Si;
 б) діаграма Fe-C-Mn; в) діаграма Fe-C-Cr
 Продовження додатка Б



Залізний кут системи Fe-Cr-Ni. Суцільні лінії – ізотермічний розріз при 650 °С

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

ОСНОВНА ЛІТЕРАТУРА

1. Меськин А. М. Основы легирования стали. – М. : Машиностроение, 1977. – 664 с.
2. Гуляев А. П. Металловедение. – М. : Metallurgia, 1986. – 542 с.
3. Арзамасов В. Н. и др. Материаловедение. – М. : Машиностроение, 1986. – 383 с.

ДОДАТКОВА ЛІТЕРАТУРА

4. Травин О.В. Материаловедение / О. В. Травин, Н. Т. Травина. – М. : Metallurgia, 1989. – 383 с.
5. Геллер Ю. А. Инструментальные стали. – М. : Metallurgia, 1975. – 584 с.
6. Конструкционные стали: справочник. – М. : Metallurgia, 1980. – 287 с.

Методичні вказівки

7. Методические указания «Особенности термической обработки легированных сталей и изучение влияния пластической деформации и рекристаллизации на структуру и свойства металлов» /В. А. Пчелинцев, Л. Ф. Руденко, В. А. Капуста. – Харьков, 1989. – 28 с.
8. Методические указания «Влияние легирующих элементов на закаливаемость и прокаливаемость сталей» / Л. Ф. Руденко. – Сумы : СумГУ, 1998. – 14 с.
9. Методичні вказівки «Вивчення мікроструктури дефектів вуглецевих і легованих сталей» / Л. Ф. Руденко. – Суми : СумДУ, 2006. – 18 с.
10. Методические указания «Структура и классы легированных сталей после отжига и нормализации» / Л. Ф. Руденко. – Сумы : СумГУ, 1998. – 14 с.

Навчальне видання

**Руденко Лідія Федорівна,
Говорун Тетяна Павлівна**

ЛЕГОВАНІ СТАЛІ ТА СПЛАВИ

Навчальний посібник

Художнє оформлення обкладинки: А. С. Кравченко, Л. Ф. Руденко
Редактори: Н. А. Гавриленко, С. М. Симоненко
Комп'ютерне верстання: А. С. Кравченко, В. Д. Вінницька,
Т. П. Говорун

Формат 60x84/16. Ум. друк. арк. 10,0. Обл.-вид. арк. 8,14. Тираж 300 пр. Зам. №

Видавець і виготовлювач
Сумський державний університет,
вул. Римського-Корсакова, 2, м. Суми, 40007
Свідоцтво суб'єкта видавничої справи ДК № 3062 від 17.12.2007.

