

Міністерство освіти і науки України  
Дніпровський державний технічний університет  
(ДДТУ)

**Ю. А. Гасило**

# **КОНТРОЛЬ ЯКОСТІ ЗВАРЮВАННЯ**

## **Том 2. Руйнівні методи контролю**

(для студентів вищих навчальних закладів)

*Навчальний посібник*

*Рекомендовано*  
*Міністерством освіти і науки України*  
*як навчальний посібник для студентів вищих навчальних закладів*

Кам'янське  
«ДДТУ»  
2018

УДК 621.791.015(075.8)

Г22

*Рецензенти:*

**В. П. Волков** — проректор з науково-педагогічної роботи Запорізького національного університету, д.т.н., професор, заслужений працівник освіти України;

**А. В. Єршов** — д.т.н., професор кафедри фізики Запорізького національного технічного університету;

**О. Я. Качан** — начальник відділу прогресивної техніки, зам. начальника управління головного технолога АТ “Мотор Січ”, д.т.н., професор

*Рекомендовано Міністерством освіти і науки України як навчальний посібник для студентів вищих навчальних закладів (лист № 1/11-23.2-24 від 01.06.2018 р.)*

**Гасило Ю. А.**

**Г22** Контроль якості зварювання. Т. 2. Руйнівні методи контролю: навчальний посібник / Ю. А. Гасило. — Кам’янське : ДДТУ, 2018. — 154 с.

*Навчальний посібник містить теоретичні та експериментальні відомості навчальної дисципліни “Контроль якості зварювання”. В другому томі детально розглянуто методи руйнівного контролю якості зварних з’єднань, особливо проаналізовано статичні, циклічні та динамічні механічні випробування, а також випробування зварних з’єднань на статичний розтяг, ударний вигин, стійкість проти механічного старіння та вимір твердості дільниць з’єднання. Охарактеризовано також макро-, мікроскопічні та фрактографічні дослідження, перспективні напрямки розвитку нових матеріалів і технологій, методів з’єднання заготовок, їх контролю та діагностики. Наведено вимоги безпеки при електро- і газозварювальних роботах та контролі їх якості.*

*Посібник призначений для студентів (магістрів) вищих навчальних закладів спеціальності: “Технологія та устаткування зварювання” при вивченні дисципліни: “Контроль якості зварювання” та може бути корисним для підготовки інженерів та фахівців з даного напрямку, а також викладачам даної дисципліни.*

УДК 621.791.015(075.8)

ISBN 978-966-175-178-0

ISBN 978-966-175-180-3 (Т. 2)

© Ю. А. Гасило, 2018

© ДДТУ, 2018

---

---

## ЗМІСТ

ВСТУП .....	6
1. МАКРО- І МІКРОАНАЛІЗ, ФРАКТОГРАФІЧНІ ДОСЛІДЖЕННЯ .....	8
1.1. Макроскопічні дослідження (макроаналіз).....	9
1.2. Мікроскопічні дослідження (мікроаналіз) .....	10
1.3. Аналізатор зображень для світлової мікроскопії .....	13
1.4. Фрактографічні дослідження .....	16
Контрольні запитання .....	35
2. ЕЛЕКТРОННО-МІКРОСКОПІЧНІ МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕННЯ .....	36
2.1. Просвітчаста електронна і растрова мікроскопія .....	36
2.2. Мікроскопи для нанотехнологій .....	40
Контрольні запитання .....	44
3. МЕТОДИ РУЙНІВНИХ ВИПРОБУВАНЬ .....	45
3.1. Статичні випробування.....	45
3.2. Циклічні випробування.....	55
3.3. Динамічні випробування .....	58
3.4. Випробування зварних з'єднань .....	66
3.4.1. Випробування металу різних дільниць зварного з'єднання і наплавленого металу на статичний розтяг .....	69
3.4.2. Випробування металу різних дільниць зварного з'єднання і наплавленого металу на ударний вигин .....	71
3.4.3. Випробування металу різних дільниць зварного з'єднання на стійкість проти механічного старіння.....	72
3.4.4. Вимір твердості металу різних дільниць зварного з'єднання і наплавленого металу .....	73
3.4.5. Випробування зварного з'єднання на статичний розтяг .....	75

3.4.6. Випробування зварного з'єднання на статичний вигин .....	76
Контрольні запитання .....	79
4. ПЕРСПЕКТИВНІ НАПРЯМКИ РОЗВИТКУ НОВИХ МАТЕРІАЛІВ І ТЕХНОЛОГІЙ, МЕТОДІВ З'ЄДНАННЯ ЗАГОТОВОК, ЇХ КОНТРОЛЮ ТА ДІАГНОСТИКИ .....	81
4.1. Наноматеріали і нанотехнології .....	82
4.2. Методи контролю і дослідження .....	87
Контрольні запитання .....	99
5. ВИМОГИ БЕЗПЕКИ ПРИ ЕЛЕКТРО- І ГАЗОЗВАРЮВАЛЬНИХ РОБОТАХ .....	100
5.1. Загальні вимоги і область застосування .....	100
5.2. Вимоги безпеки при ручному дуговому зварюванні і контролі його якості .....	105
5.3. Вимоги безпеки до процесів зварювання у захисних газах та їхніх сумішах .....	107
5.4. Вимоги безпеки до устаткування для зварювання у вуглекислому газі і сумішах газів .....	108
5.5. Вимоги безпеки при роботі з вуглекислим газом .....	109
5.6. Вимоги безпеки до устаткування для зварювання в інертних газах .....	111
5.7. Вимоги безпеки при роботі з аргоном .....	111
5.8. Вимоги безпеки до процесів зварювання і умов його контролю на поточно-механізованих і конвеєрних лініях .....	112
5.9. Вимоги безпеки до процесів контактного зварювання і способів його контролю .....	114
5.10. Вимоги безпеки до процесів зварювання під флюсом і способів його контролю .....	118
5.11. Вимоги безпеки до організації і проведення газозварювальних, газоплазмових та газорізальних робіт .....	120
5.12. Вимоги безпеки при проведенні паяльних робіт .....	129

---

---

5.13. Вимоги безпеки при проведенні газового зварювання і різання у закритих просторах.....	130
5.14. Вимоги безпеки до зберігання і експлуатації газових балонів.....	132
5.15. Вимоги з електробезпеки при зварювальних роботах .....	133
5.16. Протипожежні вимоги при зварювальних роботах ....	138
5.17. Режими праці і відпочинку при зварювальних роботах .....	140
5.18. Вимоги з вибору і застосування засобів індивідуального захисту при зварювальних роботах .....	140
5.19. Нові конструкції касок, що використовуються при зварювальних роботах .....	144
5.20. Кімната відпочинку та реабілітації .....	147
Контрольні запитання .....	150
ЛІТЕРАТУРА .....	152

## ВСТУП

Характер реакції металів на дію прикладених сил у більшості випадків має велике практичне значення. Наприклад, часто використовується здатність сталей протистояти робочим навантаженням без залишкової деформації та руйнування. В інших сталях важливою є здатність отримувати великі залишкові напруження, що дозволяють надавати виробам необхідної форми за рахунок прикладених сил. Якщо навіть при застосуванні від металу не потрібна здатність сприймати навантаження, то майже завжди характер реакції металу на дію прикладених сил грає помітну роль на певній стадії обробки цього металу. Реакцію металу на дію прикладених сил характеризують механічні властивості.

Характер механічної реакції металів на дію прикладених сил може бути різний і залежить від природи цих сил та умов їх прикладення. Це необхідно мати на увазі при виборі методів дослідження, які дозволяють визначати властивості металу. Остаточну же відповідь на питання про придатність матеріалу для даних умов можна отримати лише на основі досліджень у дійсних умовах.

Однак у більшості випадків дослідження у цих умовах зробити важко або неможливо, тому необхідно знаходити спрощені методи досліджень, особливо коли потрібна часта перевірка властивостей. При виборі спрощених методів досліджень важливо знати тип основних сил, що діють при експлуатації, тобто чи буде навантаження розтягу, згину, скручування та ін. Важливо також, чи буде навантаження статичним або динамічним. При динамічному навантаженні необхідно знати швидкість прикладення навантаження та його зміну. Велике значення також має температура, за якою прикладене навантаження. Якщо вказані особливості відомі, то вони можуть слугувати параметрами при виборі досліджень, які найбільш правильно охарактеризують придатність матеріалу для даних умов експлуатації.

Іншою важливою областю застосування механічних досліджень є визначення причин несправностей при експлуатації. Якщо матеріал має незадовільні властивості, то замінити його іншим матеріалом або усунути його дефекти можливо на основі даних механічних досліджень. Якщо властивості матеріалу задовільні, то можуть бути дані рекомендації зі зміни конструкції.

Механічні дослідження також грають велику роль при розробці нової або поліпшенні існуючої продукції. Навіть коли умови експлуатації настільки складні, що необхідні натурні остаточні дослідження, то, як правило, можливий розумний підбір механічних досліджень, які дозволяють обрати матеріали, що найбільш задовольняють заданим умовам.

Важливим напрямком подальшого удосконалення руйнівних та неруйнівних методів контролю якості металу, у тому числі і зварювання, є впровадження нанотехнологій, розробка та застосування різноманітних комп'ютерних програм, які дозволяють провести моделювання процесів зварювання, різання, наплавлення тощо, визначити слабкі місця конструкцій з урахуванням умов експлуатації та прогнозувати можливі утворення дефектів з метою обрання технології зварювання, яка забезпечить необхідну якість виконання зварних з'єднань і довговічність експлуатації конструкції.

Велику увагу також слід приділяти забезпеченню безпечних умов роботи працівників зварювальних ділянок та персоналу, який здійснює контроль якості різних видів зварювання.

Викладений у навчальному посібнику матеріал стане у нагоді студентам, викладачам, фахівцям при вирішенні професійних завдань контролю якості зварювання у науково-дослідній, технологічній, проектній, організаційній, педагогічній та консультативній діяльності.

## 1. МАКРО- І МІКРОАНАЛІЗ, ФРАКТОГРАФІЧНІ ДОСЛІДЖЕННЯ

Основна відмінність руйнівних методів випробувань полягає у необхідності вирізки з реальної конструкції заготовок з метою виготовлення спеціальних зразків для досліджень, що є не завжди технічно і економічно можливим, доцільним та допустимим, або виготовлення зразків-свідків (у ливарному виробництві) і заварка контрольних зразків (у зварювальному виробництві).

У загальному вигляді руйнівні випробування підрозділяються на наступні види:

- методи дослідження макро- і мікроструктури;
- просвітчаста і растрова електронна мікроскопія;
- стереологія (кількісна металографія);
- рентгеноструктурний і рентгеноспектральний аналіз, радіоспектроскопія;
- ядерний гамма-резонанс (ефект Мессбауера);
- методи дослідження поверхонь у металах;
- фізичні методи дослідження (теплові, об'ємні, електричні, магнітні);
- статичні, циклічні, динамічні випробування металів;
- визначення опору руйнуванню;
- методи визначення модулів пружності і спеціальні випробування.

Для контролю якості зварних з'єднань такі методи, як рентгеноструктурний і рентгеноспектральний аналіз, радіоспектроскопія, дослідження поверхонь у металах, різні фізичні методи і спеціальні випробування у виробничих умовах практично не використовуються, тому у даному навчальному посібнику вони не описуються.

У цій главі розглядаються методи аналізу стану металів з використанням світлових приладів і мікроскопів.



## 1.1. Макроскопічні дослідження (макроаналіз)

Макроскопічний метод дослідження застосовують для вивчення макроструктури шляхом перегляду поверхні спеціально підготовлених зразків або зламів неозброєним оком або при збільшенні до 30 разів. Макроаналіз дає уявлення про загальну будову металу і дозволяє оцінити його якість після різних видів обробки.

Проте цей метод не визначає тонкощів будови металів і часом є попереднім видом дослідження, що дозволяє обрати ділянки для подальшого більш детального мікроструктурного дослідження. За допомогою макроаналізу, як правило, визначають:

- порушення суцільності металу — раковини, рихлості, тріщини, дефекти зварювання (непровари, газові пухирі, шлакові включення), флокени;
- розміри і орієнтацію зерен у литому металі, дендритну будову, зону трансक्रystalізації;
- ліквіації і присутність у них грубих сторонніх включень;
- волокнисту структуру деформованого металу;
- структурну або хімічну неоднорідність металу, створену термомеханічною або хіміко-термічною обробкою;
- види зламів;
- розжареність (для інструментальних сталей, для яких потрібне збереження в'язкої серцевини).

Поверхню металу, що підлягає макродослідженню, шліфують і піддають травленню спеціальними реактивами. Травлення дозволяє виявити дрібні дефекти, невидимі раніше. Поверхня шліфа повинна бути очищена від різних забруднень, слідів мастила тощо, тому її до дослідження протирають спиртом.

Макроаналіз проводять як на шліфах, так і безпосередньо на деталях устаткування. Так, наприклад, якщо при діагностуванні був виявлений дефект у лиття, то макротравленню піддають зону його розташування для визначення меж дефекту. Після травлення всю уражену дефектом частина металу повністю видаляють ви-

рубкою або повітряно-дуговим струганням при значному обсязі вибірки.

Після підготовки металу до ремонту із застосуванням зварювання проводять макротравлення для того, щоб переконатися, що весь дефектний метал вибраний. Після заварки вся дефектна ділянка піддається макротравленню та візуально-вимірному контролю (ВВК) для виявлення поверхневих дефектів, утворених при зварюванні.

## 1.2. Мікроскопічні дослідження (мікроаналіз)

Мікроаналіз проводять з метою визначення мікроструктури і фазового складу сталей, оцінки кількості, розмірів, форм і розподілу різних фаз. Цей аналіз дозволяє виявити структуру, характерну для деяких видів обробки, виявити дрібні пороки металу (наявність мікропошкодження, мікротріщин, неметалевих включень тощо).

Для виконання металографічного аналізу з досліджуваного металу виготовляють мікрошліф (невеликий зразок), одну з площин якого ретельно шліфують і полірують, далі піддають травленню спеціальними реактивами. У деяких випадках дослідженню підлягають нетравлені зразки, наприклад, для оцінки забруднення сталі неметалевими включеннями.

Як правило, для виявлення мікроструктури низьколегованих сталей застосовують чотиривідсотковий розчин азотної кислоти у спирті. Під впливом реактиву відбувається вибіркоче розчинення металевих або інших фаз, а також їхніх прикордонних ділянок, внаслідок різних фізико-хімічних властивостей, у результаті чого утворюється рельєф. При спостереженні під мікроскопом значно розчинені ділянки внаслідок затінення або більш низького коефіцієнта відбиття будуть більше темними, а нерозчинені — більш світлими. При травленні металу, що складається з однорідних зерен, виявляються їхні межі у вигляді темної тонкої сітки.

У деяких випадках застосовують травлення реактивами, що утворюють на поверхні шліфа осади, завдяки реакції між компонентами реактиву. При травленні товщина осаду на різних фазах неоднакова.

Мікроструктуру вивчають за допомогою оптичних мікроскопів (ГОСТ 10243—75). Сучасні оптичні мікроскопи дозволяють досліджувати мікроструктуру металу при збільшеннях до 1200—1800 разів. Роздільна здатність світлового мікроскопа не перевищує 0,2 мкм.

Більшість металографічних досліджень проводять із застосуванням світлопільного (вертикального) освітлення. Для додаткового підвищення контрастності застосовують інші види освітлення, такі як дослідження у поляризованому світлі, метод косоного освітлення, метод темнопільного освітлення.

Металографічні мікроскопи дозволяють також спостерігати і фотографувати мікроструктуру у різних полях і при різних освітленнях. Сучасні дослідницькі мікроскопи можуть бути оснащені пристосуваннями для виміру мікротвердості, приставками для нагрівання зразків та ін.

Промисловістю випускаються металографічні мікроскопи типу ММР—2, ММР—4, МИМ—7, горизонтальний мікроскоп МИМ—8 з різними модифікаціями, більш сучасна модель МИМ—9, спрощені моделі типу ММУ—1, ММУ—3. Поряд з вітчизняними у дослідницьких лабораторіях широко застосовують мікроскопи “Неофот—21”, “Епиквант” та ін.

В останні роки все більша увага при дослідженні і контролі якості матеріалів приділяється встановленню зв'язку між їхніми властивостями і кількісними характеристиками мікроструктури, такими як розмір зерна, вміст різних фаз, карбідів, включень, мікропор тощо, їхній розподіл за розмірами і формою. У металознавстві застосовують точковий метод, лінійний (метод січних) і кількісний аналіз за площами.

Усі ці методи прості за своєю суттю, але вимагають більших тимчасових витрат. У зв'язку з вищевикладеним, широкому застосуванню цих методів значною мірою сприяли розробки спеціальних автоматичних приладів для кількісного аналізу.

Одним з перших таких аналізаторів, що знайшов застосування у металознавчій практиці, є прилад типу “Квантиметр”. Тут використовується принцип лінійного аналізу. Одержуване у звичайному вертикальному мікроскопі з автоматичним переміщенням предметного столика зображення структури вводиться у телевізійну камеру, сигнали з якої подаються на детектор і екран контрольного телевізора. Детектор виділяє і оцінює імпульси, далі передає їх на пристрій, що реєструє.

Кількісні аналізатори призначені в основному для контролю якості металопродукції у виробничих умовах.

У багатьох металознавчих лабораторіях експлуатуються автоматичні установки типу “Епіквант”, які працюють на принципі лінійного аналізу. Даний прилад дозволяє оцінювати одночасно до трьох структурних складових, встановити величину зерна.

Методи кількісної металографії корисно використовувати при технічному діагностуванні для оцінки характеру зміни мікроструктури довгостроково працюючого металу у процесі експлуатації.

При дослідженні мікроструктури металу безпосередньо на устаткуванні добре зарекомендували себе переносні мікроскопи, сконструйовані на базі біологічного мікроскопа МБИ—1 і металографічного мікроскопа ММУ—1 або ММУ—3. Мікроскоп кріплять до деталі за допомогою спеціального пристрою і проводять дослідження мікроструктури та її фотографування за допомогою мікронасадки типу МФН. Переносні мікроскопи не дають можливості досліджувати мікроструктуру при великих збільшеннях та у важкодоступних місцях.

Широке поширення отримав метод дослідження відбитків під мікроскопом у лабораторних умовах. Відбитки (зліпки) зні-

мають з мікрошліфів, приготовлених безпосередньо на об'єкті, при цьому мікрошліф піддають більш глибокому травленню, ніж для спостереження під мікроскопом. Для одержання зліпка на мікрошліф накладають кубик полістиролу або кубик колоксилінової основи рентгенівської плівки, розм'якшеної у бензолі або ацетоні та заповнюючої усі нерівності протравленого шліфа, при цьому досліджена поверхня відтворюється досить точно.

Іноді для дослідження мікроструктури застосовують метод відколів. Спеціально заточеним зубилом з поверхні деталі знімають пробу у вигляді відколу товщиною 1,5—2 мм і шириною 3—4 мм. Відкол заливають у легкоплавкий сплав і досліджують під мікроскопом. Висока продуктивність методу і можливість дослідження мікроструктури при великих збільшеннях дозволяють широко застосовувати цей метод як при вхідному, так і при експлуатаційному контролі мікроструктури.

### **1.3. Аналізатор зображень для світлової мікроскопії**

Аналізатор зображень (АЗ) являє собою програмно-апаратний комплекс, призначений для отримання, перетворення, кількісної обробки зображень і зберігання отриманої інформації.

Склад і властивості комплексу визначаються тими завданнями, які він покликаний вирішити. Об'єднання у єдину систему окремих приладів дозволяє одержати нові можливості, які не має жодна з складових сама по собі.

Універсальний АЗ — поняття умовне. Неможливо створити АЗ на “всі випадки життя”, тому на практиці найбільшого поширення одержали спеціалізовані прилади.

АЗ для світлової мікроскопії являє собою спеціалізований комплекс для роботи з об'єктами у світловій області 360—770 нм, тобто області видимого світла.

АЗ для світлової мікроскопії, як правило, має модульну будову і складається з систем введення зображень (мікроскоп, ка-

мера), комп'ютера, принтера. Для документування отриманих результатів модульна будова забезпечує гнучкість системи аналізу зображень, що з легкістю може бути адаптована до потреб користувача залежно від завдання, яке він збирається вирішувати.

У рамках одного напрямку (медицина, матеріалознавство, біологія та ін.) використовуються модульні системи, де універсальність досягається багатofункціональністю окремих блоків.

Система введення зображень складається зі світлового мікроскопа і камери.

Мікроскоп і камера — це єдиний модуль, у якому окремі частини підбираються за сумісністю оптичних властивостей та з'єднуються спеціальним адаптером, що встановлюється на відеовихід біокулярної насадки мікроскопа.

Адаптер служить не тільки для механічної установки камери, але і забезпечує передачу зображень без спотворення.

Комп'ютер — найскладніша частина АЗ, що визначає швидкодію виконання поставленого завдання. Іноді до складу системи введення АЗ може входити мікроскоп з дистанційним керуванням від ПК (рис. 1.1).

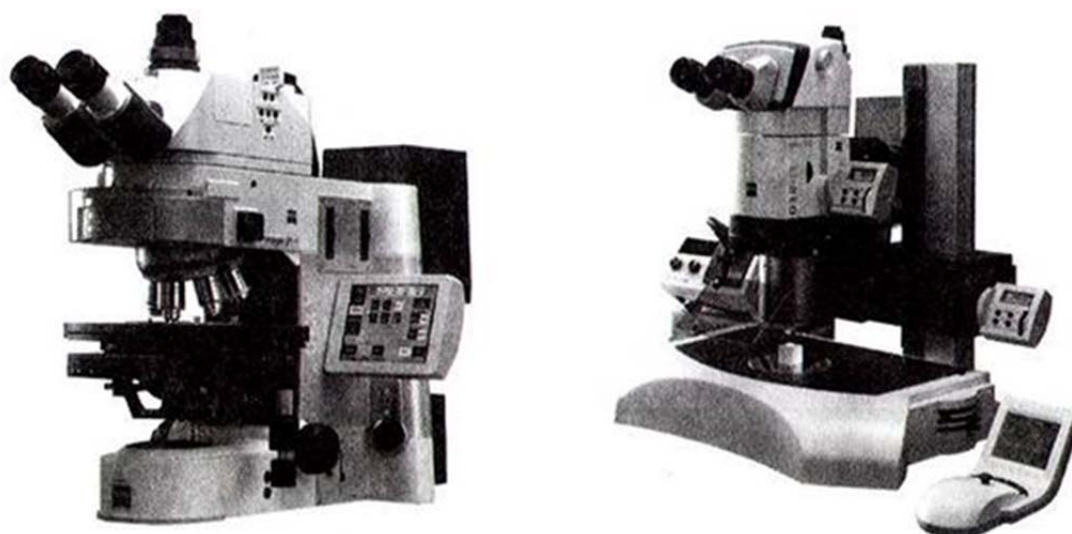


Рис. 1.1. Типи автоматичних аналізаторів зображень

Програмне забезпечення (ПЗ), що входить до складу АЗ, визначає технологію його роботи. Залежно від спеціалізації аналізатора набір наявних функцій ПЗ може сильно варіюватися, але у загальному вигляді найбільш часто використовувана блок-схема ПЗ виглядає наступним чином (рис. 1.2).



Рис. 1.2. Блок-схема програмного забезпечення

За функціональним призначенням розрізняють два основних типи АЗ — дослідницький і спеціалізований.

Дослідницькі АЗ мають широкі можливості різнобічного вивчення структури і текстури зображення у будь-якій широкій області, наприклад, у матеріалознавстві.

Система введення такого аналізатора зображень багатофункціональна і, як правило, дорога. Вона складається з мікроскопа за класом складності не нижче лабораторного, наприклад Axiosop 40, Axiovent 40MAT (Carl Zeiss), здатного працювати у прохідному і відбитому світлі, поляризованому або світлі люмінесценції.

Більш складні і тонкі дослідження проводять на мікроскопах, за класом складності відповідних дослідницьким (Axiosop 2 plus, Axiosop 2 MAT).

Камера, встановлена на мікроскопі, має високу роздільну здатність і чутливість, відрізняється доброю якістю введення кольорових зображень.

ПЗ дослідницького АЗ включає великий набір функцій, оскільки заздалегідь не відомо, яка обробка буде потрібна для одного або іншого типу зображень. Використання подібного ПЗ допускає, що дослідник витратить якийсь час на вивчення функцій системи і надалі сам зможе визначати, що потрібно для рішення необхідних завдань. Після того як користувач підбере послідовність функцій, необхідних для одержання потрібного результату, він зможе записати її у вигляді методики.

Як правило, щоб навчити користувача формувати свої методики, АЗ пропонує список попередньо встановлених методик, які можна видозмінювати або доповнювати.

Для обробки результатів аналізу дослідницькі АЗ містять у собі статистику, апарат побудови залежностей і порівняння параметрів структури. Велике значення надається можливості передачі даних в інше ПЗ для додаткової обробки (Statistica, Excel), а також іншим користувальницьким мережам.

*Спеціалізовані АЗ* працюють на одному типі препаратів, приготовлених за однією технологією, і вирішують вузьке коло завдань, які відносяться до даної області. Система введення подібних АЗ пристосована працювати з препаратами, спеціально приготовленими для проведення автоматичного аналізу. ПЗ містить тільки спеціалізовані методики, які користувач не може видозмінювати.

#### **1.4. Фрактографічні дослідження**

При контролі якості зварних з'єднань, технічному діагностуванні основною метою застосування фрактографії є аналіз експлуатаційних ушкоджень металу об'єктів підвищеної небезпеки — визначення причин, що викликали ушкодження вузла або деталі,



для того щоб можна було провести відповідне коректування обробки інших вузлів або деталей та уникнути подібного роду ушкоджень.

Оскільки вид зламу у певній мірі являє собою своєрідну фотографію процесів, які відбувалися при руйнуванні об'єкта, фрактографія є одним з основних джерел інформації про причини і характер руйнування деталі.

При вивченні поверхні зламу можна одержати наступну інформацію про процес руйнування:

- оцінити рівень руйнівного зусилля;
- визначити ступінь деформації при руйнуванні;
- встановити причини, що викликають ослаблення матеріалу на шляху поширення руйнування.

Шляхи руйнування вивчаються двома способами.

*Перший* — дослідження поверхні зламу при різних збільшеннях з використанням різних фрактографічних прийомів і дослідженням можливо великої площі.

*Другий* — вивчення поперечних перерізів, перпендикулярних до напрямку зупинок тріщини або до всієї поверхні руйнування. Хоча другий спосіб надає інформацію лише про обмежену ділянку поверхні зламу, але вона має велике значення при дослідженні взаємозв'язку мікроструктури і напрямку розвитку тріщини.

***Основи аналізу експлуатаційних ушкоджень і рекомендації з діагностування зруйнованих деталей.*** Основною причиною будь-якого руйнування є напруження, величина яких перевищує граничну несучу здатність деталі. Ці напруження можуть виникати через велику кількість різноманітних факторів, кожний з яких необхідно враховувати для однозначної оцінки і встановлення причини ушкодження. Тому при аналізі руйнування рекомендується виконувати ряд послідовних операцій, наведених нижче.

Дослідження зруйнованих деталей необхідно починати з ретельного огляду усієї деталі, особливо поверхонь, що примикають до зламу, і вивчення виду зламу (візуально, на оптичному

або при необхідності на растровому мікроскопі). При цьому встановлюють наявність механічних ушкоджень, корозії, деформації деталі, вторинного руйнування. Визначають фокус зламу і осередок руйнування, напрямок поширення тріщини. Ці дані дозволяють зробити висновок щодо існуючих умов експлуатації до та у процесі руйнування.

*Аналіз напруженого стану.* Необхідно визначити відповідність характеру, швидкості і величини прикладеного навантаження розрахунковим характеристикам для даної деталі, оцінити напрямок головного напруження стосовно загальної конфігурації деталі, зони найбільшої небезпеки залишкових напружень.

*Матеріал.* Визначити відповідність застосованого матеріалу вимогам нормативно-технічної документації (НТД), оцінити міцнісні характеристики і наявність поверхневих або внутрішніх несутцільностей, що сприяють руйнуванню. При виявленні відхилень якості матеріалу від заданих норм (ДСТ або ТУ) необхідно визначити ступінь впливу виявленої аномалії з урахуванням властивостей матеріалу і характеру руйнування даної деталі. Велику увагу необхідно приділяти осередку руйнування, перевіривши наявність поблизу нього металургійних пороків, старих тріщин, конструктивних і технологічних концентраторів. Внаслідок контактування початкового осередку з виявленими дефектами визначається їхня роль у руйнуванні. Оцінюють характер мікроструктури і мікротвердість поблизу осередку руйнування.

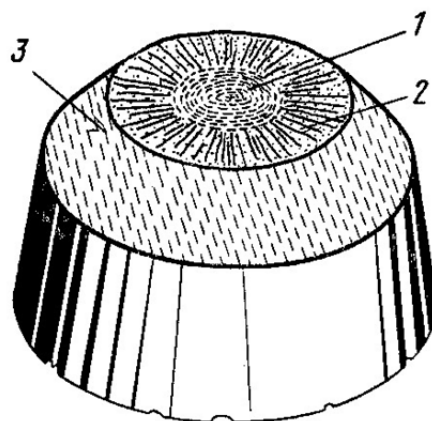
*Форма.* Перевіряють відповідність деталі вимогам технічної документації і робочим кресленням, а також достатність поперечного перерізу для протистояння локальним перевантаженням. Визначають і вимірюють радіуси жолобів, оцінюють їхню достатність. Виявляють наявність деформації будь-яких контурів деталі, отриманої у процесі експлуатації, особливо необхідно звернути увагу на механічні ушкодження поверхні. Оцінюють достатність зазору між взаємодіючими деталями.

*Робоче середовище.* З'ясовують можливість експлуатації деталі в агресивних середовищах, при знижених або підвищених температурах, оцінюють наявність необхідного захисту поверхні деталі. Виявляють можливість взаємодії (наприклад, гальванічного) між матеріалом деталі і матеріалом сусідніх вузлів конструкції.

Вивчення поверхонь зламів породило свою термінологічну систему для опису рельєфів, які утворюються при різних умовах навантаження. Розглянемо характерні деталі будови зламів гладких зразків, випробуваних на розтяг.

Для таких зразків характерні три зони:

- волокниста;
- радіальна;
- зона зрізу (рис. 1.3).

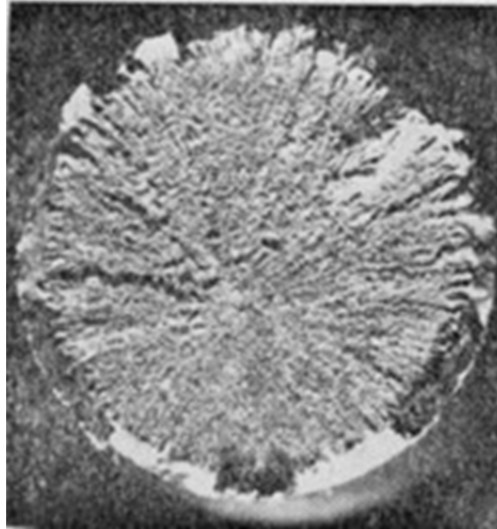


*Рис. 1.3.* Схематичне зображення зон типового зламу, що утворюється при розтягу циліндричного гладкого зразка (поверхні волокнистої і радіальної зон, як правило, перпендикулярні до осі розтягу, поверхня зони зрізу завжди перебуває під кутом  $\sim 45^\circ$  до осі розтягу): 1 — волокниста зона; 2 — радіальна зона; 3 — зона зрізу

Злами, що мають тільки одну зону, утворюються тільки за умови або великої в'язкості, або великої крихкості. На більшості зламів розрізняють дві або три зони у наступних послідовностях:

- волокниста зона і зона зрізу;

- волокниста, радіальна зона і зона зрізу;
- радіальна зона і зона зрізу (рис. 1.4).



*Рис. 1.4.* Злам гладкого зразка з високовуглецевої сталі після випробування на розтяг при температурі  $-196\text{ }^{\circ}\text{C}$  (складається з радіальної зони і зони зрізу, структура сталі — відпущений мартенсит, твердість HRC 35, волокниста зона відсутня, радіальні рубці займають майже всю площу зламу, за винятком вузької зони зрізу,  $\times 12$ )

*Волокниста зона.* Ця зона відповідає області повільного росту тріщини. Розташована вона у центрі зламу і оточує осередок руйнування, що, як правило, перебуває на осі розтягу. Волокниста зона складається з області випадково розташованих волокон або серій тонких кругових борозен. Борозни перпендикулярні до напрямку поширення тріщини і розвиваються від осередку до периферії зразка. Області випадково розташованих волокон типові для вуглецевих сталей.

*Радіальна зона.* При переході тріщини від повільного росту до швидкого або нестабільного її поширення утворюються радіальні рубці, які співпадають з загальним напрямком розвитку тріщини. Ці рубці починаються або від периферії волокнистої зони (рис. 1.4), або від самого осередку руйнування. Точка, у якій сходяться рубці, є осередком зламу. Рубці, залежно від характеру

мікроструктури, можуть бути тонкими або грубими. Злами сталей середньої міцності зі структурою мартенситу відпуску мають грубі радіальні рубці, високоміцні сталі — тонкі.

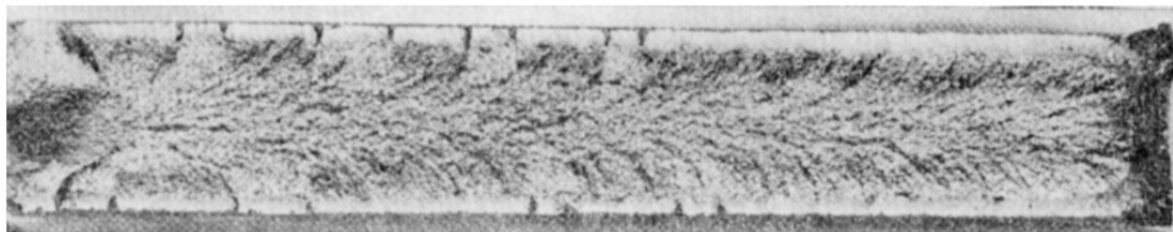
У ряді випадків радіальна зона складає повну поверхню зламу — такий вид вказує на надзвичайну крихкість матеріалу.

*Зона зрізу.* Ця зона складається з рівної кільцеподібної ділянки, суміжної з вільною поверхнею деталі або зразка. Зона зрізу залежить від напруженого стану і властивостей матеріалу. Можливі чотири типи утворення зон зрізу, три з яких перехідні:

- зона зрізу;
- волокниста зона, що переходить у зону зрізу;
- волокниста зона, що переходить у радіальну, яка, у свою чергу, переходить у зону зрізу;
- радіальна зона, що переходить у зону зрізу.

Розміри і форма зразків для випробувань або деталей дуже впливають на вигляд поверхні зламу, оскільки від форми деталі або зразка залежить напружений стан і співвідношення зон зламу у квадратних і прямокутних зразків відмінне від зразків з круглим поперечним перерізом.

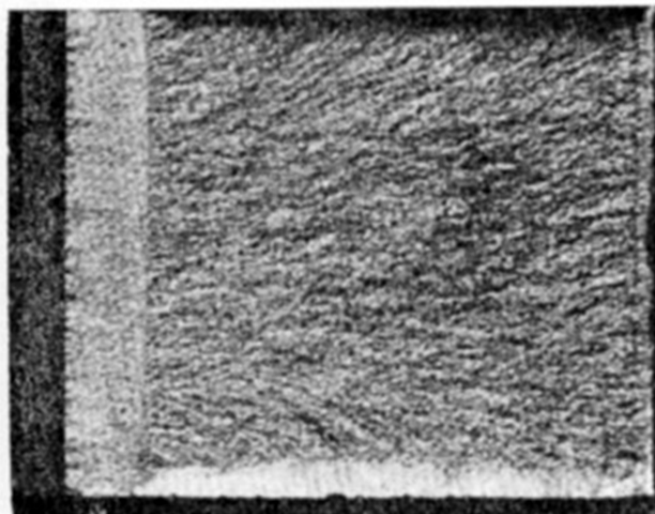
*Шевронні візерунки.* Радіальна зона зламів прямокутних деталей або зразків, ширина яких значно більша товщини, має вигляд шеврона або “ялинка”, як показано на рис. 1.5.



*Рис. 1.5.* Шевронний візерунок на поверхні руйнування плоского сталевго зразка, що відбувся з високою швидкістю (осередок руйнування розташований на лівому кінці зразка і межує з невеликою волокнистою зоною, інша поверхня зламу — шевронні візерунки (“ялинка”), вершини V-подібних шевронів спрямовані від осередку руйнування)

Ці візерунки часто пов'язані з нестабільним, відносно швидким розвитком тріщини, а їхня поява — з розбіжністю загального напрямку поширення тріщини і найкоротшого напрямку від фронту тріщини до вільної поверхні.

У прямокутних зразках або деталях, ширина яких більша товщини, достатньо більш короткої відстані до вільних поверхонь у напрямку товщини для зміни напрямку поширення фронту тріщини. Очевидно, що є критичне відношення ширини до товщини деталей або зразків, яке необхідне для утворення шевронних візерунків. Рубці і шевронні візерунки розвиваються від попередньо нанесеної втомлювальної тріщини — осередку руйнування (рис. 1.6).



*Рис. 1.6.* Радіальні рубці, що йдуть від попередньо нанесеної втомлювальної тріщини, які розташовані на поверхні зламу зразка для визначення в'язкості руйнування при випробуванні на вигин (сталь 3 % Ni—Cr—Mo, структура — відпущений мартенсит, твердість HRC 52,5, температура випробувань  $-73\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,  $\times 3$ )

На представленій світловій фрактограмі ліворуч видно надріз, що наносили на зразок спочатку різальним інструментом, а потім збільшували його гостроту електроерозійною обробкою. Від цього надрізу була вирощена втомлювальна тріщина.

*Деревоподібні злами.* На характер зламу, окрім розмірів і форми зразків, значно впливає мікроструктура металу. Особливо це відноситься до металів, які характеризуються анізотропією властивостей. Крім того, на характер поверхонь зламів впливає пористість, включення, вторинні фази або сегрегації легуючих елементів, які розташовуються у вигляді прожилок, смужок або рядків, витягнутих при прокатці або куванні. Такі злами називають деревоподібними, смуговими або шаруватими внаслідок грубого рельєфу.

*Втомлювальні злами.* Для зони втомлювальності у втомлювальних зламах характерно кілька типів деталей рельєфу. До них відносять лінії зупинки фронту тріщини — лінії втомлювальності, борозенки і храповий візерунок.

Лінії зупинки фронту тріщини використовують для опису макроскопічних особливостей втомлювальних зламів, які представлені на рис. 1.7, 1.8.



Рис. 1.7. Лінії втомлювальності на втомлювальному зламі кування з алюмінієвого сплаву 7075—Т73



*Рис. 1.8.* Лінії зупинки фронту тріщини на деталі зі сталі 09Г2С, викликані корозією під напруженням,  $\times 4$

Світлі смужки, що відбивають світло, — зони повільного поширення тріщини (рис. 1.7). При великих збільшеннях всередині кожної смужки можуть бути виявлені тисячі втомлювальних борозенок. Тьмяні волокнисті смужки являють собою зони поширення тріщини, що утворилися шляхом злиття мікропор.

Лінії, які показані на рис. 1.8, обумовлені різною швидкістю корозії на поверхні тріщини і вони не відносяться до ліній втомлювальності.

Розглянуті лінії найбільш часто пов'язані з поширенням втомлювальних тріщин, однак відсутність ліній втомлювальності ще не свідчить про те, що злам не є втомлювальним.

Окремі лінії характеризують послідовне розташування фронту тріщини, де відбуваються затримки при її розвитку у металі.

Лінії зупинки фронту тріщини можуть утворитися внаслідок:

- зміни величини циклічних навантажень;
- вибірного окислювання або корозії окремих зон поверхні зламу;



- невеликої місцевої пластичної деформації в області високої концентрації напружень у вершини тріщини.

За розташуванням ліній втомлювальності і величиною проміжків між ними можна якісно оцінити швидкість поширення тріщини і встановити передісторію циклічного навантаження деталі. Тонкі лінії втомлювальності, розташовані з однаковими інтервалами, свідчать про відносно низьку швидкість росту тріщини; лінії втомлювальності, що перетинають основну частину зламу, свідчать про низькі циклічні навантаження або перерозподіл напружень, якщо існує інший шлях розвитку тріщини.

*Борозенки.* Даний термін застосовують, як правило, тільки для специфічних рельєфів, які є результатом поширення втомлювальних тріщин. Борозенки можуть бути як макроскопічні, так і мікроскопічні, останні зустрічаються частіше і можуть бути виявлені у тонкій структурі окремих ліній втомлювальності. Наявність борозенок — підтвердження втомлювального характеру розвитку тріщин, але відсутність їх не є достатнім доказом протилежного.

Встановлено, що одна борозенка утворюється за один цикл зміни навантаження і по кількості борозенок можна орієнтовно оцінити довговічність деталей у частині поширення втомлювальної тріщини. Однак при складних умовах навантаження борозенка може не утворитися за один цикл.

Розрізняють крижки і в'язкі борозенки, які можна спостерігати навіть у сусідніх областях того самого сплаву (рис. 1.9). Крижки борозенок завжди лідирують, а в'язкі — тягнуться вслід.

*Храповий візерунок.* Даний візерунок — макроскопічна особливість втомлювальних зламів. Він спостерігається переважно у втомлювальних зламах валів і плоских пружин, а також зустрічається у в'язких зламах, що утворюються у деталях при однократному навантаженні у випадку крутіння. Встановлено, що при з'єднанні двох сусідніх тріщин утворюється маленька сходинка. Серія таких сходинок на зовнішній поверхні дає храповий візерунок.



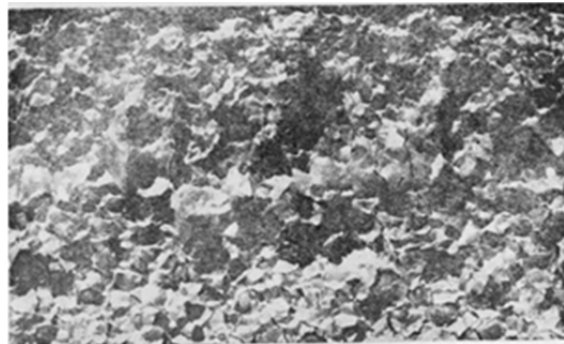
Рис. 1.9. Крихкі (А) і в'язкі (В) борозенки у зламі зразка з високоміцного алюмінієвого сплаву 7178 —Т6,  $\times 2000$

Звідси, для виникнення храпового візерунка потрібне одночасне зародження декількох втомлювальних тріщин. Цьому сприяють високі напруження, а також наявність концентраторів напружень, таких як корозійні пітинги або шліфувальні пропали.

*Фасетки міжзернового руйнування і ямки.* Фасетки являють собою поверхні окремих зерен на поверхні руйнування, які часто спостережувані на фрактограмах, отриманих за допомогою різних світлових мікроскопів при будь-яких збільшеннях. У більшості випадків внаслідок випадкової орієнтації зерен і шорсткості зламу досить важко знайти достатню поверхню зерна, перпендикулярну оптичній осі мікроскопа. На фрактограмах міжзернових зламів грубозернистих матеріалів при досить низькому збільшенні, що забезпечує добру глибину різкості, можна спостерігати фасетки міжзернового руйнування (рис. 1.10).

Одним з основних елементів в'язкого руйнування є ямки. Їхнє утворення викликане злиттям мікропор. Оскільки ямки дуже малі і потребують для свого виявлення великого збільшення, то їх важко виявити методами світлової мікроскопії.

У прямому зв'язку з первісним руйнуванням перебуває вторинне розтріскування, що може бути трьох типів:



*Рис. 1.10.* Злам при великому збільшенні (блюм зруйнувався під час прокатки, при цьому він розколовся на частини і закрутився навколо валка, деформація зерен відсутня (очищення  $\text{H}_2\text{SO}_4$ , посвітління  $\text{HNO}_3/\text{HF}$ ),  $\times 1(1/2)$ )

- тріщини, які не відрізняються від магістральної і розвиваються за тим же механізмом, цей тип розтріскування розглядається як розгалуження тріщини;
- результат дії того ж механізму руйнування, але тріщини розвиваються від окремих центрів;
- пов'язаний з первинним руйнуванням, але тріщини є поперечними стосовно площини первинного зламу, ці тріщини виникають при великій поперечній пластичній деформації, що супроводжує первинне руйнування.

Досить часто руйнування починається від різних порушень суцільності металу. До них відносять: закати, волосовини, пітинги, усадочні раковини і газові пухирі, гарячі тріщини, дефекти зварювання, неметалеві включення та ліквациї. Ці дефекти переважно і стають осередками руйнувань об'єктів у процесі експлуатації.

Оскільки у більшості дослідницьких лабораторій при аналізі зруйнованих деталей застосовують в основному методи світлової мікроскопії, то і у даному навчальному посібнику розглянуті характерні елементи руйнування, які чітко спостерігаються лише при невеликих збільшеннях.

Первісне дослідження зламів спрямоване головним чином на виявлення усіх особливостей рельєфу, які можуть вказати на

місце розташування осередку руйнування. Деякі дані про напрямок розвитку тріщини можна одержати при зовнішньому огляді зламаної деталі, а також можна відновити і послідовність руйнування. При цьому враховується наступне:

- напрямок, у якому розташований початок тріщини, завжди протилежний напрямку її розгалуження;
- якщо тріщина зустрічається з іншою тріщиною під кутом  $\sim 90^\circ$ , то це свідчить про те, що вона виникла пізніше і осередок руйнування необхідно шукати не на ній, а на тріщині, що утворилася раніше.

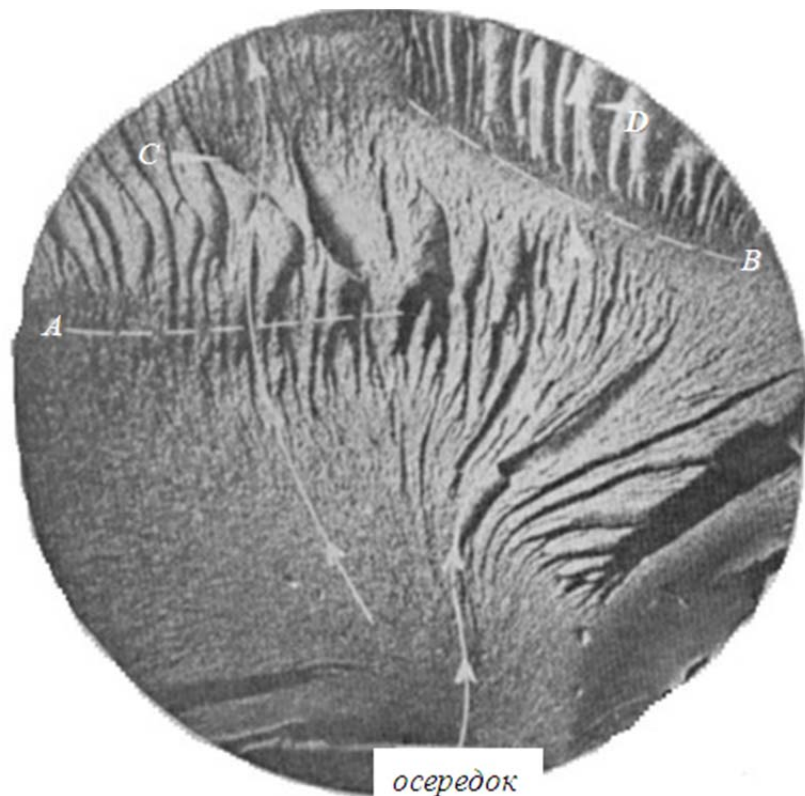
Як правило, область осередку руйнування плоска, без бічних скосів, які з'являються лише на деякій відстані від осередку руйнування і стають більшими при збільшенні цієї відстані.

Як правило, осередки руйнування знаходяться на вільних поверхнях деталі, чому сприяє наявність концентраторів напружень, навантаження, які призводять до згинання або крутіння, а також агресивне середовище.

Характерний приклад руйнування при ударному навантаженні наведено на рис. 1.11.

На цьому рисунку показаний злам надрізаного прутка з хромистої сталі, по якому наносили удари молотком. Для повного руйнування необхідно було два удари. Рубці на зламі радіальні. Оскільки вони не перетинають весь перетин, те це свідчить про зупинку тріщини на лініях *A* і *B* після першого удару.

Лінії зупинки показують положення фронту тріщини; перпендикуляри, проведені до них, повинні перетнутися у осередку руйнування або поблизу його. Радіальні рубці у зоні злому (*C* і *D*) також вказують на положення загального осередку руйнування. У сталях різної твердості злами, що утворилися при ударному однократному навантаженні, різні. Тріщини, що поширюються з поверхні у твердих високоміцних сталях, часто мають вузькі зони зрізу, які починаються по обидва боки від осередку руйнування.



*Рис. 1.11.* Визначення осередку руйнування у зламі надрізаного прутка зі сталі з 12 % Cr (руйнування відбулося у результаті двох ударів молотка, тріщина зупинилася на лініях *A* і *B* при першому ударі молотка та відновила рух при другому ударі),  $\times 3$

У низьковуглецевих сталях шеврони часто сходяться в області трохи нижче зон зрізу. Рельєф зламу в області осередку руйнування у середньвуглецевих і високовуглецевих сталях з високою твердістю, як правило, дрібнофасеточний і може бути переважно міжзерновим. У міру видалення від осередку руйнування фасетки у зламі поступово змінюються ямками. Як правило, перехід до темної зони ямок буває різким. В інших випадках спостерігають змішані міжзернові і ямкові злами.

Зовнішній вигляд радіальних рубців частково залежить від того, більша або менша швидкість росту тріщини на поверхні, ніж у підповерхневих областях. Якщо ця швидкість максимальна на поверхні, то радіальні рубці будуть віялоподібні, якщо максимальна у підповерхневих областях, то виявляються шевронні ві-

зерунки. Візерунки обох видів радіально розходяться від осередку руйнування.

Більшість експлуатаційних зламів утворюються у результаті руйнування, що протікає у наступній послідовності: зародження тріщини, субкритичне її підростання і швидкий злам, коли несуча здатність поперечного перетину перестає відповідати прикладеному навантаженню.

Як вже відзначалося, завжди на зламі визначають кількість осередків руйнування. Багатоосередкове руйнування, що виявляється за храповим візерунком, свідчить про високий рівень напружень або наявність декількох окремих концентраторів напружень в області осередку руйнування. Розвиток тріщини від одного осередку руйнування свідчить про більш низький рівень прикладених напружень і слабку концентрацію напружень.

Далі оцінюють форму і розташування фронту зростаючої тріщини та визначають тип навантаження й концентрацію напружень за фактом випередження або відставання просування фронту тріщини поблизу поверхні у порівнянні з центром деталі. І, нарешті, за розташуванням і величиною зони зламу судять про рівень номінальних напружень.

На розвиток тріщини впливає кілька факторів, що викликають зміну механізму її поширення. До них можна віднести:

- місцеві розходження у мікроструктурі;
- зміна коефіцієнта інтенсивності напружень;
- зміна температури або хімічного складу навколишнього середовища;
- зміна напруженого стану.

Тип навантаження — один з головних факторів, що впливає на характер руйнування. При розробці конструкції деталі заздалегідь передбачають конкретний тип навантаження у процесі експлуатації. Тому у першу чергу при аналізі руйнування необхідно визначити відповідність фактичного навантаження розрахунковому. З результатів фрактографічного дослідження можна

отримати інформацію про характер і величину прикладеного напруження.

У якості прикладу розглянемо виявлення причини руйнування крана, встановленого на території однієї закордонної конденсаційної електростанції (КЕС).

Несучі металоконструкції являють собою однопрольотну просторову раму з двома консолями та двома просторовими жорсткими опорами. Конструкції зварні, виготовлені зі сталі 10Г2С1 (ГОСТ 19281—89). В процесі експлуатації крану при виявленні дефектів (тріщин) проводився ремонт із застосуванням зварювання.

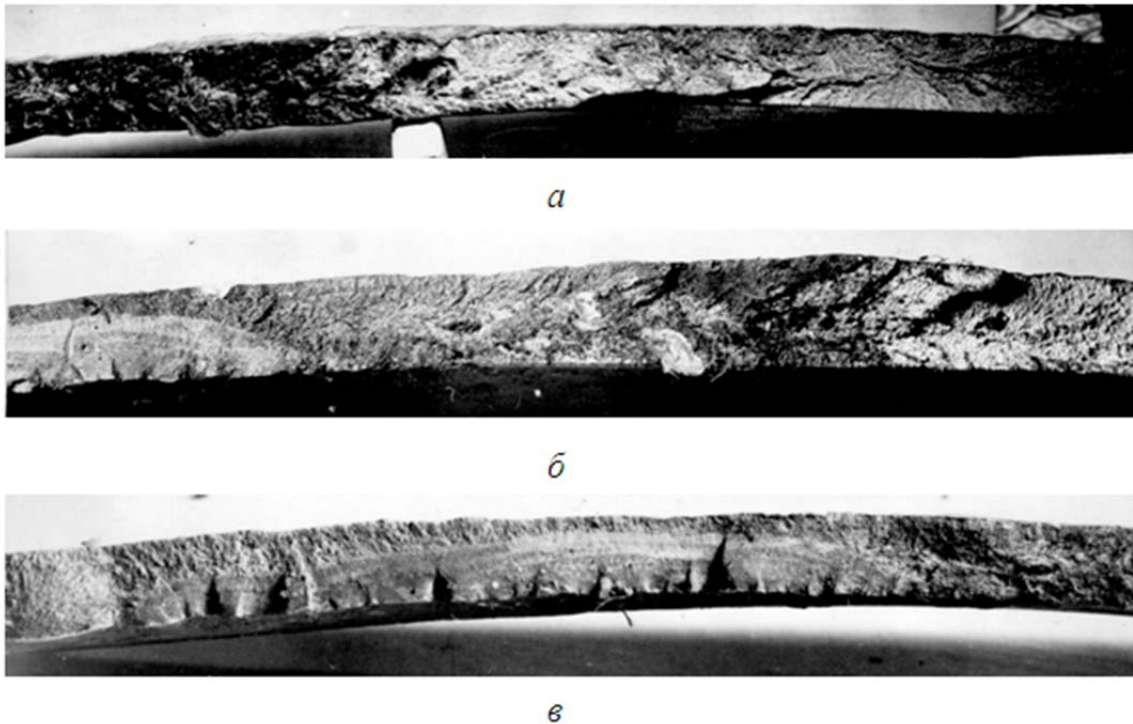
Для виявлення причин обвалу крана були запрошені фахівці ряду спеціалізованих організацій. Проведено детальне обстеження зруйнованої консолі. Руйнування відбулося по монтажному зварному шві. При зовнішньому огляді зварного з'єднання виявлені наступні дефекти:

- підрізи у кореня шва і з зовнішньої поверхні глибиною до 2 мм;
- підварювальний валик на стельовій ділянці з внутрішньої поверхні має увігнуту форму;
- груба лускатість шва, западання до 1,5 мм;
- зсув кромки шва до 2 мм;
- надмірна ширина шва.

Проведено металографічний аналіз зварного з'єднання і фрактографічні дослідження (рис. 1.12).

На поверхні зламу зварного шва виявлено три зони:

- у першій зоні (рис. 1.12, в) виявлена стара тріщина, фокус зламу розташований у кореня шва, тріщина поширювалася від внутрішньої поверхні до зовнішньої, характер тріщини — втомлювальний, на рис. 8.12, в чітко видні лінії фронту розвитку тріщини;
- друга і третя зони (рис. 1.12, а, б) є зонами зламу.



*Рис. 1.12.* Поверхня зламу зварного шва: *а* — “шевронний візерунок”, орієнтований до осередку руйнування; *б* — зона зламу у металі шва; *в* — стара тріщина і фронт розвитку руйнування

У другій зоні руйнування відбулося по металі шва, а у третій — на ділянці переходу від зони термічного впливу зварювання до основного металу (зона дрібного зерна). Характер зламу у третій зоні — “шевронний візерунок”, який має форму “ялинки”, орієнтованої до осередку руйнування (рис. 1.12, *а*).

Мікроструктура основного металу ферито-перлітна, перліт змішаної будови, величина зерна відповідає балу 4—5 згідно ГОСТ 5639—82. Забруднення включеннями сульфідного типу відповідає балу 1 згідно ГОСТ 1778—70.

На шліфі, який вирізаний з першої зони, у кореня шва виявлена мікротріщина. Характер розвитку тріщини змішаний — транс- та інтеркристалітний, тріщина на ділянці найбільшого розкриття заповнена окислами. Глибина поширення тріщини — 1,5 мм. У другій зоні зламу виявлене несплавлення у кореня шва,



а у третій зоні на ділянці дрібного зерна — міжзернове розтріскування.

Фрактографічний аналіз проведений із застосуванням растрового електронного мікроскопа (РЕМ). На рис. 1.13, *а* наведені фрактограми, які відповідають першій зоні поверхні зламу. Поверхня має пухкий рельєф з продуктами корозії.

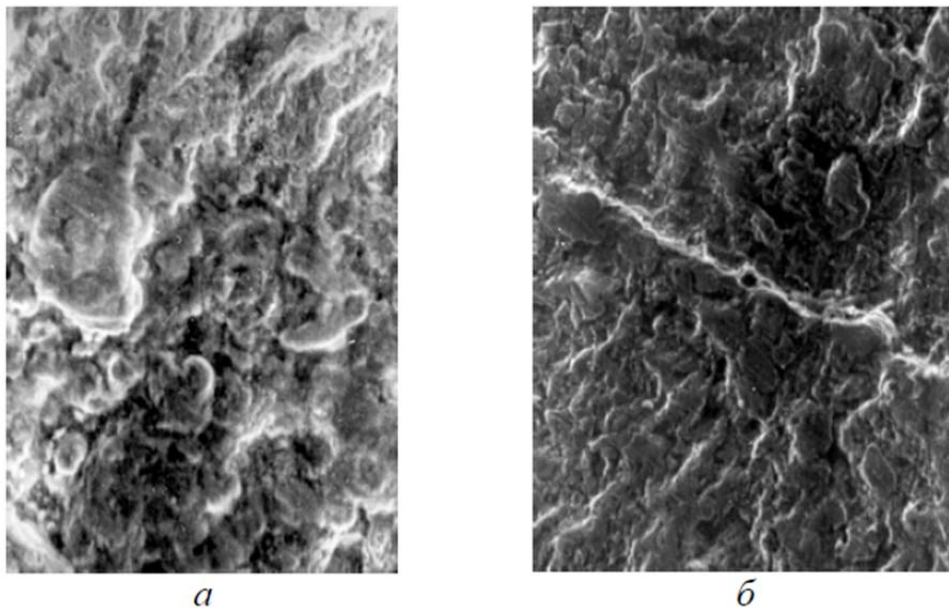


Рис. 1.13. Характер зламу ( $\times 400$ ): *а* — пухкий рельєф з продуктами корозії; *б* — тимчасова межа тріщини

На фрактограмі (рис. 1.13, *б*) наведена тимчасова межа тріщини, що виникла у результаті динамічного або ненормованого статичного навантаження. Спостерігаються затерті ділянки з слідами втомлювальних борозенок у них. Затертість свідчить про знаковміне тривале навантаження. Злам відбувся внаслідок одноразового впливу останнього. За механічними характеристиками досліджений метал має досить високі характеристики міцності та пластичності, непогані показники ударної в'язкості при температурі  $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$  — від 11,9 до 23,6 кгс·м/см<sup>2</sup> (достатньо 3,5 кгс·м/см<sup>2</sup>).

На підставі результатів проведених досліджень були зроблені наступні висновки:

1. Після монтажу крана були допущені до експлуатації зварні з'єднання з видимими дефектами. Підрізи основного металу і несплавлення підварювального шва у верхній частині монтажного з'єднання труби у опори, з боку вільної консолі, при експлуатації крана ініціювали тріщину. Зовнішній вигляд зварних монтажних з'єднань не відповідає вимогам нормативно-технічної документації і проекту. Є внутрішні дефекти у швах, не виявлені фізичними методами контролю. При монтажі не виконана вимога будівельного підйому, що призводило при експлуатації до скочування візка до кінця консолі і навіть до буферної балки.

2. При обстеженнях крана видимі дефекти зварних з'єднань у небезпечних місцях не були відзначені і усунуті.

3. Тріщина у зоні зламу металоконструкції з'явилася і поширювалася значний час (не менше 3—6 місяців). Тріщина розвивалася поетапно — від циклічного поступового поширення до прискореного лавиноподібного. Розвитку тріщини сприяли динамічні впливи типу ривків, ударів об тупик, різких зупинок візка на консолі, прискорених підйомів грейфера.

4. Ресурс безпечної роботи крана за фактично відпрацьованих циклах навантаження забезпечувався заданою у проектній документації якістю зварювання у перетині по зламу. При наявності дефектів у зварному монтажному з'єднанні на місці зламу гарантована безпека завантаження консолі за витривалістю була вичерпана.

Основною причиною руйнування крана-перевантажувача є розвиток дефектів у зварному монтажному з'єднанні у опори з боку вільної консолі у результаті повторюваних динамічних впливів при експлуатації крана.

### Контрольні запитання

1. На які види поділяються руйнівні випробування?
2. Для яких видів досліджень застосовують макро- та мікроаналіз?
3. У чому різниця між макро- та мікроаналізом?
4. Якими приладами здійснюють мікроаналіз?
5. Що таке кількісна металографія?
6. Що таке аналізатор зображень для світлової мікроскопії?
7. Яка різниця між дослідницьким аналізатором зображень і спеціалізованим?
8. Що таке фрактографія?
9. Якими способами вивчають руйнування?
10. З якою метою проводиться аналіз напруженого стану зруйнованих деталей?
11. Назвіть характерні зони будови зламу гладких зруйнованих зразків.
12. Що таке “шевронний візерунок”?
13. Що називається деревоподібними злами?
14. Охарактеризуйте втомлювальний злам.
15. Що таке храповий візерунок?
16. Назвіть характерні ознаки осередку руйнування.

## 2. ЕЛЕКТРОННО-МІКРОСКОПІЧНІ МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕННЯ

Електронно-мікроскопічні методи дослідження структурного стану металів досить рідко використовуються при контролі якості зварних з'єднань в основному через складність і велику трудомісткість виконання цих робіт.

### 2.1. Просвітчаста електронна і растрова мікроскопія

*Просвітчаста електронна мікроскопія* — один з найбільш інформативних методів дослідження структури металів і сплавів, у якому поєднуються можливості отримання у одному експерименті зображень з високою роздільною здатністю і дифракційними картинами тієї ж ділянки зразка. Застосування дифракційної мікроскопії (методу тонких фольг) має велике значення у формуванні механізмів фазових перетворень, розпаду пересичених твердих розчинів, будови меж зерен, руйнування і пластичної деформації.

Електронна мікроскопія при технічному діагностуванні застосовується в основному при вирішенні принципових питань надійності і довговічності устаткування, а також при розробці нових методів і методик діагностування, встановленні закономірностей між параметрами мікроструктури і взаємодіючими з матеріалом заданими фізичними полями.

Найбільшого поширення одержали просвітчасті електронні мікроскопи, у яких потік електронів проходить крізь досліджуваний об'єкт. Отримане зображення є результатом неоднакового розсіювання електронів на об'єкті.

Схема просвітчастого електронного мікроскопа принципово схожа з схемою світлового мікроскопа. Електронний пучок тут формує система спеціальних лінз. Загальне збільшення мікроскопа може варіюватися від декількох тисяч до 500 000 і більше ра-

зів у мікроскопах найкращих сучасних конструкцій. При дослідженні структури застосовують прямий і непрямий методи.

При *непряму методі* металографічні шліфи “непрозорі” для електронів, тому у просвітчастих електронних мікроскопах вивчають не метал, а лаковий, кварцовий або найбільш часто вугільний зліпок, отриманий з поверхні зразка. Оскільки мікрорельєф протравленого шліфа відбиває мікроструктуру і його хімічну неоднорідність, то вивчення такого рельєфу дає певну інформацію про тонкі деталі мікроструктури.

Непрямий метод застосовують обмежено внаслідок труднощів однозначного трактування ефектів контрастності на зображенні та ідентифікації різних їх структурних складових.

*Прямий метод* електронно-мікроскопічного дослідження дає найбільшу інформацію про мікроструктуру об'єкта, яким служить тонка металева фольга, прозора або напівпрозора для електронів. Отримують її або шляхом осадження парів у вакуумі, або шляхом зменшення товщини (розчинення) масивних зразків до 100—200 ангстрем. Дифракційний контраст зображення виникає внаслідок різниці в інтенсивності невідхиленого і дифрагованого пучків електронів.

*Растрова електронна мікроскопія.* Растровий електронний мікроскоп (РЕМ) формує зображення об'єкта при скануванні його поверхні електронним зондом. РЕМ є одним з найбільш перспективних і універсальних приладів для дослідження мікроструктурних характеристик металу. За темпами розвитку і кількості моделей РЕМ випереджає просвітчасту мікроскопію.

У РЕМ поверхня досліджуваного масивного зразка опромінюється стабільним у часі тонко сфальцьованим електронним зондом, що здійснює зворотньо-поступальний рух по лінії або розгортається у растр. При взаємодії зонда з речовиною зразка у кожній точці поверхні відбувається ряд ефектів, які реєструються відповідними датчиками (рис. 2.1).

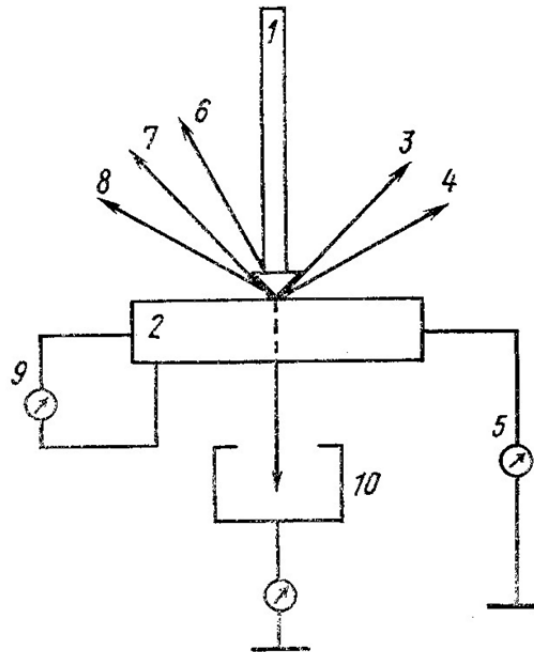


Рис. 2.1. Ефекти, які виникають при взаємодії електронного пучка з речовиною і використовуються для формування зображення у РЕМ: 1 — електронний пучок; 2 — зразок; 3 — відбиті електрони; 4 — вторинні електрони; 5 — струм поглинутих електронів; 6 — катодолумінесценція; 7 — рентгенівське випромінювання; 8 — оже-електрони; 9 — наведений струм; 10 — електрони, що пройшли

Цей ефект є основою для отримання різноманітної інформації досліджуваних об'єктів. Сигнали від датчика після посилення моделюють локальну яскравість електронно-променевої трубки (ЕПТ), розгорнення якої синхронне із зсувом електронного пучка. Кожній точці на поверхні зразка відповідає певна точка на екрані ЕПТ, а її яскравість визначається інтенсивністю сигналу з відповідної точки зразка. Збільшення РЕМ визначається співвідношенням амплітуд розгорнення променя на екрані ЕПТ і зонда по поверхні зразка.

Вторинні, відбиті і оже-електрони, а також рентгенівське випромінювання, що генерується у певних об'ємах усередині зразка, несуть різноманітну інформацію про рельєф, хімічний склад і кристалографічну орієнтацію об'ємів, які прилягають до

поверхні. Зона виходу вторинних електронів, за допомогою яких формується зображення у РЕМ, обмежена малою областю навколо місця падіння зонда. Це дозволяє досягти досить високої роздільної здатності.

РЕМ мають ряд переваг, які і визначають їх бурхливий розвиток:

- висока роздільна здатність зображення;
- велика глибина фокуса у поєднанні з наочністю зображення, що дає можливість досліджувати об'єкти з яскраво вираженим рельєфом;
- простота підготовки об'єкта дослідження;
- простота зміни збільшень від великих до малих;
- можливість проведення рентгеноспектрального і катодолюмінесцентного аналізів, електронної спектроскопії, а також досліджень у статичному і динамічному режимах дозволяє вивчати безпосередньо у РЕМ процеси, які протікають при механічному навантаженні металів, нагріванні, охолодженні, впливі середовища тощо.

З потоку інформації, що отримується за допомогою РЕМ, велике значення мають відомості про локальні зміни топографії і хімічного складу поверхні. РЕМ успішно застосовують при вивченні пошарової структури окислів аж до межі розділу метал—окисел, змін поверхні у результаті зношування, кавітації, ерозії, контактної втомлювальності захоплення та інших зовнішніх впливів.

РЕМ надає неоціненну допомогу при дослідженні і аналізі руйнувань об'єктів підвищеної небезпеки. РЕМ дозволяє виявити місце зародження тріщини, характер зламу, характер розподілу і рівень діючих напружень у процесі руйнування, встановити причину аварії та вирішувати багато інших прикладних завдань технічного діагностування.

Основна область застосування РЕМ у металознавстві — фрактографія. Цей метод передбачає отримання якісної або кількісної інформації про будову зламів при візуальному їх розгляданні.

Саме в області фрактографії переваги РЕМ серед інших мікроскопів проявляються особливо яскраво. Основні області застосування РЕМ у фрактографії: контроль якості металів, вивчення механізму руйнування при різних видах навантаження, аналіз зламів тощо.

Фрактографічний метод є основним при визначенні критичних температур в'язко-крихкого переходу.

## 2.2. Мікроскопи для нанотехнологій

*Скануюча тунельна мікроскопія.* Нанотехнологією називається міждисциплінарна галузь науки, у якій вивчаються закономірності фізико-хімічних процесів у просторових областях нанометрових розмірів з метою керування окремими атомами, молекулами, молекулярними системами при створенні нових молекул, наноструктур, нанопристроїв і матеріалів з спеціальними фізичними, хімічними та біологічними властивостями.

Значну роль у дослідженні наносвіту (наноструктур, нанотехнологій) зіграли, принаймні, дві події:

- створення скануючого тунельного (G. Binnig, G. Rohrer, 1982 р.) і скануючого атомно-силового мікроскопів (G. Binnig, K. Kuatt, K. Gerber, 1986 р., Нобелівська премія 1992 р.);
- відкриття нової форми існування вуглецю у природі — фулеренів (H. Kroto, J. Heath, R. Curt, Нобелівська премія 1996 р.).

Нові сучасні мікроскопи дозволяють досліджувати атомно-молекулярну структуру поверхні монокристалів у нанометровому діапазоні розмірів. Найкраща просторова роздільна здатність приладів становить соту частку нанометра по нормалі до поверхні. Дія скануючого тунельного мікроскопа (STM) заснована на тунелюванні електронів крізь вакуумний бар'єр. Висока роздільна здатність обумовлена тим, що тунельний струм змінюється на



три порядки при зміні ширини бар'єра на розміри атома. Теорія квантового ефекту тунелювання закладена Г. А. Гамовим на початку минулого століття у роботах з  $\alpha$ -розпаду.

За допомогою різних скануючих мікроскопів у теперішній час спостерігають за атомною структурою поверхонь моно- і полікристалів металів, напівпровідників, високотемпературних надпровідників, органічних молекул та ін.

Нові мікроскопи корисні не тільки при вивченні атомно-молекулярної структури речовини. Вони виявилися придатними для конструювання наноструктур. За допомогою певних рухів вістрям мікроскопа вдається створювати атомні структури.

На рис. 2.2 представлені етапи створення напису "IBM" з окремих атомів ксенону на грані (110) монокристалу нікелю.

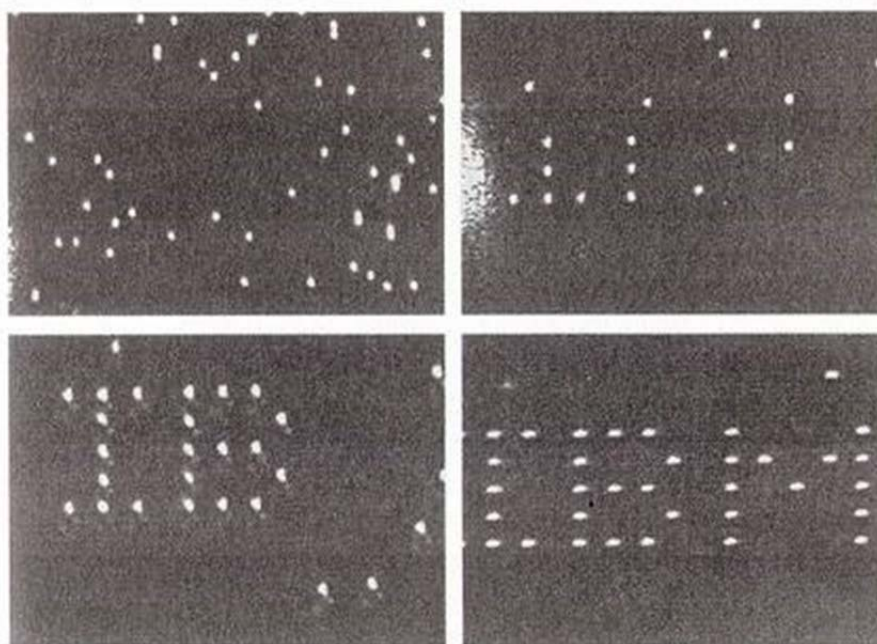


Рис. 2.2. Етапи формування напису з окремих атомів

Рух вістря при створенні наноструктур з окремих атомів нагадує прийоми хокеїста при просуванні шайби ключкою. Становить інтерес створення комп'ютерних алгоритмів, які встановлюють нетривіальний зв'язок між рухами вістря та переміщення-

ми маніпульованих атомів на основі відповідних математичних моделей. Моделі і алгоритми необхідні для розробки автоматичних складальників наноконструкцій.

**Іонно-польова мікроскопія.** Техніка, що дає роздільну здатність, яка наближується до міжатомних відстаней, називається *іонно-польовою мікроскопією* (ІПМ).

У мікроскопі на металеву голку з гострим кінчиком, що перебуває у камері з високим вакуумом, подається позитивний потенціал. Електричне поле і його градієнт поблизу вістря досить великі, так що залишкові молекули газу при наближенні до нього іонізуються, передаючи електрони голці, а самі заряджаються позитивно. Ці газоподібні катіони відштовхуються голкою і летять від неї уздовж лінії електростатичного поля на розташовану поблизу фотопластинку, на якій при зіткненні створюються засвічені точки.

Кожна точка на пластинці відповідає атому на кінчику зонда, так що розподіл точок на фотопластинці являє собою сильно збільшене зображення розподілу атомів на вершині голки (рис. 2.3).

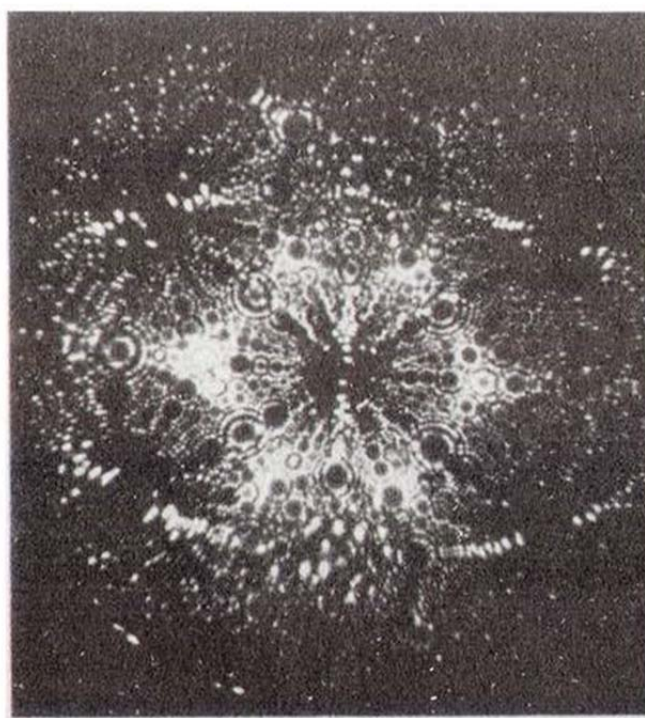


Рис. 2.3. Розподіл атомів на вершині вольфрамової голки

**Скануюча мікроскопія.** Скануючий тунельний мікроскоп у якості зонда використовує голку з винятково тонким кінчиком, який підключають до позитивного полюса джерела живлення і наближують до досліджуваної поверхні на відстань порядку 1 нм. Електрони, що належать конкретним атомам на поверхні зразка, притягуються позитивно зарядженим кінчиком і перестрибують (тунелюють) на нього, утворюючи тим самим слабкий електричний струм. Зонд переміщується по поверхні зразка для отримання растра, так само як і електронний промінь. У режимі постійної висоти відстань від зонда до поверхні увесь час змінюється, що відбивається у зміні вимірюваного тунельного струму при скануванні.

Принципова відмінність атомно-силової мікроскопії (AFM) від тунельної (STM) полягає в тому, що другий вимірює тунельний струм між зондом і поверхнею, а перший (рис. 2.4) — силу взаємодії між ними.

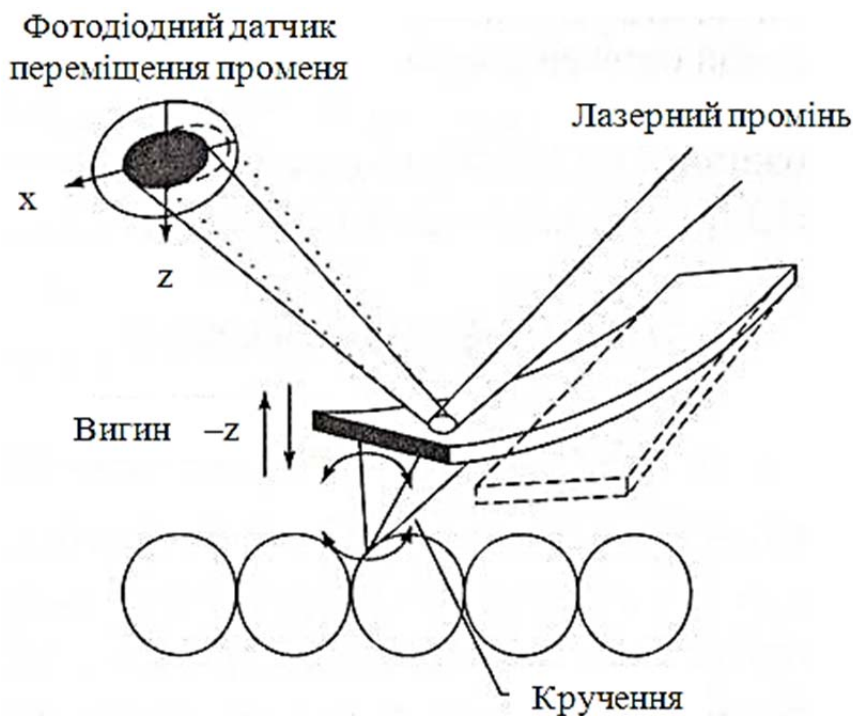


Рис. 2.4. Схема роботи атомно-силового мікроскопа

### Контрольні запитання

1. Назвіть області застосування електронної мікроскопії.
2. У чому полягає сутність електронної мікроскопії?
3. Чим відрізняється прямий метод електронної мікроскопії від непрямого?
4. Що таке растрова електронна мікроскопія?
5. Назвіть основні переваги растрової електронної мікроскопії.
6. Опишіть принцип роботи скануючого тунельного мікроскопа.
7. Для яких цілей розроблений тунельний мікроскоп?
8. Що являє собою іонно-польова мікроскопія?
9. Що таке нанотехнології?
10. У чому полягає принципова відмінність між атомно-силовою і тунельною мікроскопією?

### 3. МЕТОДИ РУЙНІВНИХ ВИПРОБУВАНЬ

При виконанні робіт з контролю якості зварних з'єднань, при проведенні технічного діагностування потенційно-небезпечного устаткування на різних етапах його життєвого циклу досить часто окрім результатів неруйнівного контролю необхідно мати інформацію про механічні характеристики матеріалу, які практично неможливо визначити існуючими методами без дослідження вирізки металу безпосередньо з об'єкта (зварного з'єднання).

Для дослідження існує велика розмаїтість різних методів і засобів руйнівних випробувань. Розглянемо лише ті, які знайшли найбільш широке застосування при контролі якості зварних з'єднань і технічному діагностуванні.

У загальному вигляді руйнівні випробування поділяються на:

- статичні, циклічні і динамічні випробування металів;
- методи визначення опору руйнуванню;
- методи визначення модулів пружності і спеціальних випробувань.

У даній главі розглянуті методи випробувань основного металу і більш докладно методи випробувань зварних з'єднань відповідно до вимог нормативних документів.

#### 3.1. Статичні випробування

При статичних випробуваннях визначають властивості, що характеризують: пружність, опір початковим пластичним деформаціям, опір значним пластичним деформаціям, пластичність. Для повного виявлення механічних властивостей випробування проводять при різних способах навантаження (розтяг, крутіння, стиснення, вигин та ін.).

Випробування на розтяг є основним і найпоширенішим методом дослідження і контролю механічних властивостей металів.

Використання цього методу для арбітражних і контрольних випробувань регламентується державним стандартом.

Випробування на розтяг проводять на розривних або універсальних машинах або пресах із застосуванням реверсорів. ГОСТ 1497—84 регламентує основні вимоги до дослідних машин, містить необхідні вказівки про форму і розміри зразків, визначення понять умовної межі пропорційності  $\sigma_{\text{пц}}$ , умовної межі пружності  $\sigma_{0,05}$ , меж текучості (умовної  $\sigma_{0,2}$  і фізичної  $\sigma_T$ ), тимчасового опору (межі міцності)  $\sigma_B$ , справжнього опору розриву  $S_K$ , відносних подовження  $\delta$  і звуження  $\psi$  і, нарешті, порядок проведення випробувань та розрахунку перерахованих характеристик.

У дослідницьких цілях випробування на розтяг застосовують значно ширше, ніж передбачене ДСТ (ГОСТ). Його застосовують для оцінки однорідності властивостей металу різних плавок, напівфабрикатів, ідентичності режимів термічної обробки деталей та ін.

У роботах різних авторів відзначається, що самий елементарний контроль за тимчасовим опором і подовженням дозволяє отримати широку інформацію про властивості випробовуваного матеріалу, оцінити його здатність до рівномірної і зосередженої деформації, а також, за умови запису діаграми деформації, проаналізувати роботу деформації і руйнування при статичному навантаженні.

Отримані при розтягу діаграми найчастіше мають вигляд, представлений на рис. 3.1.

Тип діаграми I (рис. 3.1, а) характерний в основному більшості конструкційних сталей і деяким магнієвим, титановим і алюмінієвим сплавам.

Деякі титанові і алюмінієві сплави деформуються за типом діаграми II (рис. 3.1, б).

Діаграма розтягу з площадкою текучості  $T$  (рис. 3.1, в) властива залізу, деяким видам бронзи та вуглецевим сталям.

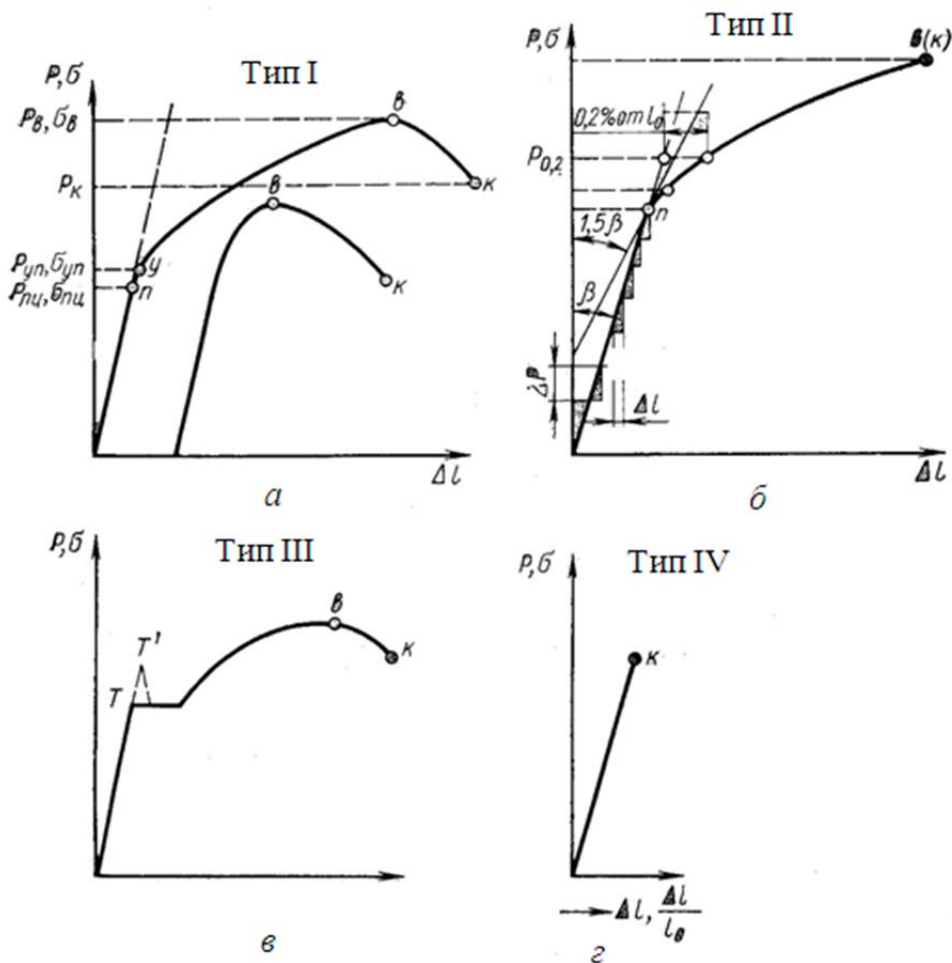


Рис. 3.1. Основні типи діаграм деформації при розтягу

Для крихких матеріалів діаграма розтягу закінчується відривом на початковій прямолінійній ділянці (рис. 3.1, г).

З діаграми I видно, що на ділянці до точки *n* існує пряма пропорційність між збільшеннями напруження і відносної деформації ( $\sigma = E\varepsilon$ ).

Коефіцієнт пропорційності *E* чисельно дорівнює тангенсу кута нахилу прямолінійної ділянці до осі деформацій і має назву *модуль нормальної пружності*.

При навантаженні, що розтягує, ( $P = P_{\text{пц}}$ ) розвантаження зразка щоразу призводить до зникнення деформації, яка виникає під дією прикладеного зусилля. Така деформація називається

*пружною*. Як правило, модуль пружності визначають при навантаженнях нижче  $P_{\text{пц}}$  на 20—25 %.

При подальшому збільшенні навантаження у інтервалі між  $P_{\text{пц}}$  і  $P_{\epsilon}$  має місце вже не пропорційне збільшення деформації. Навантаження, при якому відбувається відхилення від закону пропорційності, визначає межу пропорційності матеріалу:

$$\sigma_{\text{пц}} = \frac{P_{\text{пц}}}{F_0}, \quad (3.1)$$

де  $F_0$  — площа поперечного перерізу зразка.

Невелике зростання навантаження відносно  $P_{\text{пц}}$  не змінює характеру деформації — вона залишається пружною.

Найбільше навантаження, що витримує зразок без появи залишкової деформації при розвантаженні, визначає *межу пружності матеріалу*.

При навантаженнях  $P \geq P_{\text{уп}}$  поряд з ростом пружної деформації відбувається нагромадження пластичної деформації, що не зникає при розвантаженні. Напруження, при якому залишкове відносне подовження становить 0,2 %, називається *умовною межею текучості*.

Необхідно враховувати, що не тільки умовна межа текучості, але і умовна межа пружності та умовна межа пропорційності характеризують опір металу малим пластичним деформаціям.

Для матеріалів з діаграмою типу III визначають *фізичну межу текучості*, що відповідає точці  $T$  на діаграмі, коли у певному інтервалі спостерігається зростання деформації без збільшення зовнішнього навантаження.

Крива розтягу пластичних матеріалів може мати максимум (точка  $\epsilon$ , тип I, III) або ж обриватися при досягненні найбільшого навантаження (тип II), і тимчасовий опір (межу міцності) визначають наступним чином:

$$\sigma_{\epsilon} = \frac{P_{\epsilon}}{F_0}. \quad (3.2)$$



Незважаючи на те, що розглянуті характеристики мають велике практичне значення, але вони умовні, тому що розрахунок напружень поділом навантажень на первісну площу не дає справжніх напружень, а відносне подовження при утворенні шийки не характеризує максимальної пластичності матеріалу і залежить від розмірів зразка.

При дослідженнях іноді використовують діаграми справжніх напружень. Справжні напруження  $S$  визначають поділом діючого у певний момент навантаження  $P$  на площу поперечного перерізу зразка у той же момент.

Абсцисою діаграми справжніх напружень часто приймають відносне звуження  $\psi$ , яке вимірюють і розраховують для кожного моменту навантаження (рис. 3.2).

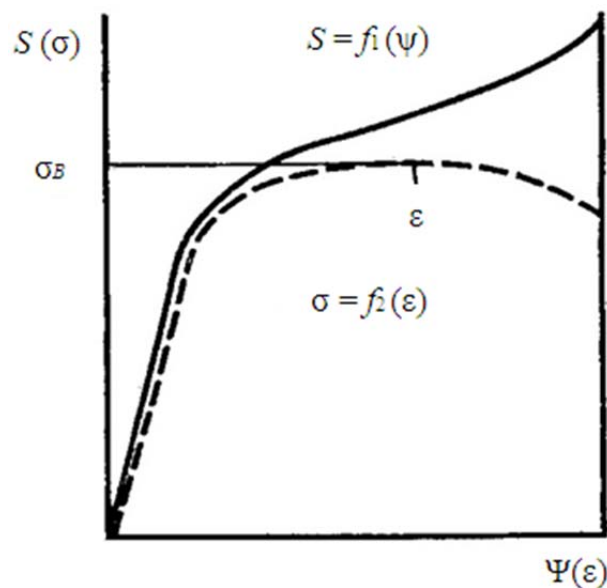


Рис. 3.2. Діаграма справжніх напружень при розтягу

**Механічні властивості при тривалих статичних навантаженнях.** Цей вид випробувань тісно пов'язаний з оцінкою терміну експлуатації металу енергоустаткування. Механічні властивості, що визначаються при тривалих навантаженнях, залежать як від внутрішніх перетворень, які прискорюються одночасним

впливом підвищеної температури і навантаження, так і від впливу зовнішнього середовища або дифузійних процесів.

Тривале навантаження металу в умовах високих температур супроводжується двома найбільш важливими і характерними явищами: повзучістю і розвитком теплової крихкості.

*Повзучість* — властивість металу повільно і безупинно пластично деформуватися при статичному навантаженні за високих температур.

*Теплова крихкість* — зменшення пластичності металу, яке визначається величиною деформації в умовах постійного навантаження за високих температур.

Розрізняють дві основні групи механічних властивостей:

- опір пластичної деформації при тривалих статичних навантаженнях (визначення меж повзучості — ГОСТ 3248—81);
- опір руйнуванню (тривала міцність) і пластичність при тривалих статичних навантаженнях (ГОСТ 10145—81).

Як правило, випробування на тривалий статичний розтяг при підвищених температурах проводять на спеціальних машинах. У металознавчій практиці найбільш широко застосовують вітчизняні дослідні машини типу АИМА—5—1, АИМА—5—2, у яких навантаження подається до зразка через важелі, що забезпечують збільшення зусилля у 10—30 разів.

Для нагрівання зразків застосовують електричні печі з терморегуляторами. Подовження вимірюють механічними, оптичними (більш точні) або електронними приладами.

Типові криві повзучості наведені на рис. 3.3.

Основною величиною, що характеризує опір пластичному деформуванню, є межа повзучості.

*Межею повзучості* вважається те постійне напруження, що викликає за певний час при певній постійній температурі деформацію заданої величини (наприклад, 1 % за 100 год. або 1 % за 100 000 год.) або певну швидкість деформації протягом заданого проміжку часу.

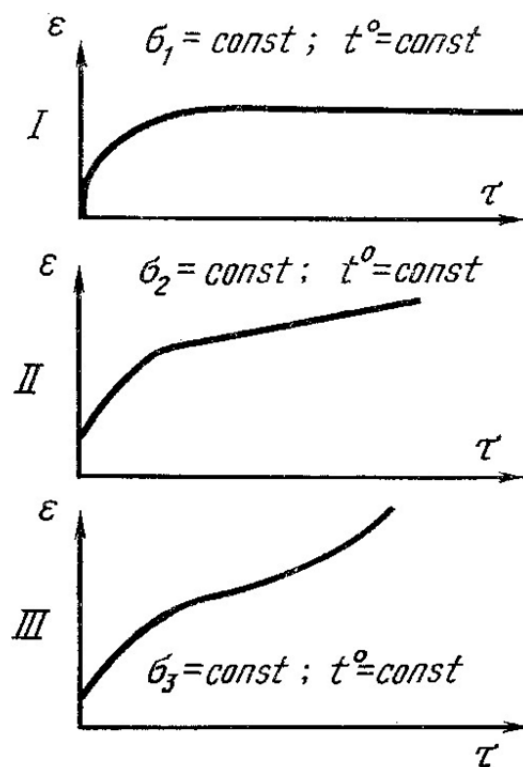


Рис. 3.3. Типові криві повзучості

Випробування на тривалу міцність проводять наступними способами:

- визначають кількість годин до руйнування зразка при даному напруженні;
- при різних постійних напруженнях і даній температурі проводять серію випробувань, а потім будують залежність часу випробування зразка до руйнування від напруження (рис. 3.4).

Для кожної температури випробування і кожного постійного напруження будують залежність деформації від часу.

Позначення межі тривалої міцності супроводжується двома індексами: зверху записується температура випробування ( $^\circ\text{C}$ ), знизу — задана тривалість випробування до руйнування (год.). Наприклад,  $\sigma_{100000}^{570}$  — напруження, що викликає руйнування при температурі  $570^\circ\text{C}$  за 100000 год.

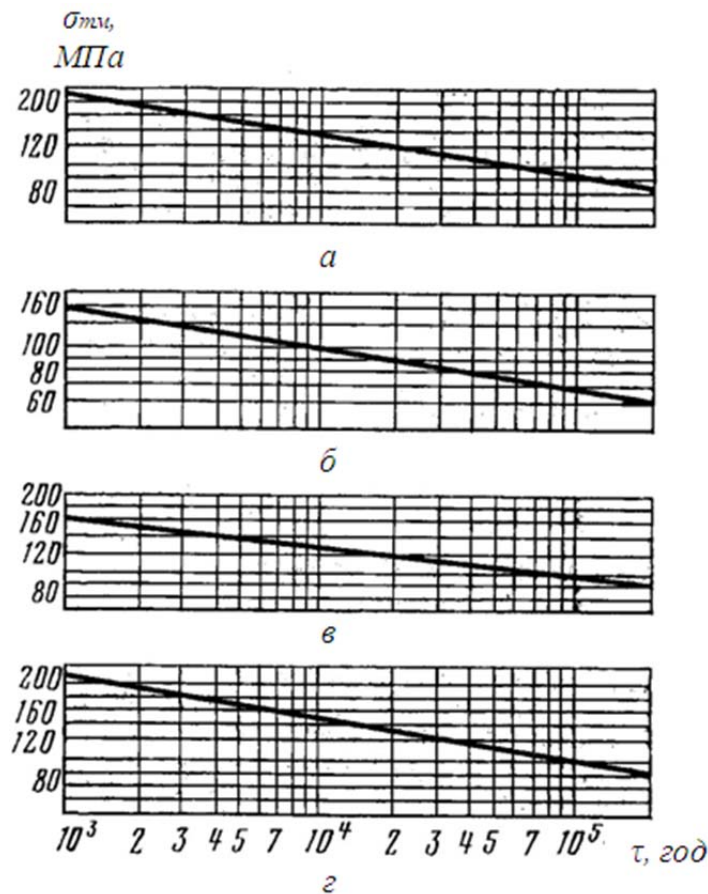


Рис. 3.4. Криві тривалої міцності сталей: *а* — сталь 20 при 450 °С; *б* — 12Х1МФ при 570 °С; *в* — 15Х1М1Ф при 575 °С; *г* — 12Х18Н12Т при 610 °С

**Випробування на твердість.** Цим видом випробувань визначається опір поверхневих шарів матеріалу місцевої пластичної деформації, що виникає при вдавлюванні твердого індентора.

Широке використання методів випробування на твердість пояснюється простотою і швидкістю їхнього проведення, відсутністю необхідності руйнування досліджуваного зразка та ін. При випробуваннях на твердість можна побічно оцінити деякі механічні характеристики.

Найбільше практичне застосування мають статичні випробування вдавлюванням кульки (за Брінеллем, Роквеллом — шкала *B*), конуса (за Роквеллом — шкала *C*), піраміди (за Віккерсом), визначення мікротвердості по Хрущову-Берковичу. Динамічні

методи за Шором, Гербертом і дряпанням застосовуються значно рідше.

*Твердість за Брінеллем* (ГОСТ 9012—59) визначається вдавлюванням сталеві загартованої кульки у випробовуваний матеріал. Значенням твердості є середнє напруження, що приходитьсь умовно на одиницю поверхні кульового відбитка, і виражається формулою:

$$HB = \frac{0,102 \cdot 2P}{\pi D \left( D - \sqrt{D^2 - d^2} \right)}, \quad (3.3)$$

де  $P$  — прикладене навантаження (сила), Н;  $D$  — діаметр кульки, мм;  $d$  — діаметр відбитка, мм.

Форма відбитка при різній глибині і відповідних їй навантаженнях не зберігає геометричної подоби, і тому значення твердості залежать від величини прикладеного навантаження, а також від часу його додавання.

ГОСТ 9012—59 обумовлює навантаження, час витримки, діаметр кульки залежно від випробовуваного матеріалу. Твердість за Брінеллем визначають за спеціальними таблицями, які додані до цього стандарту.

Значення твердості  $HB$  можуть бути порівняні при різних діаметрах кульок тільки у тому випадку, якщо відношення навантаження до квадрату діаметра кульки буде постійним.

Одним з головних недоліків визначення твердості за Брінеллем є необхідність виміру на мікроскопі або спеціальній лупі діаметра відбитка у двох напрямках.

Як вже було відзначено раніше, твердість за Брінеллем вуглецевих і деяких марок легованих сталей досить добре корелює з межею міцності. Ці залежності широко використовуються при виробничому контролі деталей і заготовок.

Крім вищевказаних залежностей знайдені зв'язки, що дозволяють приблизно визначати умовну межу текучості вдавлюванням кульки діаметром 10 мм, при цьому обирають навантаження, що створює залишкову лунку діаметром 0,9 мм.

*Твердість за Роквеллом* (ГОСТ 9013—59) визначають шляхом вдавлювання індентора у випробовуваний зразок під дією двох послідовних навантажень: попереднього 100 Н и сумарного 600, 1000 та 1500 Н.

Різниця глибин, на які проникає індентор під дією двох навантажень, характеризує твердість за Роквеллом, що виражається в умовних абстрактних величинах.

Індентором може бути алмазний конус або сталева загартована кулька.

При визначенні твердості алмазним конусом застосовують повні навантаження 600 або 1500 Н (шкала *A* і *C*), а сталевую кулькою — 1000 Н (шкала *B*). Вибір індентора та навантаження в основному пов'язаний з твердістю випробовуваного матеріалу і його товщиною.

Твердість за Роквеллом, що визначається по різних шкалах без подібності у відбитках, при її умовному і безрозмірному чисельному відліку, є ще більш умовною характеристикою, ніж твердість по Брінеллю.

Визначення *твердості за Віккерсом* (ГОСТ 2999—75) проводиться вдавлюванням у випробовуваний зразок алмазного наконечника, що має форму квадратної піраміди з кутом між протилежними гранями  $136^\circ$ . Як правило, застосовують навантаження 50, 100, 200, 300, 500 і 1000 Н, які обирають залежно від товщини зразка і його твердості. Значення твердості за Віккерсом визначають по величині діагоналі відбитка за допомогою таблиць. Як і для інших методів, тут дуже важлива чистота поверхні зразка і відсутність нагрівання та наклепу при його виготовленні.

Визначення твердості за Віккерсом є більш досконалим методом у порівнянні з іншими. До основних переваг варто віднести повну геометричну подібність відбитків, незалежно від величини прикладеного навантаження, можливість визначення твердості на тонких листових матеріалах і на деталях після хіміко-термічної

обробки, а також непоганий збіг значень твердості у порівнянні з методами Брінелля та Віккерса.

Для деталей, що працюють при високих температурах, у ряді випадків необхідно знати твердість при робочих температурах. Як правило, її визначають за методом Брінелля із застосуванням спеціальної установки з трубчастою піччю.

При динамічних випробуваннях на твердість можна визначити питому роботу вдавлювання кульки, висоту пружного відскоку бійка, яка тим менша, чим вищий опір пластичної деформації металу.

Визначення твердості склерометруванням відрізняється від перерахованих вище методів тим, що крім нормального до поверхні зразка вдавлювання індентора здійснюється одночасно переміщення його паралельно площині зразка. У результаті експерименту на поверхні зразка залишається подряпина певної ширини і глибини, що характеризує матеріал за опором руйнуванню.

Для визначення твердості окремих структурних складових застосовують метод мікротвердості (ГОСТ 9450—76). Прилад складається з механізму для вдавлювання алмазної піраміди під різними невеликими навантаженнями і металографічного мікроскопу (ПМТ—3). У обрану під мікроскопом ділянку металу, у певне зерно вдавлюють алмазну піраміду під навантаженням 0,05—5 Н. Під мікроскопом вимірюють діагональ відбитка і по ній визначають мікротвердість заданих структурних складових.

### 3.2. Циклічні випробування

Значна частина об'єктів підвищеної небезпеки тривалий час експлуатується у складних напружених умовах при знакозмінних навантаженнях (вантажопідйомні крани, підйомники, вишки, ліфти, мости та ін.).

Під дією змінних напружень, які циклічно змінюються, відбувається процес поступового нагромадження пошкоджень, що

призводить до критичного ступеня викривлення кристалічних ґрат в окремих зернах, створення локальних пікових напружень, утворення зародкових тріщин, їх розвитку та остаточного руйнування об'єкта.

Руйнування металу під дією знакозмінних навантажень називається *втомленістю*; опір цьому руйнуванню — *циклічною міцністю*, або *витривалістю*.

Випробування на втомленість проводять при знакозмінних напруженнях. При цьому амплітуда циклічної зміни напружень відповідає залежності:

$$\sigma_a = \frac{\sigma_{\max} - \sigma_{\min}}{2}. \quad (3.4)$$

Під *коефіцієнтом асиметрії циклу*  $r$  розуміють відношення мінімального напруження до максимального з урахуванням знака напружень. Середнє напруження циклу розраховується як середнє арифметичне алгебраїчних величин максимального та мінімального напружень. Алгебраїчна різниця між максимальним і мінімальним напруженнями називається *розмахом напружень*, який дорівнює подвоєній амплітуді.

При циклічних випробуваннях на втомленість, як правило, визначають наступні характеристики: межу витривалості, втомлювальну довговічність, чутливість до концентрації напружень, впливу середовища, температури, частоти, асиметрії циклу і величини середнього напруження циклу, перевантажень, масштабного фактору. Оцінюють ступінь пошкодження металу, швидкість росту тріщин, тривалість інкубаційного періоду до появи тріщин і тривалість періоду живучості.

За результатами випробувань на втомленість проводять:

- побудову кривої втомленості і визначення межі витривалості;
- побудову діаграм граничних напружень і амплітуд з урахуванням різних коефіцієнтів асиметрії циклу;



- визначення межі витривалості для заданого рівня ймовірності руйнування.

Як правило, досліджують 6—10 зразків при симетричному циклі та різних напруженнях.

Перший зразок досліджують при напруженні  $\sigma_a = 0,6\sigma_s$ , а кожний наступний — при напруженні трохи нижче попереднього.

Типовий приклад діаграми втомленості у координатах  $\sigma_a$ —логарифм кількості циклів  $N$  наведений на рис. 3.5.

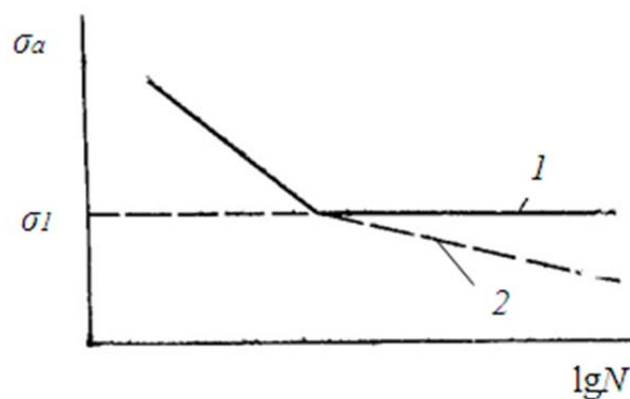


Рис. 3.5. Характер кривої втомленості вуглецевих сталей: 1 — при дослідженнях на повітрі; 2 — у корозійному середовищі

Фізичною межею втомленості  $\sigma_1$  називається максимальне напруження циклу з певною характеристикою асиметрії, при якому метал витримує нескінченну кількість циклів.

Основними критеріями при визначенні межі витривалості і побудові кривих втомленості є повне руйнування або поява тріщин, довжина яких по поверхні становить 0,5—1 мм. Додатковими критеріями можуть бути: різке падіння навантаження або частоти циклів, значне зростання деформації, різкий підйом температури. У межах однієї серії досліджень критерії руйнування повинні бути однаковими.

Дослідження на втомленість виконують при наступних схемах навантаження:

- чистий вигин при обертанні;

- чистий вигин в одній площині;
- поперечний вигин при обертанні;
- поперечний вигин в одній площині;
- розтяг—стиснення;
- змінне кручення;
- внутрішній тиск.

Іноді проводять комбіновані види випробувань. Для цього використовують машини, установки та стенди з різним збудженням змінних навантажень або деформацій.

Практично визначають умовну межу втомленості, або межу обмеженої витривалості, як напруження, при якому метал витримує певну кількість циклів (ГОСТ 2860—65).

Межа витривалості у значній мірі залежить від концентраторів напружень: отворів, надрізів, різких змін перетину тощо. Значення межі витривалості можуть істотно відрізнитися у зв'язку з неоднорідністю структури, наявністю неметалевих включень, формою, розмірами і розподілом карбідів. Дуже часто трапляються неметалеві включення несприятливої форми і орієнтації, навколо яких концентруються напруження, знижуючи межу витривалості. Зі зменшенням розмірів зерен і зміцненням їх меж поріг витривалості підвищується. На останню також дуже впливає якість поверхневої обробки деталей (хіміко-термічна обробка, поверхнево-пластичне деформування та ін.).

### 3.3. Динамічні випробування

Досить часто багато технічних пристроїв об'єктів підвищеної безпеки під час тривалої експлуатації отримують різні динамічні навантаження. Динамічний процес деформації або руйнування може виникнути як внаслідок різкого зростання зовнішнього навантаження, так і різкого зниження опору руйнуванню, наприклад, при крихкому руйнуванні.

Збільшення швидкості навантаження змінює властивості металу. Матеріали з близькими характеристиками міцності і пластичності, які визначені при статичних випробуваннях на розтяг, можуть різко відрізнятись в умовах динамічного навантаження. Динамічні випробування на ударний вигин виявляють схильність металу до крихкого руйнування.

Ударна в'язкість  $KC$  являє собою відношення повної роботи, що витрачається на динамічне руйнування зразка, до робочої площі поперечного перерізу:

$$KC = \frac{K}{F_0}, \quad (3.5)$$

де  $K$  — робота руйнування зразка при ударі, Дж;  $F_0$  — площа зразка, мм<sup>2</sup>.

Відповідно до ГОСТ 9454—78, ударна в'язкість позначається  $KCU$ ,  $KCV$  і  $KCT$ . Букви  $KC$  позначають символ ударної в'язкості, а букви  $U$ ,  $V$  і  $T$  — вид концентратора напружень.

У випадку приймального або вхідного контролю металів, як правило, застосовують зразки з  $U$ -подібним надрізом, а у випадку випробувань металів для відповідальних конструкцій і при технічному діагностуванні рекомендується застосовувати зразки з  $V$ - і  $T$ -подібними надрізами. Форма і розміри зразків для визначення ударної в'язкості наведені на рис. 3.6.

При випробуваннях внаслідок концентрації деформації у малому об'ємі виникає висока локальна швидкість деформації. Зразки руйнують ударом маятника, який падає на грань, протилежну надрізу, зі швидкістю 4—7 м/с. Випробування проводять на спеціальних маятникових копрах (ГОСТ 10708—82), принцип роботи яких зрозумілий зі схеми, зображеної на рис. 3.7.

Роботу  $K$ , витрачену на деформацію і руйнування зразка, визначають з точністю до 1 Дж за заздалегідь відградуваною шкалою або розрахунком — за значеннями кута підйому маятника до і після удару. Певна частина роботи витрачається на пластичну деформацію деякого об'єму металу, що важко встановити.

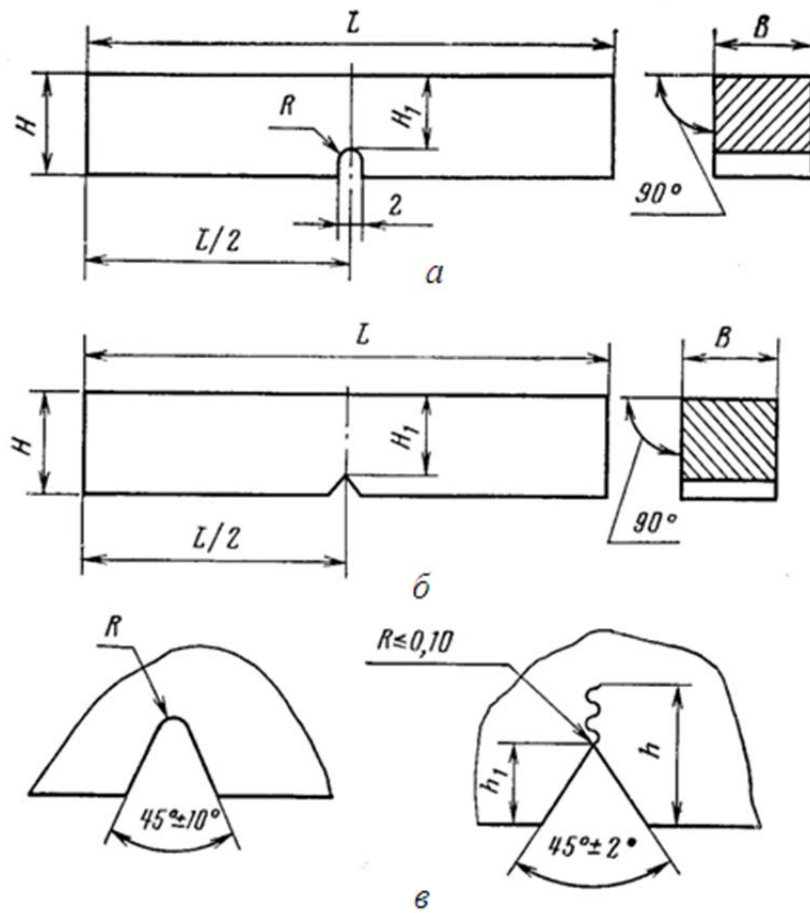


Рис. 3.6. Зразки для випробування на ударну в'язкість з U-подібним (а), V-подібним (б) надрізами та з тріщиною (в)

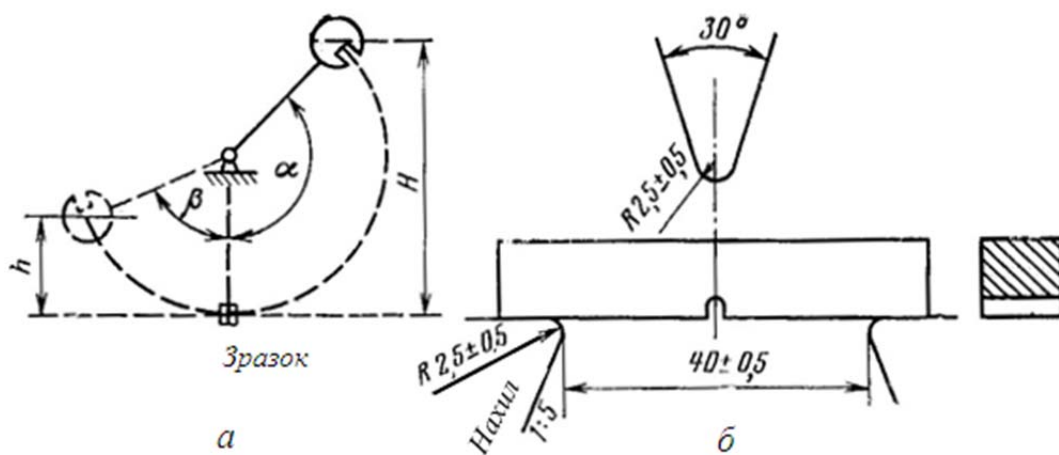


Рис. 3.7. Схема випробування на ударну в'язкість (а) і схема встановлення зразка на опори при випробуванні (б)

Ударна в'язкість є інтегральною характеристикою механічних властивостей, що залежить одночасно від міцності і пластичності. Хоча між характеристиками міцності і ударної в'язкості не існує певної зв'язку, однак спостерігається деяка погодженість між  $KC$  і відносним звуженням  $\psi$ . Низькі значення  $\psi$  завжди відповідають низькій ударній в'язкості, але його високі значення не завжди гарантують високу  $KC$ .

У ряді випадків необхідно мати інформацію про ударну в'язкість при підвищених або знижених температурах. При визначенні ударної в'язкості при підвищених (знижених) температурах застосовують ті ж зразки і устаткування, що і у випробуваннях при кімнатній температурі. Нагрівання зразків проводять у муфельних печах або масляних ваннах. Охолодження виконують за допомогою спеціальних посудин у середовищі зріджених газів.

За час з моменту витягування зразка з печі або з охолоджувальної посудини до моменту удару температура зразка знижується (підвищується) зі швидкістю, яка не повинна перевищувати п'ять градусів за секунду, тому зразки повинні трохи перегріватися (переохолоджуватися) на 5—12 °С у залежності від температури випробувань.

**Визначення критичної температури крихкості.** Багато металів залежно від температури можуть руйнуватися в'язко або крихко. Зниження температури обумовлює перехід від в'язкого до крихкого руйнування. Це явище отримало назву *холодноламкості*, а температуру переходу металу від в'язкого руйнування до крихкого і навпаки назвали *критичною температурою крихкості* (КТК) або *порогом холодноламкості*.

Для виявлення схильності сталей до переходу у крихкий стан використовують серійні випробування на ударний вигин надрізаних зразків. За результатами експериментів будують температурну залежність ударної в'язкості  $KCT$ . Випробування при різних температурах починають з крайньої, поступово переходячи від однієї температури до іншої. При зниженні температури

випробування спостерігається перехід від в'язкого руйнування до крихкого, що виражається у різкому падінні ударної в'язкості і зміні характеру зламу (рис. 3.8).

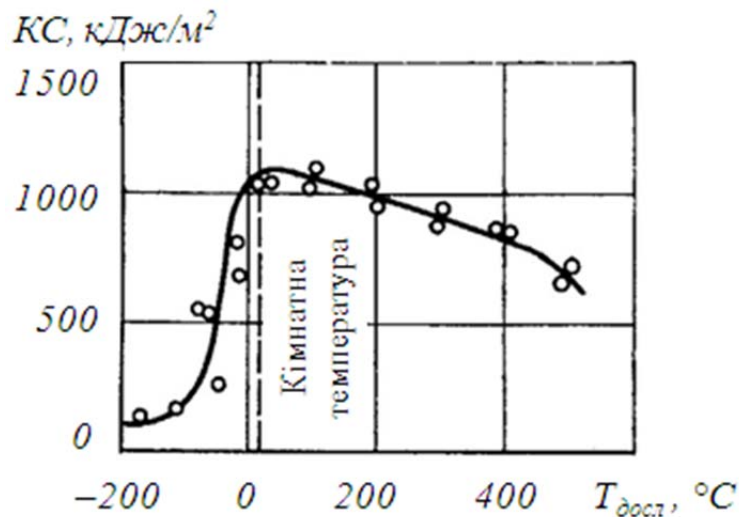


Рис. 3.8. Температурна залежність ударної в'язкості низьковуглецевої сталі

Залежно від структурного стану сталі перехід до крихкого руйнування може бути різким або досить плавним. Зміна характеру руйнування відбувається у деякому температурному інтервалі, що характеризується двома температурами:  $T_{\text{в}}$  — верхня критична температура крихкості, вище якої злам повністю (>95 %) в'язкий і  $T_{\text{н}}$  — нижня критична температура крихкості, нижче якої злам (>95 %) крихкий.

У випадку дискретного переходу від в'язкого руйнування до крихкого, особливо у вузькому температурному інтервалі у межах 10 °C, за КТК приймають середину температурного інтервалу різкої зміни виду зламу і позначають  $T_{50}$ .

Завжди варто враховувати, що рівень критичної температури, визначений на малих зразках, дає лише порівняльну оцінку і не може дати кількісного уявлення про реальні об'єкти. Незважаючи на умовність визначення КТК, ця характеристика з дос-

татньою для інженерних розрахунків точною розділяє шкалу температур на дві області.

При температурах нижче критичних устаткування не може надійно працювати при впливі ударних навантажень. При температурах вище критичних надійність експлуатації устаткування різко зростає, причому, чим більше робоча температура перевищує критичну, тим менша небезпека крихкого руйнування.

Вимоги надійності передбачають температурний запас в'язкості не менше 30 °С, тобто робоча температура експлуатації устаткування повинна бути на 30 °С вище КТК.

**Визначення опору руйнуванню.** При тривалій експлуатації об'єктів підвищеної небезпеки у багатьох випадках необхідно зважати на можливість роботи устаткування протягом деякого часу при наявності тріщин. Крім того, незважаючи на вдосконалення методів дефектоскопії, у ряді випадків залишаються невиявленими деякі технологічні дефекти, наприклад, типи тріщин у зварних з'єднаннях. Якщо врахувати зростаюче застосування високоміцних матеріалів, чутливих навіть до малих тріщин, стає ясною необхідність проведення випробувань в умовах руйнування, що почалося.

Випробування на в'язкість руйнування (короткочасну тріщиностійкість) відносяться до найбільш апробованих і теоретично обґрунтованих методів у практиці технічного металознавства і діагностування. Ці випробування базуються на лінійній механіці руйнування, що бере свій початок від робіт Гриффітса. Як правило, випробування проводять на зразках, показаних на рис. 3.9.

Оскільки плоскодеформований стан є найнебезпечнішим для крихкого руйнування, в'язкість руйнування при плоскій деформації  $K_{IC}$  розглядають у заданих температурно-швидкісних умовах навантаження у якості одного з найважливіших параметрів при оцінці здатності матеріалів опиратися крихкому руйнуванню.

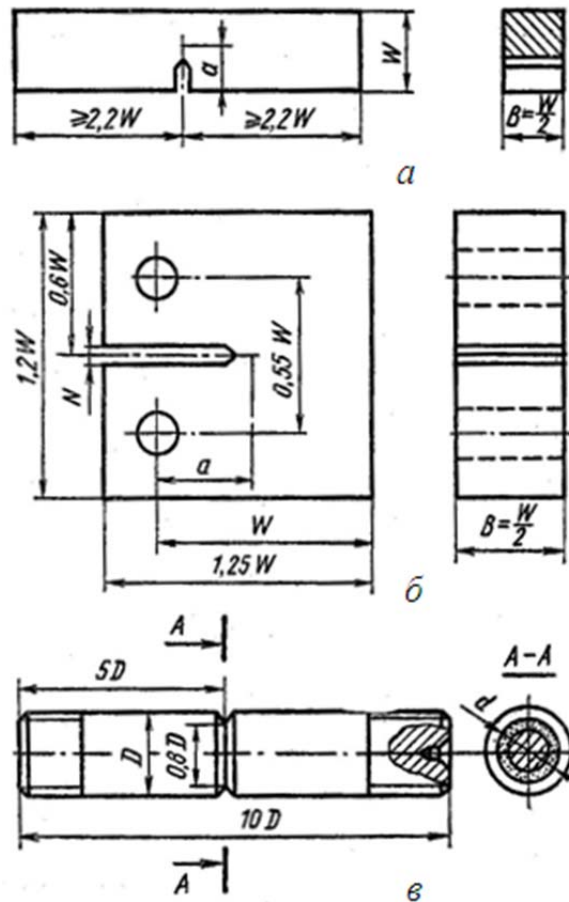


Рис. 3.9. Типи зразків для визначення  $K_{IC}$  і співвідношення їх розмірів: *a* — для випробувань на вигин; *б* — для випробувань на позacentровий розтяг; *в* — циліндричний зразок для випробувань на розтяг

Втомлювальні тріщини у зразках наводять на спеціальних вібраторах або втомлювальних машинах типу пульсарів.

Достовірність оцінки  $K_{IC}$  регламентована розмірами зразка. Ширина зразків залежить від шуканої величини  $K_{IC}$  та визначається за умовою:

$$B \geq 2,5 \left( \frac{K_{IC}}{\sigma_{0,2}} \right)^2. \quad (3.6)$$

Існують орієнтовні співвідношення параметрів в'язкості руйнування і межі текучості для конструкційних сталей.

Зразки з наведеною тріщиною піддають руйнівним випробуванням на стандартних машинах з різними швидкостями.



При випробуванні реєструють діаграму руйнування в координатах: прикладене навантаження  $P$  — зсув кінців тріщини  $V$ . Запис здійснюється за допомогою встановленого на зразку датчика розкриття тріщини. Досить жорсткі геометричні умови, що регламентують реалізацію плоскодеформованого стану, при руйнуванні створюють істотні труднощі оцінки в'язкості руйнування конструкційних сталей. Крім того, необхідно значно збільшити розміри зразків у порівнянні з дослідними зразками з високоміцних сталей, а також потужність дослідних машин.

У підсумку оцінка тріщиностійкості конструкційних сталей, застосовуваних для виготовлення об'єктів підвищеної небезпеки, стає або неможливою через відсутність зразків необхідної товщини, або утрудненою у зв'язку з випробуванням зразків великих розмірів. У таких випадках необхідно орієнтуватися на можливість порівняльної оцінки різних матеріалів рівної товщини.

Для подолання зазначених труднощів групою вчених і фахівців була запропонована у якості міри тріщиностійкості матеріалів величина *критичного розкриття тріщини* (КРТ), що відповідає розкриттю тріщини у момент її спонтанного росту. Випробування проводяться за допомогою спеціального пристрою. Метод КРТ дозволяє зіставляти низькоміцні сталі після випробувань ідентичних зразків у однакових умовах. КРТ є менш інформативним параметром, ніж  $K_{IC}$ .

У останні роки розробляється новий критерій оцінки в'язкості руйнування низько- і високоміцних матеріалів за величиною так званого  $J$ -інтеграла. Ця характеристика являє собою зміну потенційної енергії у пружно-пластичній системі при поширенні тріщини. Методики обчислення цього інтеграла відрізняються значною трудомісткістю, крім того поки що відсутній єдиний методичний підхід, прийнятний для інженерних розрахунків, і тому даний критерій не одержав широкого застосування.

### 3.4. Випробування зварних з'єднань

**Види випробувань і область їх застосування.** Відповідно до ГОСТ 6996—66, механічні властивості зварних з'єднань визначають при наступних видах випробувань:

- випробуванні металу різних ділянок зварного з'єднання і наплавленого металу на статичний (короткочасний) розтяг, ударний вигин та стійкість проти механічного старіння;
- вимірі твердості металу різних ділянок зварного з'єднання і наплавленого металу;
- випробуванні зварного з'єднання на статичний розтяг, статичний вигин (загин) та ударний розрив.

Випробування проводяться при визначенні якості продукції і зварювальних матеріалів, придатності способів та режимів зварювання, встановленні кваліфікації зварників і показників зварюваності металів і сплавів.

Види випробувань і типи зразків передбачаються у стандартах та технічних умовах на продукцію. Допускається застосовувати зразки і методи випробувань за міжнародними стандартами ДСТУ ISO 4136:2009, ДСТУ ISO 5173:2009, ISO 5177:1981.

**Відбір зразків.** Зразки для випробувань відбирають з проб, вирізаних безпосередньо з контрольованої конструкції або від спеціально зварених для проведення випробувань контрольних з'єднань.

При виконанні контрольних з'єднань характер підготовки під зварювання, марка і товщина основного металу, марки зварювальних матеріалів, положення шва у просторі, початкова температура основного металу, режим зварювання та термічної обробки повинні повністю відповідати умовам виготовлення контрольованого виробу або особливому призначенню випробування.

Вирізку заготовок для зразків з проб і контрольних з'єднань рекомендується виконувати на металорізальних верстатах. До-

пускається вирізати заготовки на ножицях, штампах, кисневим, плазмовим, анодно-механічним або іншими методами різання.

При виготовленні зразків необхідно вживати заходів, що виключають можливість зміни властивостей металу у результаті нагрівання або наклепу, які виникають при механічній обробці.

На пробах, контрольних з'єднаннях і заготовках з листового прокату і труб необхідно вказувати напрямок прокатки основного металу стосовно шва. Якщо немає інших вказівок у стандартах або іншій технічній документації, то стріла прогину  $f$  на довжині 200 мм (рис. 3.10) не повинна перевищувати 10 % від товщини металу, але бути не більше 4 мм.

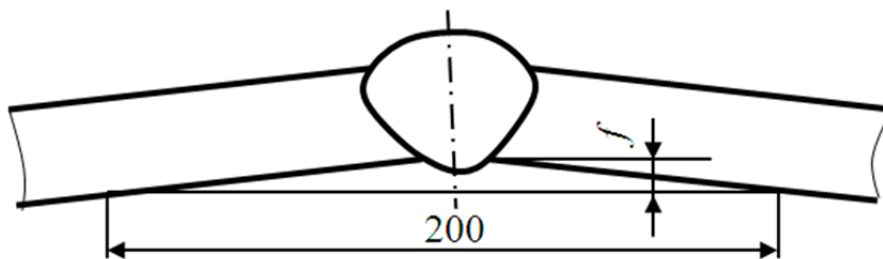


Рис. 3.10. Визначення стріли прогину

Розбіжність площини листів  $h$  у стикових з'єднаннях (рис. 3.11) не повинна перевищувати 15 % від товщини листа, але бути не більше 4 мм.

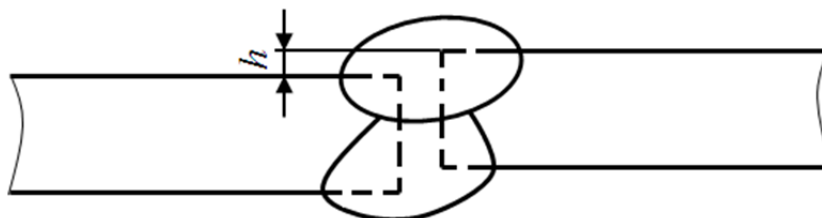


Рис. 3.11. Розбіжність площини листів

**Умови проведення випробувань і оцінка їхніх результатів.**  
При відсутності інших вказівок у стандартах або іншій технічній

документації, випробування на статичний короточасний розтяг та вигин проводять не менше ніж на двох зразках; на ударний вигин, стійкість проти механічного старіння, ударний розрив — не менше ніж на трьох зразках; вимір твердості — не менше ніж у чотирьох точках для кожної ділянки зварного з'єднання. Якщо розміри зварного з'єднання виключають можливість розміщення чотирьох точок, то допускається зменшити їх кількість відповідно до реальних можливостей.

Результати за всіма видами випробувань визначають як середнє арифметичне результатів, отриманих при випробуванні усіх зразків.

Якщо немає вказівок у відповідних стандартах або іншій технічній документації, то для усіх видів випробувань, крім випробувань на статичний вигин і виміри твердості, допускається зниження результатів випробувань для одного зразка на 10 % нижче нормативної вимоги, якщо середній арифметичний результат відповідає нормативним вимогам.

Зниження результатів випробування зразків на статичний вигин і виміри твердості повинне обумовлюватися у відповідних стандартах або іншій технічній документації. При випробуванні на ударний вигин допускається зниження нижче нормативних вимог не більше  $5 \text{ Дж/см}^2$  ( $0,5 \text{ кгс}\cdot\text{м/см}^2$ ).

Результати випробувань вважають незадовільними, якщо у зламі зразка або на його поверхні виявлені кристалізаційні або холодні тріщини (крім випадків, коли наявність тріщин допускається відповідною нормативно-технічною документацією). При незадовільних результатах випробування повторюють на подвоєній кількості зразків. Якщо у зламі зразка, результати випробування якого вважають незадовільними, виявлені дефекти основного металу або зварного з'єднання (крім тріщин), його виключають з оцінки і заміняють новим зразком.

Загальні результати випробувань визначають за показниками, отриманими при повторних випробуваннях. Результати повторних випробувань є остаточними.

Методика визначення розмірів зразків, вимоги, що пред'являються до устаткування для випробувань, умови проведення випробувань і підрахунок результатів повинні відповідати вимогам діючих стандартів (випробування на розтяг — ГОСТ 1497—84, за знижених температур — ГОСТ 11150—84, за підвищених температур — ГОСТ 9651—84, на ударний вигин за знижених, кімнатних і підвищених температур — ГОСТ 9454—78; виміри твердості — ГОСТ 2999—75, ГОСТ 9013—59 і ГОСТ 9012—59).

#### **3.4.1. Випробування металу різних ділянок зварного з'єднання і наплавленого металу на статичний розтяг**

При випробуванні металу на статичний (короткочасний) розтяг визначають наступні характеристики механічних властивостей:

- межу текучості фізичну  $\sigma_T$ , МПа (кгс/мм<sup>2</sup>), або умовну  $\sigma_{0,2}$ , МПа (кгс/мм<sup>2</sup>);
- тимчасовий опір  $\sigma_B$ , МПа (кгс/мм<sup>2</sup>);
- відносне подовження після розриву  $\delta_5$ , %;
- відносне звуження після розриву  $\psi$ , %.

Випробування проводять для металу шва, металу різних ділянок зони термічного впливу наплавленого металу при усіх видах зварювання плавленням.

Форма і розміри зразків, застосовуваних для випробування, повинні відповідати рис. 3.12. Допускається збільшення розміру діаметра зразка і його висоти.

Для випробувань, які проводяться при нормальній або пониженій температурах, застосовують зразки усіх типів.

Робочий перетин зразків усіх типів повинен повністю складатися з металу випробуваної ділянки. У головках зразка допускається наявність металу інших ділянок зварного з'єднання. На

поверхні головки допускається наявність однієї або двох (паралельних) лисок, а також необробленої поверхні шва або основного металу.

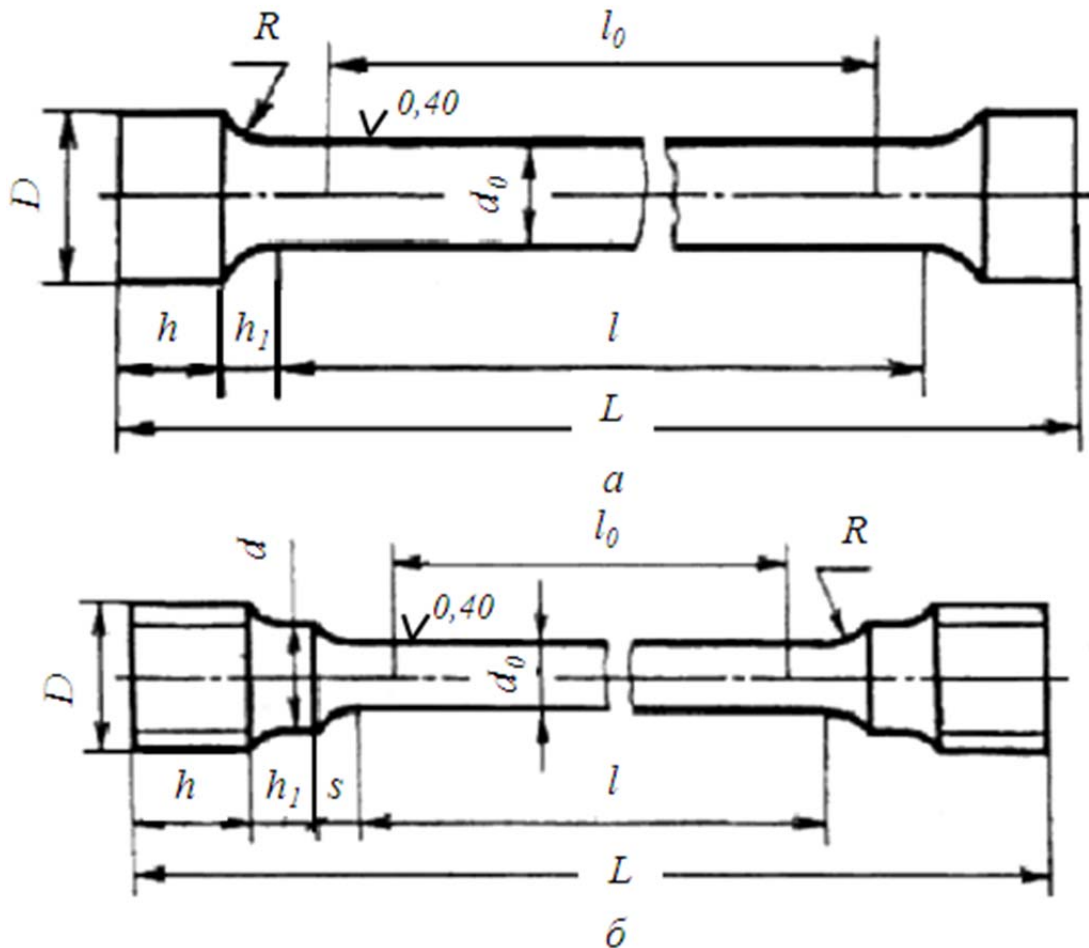


Рис. 3.12. Форма зразків: *a* — тип I, II, III; *б* — тип IV, V

При однопрохідних швах зразки, що вирізаються з різних ділянок шва, мають практично однакові механічні властивості. При багатопрохідних швах характеристики механічних властивостей у різних ділянках шва різні. Місце вирізки зразків з багатопрохідних швів обумовлюється стандартами або іншою технічною документацією. При відсутності спеціальних вказівок зразки вирізають на поверхні шва.

### 3.4.2. Випробування металу різних ділянок зварного з'єднання і наплавленого металу на ударний вигин

При випробуванні на ударний вигин визначають ударну в'язкість або роботу удару, або відсоткове співвідношення крихкої та в'язкої складових поверхні зламу для металу шва, наплавленого металу, зони сплавлення і різних ділянок біляшовної зони при товщині основного металу 2 мм і більше.

Ударну в'язкість визначають у Дж/см<sup>2</sup> (кгс·м/см<sup>2</sup>), якщо немає вказівок у відповідних стандартах або іншій нормативно-технічній документації. Для випробування застосовують зразки, форма, розмір і якість поверхні яких відповідають зазначеним на рис. 3.6 (зразки з *U*- та *V*-подібним надрізами). Кращими є зразки з *V*-подібним надрізом.

Умовне позначення ударної в'язкості або роботи удару включає: символ ударної в'язкості (*KC*) або роботи удару (*K*); вид надрізу (концентратора) (*U*, *V*); температуру випробування (температуру 20 °С не зазначають); максимальну енергію удару маятника (максимальну енергію 300 Дж не зазначають); тип зразка (типи зразків VI і IX не зазначають); місце розташування надрізу (*Ш* — шов, *ЗС* — зона сплавлення, *ЗТВ* — зона термічного впливу, *t* — відстань від межі сплавлення до осі надрізу). Значення *t* обмовляють у стандартах або іншій технічній документації. При розташуванні надрізу поперек металу шва, зони сплавлення або зони термічного впливу наприкінці позначення ставлять букву П.

*Приклади умовних позначок.*

1. Ударна в'язкість, яка визначається на зразку типу VII, при температурі +100 °С, максимальній енергії удару маятника 150 Дж, з надрізом виду *U*, що розташований у зоні сплавлення:

*KCU*<sup>+100</sup> 150 VIIЗС.

2. Ударна в'язкість, яка визначається на зразку типу XI, при температурі –40 °С, максимальній енергії удару маятника 50 Дж, з надрізом виду *V*, розташованим у зоні термічного впливу на відстані (*t*, мм) від межі сплавлення до осі надрізу:

*KCV<sup>-40</sup> 50 XI 3TB<sub>t</sub>*.

3. Ударна в'язкість, яка визначається на зразку типу VI, при температурі +20 °С, максимальній енергії удару маятника 300 Дж, з надрізом виду *U*, розташованим у металі шва:

*KCUШ*.

4. Ударна в'язкість, яка визначається на зразку типу IX, при температурі +20 °С, максимальній енергії удару маятника 300 Дж, з надрізом виду *V*, розташованим поперек металу шва:

*KCVШ П*.

Залежно від мети випробування надріз розташовують у металі шва, зоні сплавлення або на різних ділянках металу біляшовної зони на відстані *t* від межі сплавлення. Місце розташування надрізу і відстань *t* від межі сплавлення до осі надрізу обумовлюють у нормативно-технічній документації.

### ***3.4.3. Випробування металу різних ділянок зварного з'єднання на стійкість проти механічного старіння***

Стойкість проти механічного старіння характеризується зміною ударної в'язкості металу, підданого старінню, у порівнянні з ударною в'язкістю металу у вихідному стані. Про стійкість металу проти механічного старіння судять по вираженому у відсотках відношенню цих величин або по абсолютному (нормативному) значенню ударної в'язкості після старіння. Випробування проводять для металу шва і різних ділянок металу біляшовної зони.

Заготовки піддають штучному старінню за методикою: деформація розтягом з розрахунку отримання (10±0,5) % залишкового подовження у межах розрахункової довжини, обмеженої кернами або рисками. Рекомендується на поверхні зразків через кожні 10 мм наносити риси для перевірки рівномірності деформації по довжині розрахункової частини.

Після подовження заготовку піддають рівномірному нагріванню протягом 1 год. при температурі 250 °С з наступним охолодженням на повітрі. З робочої частини заготовок відбирають



зразки (рис. 3.13). Вісь надрізу повинна збігатися з віссю симетрії шва. Схему відбору зразків при розташуванні надрізу в інших ділянках зварного з'єднання обумовлюють стандартами або іншою технічною документацією.

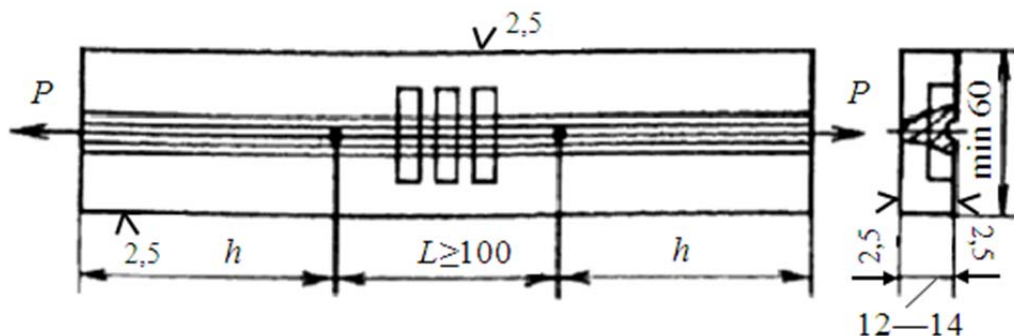


Рис. 3.13. Місце відбору зразків

Дану методику оцінки старіння застосовують для зварних з'єднань зі сталей. Методику старіння для інших металів і сплавів, а також іншу температуру нагрівання або величину деформації для з'єднань зі сталі обумовлюють стандартами або іншою технічною документацією.

#### **3.4.4. Вимір твердості металу різних ділянок зварного з'єднання і наплавленого металу**

Твердість вимірюють у поперечному перерізі зварного з'єднання відповідно до вимог нормативно-технічної документації (приклад схем — рис. 3.14, 3.15).

Твердість вимірюють за Віккерсом ( $HV$ ), Брінеллем ( $HB$ ) і Роквеллом — шкалах  $A$ ,  $B$  і  $C$  ( $HRA$ ,  $HRB$  і  $HRC$ ), віддаючи перевагу вимірюванню за Віккерсом.

Твердість за Віккерсом визначають відповідно до ГОСТ 2999—75 (рис. 3.14). Навантаження на індентор у залежності від міцності металу ділянок зварного з'єднання і ширини зони термічного впливу повинне становити 98 Н ( $HV10$ ) або 49 Н

( $HV50$ ). При наявності у стандартах або іншій технічній документації відповідних вказівок навантаження на індентор можуть змінюватися від 0,04 до 4,9 Н.

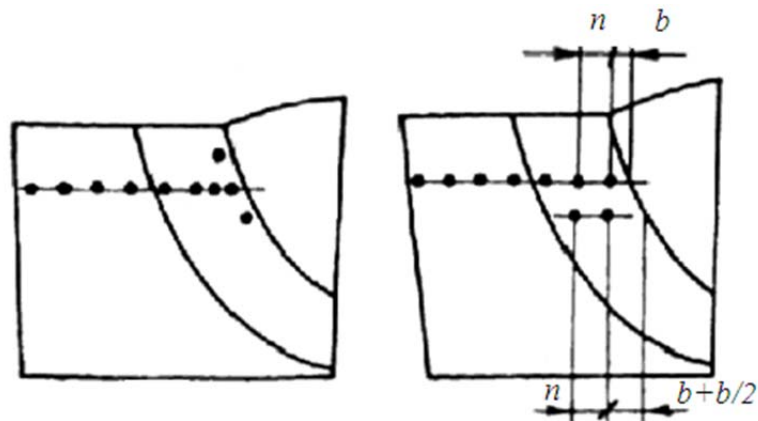


Рис. 3.14. Схема виміру твердості за Віккерсом

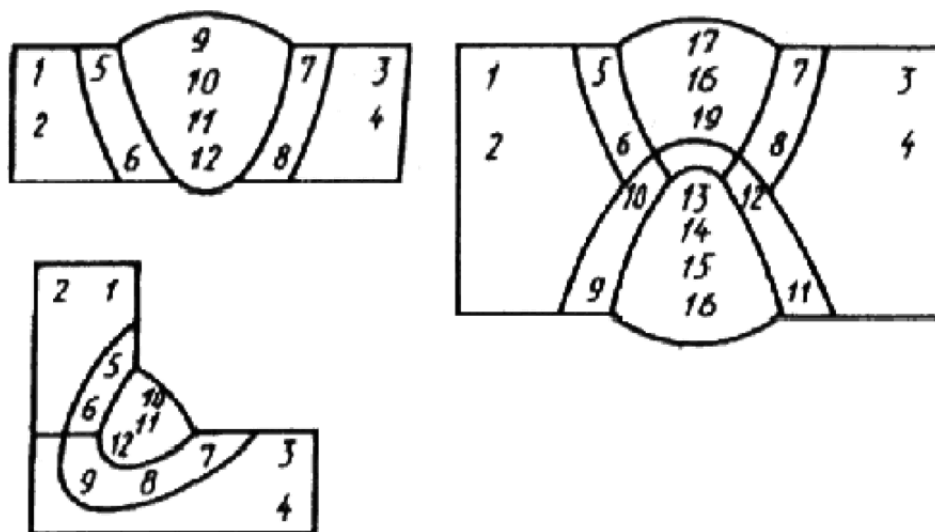


Рис. 3.15. Один з варіантів схем виміру твердості

У дослідженнях, які виконуються у безпосередній близькості від межі сплавлення, рекомендується проводити 2—3 вимірів. Допускається їх проведення на ділянках зварного з'єднання, зазначених на рис. 3.15.

Схему виміру твердості за товщини основного металу або кутового шва більше 60 мм обумовлюють у стандартах або іншій технічній документації.

### 3.4.5. Випробування зварного з'єднання на статичний розтяг

За даним випробуванням визначають міцність найбільш слабкої ділянки стикового або нахлисного з'єднання або міцність металу шва у стиковому з'єднанні.

Випробування проводять, як правило, на зразках, товщина або діаметр яких дорівнюють товщині або діаметру основного металу. При випробуванні зварного з'єднання або листів різної товщини найбільш товстий лист шляхом механічної обробки повинен бути доведений до товщини найбільш тонкого листа.

У якості прикладу на рис. 3.16 зображена форма плоского зразка з вказаними розмірами для випробування стикових з'єднань на статичний розтяг.

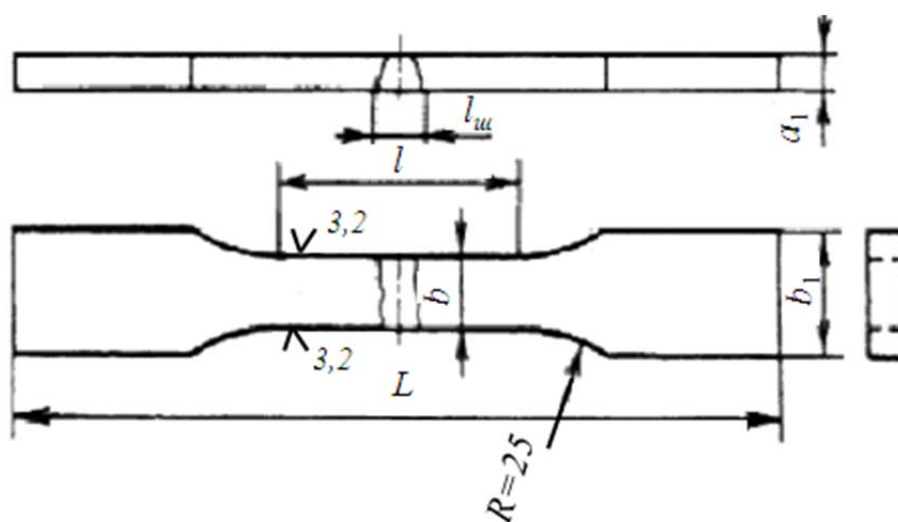


Рис. 3.16. Форма зразка для випробування на статичний розтяг

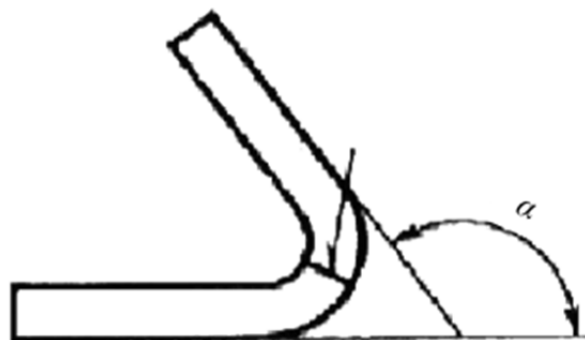
Потовщення шва повинне бути зняте механічним способом до рівня основного металу. При видаленні потовщення дозволяється

знімати основний метал по усій поверхні зразка на глибину до 15 % від товщини металу або діаметра стрижня, але не більше 4 мм. Основний метал з поверхні зразка видаляють тільки з тієї сторони, з якої знімають потовщення шва або є уступ. Стругати потовщення слід поперек шва. Гострі кромки плоских зразків у межах робочої частини повинні бути закруглені радіусом не більше 1 мм шляхом згладжування напилком уздовж кромки. Дозволяється стругати потовщення уздовж шва з наступним видаленням рисок.

Для контролю міцності зварних з'єднань труб застосовують сегментні та циліндричні зразки у вигляді відрізків труб. Сегментні зразки вирізають за діаметра труби більше 20 мм, а циліндричні — до 100 мм.

#### ***3.4.6. Випробування зварного з'єднання на статичний вигин***

Випробування проводять для стикових з'єднань. При випробуванні визначають здатність з'єднання приймати заданий за розміром і формою вигин. Ця здатність характеризується кутом вигину  $\alpha$  (рис. 3.17), при якому у розтягнутій зоні зразка утворюється перша тріщина, що розвивається у процесі випробування.



*Рис. 3.17. Вимір кута загину*

Якщо довжина тріщин, що виникають у процесі випробування у розтягнутій зоні зразка, не перевищує 20 % його ширини,

але не більше 5 мм, то вони не є бракувальною ознакою. Визначають також місце утворення тріщини або руйнування (у металі шва, біляшовній зоні або основного металу).

Залежно від вимог, встановлених відповідною нормативно-технічною документацією, випробування проводять до досягнення нормованого кута вигину або кута вигину, при якому утворюється перша тріщина, що є бракувальною ознакою, до паралельності або зіткнення сторін зразка. Кут вигину при випробуванні до утворення першої тріщини заміряють у ненапруженому стані з похибкою до  $\pm 2^\circ$ .

Обов'язковою умовою проведення випробувань є плавність зростання навантаження на зразок. Випробування проводять зі швидкістю не більше 15 мм/хв. на дослідних машинах або пресах з використанням опорних роликів (рис. 3.18). Діаметр оправки  $D$  може змінюватися в залежності від марки сталі, товщини листів, способу термообробки і повинен обумовлюватися у відповідній нормативно-технічній документації. При відсутності спеціальних вказівок діаметр оправки приймають рівним двом товщинам основного металу.

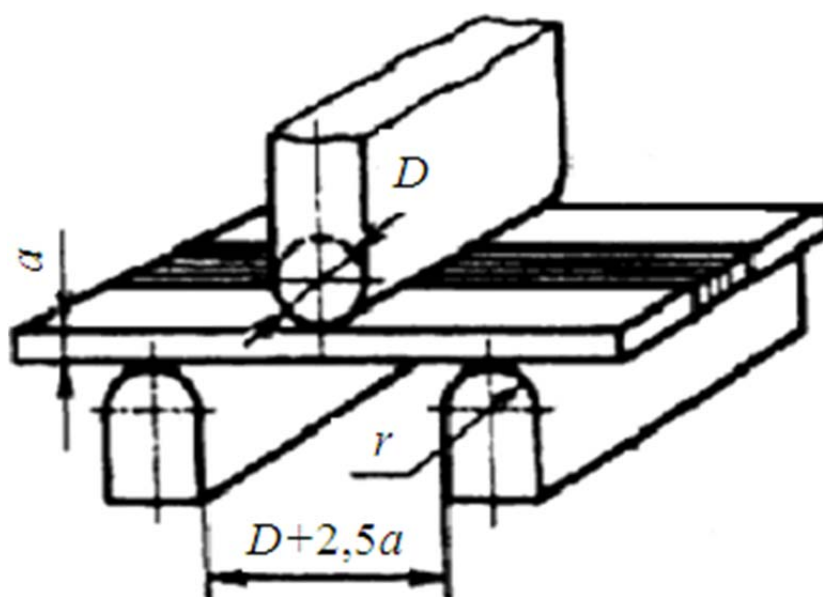


Рис. 3.18. Один з варіантів випробувань на вигин

Якщо заданий кут вигину перевищує  $150^\circ$ , то після вигину за схемою, яка наведена на рис. 3.18, його можна продовжувати між двома паралельними натискними плитами. Між кінцями зразка встановлюють прокладку товщиною  $d$ , яка дорівнює діаметру оправки. Після видалення прокладки випробування проводять до зіткнення сторін.

За діаметра труби, що досліджується, від 20 до 45 мм застосовують зразки у вигляді відрізків труб або плоскі (сегментні) зразки. При діаметрі труби понад 45 мм застосовують плоскі (сегментні) зразки.

Випробування труб діаметром 60 мм і менше з поперечним (коловим) та поздовжнім швами можна проводити на зразках, наведених на рис. 3.19. Потовщення шва із зовнішньої сторони труби механічним шляхом знімають до рівня основного металу.

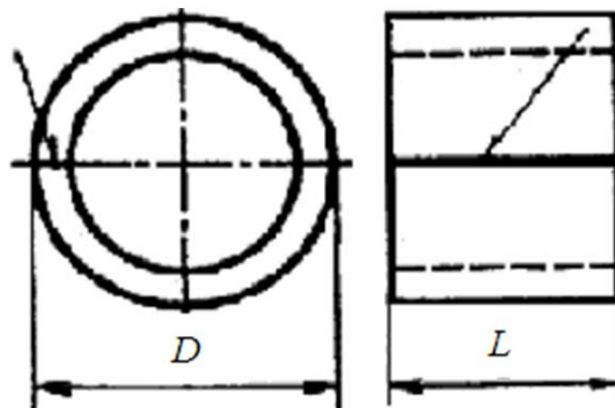
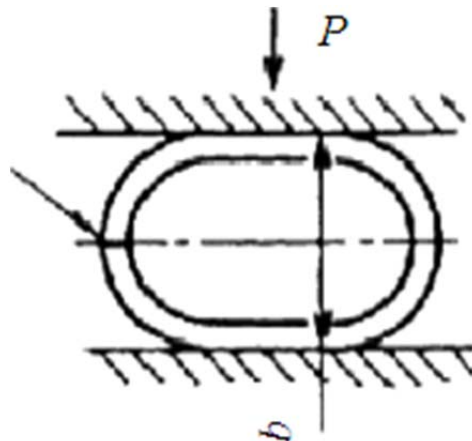


Рис. 3.19. Схема випробування зразка на сплющування

Результати випробування зразків визначають величиною  $b$  (рис. 3.20) до появи на поверхні зразка тріщини. Якщо тріщина не утворюється, то випробування проводять до зіткнення сторін.

Випробування проводять шляхом деформації зразка під пресом стискаючим навантаженням. Обов'язковою умовою проведення випробування є плавність наростання зусилля на зразок.



### Контрольні запитання

1. Назвіть основні види руйнівних механічних випробувань.
2. Які характеристики металу визначаються при статичних випробуваннях?
3. Які існують типи діаграм деформації при розтягу?
4. Які характеристики металу визначають при тривалих статичних випробуваннях?
5. Назвіть існуючі методи випробування на твердість.
6. З якими механічними характеристиками металу корелює твердість?
7. Які характеристики металу визначаються при циклічних випробуваннях?
8. Що таке фізична межа втомленості?
9. Які характеристики металу визначаються при динамічних випробуваннях?
10. Яким чином визначають ударну в'язкість при підвищених і знижених температурах?
11. Яке явище називають холодноламкістю?
12. Як визначають температурний поріг холодноламкістю?
13. Що таке в'язкість руйнування?

14. Яким чином проводять випробування на короткочасну тріщиностійкість?
15. Які умови проведення випробувань зварних з'єднань на статичний вигин і статичний короткочасний розтяг?
16. Як проводять випробування зварних з'єднань на стійкість проти механічного старіння?
17. Приведіть схеми виміру твердості зварних з'єднань різними методами.
18. Як проводять випробування зварних з'єднань на статичний вигин?
19. Назвіть обов'язкову умову проведення випробувань зварних з'єднань на статичний вигин.
20. Охарактеризуйте процес випробування зразка на сплющування.



#### **4. ПЕРСПЕКТИВНІ НАПРЯМКИ РОЗВИТКУ НОВИХ МАТЕРІАЛІВ І ТЕХНОЛОГІЙ, МЕТОДІВ З'ЄДНАННЯ ЗАГОТОВОК, ЇХ КОНТРОЛЮ ТА ДІАГНОСТИКИ**

У теперішній час провідні вчені і фахівці України, ближнього та далекого зарубіжжя впевнені, що у найближчі десятиліття розвиток нанотехнологій стане основою майбутньої промислової революції.

Нанотехнологія дозволяє нам здійснювати маніпуляції з речовиною на рівні точності одного нанометра (одна мільярдна частина метра), що означає можливість керування процесами у атомарному і молекулярному масштабі. На цьому рівні розмірів стираються межі не тільки між звичними основними напрямками науки (фізика, хімія, біологія), але і навіть між їх прикладними або суміжними розділами (матеріалознавство, механіка, електроніка, генетика та нейробіологія).

Аналіз стану областей нанонауки (нанотехнологій, наноматеріалів, наноструктур), які бурхливо розвиваються, дозволяє виділити ряд найважливіших напрямків.

*Молекулярний дизайн.* Препарування наявних молекул і синтез нових молекул у сильно неоднорідних електромагнітних полях.

*Матеріалознавство.* Створення бездефектних високоміцних матеріалів з високою провідністю.

*Приладобудування.* Створення скануючих тунельних мікроскопів, атомно- та магнітно-силових мікроскопів, багатовістрійних систем для молекулярного дизайну, мініатюрних надчутливих датчиків, нанороботів.

*Електроніка.* Конструювання нанометрової елементної бази для ЕОМ наступного покоління, нанопроводів, транзисторів, випрямлячів, дисплеїв, акустичних систем.

*Оптика.* Створення нанолазерів. Синтез багатовістрійних систем з нанолазерами.

*Гетерогенний каталіз.* Розробка каталізаторів з наноструктурами для класів реакцій селективного каталізу.

*Медицина.* Проектування наноінструментарію для знищення вірусів, локального “ремонту” органів, високоточної доставки доз ліків у певні місця живого організму.

*Трибологія.* Визначення зв'язку наноструктури матеріалів і сил тертя та використання цих знань для виготовлення перспективних пар тертя.

*Керовані ядерні реакції.* Наноприскорювачі часток, нестаціонарні ядерні реакції.

Нанотехнології відносять до міждисциплінарних досліджень, а міждисциплінарною наукою є *синергетика*.

#### 4.1. Наноматеріали і нанотехнології

Ідеї наноматеріалів роблять реальним створення нового класу інтелектуальних матеріалів з адаптаційними властивостями, подібними до біосистем.

*Нанонаука*, яка виникла на стику фізики, хімії, біології, кібернетики та синергетики, визначають як сукупність знань про властивості речовини у наномірному масштабі, а *нанотехнологію* — як уміння цілеспрямовано створювати нанооб'єкти із заздалегідь заданими розмірами, формою, структурою та властивостями.

Серед великої кількості різних наноматеріалів привертають до себе увагу різні форми існування вуглецю. Це фулерени, фулерити, вуглецеві нанотрубки, графен.

*Фулерени.* Фулерени, як нова форма існування вуглецю, були відкриті в 1985 р. при спробі астрофізиків пояснити спектри міжзоряного пилу. Виявилося, що атоми вуглецю можуть утворювати високосиметричну молекулу  $C_{60}$ , яка складається з 60 атомів вуглецю, розташованих на сфері з діаметром близько 1 нм (рис. 4.1).

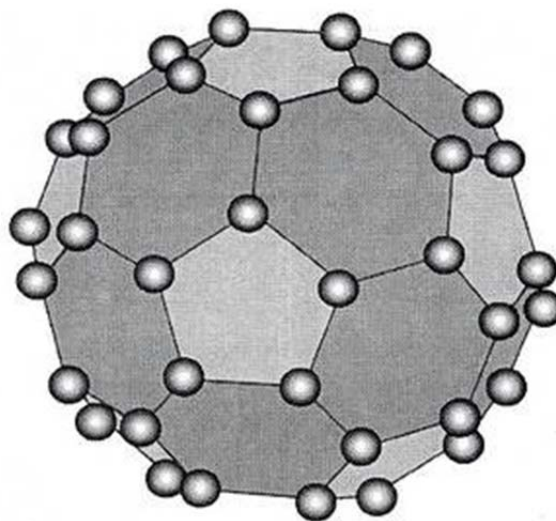


Рис. 4.1. Схема молекули фулерену

Молекула названа на честь архітектора Р. Фуллера, який побудував будинок з п'ятикутників та шестикутників.

Молекули  $C_{60}$  можуть утворювати кристал фулерит з гранецентрованими кубічними ґратами і досить слабкими міжмолекулярними зв'язками. У цих кристалах є порожнини, у яких можуть перебувати сторонні атоми. Фулерити можуть мати надпровідні, феромагнітні та різні інші властивості.

**Вуглецеві нанотрубки.** З вуглецю можна отримати молекули з гігантською кількістю атомів. Така молекула може являти собою одношарову трубку з діаметром близько нанометра і довжиною у кілька десятків мікронів (рис. 4.2, трубка з металевими властивостями).

На поверхні трубки атоми розташовані у вершинах правильних шестикутників. Кінці трубки закриті за допомогою шести правильних п'ятикутників. Комбінації правильних п'яти-, шести- і семикутників дозволяють отримувати різноманітні форми вуглецевих поверхонь у тривимірному просторі (рис. 4.3).

Геометрія цих наноконструкцій визначає їх унікальні фізичні і хімічні властивості а, отже, можливість існування принципово нових унікальних матеріалів і технологій їхнього виробництва.

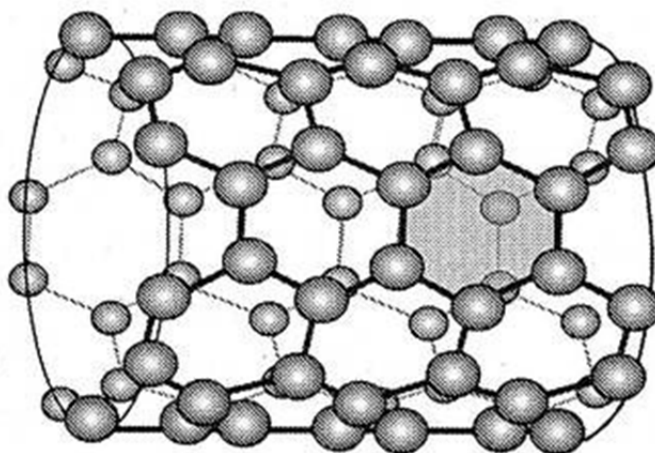


Рис. 4.2. Вуглецева нанотрубка з металевими властивостями

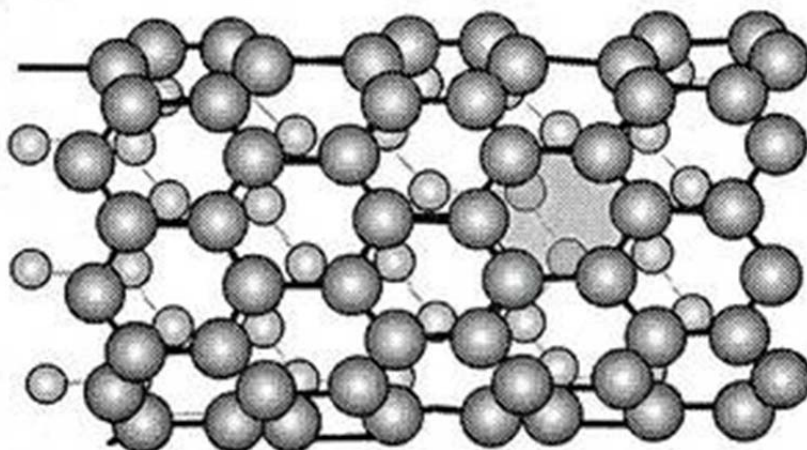


Рис. 4.3. Модифікація нанотрубки

Розглянемо деякі унікальні властивості наноматеріалів.

*Надміцні матеріали.* Зв'язки між атомами вуглецю у графітовому листі є найсильнішими серед відомих. Тому бездефектні вуглецеві трубки на два порядки міцніші сталі і приблизно у чотири рази легші її.

З таких трубок можна виготовляти легкі композиційні матеріали граничної міцності для потреб техніки нового покоління. Це силові елементи мостів, несучі конструкції компактних літальних апаратів, елементи турбін, силові блоки двигунів з гранично малою питомою витратою палива тощо.

*Високопровідні матеріали.* Відомо, що у кристалічному графіті провідність уздовж площини шару найбільш висока серед відомих матеріалів і, навпаки, у напрямку, перпендикулярному листу, мала. Тому електричні кабелі, зроблені з нанотрубок, при кімнатній температурі будуть мати електропровідність на два порядки вище, ніж мідні кабелі.

*Нанокластери.* До безлічі нанооб'єктів відносяться надмалі частки, що складаються з десятків, сотень або тисяч атомів. Властивості кластерів кардинально відрізняються від властивостей макроскопічних об'ємів матеріалу того ж складу. З різних нанокластерів можна цілеспрямовано конструювати нові матеріали із заздалегідь заданими властивостями і використовувати їх у каталітичних реакціях, для поділу газових сумішей і зберігання газів.

*Нанопристрої.* Нанотрубки можуть складати основу для нових конструкцій плоских акустичних систем і дисплеїв, тобто звичайних макроскопічних приладів. З наноматеріалів можуть бути створені певні нанопристрої, наприклад: нанодвигуни, наноманіпулятори, молекулярні насоси та інші конструкції.

*Зварювання для наноматеріалів.* Серйозною перешкодою на шляху широкого впровадження конструкційних матеріалів з наноструктурним станом є відсутність ефективних методів зварювання, що не дозволяє повною мірою реалізувати унікальні властивості наноматеріалів у реальних конструкціях.

У зв'язку з цим актуальним завданням сучасного матеріалознавства є розробка таких технологій створення нероз'ємних з'єднань наноструктурних матеріалів, які зможуть забезпечити збереження у зоні з'єднання вихідної наноструктури.

Центральний науково-дослідний інститут конструкційних матеріалів (ЦНДІ КМ) “Прометей” має великий досвід робіт з вивчення і розробки технологічних процесів інтенсивної пластичної деформації (ПД) та зварювання різних конструкційних металевих матеріалів, а вчені “Прометей” є основоположниками у розроб-

ці наукових основ створення ультрадисперсних фрагментованих структур методами ПД.

В інституті розробляються технології і режими зварювання металевих матеріалів з нанокристалічними структурами, отриманими методами ПД. Створена дослідна дільниця із спеціалізованим устаткуванням для отримання дослідно-промислових партій рівномірних з'єднань, що зберігають наноструктурний стан і відповідні механічні властивості матеріалів, які зварюються.

Отримані результати складуть основу їхнього застосування у судно-, авіа-, автомобіле-, енергомашинобудуванні та у медичній техніці.

Закордонними вченими розроблений оригінальний спосіб нанесення найтоншого (від 10 до 150 нм) гідроксидного покриття титана (заліза, кобальту тощо), що закріплюється шляхом термічної обробки з формуванням нанорозмірної кристалічної структури оксидної оболонки, яка забезпечує можливість регулювати функціональні характеристики кінцевого продукту і відповідно розширювати спектр галузей його застосування.

Використання наноматеріалів у складі компонентів обмазки зварювальних електродів, що включають отримані золь-гель методами нанопродукти — гідро- і ксерогелі оксигідроксидів кремнію, титана, заліза, марганцю та ін., сприяє формуванню електродних покриттів з поліпшеними зварювально-технологічними характеристиками.

Виконані вченими ЦНДІ КМ “Прометей” пошукові дослідження показують можливість застосування наноматеріалів замість рідкого скла.

Важливим етапом роботи є також вивчення фізико-хімічних властивостей синтезованих нанопродуктів (питомої поверхні, заряду поверхні, пористості тощо) і їх впливу на загальні технічні властивості конструкцій, а також розробка методів застосування синтезованих матеріалів.

## 4.2. Методи контролю і дослідження

**Нові суперлінзи.** Вчені з Каліфорнійського університету Берклі створили суперлінзи, які можуть подолати обмежуючий дифракційний діапазон мікроскопів, що працюють на звичайній світловій оптиці.

За допомогою тонкої срібної фольги і ультрафіолетового світла дослідники отримали зображення з роздільною здатністю близько 60 нм матриці нанопровідників із написом слова “NANO”, нанесене на органічному полімері (рис. 4.4), у той час як дифракційна межа роздільної здатності звичайних оптичних мікроскопів — 400 нм.



Рис. 4.4. Зображення, отримане із застосуванням суперлінзи (верхнє)

Завдяки цьому відкриттю дослідження в області нанотехнологій і конструювання наномашин стануть більш легкими, а головне — більш дешевими. Відкриття суперлінз поклало кінець дебатам фізиків та інженерів про те, як можна обійти дифракційний бар'єр.

Досить помітний стрибок у методах мікроскопії був зроблений фізиками, які стали використовувати інфрачервоне, ультрафіолетове і інші невидимі оком випромінювання.

Усі прилади, що використовують невидимі оком випромінювання, складаються з освітлювача, оптичних елементів (лінз,

дзеркал, призм тощо), придатних для використання у даній ділянці спектра, і елементів, що перетворюють невидиме зображення у видиме. Прорив вчених університету Берклі полягає в тому, що вони змогли ввести у конструкцію таких мікроскопів новий елемент — суперлінзу з плівки срібла.

**Перспективні методи контролю.** Останнім часом активізуються роботи з розробки, удосконалення та впровадження різних засобів неруйнівного контролю (НК), що викликано необхідністю виявлення не тільки макродефектів, але і, головним чином, оцінки накопичення мікропошкоджень у металі, визначення фізико-механічних характеристик потенційно небезпечного устаткування, яке експлуатується тривалий час у складних напружених умовах, найчастіше в агресивних середовищах, та їх порівняння з достатнім рівнем вірогідності і надійності без проведення руйнівних випробувань.

Методи НК повинні не тільки виявляти реальні дефекти і неоднорідності у металі, але і оцінювати вплив цих дефектів на поведінку матеріалу або елемента конструкції при експлуатації. Рішення проблеми необхідно шукати у вивченні зв'язку мікроструктури і властивостей матеріалів з різноманітними, взаємодіючими з матеріалами фізичними полями, у застосуванні останніх досягнень в областях мікроелектроніки та матеріалознавства.

У найближчі роки очікується розробка і удосконалення засобів НК у трьох основних напрямках:

- розширення функціональних можливостей приладів;
- розробка комплексів НК із застосуванням робототехнічних засобів та систем дистанційного контролю;
- розробка приладів НК на основі нових фізичних принципів.

Найбільш перспективним є останній напрямок. Створення приладів на основі нових фізичних принципів, використання останніх досягнень електронної техніки, у першу чергу мікропроцесорів і інтегральних схем, дозволить різко підвищити технічний рівень засобів НК, ступінь вірогідності контролю та вияв-



лення дефектів. Розглянемо деякі перспективні методи НК, які вже знаходять застосування у промисловості.

*Теплові методи.* Основний принцип теплового методу полягає у тому, що випробовуваний зразок нагрівають і певним способом оцінюють розподіл температур на його поверхні.

Розвиток одержав активний контроль, де вивчається випромінювальна здатність поверхні виробів різних матеріалів. Поверхня нагрівається джерелом тепла, що забезпечує рівномірний розподіл температур на досліджуваній площі. Як правило, застосовують випромінювачі з галогенними і імпульсними ксеноновими лампами. Використовують лазерні і електромагнітні джерела тепла. Експериментально встановлено, що різні дефекти, розміри яких в 1,5—2 рази більше глибини залягання, виявляються при активному тепловому контролі.

Розвиваються і теоретичні дослідження. У теперішній час використовуються рішення прямих завдань, які полягають у дослідженні процесу нагрівання об'єкта контролю і спотворень у розподілі температур при наявності дефекту.

Практично не вивчені питання теплової товщино- та дефектометрії.

Одним з перспективних методів теплового контролю є вібротепловізійний.

Сутність методу полягає у вивченні теплових полів виробів і матеріалів, що виникають при впливі на них вібрацій. Даний метод ефективний при контролі композитів. Метод дозволяє виявити тріщини у металевих листах, їх ріст у часі при додаванні періодичних навантажень.

Найважливішими напрямками розвитку теплових методів є наступні:

- створення різних математичних моделей об'єктів контролю з різними типами дефектів, що дозволяють більш точно кількісно оцінювати очікуваний температурний контраст;

- порівняльний аналіз можливостей теплового контролю і інших методів;
- розробка методів і засобів аналізу теплових зображень;
- розробка методів і засобів визначення розмірів і глибини залягання дефектів;
- теоретичні і експериментальні дослідження вібротепловізійних методів контролю;
- розвиток методів і засобів теплової дефектометрії.

Тепловізори знаходять усе більше застосування у техніці. Деякі останні розробки дозволяють фіксувати зміну температури до 0,001 °С, що відповідає зміні напруження у 1 Н/мм<sup>2</sup>.

Тепловізор серії 600 (США) забезпечує обробку теплового зображення у реальному масштабі часу, дозволяє отримувати кількісні значення температур у будь-якій точці зображення, оцінювати середні температури за площею, здійснює автоматичну корекцію фону і випромінювальної здатності поверхні об'єкта.

Тепловими методами оцінюють ступінь розвитку корозійних ушкоджень у теплотрасах великих промислових міст, визначають витoki тепла у будинках, здійснюють контроль розташування арматури у залізобетонних конструкціях. У електротехніці перевіряють статори турбогенераторів, лінії електропередач, потужні трансформатори, теплообмінники та інше відповідальне устаткування.

У останні роки у дефектоскопії усе більш широке поширення отримують інфрачервоні (термографічні) методи, що мають певні переваги:

- можливість безконтактної дефектоскопії і розміщення джерела збудження та детектора з однієї сторони досліджуваного об'єкта;
- можливість контролю високотемпературних і важкодоступних об'єктів, а також об'єктів нестандартної форми;
- відсутність необхідності використання громіздкої апаратури і спеціальних захисних пристосувань для забезпе-

чення безпеки персоналу, що характерно для рентгенівського та радіографічного контролю;

- можливість контролю великих об'єктів у малий часовий проміжок.

Розроблена в останні роки методологія дозволяє проводити унікальні дослідження, зокрема визначення розташування і орієнтації волокон у армованих матеріалах.

Існує два основних методи інфрачервоної дефектоскопії:

- детектування інфрачервоного випромінювання високо-температурних об'єктів і на основі отриманих термограм виділення дефектних ділянок;
- термічне збудження досліджуваного об'єкта і виділення порушень поширення у ньому теплової енергії, обумовлених наявністю підповерхневих дефектів.

Другий метод у певному сенсі подібний ультразвуковому ехо-імпульсному методу, причому спотворення поширення сигналу із затримкою, що обумовлено наявністю дефекту, може розглядатися як відбиття дефектом термічної хвилі.

Найбільш важлива відмінність термографічного методу від ультразвукового полягає у тому, що поширення термічної хвилі описується не хвильовим рівнянням, а рівнянням дифузії, і, як наслідок цього, термографічна апаратура виявляється порівняно нечутливою до підповерхневих дефектів, діаметр яких значно менший глибини їхнього залягання.

Номенклатура засобів інфрачервоної дефектоскопії дуже широка та варіюється від досить простих переносних камер до складних промислових і лабораторних установок.

*Рентгенівські методи.* Велика робота ведеться по створенню приладів перспективного напрямку рентгенівської дефектоскопії — імпульсно-рентгенівської апаратури. Такі апарати відрізняє висока просвітчаста здатність, можливість як спрямованого, так і панорамного просвічування, простота експлуатації, невеликі габаритні розміри та маса, відсутність примусового охолодження

рентгенівської трубки. Апарати можуть використовуватися для контролю виробів з металів і пластмас, магістральних нафтогазопроводів, теплотрас, а також якості зварювання у польових умовах і на монтажних площадках.

Найбільш економічною є дефектоскопія без застосування рентгенівської плівки. До цієї групи приладів можна віднести електрорадіографічні комплекси і рентгенотелевізійну апаратуру. Існує досить багато різних моделей рентгенотелевізійних інтроскопів. Найбільш широко інтроскопи можуть застосовуватися як на окремих ділянках, так і у складі комплексних автоматизованих ліній на підприємствах різних галузей промисловості.

Новим напрямком рентгенівської дефектоскопії є рентгенівська томографія. Інформаційні можливості цього методу надзвичайно великі.

Рентгенівська томографія — єдиний метод детального дослідження структури складних багатошарових конструкцій і композиційних матеріалів з виявленням та оцінкою локальних дефектів і малих відхилень геометрії внутрішньої структури.

Сучасні томографи характеризуються рядом особливостей: зворотним проектуванням з фільтрацією подвійним диференціюванням; можливістю сканування і реконструкції детальної структури локальних зон контрольованого виробу; високою чутливістю до локальних дефектів; високою просторовою роздільною здатністю і геометричною чутливістю контролю; високою енергією рентгенівського випромінювання та ін.

*Магнітні методи.* Інтерес представляють розробки в області магнітних методів контролю. Поряд з удосконаленням магнітних дефектоскопів, що дозволяють здійснювати контроль суцільності, товщиномірів, за допомогою яких визначаються геометричні розміри, розвивається напрямок з оцінки мікроструктури і фізико-механічних властивостей різних матеріалів.

Російськими вченими розроблено новий метод, названий методом магнітної пам'яті металу (ММП). Основні переваги ММП у порівнянні з відомими методами наступні:

- не потрібне застосування спеціальних пристроїв, що намагнічують, оскільки використовується явище намагнічування вузлів устаткування у процесі їхньої експлуатації;
- місця концентрації напружень заздалегідь не відомі і визначаються у процесі контролю;
- не потрібне зачищення металу та інша будь-яка підготовка контрольованої поверхні;
- для виконання контролю використовуються прилади, які мають малі габарити, автономне живлення та пристрої, що реєструють.

Даний метод заснований на вимірі поля залишкової намагніченості на поверхні контрольованого устаткування і дозволяє проводити оцінку його напружено-деформованого стану з урахуванням мікроструктурних змін. При контролі використовується ефект магнітної пам'яті металу до зон дії максимальних робочих навантажень. ММП не дає кількісної оцінки рівня діючих напружень, однак він дозволяє відрізнити області пружної деформації від пластичної та виявляти зони зародження втомлювальних тріщин.

Одним з найпоширеніших методів неруйнівного контролю є метод вихрових струмів. Основні його переваги — висока швидкість виміру, що дозволяє одержувати результат практично за частки секунди, висока чутливість, добра повторюваність, низька вартість аналізу.

Одна з особливостей цього методу полягає у тому, що на сигнали перетворювача не впливають вологість, тиск і забруднення газового середовища, радіоактивні випромінювання, забруднення поверхні об'єкта контролю непровідними речовинами.

Дефекти, що виявляються за допомогою даного методу, являють собою несущальності, які виходять на поверхню або заля-

гають на невеликій глибині, різноманітні тріщини, розшарування, закати, плівки, раковини, неметалеві включення тощо.

Вихрострумова дефектоскопія є унікальним методом перевірки якості металів, призначених для використання у важких умовах роботи: у високотемпературних середовищах і середовищах високого тиску, суднобудуванні, аерокосмічній техніці, ядерній енергетиці тощо.

Більші перспективи відкриває застосування у вихрострумових системах комп'ютерної техніки, що забезпечує як автоматичне керування всім циклом виміру, так і інтерпретацію отриманих результатів.

У системі, розробленою фірмою Oak Ridge (США), значною мірою реалізовані ці можливості. Система контролю зварних швів металевих кожухів надпровідних магнітів, яка призначена для цехових умов, проводить аналіз одночасно на трьох частотах, що дозволяє відразу визначати положення і розміри дефектів, а також робити відбудовування від “зазорів”.

Однієї з найбільш складних проблем є первісна обробка сигналів, отриманих при вихрострумовому контролі, з метою виділення із загальної маси годографів інформаційно наповнених, тобто таких, які містять інформацію про будь-які дефекти на відміну від сигналів від нормальних неушкоджених частин контрольованого об'єкта. Наприклад, при контролі парогенераторів атомних електростанцій необхідно, як правило, переглянути 142 тис. годографів, щоб виділити з них 3 тис., які потребують аналізу. Сортування даних вручну — дуже трудомістка операція, що породжує велику кількість помилок.

У центрі по дослідженню проблем НК фірми Westinghouse Elektrik (США) була розроблена методика автоматичного сортування сигналів. Усі сигнали поділяють на три класи:

- очікувані нормальні сигнали, які мають ідентичну форму і однакову частоту появи, джерело — стінки труб або опорна плита;

- спотворені очікувані сигнали, тобто нормальні сигнали, форма яких спотворена накладенням сигналів від дефектів або деформованих стінок;
- несподівані сигнали, джерелами яких є дефекти у стінках труб і інших конструктивних елементів.

Розбивка сигналів на класи здійснюється автоматично на основі шаблонів. Аналіз сигналів проводять за спеціальними комп'ютерними програмами.

Перспективними є наступні шляхи удосконалення вихрострумкових методів контролю:

1. Модернізація форми котушки індуктивності. Кінцевою метою є створення еластичних обмоток індуктивності, що легко змінюють свою форму, які являють собою багатожильні провідники, встановлені у листи або трубчасті конструкції з гумоподібних матеріалів.
2. Модернізація детектора. У ідеальному випадку серія датчиків буде повністю покривати досліджуваний об'єкт усередині котушки або навіть площу, що значно перевищує її розміри. Це дозволить отримувати інформацію з усієї зони, підданої електромагнітному впливу. Послідовне зчитування датчиків створить можливість багатоканального аналізу даних і їхню індикацію у будь-якій формі, включаючи дво- і тривимірне зображення на екрані.
3. Збільшення проникаючої здатності. Більшість вихрострумкових систем може використовуватися лише для контролю поверхневих і підповерхневих дефектів. Товщина аналізованого шару — величина обернено пропорційна кореню квадратному з робочої частоти, питомої провідності і магнітної проникності матеріалу, тому основними способами її збільшення є зниження робочої частоти і спеціальна обробка матеріалів для зменшення її магнітної проникності. Застосування спеціальних детекторів дозво-

ляє довести робочу частоту до 1 Гц і тим самим підвищити проникаючу здатність у 100 разів.

4. Створення мікрохвильових електромагнітних систем контролю. Високочастотні електромагнітні коливання поширюються у просторі подібно світловому променю і при потраплянні на метал відбиваються від нього, повертаючись у вигляді ехо-сигналу. Відбиття мікрохвильового променя обумовлене виникненням вихрових струмів у поверхневих шарах. Теорія поширення мікрохвиль у металевих структурах, їхнє відбиття і переломлення на межах дефектів і шарів діелектрика відкриває широкі перспективи їхнього використання для НК. Ці системи багато у чому схожі на ультразвукові ехо-імпульсні прилади.

*Електромагнітні методи.* Перспективними є електромагнітні прилади контролю фізико-механічних властивостей матеріалів (структуроскопи), які дозволяють оцінювати ступінь хімічної чистоти електропровідних матеріалів, сортувати напівфабрикати і вироби за марками матеріалу, твердістю, міцністю та ін. Структуроскопами можна виявляти неоднорідні зони за структурою, оцінювати глибину і якість механічної, термічної та хіміко-термічної обробки, виявляти втомлювальні зони, контролювати якість поверхневих шарів і вирішувати багато інших завдань НК.

Певний інтерес представляє новий резисторний метод дефектоскопії. При контролі використовують чотири електричних контакти, розташованих в один ряд. Постійний струм подається від двох зовнішніх електродів. Виведення результатів на дисплей здійснюється в мкОм·см. Цей метод існує давно, але через відсутність високоточної апаратури не одержав широкого поширення.

Фірма AT&T (Великобританія) розробила необхідну апаратуру для контролю резисторним методом. При випробуванні даним методом можливості контролю і робочі характеристики визначаються конфігурацією датчика. Оператор може встановити найбільш ефективну глибину проникнення струму і, таким чи-



ном, здійснювати дослідження або поверхневого, або внутрішніх шарів матеріалів, що перевіряються. Отримані результати є абсолютними і тому передаються на подальшу обробку в обчислювальні системи, що дозволяє автоматизувати реєстрацію даних і керування процесом.

Цей метод можна використовувати для визначення товщини науглецевого шару, посилення зварного шва, наявності тріщин. Метод є зручним для контролю однорідних виробів, що випускаються великими серіями, і застосовується для контролю виробів складної геометричної форми, де неможливо використовувати інші засоби.

За допомогою резисторного методу можна оцінювати якість зварного шва і здійснювати управління зварювальними роботами. При сплавленні елементів, що стикуються, у місці зварювання індукується електричний струм. У міру нарощування зварного шва у місці зварювання проводять виміри. За вимірами величини напружень можна судити про площу зварного шва, що є непрямим показником міри його міцності. Це дозволяє з достатньою точністю визначити розміри наплавленого металу, оскільки існує залежність між співвідношенням напружень, вимірюваних на зварному шві та у зоні поза ним.

Розроблені пристрої перетворюють вимірювані напруження у питомий електроопір. Встановивши певні залежності між міцністю зварного шва, його розмірами і питомим електроопором, можна розробити певні показники, що дозволяють використовувати резисторний дефектоскоп безпосередньо у технологічній зварювальній лінії. У теперішній час існує бібліотека каліброваних кривих для окремих областей застосування, у результаті чого резисторний метод може знайти широке поширення.

*Акустичні методи.* Акустичні засоби НК у порівнянні з іншими мають ряд переваг: універсальність, технологічність, низьку вартість і безпеку експлуатації. Крім того, вони забезпечують контроль виробів широкої номенклатури, великий діапазон пара-

метрів, що перевіряються, і високу точність. Все це сприяло тому, що у теперішній час акустична апаратура становить більше 50 % всіх засобів НК, що випускаються.

Крім розробки і удосконалювання УЗ-дефектоскопів, твердомірів, товщиномірів, розвивається напрямок з лазерного генерування ультразвукових хвиль, який має наступні переваги: не потрібно контакту датчика з досліджуваною поверхнею, немає необхідності занурення виробу у контактне середовище.

Новий спосіб генерування поверхневих акустичних хвиль великих амплітуд при обмеженому нагріванні дільниці поверхні, що опромінюється лазером, був розроблений Інститутом досліджень промислових матеріалів (США).

Опромінення поверхні крізь систему конічних і сферичних лінз створює на досліджуваній поверхні візерунок, що забезпечує теплову рециркуляцію. Генеруємі конвергуючі поверхневі акустичні хвилі детектуються інтерферометричним датчиком у центрі візерунка, де поверхневі акустичні хвилі, що зійшлись, дають імпульс з великою амплітудою. Даний метод з лазерним збудженням, завдяки доброму фокусуванню, низькій поверхневій температурі дільниці, яка освітлена лазером, та відсутності контактної рідини, є дуже зручним для виявлення невеликих поверхневих і підповерхневих дефектів. Можливе також визначення характеру розшарувань у металопоксидних матеріалах та ін.

Перспективним напрямком є розробка безконтактних акустичних засобів контролю феромагнітних матеріалів, заснованих на електромагнітно-акустичному методі. Такі засоби призначені в основному для виявлення дефектів типу розшарувань, пухирів, тріщин, неметалевих включень та ін. у металевих листах, штабах, внутрішніх нахлещних швах багат шарових обичайок.

Подальший розвиток цих засобів — створення високошвидкісних установок для контролю металопрокату. В області технічної діагностики такі прилади необхідні для контролю підземних магістральних трубопроводів, теплотрас і інших об'єктів. Запускаючи

саморушні прилади всередину об'єктів, можна проводити безконтактний контроль стану основного металу і зварних з'єднань.

Широким фронтом розвиваються засоби акустичної структурометрії та структуроскопії (система "Астрон").

Великий інтерес представляють акустико-емісійні (АЕ) прилади нового покоління. Загальний аналіз наявних у теперішній час розробок в області АЕ показав, що в Англії, Японії, США, Німеччині та інших країнах є системи, які працюють у реальному масштабі часу і визначають координати дефектів. Такі системи також виявляють приховані дефекти типу раковин, непроварів і оцінюють залишковий ресурс конструкцій.

### Контрольні запитання

1. Назвіть найважливіші напрямки розвитку нанонауки.
2. Що називають фулеренами?
3. Охарактеризуйте вуглецеві нанотрубки.
4. Охарактеризуйте унікальні властивості наноматеріалів.
5. В чому полягає суть питання впровадження конструкційних матеріалів з наноструктурним станом?
6. Назвіть основні переваги нових суперлінз для світлових мікроскопів.
7. Назвіть основні напрямки розвитку засобів НК.
8. З якою метою використовуються тепловізори?
9. Назвіть основні напрямки розвитку теплового контролю.
10. Що таке інфрачервоні методи контролю?
11. Що називається рентгенівською томографією?
12. Назвіть переваги методу магнітної пам'яті металу.
13. Охарактеризуйте перспективи використання вихрострумової дефектоскопії.
14. В чому полягає резисторний метод дефектоскопії?
15. Охарактеризуйте перспективні напрямки акустичних засобів НК.

## **5. ВИМОГИ БЕЗПЕКИ ПРИ ЕЛЕКТРО- І ГАЗО-ЗВАРЮВАЛЬНИХ РОБОТАХ**

### **5.1. Загальні вимоги і область застосування**

Правила з охорони праці при електро- і газозварювальних роботах поширюються на працівників і роботодавців, пов'язаних з виконанням і забезпеченням електро- і газозварювальних робіт та контролем їхньої якості в організаціях, незалежно від їх організаційно-правових форм і форм власності, а також на фізичних осіб, що займаються зазначеними видами робіт у порядку підприємницької діяльності без утворення юридичної особи.

Дані правила діють на усій території України і повинні враховуватися при будівництві нових, реконструкції та технічному переозброєнні діючих організацій, цехів, виробництв, розробці і експлуатації устаткування, розробці і застосуванні технологічних процесів контролю та виготовлення зварних конструкцій.

Організація і контроль виконання вимог правил покладається на роботодавця.

Правила поширюються на стаціонарні переносні та пересувні електро- і газозварювальні установки, які використовуються у закритих приміщеннях або на відкритому повітрі та призначені для виконання технологічних процесів зварювання, наплавлення, різання (розділового і поверхневого) плавленням та зварювання із застосуванням тиску, а саме:

- дугове і плазмове зварювання, наплавлення, різання;
- атомно-водневе зварювання;
- електронно-променеве зварювання;
- лазерне зварювання і різання (зварювання і різання світловим променем);
- електрошлакове зварювання;
- зварювання контактним розігрівом;

- контактне або дифузійне зварювання, дугоконтактне зварювання;
- газове зварювання;
- різання металів.

На основі даних правил в організації з урахуванням конкретних умов у встановленому порядку розробляються або приводяться у відповідність з ними інструкції з охорони праці, технологічні і експлуатаційні документи на відповідні процеси (роботи) з контролю якості та виготовлення зварних конструкцій.

Розглянемо небезпечні і шкідливі виробничі фактори для електродугових і газових способів зварювання, наплавлення і різання металів та контролю їх якості.

Процеси зварювання, наплавлення і різання металів є джерелами утворення небезпечних і шкідливих факторів, здатних впливати на працівників (персонал).

До небезпечних і шкідливих виробничих факторів відносяться:

- тверді і газоподібні токсичні речовини у складі зварювального аерозолю;
- інтенсивне випромінювання зварювальної дуги в оптичному діапазоні (ультрафіолетове, видиме, інфрачервоне);
- інтенсивне теплове (інфрачервоне) випромінювання виробів, що зварюються, і зварювальної ванни;
- іскри, бризки і викиди розплавленого металу та шлаків;
- електромагнітні поля,
- ультразвук, шум, статичне навантаження тощо.

Кількість і склад зварювальних аерозолів і аерозолів припою залежить від хімічного складу зварювальних матеріалів і металів, що зварюються, способів і режимів зварювання, наплавлення, різання та пайки металів. У зону дихання зварників і фахівців неруйнівного контролю можуть надходити зварювальні аерозолі, що містять у своєму складі різні метали (залізо, марганець, кремній, хром, нікель, мідь, титан, алюміній, вольфрам та ін.), їх окисні та інші сполуки, а також газоподібні токсичні речовини (фто-

ристий водень, тетрафторид кремнію, озон, окис вуглецю, окисли азоту та ін.). Вплив на організм твердих і газоподібних токсичних речовин у складі зварювальних аерозолів може являтися причиною хронічних і професійних захворювань.

Інтенсивність випромінювання зварювальної дуги в оптичному діапазоні і його спектральний склад залежать від потужності дуги, застосовуваних зварювальних матеріалів, захисних і плазмоутворюючих газів та ін. При відсутності захисту у персоналу можливе ураження органів зору (електрофтальмія, катаракта тощо) і шкірних покривів (еритеми, опіки та ін.).

Інтенсивність інфрачервоного (теплого) випромінювання виробів, що зварюються, і зварювальної ванни залежить від температури попереднього підігріву виробів, їх габаритів і конструкцій, а також від температури та розмірів зварювальної ванни. При відсутності засобів індивідуального захисту персоналу вплив теплового випромінювання може призводити до порушень терморегуляції аж до теплового удару. Контакт з нагрітим металом може викликати опіки.

Іскри, бризки і викиди розплавленого металу та шлаків можуть стати причиною опіків.

Напруженість електромагнітних полів залежить від типу зварної конструкції і потужності зварювального устаткування, а також від конфігурації виробів, що зварюються. Характер їх впливу на організм визначається інтенсивністю і тривалістю впливу.

Джерелом ультразвуку можуть бути плазмотрони, ультразвукові дефектоскопи, генератори тощо. Дія ультразвуку залежить від його спектральної характеристики, інтенсивності і тривалості впливу.

Джерелами шуму є пневмоприводи, вентилятори, плазмотрони, джерела живлення та ін. Вплив шуму на організм залежить від спектральної характеристики і рівня звукового тиску.

Джерелом локальної вібрації у працівників лабораторій неруйнівного контролю (ЛНК) складально-зварювальних цехів є

ручні пневматичні інструменти, які використовуються для зачищення швів після зварювання.

Статичне навантаження на верхні кінцівки при ручних і напівавтоматичних методах зварювання, наплавлення і різання металів залежить від маси і форми електродотримачів, пальників, різаків, гнучкості і маси шлангів, дротів, тривалості безперервної роботи персоналу ЛНК та ін. У результаті перенапруги можуть виникати захворювання нервово-м'язового апарату плечового пояса.

При виборі технологічних процесів зварювання, різання та контролю їх якості перевага повинна віддаватися тим, які характеризуються найменшим утворенням небезпечних виробничих факторів і мінімальним вмістом шкідливих речовин у повітрі робочої зони. При неможливості застосування безпечного і нешкідливого технологічного процесу необхідно застосовувати заходи щодо зниження рівнів небезпечних і шкідливих факторів до гранично допустимих значень.

Вміст шкідливих речовин у повітрі робочої зони на робочих місцях повинен відповідати вимогам, зазначеним у ГОСТ 12.1.005—88.

За ступенем впливу на організм людини шкідливі речовини, відповідно до класифікації ГОСТ 12.1.007—76, розділені на чотири класи безпеки:

- 1 — надзвичайно небезпечні;
- 2 — високо небезпечні;
- 3 — помірно небезпечні;
- 4 — мало небезпечні.

Допустима щільність потоку енергії електромагнітного випромінювання оптичного діапазону (ультрафіолетового, видимого, інфрачервоного) на робочих місцях повинна відповідати вимогам, встановленим відповідними нормативними правовими актами.

Допустимі рівні звукового тиску і еквівалентні рівні широкосмугового шуму на робочому місці повинні відповідати вимогам ГОСТ 12.1.003—83. Для тонального і імпульсного шуму до-

пустими еквівалентні рівні зменшуються на 5 дБ. При експлуатації установок кондиціонування, вентиляції і повітряного опалення зварювальних постів допустимі еквівалентні рівні також зменшуються на 5 дБ.

Для оцінки впливу різних рівнів звуку при різній їх тривалості застосовується показник еквівалентного рівня звуку. При рівнях звуку вище допустимих на 5 дБ працівники і персонал ЛНК повинні бути забезпечені засобами індивідуального захисту. Для змінного у часі та переривчастого шуму максимальний рівень звуку не повинен перевищувати 110 дБА, а для імпульсного шуму — 125 дБА.

Допустимі рівні ультразвуку на робочому місці оператора ЛНК і у зварювальних цехах протягом восьмигодинного робочого дня повинні відповідати вимогам ГОСТ 12.1.001—89 (табл. 5.1).

*Таблиця 5.1. Гранично допустимі рівні контактного ультразвуку для працюючих у складально-зварювальних цехах*

Середньгеометричні частоти октавних смуг, кГц	Пікові значення віброшвидкості, м/с	Рівень віброприскорення, дБ
16—63	$5 \cdot 10^{-3}$	100
125—500	$8,9 \cdot 10^{-3}$	105
$1 \cdot 10^3$ — $31,5 \cdot 10^3$	$1,6 \cdot 10^{-3}$	110

Допустимі рівні виробничої локальної вібрації від допоміжного устаткування повинні відповідати вимогам, зазначеним у ДСТУ ГОСТ 12.1.012:2008 (табл. 5.2).

За неможливості зниження рівнів небезпечних і шкідливих факторів до гранично допустимих значень за умовами контрольних і зварювальних технологій, забороняється виконувати зварювання, наплавлення і різання металів без оснащення персоналу відповідними засобами колективного і індивідуального захисту, що забезпечують його безпеку.



Таблиця 5.2. Гранично допустимі значення виробничої локальної вібрації

Середньгеометричні частоти октавних смуг, Гц	Гранично допустимі значення			
	віброприскорення		віброшвидкості	
	м/с <sup>2</sup>	дБ	м/с·10 <sup>-2</sup>	дБ
8	1,4	123	2,8	115
16	1,4	123	1,4	109
31,5	2,8	129	1,4	109
63	5,6	135	1,4	109
125	11	141	1,4	109
250	22	147	1,4	109
500	45	152	1,4	109
1000	89	159	1,4	109
Кореговані і еквівалентні кореговані значення та їх рівні	2	126	2	112

*Примітка.* Робота в умовах впливу вібрації з рівнями, що перевищують санітарні норми більш ніж на 12 дБ (у 4 рази) за інтегральною оцінкою або у будь-якій октавній смузі, не допускається.

## 5.2. Вимоги безпеки при ручному дуговому зварюванні і контролі його якості

Персонал може допускатися до роботи з електрозварювання і контролю його якості за умови, якщо устаткування, засоби індивідуального захисту та запобіжні пристосування відповідають прийнятій в установленому порядку технології і санітарно-гігієнічним умовам праці.

Ручне дугове зварювання і контроль його якості необхідно здійснювати, по можливості, на стаціонарних постах, обладнаних пристроями місцевої витяжної вентиляції.

При неможливості виконання зварювальних робіт на стаціонарних постах для локального видалення пилу і газоподібних компонентів аерозолі від зварювальної дуги необхідно використовувати місцеві відсмоктувачі.

Робочі місця персоналу, розташовані вище 1,3 м від рівня землі або суцільного перекриття, повинні бути обладнані огороженнями висотою не менше 1,1 м, які складаються з поручня, одного проміжного елемента і бортової дошки шириною не менше 0,15 м. Одночасна робота персоналу ЛНК на різних висотах по одній вертикалі можлива при наявності захисту персоналу, що працює на нижніх ярусах, від бризок металу, випадкового попадання недогарків та інших предметів.

Місця виконання електро- і газозварювальних робіт на даному, а також нижчерозташованих ярусах (при відсутності вогнетривкого захисного настилу) повинні бути звільнені від горючих матеріалів у радіусі не менше 5 м, а від вибухонебезпечних матеріалів і устаткування (газогенераторів, газових балонів) — не менше 10 м.

Кабелі (дроти) електрозварювальних машин повинні розташовуватися від трубопроводів кисню на відстані не менше 0,5 м, а від трубопроводів ацетилену та інших горючих газів — не менше 1 м.

Зварювальні роботи і контроль їх якості персоналом ЛНК у колодязях, шурфах, замкнутих і важкодоступних просторах виконуються тільки при спеціальному дозволі роботодавця, що видає наряд-допуск на проведення робіт підвищеної небезпеки.

Посудини і трубопроводи, що перебувають під тиском, зварювати забороняється. Виконувати зварювання, різання і нагрівання відкритим полум'ям апаратів, посудин і трубопроводів, де знаходяться під тиском будь-які рідини або гази, а також заповнених горючими або шкідливими речовинами, не допускається без узгодження з експлуатуючою організацією заходів щодо забезпечення безпеки і наряду-допуску.

При здійсненні вентилявання всередині виробів за рахунок загальної витяжної вентиляції обсяги повітря, що видаляється, повинні визначатися розрахунком, виходячи з кількості одночасно працюючих зварників і операторів ЛНК та зварювального ма-

теріалу, що витрачається ними. При зварюванні і контролі його якості усередині виробів, розміщених у приміщенні, швидкість руху повітря на робочому місці повинна становити 0,7—2,0 м/с. Температура повітря, що подається вентиляційними установками, не повинна бути нижчою 20 °С. Повітря, що видаляється витяжними установками при зварюванні всередині виробів, необхідно з приміщення відводити назовні.

Викид забрудненого повітря у приміщення, у вигляді виключення, можна допустити від переносних витяжних установок. Для цього випадку при розрахунку загальної вентиляції необхідно враховувати кількість шкідливих речовин, що викидаються у приміщення. При неможливості здійснення місцевої витяжки або загального вентилявання всередині виробів треба передбачати примусову подачу під маску зварника або персоналу ЛНК чистого повітря у кількості 6—8 м<sup>3</sup>/год., у холодний період року — підігрітого до температури не нижче 18 °С.

Необхідно також передбачати наявність пристрою для перекриття газу на пристосуваннях для піддуву захисного газу.

Вибір електродів для серійного використання і виробництва зварних конструкцій необхідно здійснювати на підставі гігієнічних сертифікатів.

### **5.3. Вимоги безпеки до процесів зварювання у захисних газах та їхніх сумішах**

Стаціонарне робоче місце, призначене для автоматичного і механізованого зварювання у захисних газах та їхніх сумішах, повинне мати:

- зварювальне устаткування і оснащення робочого місця відповідно до вимог технології;
- вбудовані у технологічне оснащення або зварювальну головку пристрої для відсмоктування шкідливого пилу і газів.

При механізованому зварюванні плавкими електродами у середовищі захисних газів на робочих столах (або маніпуляторах) повинні бути встановлені похилі або вертикальні панелі рівномірного всмоктування або широкі бічні відсмоктувачі, регульовані таким чином, щоб не порушувати газовий захист дуги.

Пристосування для встановлення зварюваних деталей (маніпулятори, кантувачі) повинні забезпечувати їх стійке положення, а при необхідності — зручність повороту та переміщення.

#### **5.4. Вимоги безпеки до устаткування для зварювання у вуглекислому газі і сумішах газів**

Конструкція тримача напівавтомату для зварювання у середовищі вуглекислого газу повинна забезпечувати швидке зняття сопла для зміни та очищення його від бризок. Сопло повинне бути ізольоване від струмопровідної частини пальника.

У пальнику треба передбачити наявність додаткового вентиля для перекриття газу після припинення зварювання. У автоматичних і механізованих установках для зварювання у середовищі захисних газів необхідно передбачити пристрій для відсмоктування шкідливого пилу і газів.

Працівники і персонал ЛНК, що обслуговують зварювальні процеси разом з електрозварниками, повинні забезпечуватися тими ж видами спецодягу і засобами індивідуального захисту, що й зварники. У випадку виконання ними тільки підготовчих операцій, то під час зварювання вони повинні залишати робоче місце. Експлуатація балонів, контейнерів зі зрідженим газом і рамп для використання захисних газів з балонів повинна здійснюватися відповідно до НПАОП 0.00—1.59—87 “Правила будови та безпечної експлуатації посудин, що працюють під тиском”.

До обслуговування контейнерів (або посудин-накопичувачів) зі зрідженим газом, а також рампової системи подачі газу до зварювальних постів допускаються особи, що пройшли перевірку знань вимог вище зазначених правил.

Усе устаткування (контейнери, посудини-накопичувачі та ін.), що працює під тиском, повинне відповідати технічним умовам і правилам безпечної експлуатації посудин та бути зареєстроване в органах Котлонагляду.

Площадка, де встановлюється контейнер (посудина-накопичувач) зі зрідженим газом, повинна мати металеве огороження, так, щоб між контейнером і огороженням залишився прохід шириною не менше 1 м. Поблизу контейнера не повинно бути джерел нагрівання. При використанні у якості посудини-накопичувача транспортних автоцистерн площадка повинна бути обладнана тельфером відповідної вантажопідйомності для навантаження і розвантаження автоцистерни.

При встановленні контейнера (посудини-накопичувача) на відкритому повітрі, він повинен бути забезпечений навісом, що захищає його від потрапляння прямих сонячних променів і опадів.

### **5.5. Вимоги безпеки при роботі з вуглекислим газом**

Приміщення, де розміщені контейнери або рампа, повинне бути добре вентильованим. Температура повітря приміщення не повинна перевищувати 25 °С.

На площадці подачі захисного газу до зварювальних постів повинно бути не більше 20 балонів. При заміні порожніх балонів на заповнені необхідно закривати вентиля балонів і колектора. Не допускається пропуск газу у місцях з'єднань: усунення нещільностей повинне здійснюватися тільки при закритих вентилях балонів, коли у системі немає тиску. На площадці забороняється розміщувати сторонні предмети та горючі речовини.

Живлення підігрівача (при централізованому постачанні зварювальних постів вуглекислим газом від контейнерів або рампової системи) повинне здійснюватися гарячою водою або паром.

При експлуатації контейнера зі зрідженим вуглекислим газом робочий тиск автоматично повинен підтримуватися у межах

8—12 кгс/см<sup>2</sup>. У будь-яких випадках, при наявності у контейнері рідкої вуглекислоти, не допускається зниження тиску у ньому нижче 7 кгс/см<sup>2</sup>.

Під час відбору газу з контейнера забороняється:

- виконувати ремонтні операції;
- відігрівати труби і апарати відкритим вогнем;
- допускати різкі перегини гнучких сполучних шлангів;
- виконувати підтяжку з'єднань під тиском.

При зварюванні на відкритих площадках (поза цехом) у зимовий час балони з вуглекислим газом з метою запобігання замерзанню повинні встановлюватися у спеціально утеплених приміщеннях.

Забороняється відігрівати замерзлий балон (або редуктор) з вуглекислим газом полум'ям пальника, струменем пари тощо. Для відігрівання необхідно припинити відбір газу з балона, внести його в тепле приміщення з температурою 20—25 °С та залишити його до відігрівання. Допускається відігрівання замерзлого редуктора водою з температурою не більше 25 °С.

Розбирання і ремонт вентилів балонів та редукторів на робочому місці забороняються. Ремонт повинен здійснюватися підготовленим персоналом.

Для запобігання замерзання вуглекислого газу у редукторі, перед ним повинен бути встановлений підігрівач. Електрична спіраль підігрівача газу не повинна мати контакту з балоном. Живлення підігрівача повинне здійснюватися від мережі з напругою не вище 42 В і потужністю 70 Вт, що виключає можливість нагрівання балона.

При експлуатації контейнерів, посудин-накопичувачів і цистерн з рідким вуглекислим газом і аргоном, а також рамп для централізованого живлення зварювальних постів від балонів, повинні бути розроблені інструкції з техніки безпеки з урахуванням приписів розробників установок.

### **5.6. Вимоги безпеки до устаткування для зварювання в інертних газах**

З метою зручності роботи зварника рекомендується, щоб вага пальника не перевищувала 1,5 кг.

Рукоятки пальників і пістолетів-пальників повинні бути зручні для захвату та тримання їх у руці, відповідати ергономічним вимогам. На рукоятці пальника повинен бути передбачений пристрій для відключення напруги і подачі газу.

Під час роботи температура рукоятки не повинна перевищувати 40 °С. На випадок нагрівання рукоятки вище 40 °С пальники і пістолети напівавтоматів повинні мати водяне або інше штучне охолодження.

Напруга, що живить електродвигун для подачі зварювального дроту у пістолет-пальник шлангових напівавтоматів, не повинна перевищувати 24 В для змінного або 42 В для постійного струму.

Рукоятки пальників і пістолетів-пальників шлангових напівавтоматів для захисту зварника повинні бути покриті теплоелектроізоляційним матеріалом.

Електродроти і трубки для газу та води, що з'єднують пістолет-пальник з шафою з електроапаратурою, повинні мати достатню гнучкість. Гнучкий металевий шланг для направлення зварювального дроту з касети у пістолет-пальник шлангового напівавтомата повинен бути покритий електроізоляційним матеріалом.

### **5.7. Вимоги безпеки при роботі з аргоном**

Аргон — газ без кольору і запаху, хімічно малоактивний. При збільшенні концентрації аргону у замкнутому об'ємі знижується парціальний тиск кисню у вдихуваному повітрі. Приміщення, де розміщені посудини, контейнери або рампи, не повинне мати технологічного поверху (підвалу) і заглиблень у покритті підлоги більше 0,5 м.

У процесі експлуатації контейнера зі зрідженим аргоном повинні дотримуватися додаткові заходи безпеки:

- спорожнювання контейнера повинне здійснюватися тільки за допомогою випарника;
- відкриття і закриття вентилів повинне здійснюватися плавно, без поштовхів і ударів;
- забороняється виконувати підтяжку болтів і сальників на вентилях і трубопроводах, що перебувають під тиском;
- від'єднання шлангів треба робити тільки після повного випаровування аргону;
- не допускати потрапляння рідкого аргону на шкіру людини, оскільки він викликає важке обмороження;
- при від'єднанні шлангів обслуговуючий персонал не повинен стояти напроти, оскільки можливий викид зі шланга газоподібного або скрапленого аргону.

У процесі експлуатації контейнерів (посудин-накопичувачів) і рамп для централізованого використання газів від балонів повинен бути встановлений постійний контроль справності усієї запобіжної апаратури. Запобіжні клапани повинні бути відрегульовані і опломбовані, а також утримуватися у чистоті.

### **5.8. Вимоги безпеки до процесів зварювання і умов його контролю на поточно-механізованих і конвеєрних лініях**

Зварювальні роботи на лініях можуть проводитися як на постійних робочих місцях з стаціонарними автоматичними і напівавтоматичними зварювальними машинами, так і на тимчасових, організованих для виконання короткочасних операцій при підготовці об'єктів зварювання. На постійних робочих місцях зварювання виконують електрозварники на машинах, на тимчасових — ручним зварюванням.



Організація зварювальних процесів на потокових механізованих і конвеєрних лініях повинна відповідати вимогам, наведеним у ГОСТ 12.2.022—80; ГОСТ 12.2.032—78; ГОСТ 12.2.033—78. Зварювальні роботи на потокових лініях виконуються відповідно до вимог ГОСТ 12.1.004—91 і ГОСТ 12.3.003—86.

При розробці технологічного процесу зварювання і контролі його якості на поточно-механізованих і конвеєрних лініях повинна бути забезпечена максимальна механізація і автоматизація, з наявністю спеціальних технічних рішень для локалізації небезпечних і шкідливих виробничих факторів та захисту працівників і персоналу ЛНК.

Для автоматизованих процесів зварювання, які супроводжуються утворенням шкідливих аерозолів, газів і випромінювань, що перевищують діючі допустимі концентрації і рівні, необхідно передбачати дистанційне керування, а також використання персоналом засобів індивідуального захисту. Видалення шкідливих пилогазовиділень необхідно здійснювати за допомогою пилогазоприймачів, вбудованих або зблокованих зі зварювальними автоматами або напівавтоматами, агрегатами, порталами або маніпуляторами.

Пульти керування обслуговуючими вантажопідйомними і транспортними засобами та засобами ЛНК треба поєднувати (розташовувати у безпосередній близькості) з пультами керування зварювальним устаткуванням. Зони розміщення органів управління на пультах повинні відповідати вимогам ГОСТ 12.2.032—78 і ГОСТ 12.2.033—78.

Для роботи в аварійних умовах передбачається система роздільного керування зварювальними, контрольними і підйомно-транспортними операціями на лініях. Устаткування і пульти керування на зварювальних поточно-механізованих лініях повинні розташовуватися на одній площині для того, щоб уникнути необхідності переміщення робітників та персоналу ЛНК по вертикалі.

Робоче місце оператора ЛНК у об'єднаного пульта необхідно обладнати кріслом, конструкція якого повинна відповідати вимогам ГОСТ 21889—76, або сидіннями з спинками, виготовленими з нетеплопровідних матеріалів.

Потокові зварювальні лінії повинні розташовуватися на ізольованих ділянках спеціально спроектованих цехів і споруд. Для запобігання персоналом ЛНК, що працює на сусідніх робочих місцях, несприятливої дії факторів, що супроводжують процес зварювання, ділянки зварювання захищаються вогнетривкими перегородками або конструкціями порталів, консолей та ін.

Ділянки поточкових і конвеєрних ліній відділяються проходами від сусідніх ділянок, стін, під'їзних колій та ін. Відстань до проходів від місця зварювання повинна бути не менше 5 м, щоб забезпечити працюючих від сліпучої дії зварювальної дуги.

При неможливості виконання зазначених вимог, у місцях зварювання встановлюється вогнетривка перегородка або ширма.

### **5.9. Вимоги безпеки до процесів контактного зварювання і способів його контролю**

Необхідність встановлення машин контактної зварювання на фундамент розраховується у кожному конкретному випадку, залежно від статичних і динамічних навантажень машин. При встановленні машин необхідно:

- ретельно оглянути машини для контактної зварювання, очистити їх від пилу, бруду та видів змащення;
- перевірити мегомметром усі струмоведучі частини машини на обрив, а також ізоляцію обмоток і кіл керування відносно корпусу;
- підключити машину до повітропроводу (встановити необхідний тиск по манометрі, відкриваючи вентиль або засувку);

- підвести воду для охолодження машини і переривників та забезпечити злив води у каналізацію;
- заземлити машину і переривник (заземлення підвести до спеціальних болтів на корпусах машини і переривника);
- зробити підключення машин і переривників відповідно до схеми, зазначеної на таблиці машини;
- впевнитися у герметичності пневматичної системи машин;
- перевірити відсутність витoku повітря у пневматичному пристрої машини;
- здійснити заливання мастила (застосовується одне з мінеральних мастил, раз у тиждень необхідно перевірити його наявність у мастилорозподілювачі).

У системі охолодження машини кожна ланка обов'язково перевіряється на проникнення води і герметичність усіх з'єднань.

У повітряній і водній магістралях повинні бути вентиля.

Систему охолодження необхідно продути стисненим повітрям при тривалій перерві у роботі або наявності небезпеки замерзання води.

На робочі частини пневмоциліндру і інші деталі, що піддаються корозії, треба нанести антикорозійне змащення.

Перед використанням необхідно зробити пробний пуск машини без зварювання та переконатися у справній роботі усіх її вузлів і можливості регулювання циклу зварювання.

При точковому зварюванні на підвісних машинах необхідно перевірити надійність затягування усіх болтових з'єднань. Після цього машина може бути підвішена.

Необхідно до підвісного пристрою, окрім кліщів, підвішувати струмоведучі кабелі. Забороняється при роботі перекидати кабелі через плече оператора.

З метою застереження треба пропустити додатковий вантажний ланцюг або трос через друге піднімальне кільце.

Перед початком роботи оператор зобов'язаний;

- впорядкувати своє робоче місце;
- підготувати до роботи інструменти, пристосування і переконатися в їхній справності;
- перевірити справність повітряної і водної систем;
- не користуватися випадковими і несправними пристосуваннями;
- перевірити наявність і справність встановлених на машині запобіжних пристроїв;
- перевірити справність блокувальних пристроїв, шаф керування, заземлення усіх вузлів і справність ізоляції;
- перевірити роботу місцевої витяжної вентиляції та глушників;
- перевірити наявність і справність штор та прозорих екранів з оргскла або щитків, що відкидаються;
- перевірити надійність засобів індивідуального захисту.

Для захисту від іскор і бризок розплавленого металу зварник і персонал ЛНК повинні користуватися захисними окулярами або захисним щитком, спецодягом і рукавичками.

Під час роботи оператор і персонал ЛНК зобов'язані:

- не допускати на робоче місце осіб, що не мають відношення до роботи, не передавати управління машиною стороннім особам;
- не виконувати самому змащення, чищення і збирання машини під час її роботи;
- стежити за тим, щоб дроти не стикалися з водою, а також щоб на них не падали бризки розплавленого металу;
- перевірити електроди — у випадку їх прилипання треба негайно зупинити машину і повідомити майстра;
- суворо дотримуватися технологічного режиму, передбаченого технологічним процесом зварювання;
- не зварювати метал, покритий брудом, фарбою, мастилом, іржею або товстим шаром окалини, а попередньо добре очистити його;

- надійно закріпити у машині або у пристосуванні виріб, що зварюється;
- при зварюванні дрібних деталей стежити, щоб руки оператора не прищемило працюючим електродом;
- при роботі на зварювальній машині забезпечувати безпеку рук при роботі роликів, електродів та інших частин, що рухаються;
- не торкати і не перевіряти руками місця зварювання, електроди та ін. при роботі машини;
- не обпіратися на машину;
- не прилагоджувати і не переставляти будь-що на машині або усередині її під час роботи;
- не рідше двох разів на зміну робити повне очищення зварювального контуру від ґрата, бризок розплавленого металу, окислів, окалини та ін.

Усі роботи з налагодження машин необхідно здійснювати тільки при відключеному рубильнику.

При перервах у роботі (обідня перерва та ін.) необхідно обов'язково виключити рубильник електричної станції, закрити вентилі води та системи повітря. У зимовий час необхідно зберігати циркуляцію води.

При припиненні подачі електроенергії виключити рубильник зварювальної машини.

У випадку виявленні на машині несправності електродротів і порушень нормальної роботи електроапаратури (реле часу, електроклапани, пускові прилади) треба припинити роботу та негайно викликати чергового електрика. Самим несправності не усувати.

При ремонтах, оглядах, заміні і зачищенні електродів та виконанні інших підсобних робіт машину необхідно відключити від джерел живлення електричним струмом, стисненим повітрям і водою та вивісити табличку «Не включати!».

Забороняється розміщувати займисті і вогненебезпечні матеріали на відстані не менше 5 м від виконання зварювальних робіт.

При виникненні полум'я всередині корпусу машини треба негайно її зупинити, виключити рубильник, відкрити двері машини та погасити вогонь сухим піском або вогнегасником, одночасно викликавши чергового електрика. У всіх випадках пожежі негайно повідомити про пожежу у пожежну охорону за телефоном або іншими способами. До прибуття пожежних продовжувати ліквідувати загоряння.

По закінченню роботи оператор зобов'язаний:

- відключити машину у наступному порядку: спочатку відключити від цехового щитка живлення електроенергією, потім живлення повітрям, у кінці — водою;
- прибрати своє робоче місце, скласти деталі, зварні вузли, пристосування та інструмент на спеціально відведені для них місця;
- переконатися, що після роботи не залишилося тліючих предметів (ганчір'я, ізоляційного матеріалу тощо);
- повідомити майстра і змінника про усі несправності на робочому місці, помічених під час роботи.

Зварювальні машини повинні обслуговуватися зварником з машин контактного зварювання, слюсарем-наладчиком і слюсарем-електромонтером.

### **5.10. Вимоги безпеки до процесів зварювання під флюсом і способів його контролю**

Зварювальне устаткування, призначене для зварювання під флюсом на стаціонарних постах, повинне мати:

- пристосування для механізованого засипання флюсу у зварювальну ванну;
- флюсовідсмоктувач з бункером-накопичувачем і фільтром (при поверненні повітря у приміщення) для збирання використаного флюсу зі шва.

Стационарні установки для електродугового зварювання флюсом повинні бути оснащені місцевими відсмоктувачами.

Вони повинні бути розташовані безпосередньо у місцях зварювання (на відстані не більше 40 мм від зони дуги вбік формування шва). Рекомендується застосовувати відсмоктувачі щільноподібної форми.

Швидкість повітряного потоку повинна бути 4—9 м/с, в залежності від необхідного обсягу повітря, що відсмоктується.

Стационарні установки для зварювання під шаром флюсу повинні забезпечуватися механізованими пристроями для очищення шва від шлакової кірки з одночасним її збиранням. Ручне збирання флюсу (проводиться у респіраторі) допускається тільки у випадках, коли застосування флюсовідсмоктувачів не є можливим.

У системі збирання і подачі флюсу повинне бути передбачене очищення повітря, що викидається, від пилу і газів.

При засипанні флюсу у бункер автомата повинні бути вжиті заходи із захисту працюючого та сусідніх робочих місць від запилення.

Для попередження підвищеного виділення аерозолю газів, які застосовуються при механізованому і автоматичному зварюванні, флюс повинен бути сухим, не забрудненим сторонніми речовинами (змащувальними мастилами, шматками флюсової кірки та ін.).

При зварюванні під флюсом автоматами, що пересуваються по рейковому шляху, повинні бути забезпечені надійність і правильність закріплення рейкового шляху на виробі або на стенді, а також надійність кріплення зворотних і бічних роликів механізму пересування автомата.

Робочі місця зварників і персоналу ЛНК при зварюванні труб та інших великогабаритних конструкцій повинні бути обладнані спеціальними кабінами з подачею припливного повітря, тепло- і звукоізоляцією зовнішніх поверхонь і пультами керування зварювальним і контролюючим процесом.

### **5.11. Вимоги безпеки до організації і проведення газозварювальних, газоплазмових та газорізальних робіт**

До початку робіт, пов'язаних зі зварюванням або застосуванням вогню, повинен бути отриманий дозвіл органів місцевого пожежного нагляду з попереднім проведенням аналізу проб повітря з верхніх точок приміщення і підготовлених до ремонту апаратів для того, щоб переконатися у відсутності вибухонебезпечної концентрації ацетилену. Вміст ацетилену у пробі не повинен перевищувати 0,3 мг/л.

У випадку виявлення витоків кисню і ацетилену з трубопроводів і газорозбірних постів та при неможливості швидкого усунення несправностей ушкоджена ділянка повинна бути відключена, а приміщення ретельно провітрене.

Переносні ацетиленові генератори треба встановлювати на відкритих площадках. Допускається тимчасова їх робота у добре провітрюваних приміщеннях. Ацетиленові генератори необхідно огорожувати і розміщувати не ближче 10 м від місць проведення вогневих робіт, а також від місць забору повітря компресорами та вентиляторами.

У місцях встановлення ацетиленового генератора повинні бути вивішені плакати “Вхід стороннім заборонений — вогненебезпечно”, “Не курити”, “Не проходити з вогнем”. При експлуатації переносних генераторів повинні дотримуватися заходи безпеки, зазначені у паспортах на це устаткування.

По закінченню роботи карбід кальцію у переносному генераторі повинен бути вироблений. Вапняний мул, що видаляється з генератора, необхідно вивантажити у пристосовану для цих цілей тару та злити у мулову яму або спеціальний бункер.

Відкриті мулові ями повинні бути огорожені поручнями, а закриті — мати негорючі покриття і бути обладнані витяжною вентиляцією та люками для видалення мулу.



Куріння і застосування відкритого вогню у радіусі менше 10 м від місць зберігання мулу не дозволяється, про що повинні бути вивішені відповідні заборонні знаки за ГОСТ 12.4.026—76.

Карбід кальцію повинен зберігатися у сухих і провітрюваних приміщеннях.

Не дозволяється розміщувати склади для зберігання карбіду кальцію у підвальних приміщеннях і низьких затоплюваних місцях. Барабани з карбідом кальцію можуть зберігатися на складах, як у горизонтальному, так і у вертикальному положеннях.

У механізованих складах допускається зберігання барабанів з карбідом кальцію у три яруси при вертикальному положенні, а при відсутності механізації — не більше трьох ярусів при горизонтальному положенні та не більше двох ярусів при вертикальному положенні. Між ярусами барабанів повинні бути покладені дошки товщиною 40—50 мм, просочені вогнезахисним складом. Горизонтально покладені барабани не повинні перекочуватися. Ширина проходів між покладеними у штабелі барабанами з карбідом кальцію повинна бути не менше 1,5 м.

У приміщеннях ацетиленових установок, де немає проміжного складу карбіду кальцію, дозволяється зберігати одночасно добове завантаження карбіду кальцію, причому з цієї кількості у відкритому вигляді може бути не більше одного барабана. Ця вимога відноситься і до виробництва ацетилену на ацетиленових станціях.

Розкриті барабани з карбідом кальцію необхідно захищати водонепроникними кришками.

У місцях зберігання і розкриття барабанів з карбідом кальцію забороняється куріння, користування відкритим вогнем і застосування іскроутворюючого інструменту.

Відігрівання замерзлих ацетилено- і киснепроводів повинне здійснюватися тільки парою або гарячою водою. Застосування відкритого вогню і електричного підігріву забороняється.

Кількість пальників або різаків, встановлених на машині, обмежується пропускнуою здатністю затвора. При ручних газо-плазмових роботах до затвору може бути приєднаний тільки один пальник або різак.

У приміщеннях, де виконується газоплазмова обробка металу, повинна бути забезпечена вентиляція для видалення шкідливих газів, що виділяються при цих роботах.

При несправності вентиляції проведення робіт з газового різання і зварювання та контрольних робіт ЛНК забороняється.

Живлення електроенергією газорізальних машин у цехах повинне відповідати вимогам чинних правил безпеки та будови електротехнічних установок.

Газопостачання цехів, майстерень і діляниць газоплазмових робіт повинне здійснюватися:

- по газопроводах від ацетиленових і кисневих станцій, а також від розподільних рамп — при кількості постійних постів для газового зварювання і різання більше 10; якщо устрій газопроводів нераціональний — від кисневих і ацетиленових балонів та переносних ацетиленових генераторів при кількості постів 10 і менше;
- від інших джерел газопостачання (трубопроводів природного газу та інших горючих газів, баків з рідким паливом та ін.).

Кисневі рампки для живлення одного поста з кількістю балонів до 6 дозволяється встановлювати всередині цеху.

Усі цехові і міжцехові газопроводи повинні бути заземлені, електричний опір між заземлюючим пристроєм і будь-якою точкою газопроводу повинен відповідати вимогам правил улаштування електроустановок (ПУЕ).

У водяному затворі поста рівень води або інших рідин повинен постійно підтримуватися на висоті контрольного крана. При використанні сухого затвора треба перевіряти його стан “закритий—відкритий”. Перевірка повинна здійснюватися не рідше трьох разів на зміну при виключеній подачі газу у затвор.

Забороняється встановлювати рідинні затвори відкритого типу на газопроводах для природного газу або пропан-бутану. Рівень рідини у затворі закритого типу також повинен постійно підтримуватися на висоті контрольного крана, а перевірку рівня рідини необхідно проводити не рідше трьох разів на зміну при виключеній подачі газу у затвор.

При живленні апаратури від газопроводу з тиском газу вище 0,15 МПа (1,5 кгс/см<sup>2</sup>) на кожному робочому посту на газопроводі потрібно встановлювати постовий регулятор тиску (редуктор).

Подача повітря у різак теплової машини від цехової магістралі з тиском більше 0,5 МПа повинна здійснюватися через редуктор.

При живленні постів горючим газом і киснем від балонів останні повинні встановлюватися у вертикальному положенні у спеціальних стійках та міцно прикріплюватися до них хомутами або ланцюгами.

При живленні від одиничних балонів між балонами, редукторами та інструментом (пальником і різакром) треба встановлювати запобіжний пристрій.

На стійках повинні бути навіси, що охороняють балони від потрапляння на них мастила (наприклад, з мостового крана). Балони повинні перебувати на відстані не менше 1 м від приладів опалення та не менше 5 м від джерел тепла з відкритим вогнем і печей.

На дільниці і у майстерні газоплазмової обробки не повинно бути більше одного запасного наповненого балона на кожний пост і більше десяти кисневих та п'яти ацетиленових запасних балонів. Якщо дільниця з кількістю постів до 10 потребує великої кількості газу, то повинне бути організоване поза приміщенням дільниці рампове живлення або створений проміжний склад зберігання балонів.

Відбір кисню з балонів повинен здійснюватися до залишкового тиску газу у балоні не менше 0,05 МПа (0,5 кгс/см<sup>2</sup>).

Перед початком газового зварювання і різання необхідно зробити перевірку:

- щільності і міцності приєднання газових шлангів до пальника (різака) і редукторів;
- наявності води у затворі до рівня контрольного крана і щільності усіх з'єднань у затворі на пропуск газу, а також щільності приєднання шланга до затвора.

Розбирання і ремонт вентилів балонів повинен виконувати завод (цех), що наповнює балони газом. У тих випадках, коли через несправність вентилів балонів газ не може бути використаний, то балон підлягає відправленню на завод-наповнювач з написом крейдою “Обережно”, “Повний”.

Забороняється встановлення стійок з балонами у проходах і проїздах.

Забороняється зіткнення балонів, а також шлангів з струмоведучими дротами, на що варто звертати особливу увагу тих виробничих ділянок, де одночасно застосовуються електричне зварювання, газоплазмова обробка металів і струмоведучі дроти приладів ЛНК.

Приєднання редуктора до балона повинне виконуватися ключем, який постійно перебуває у зварника (газорізника). Забороняється підтягування накидної гайки редуктора при відкритому вентилі балона.

Для відкривання вентиля ацетиленового балона і для керування редуктором у працівника повинен бути спеціальний торцевий ключ. Під час роботи цей ключ весь час повинен перебувати на шпинделі вентиля балона. Використання для цих цілей звичайних гайкових ключів забороняється.

У випадках виявлення пропуску газу крізь сальник ацетиленового вентиля після приєднання редуктора підтягування сальників необхідно робити при закритому вентилі балона. Забороняється експлуатація балона з вентиляем, що пропускає газ. Такий балон з написом крейдою про несправність вентиля повинен направлятися на завод-наповнювач.

Пальники, різакі, шланги, редуктори, вентилі, водяні затвори та інша апаратура повинні перебувати у справному стані. Вентилі повинні надійно перекривати газ, а сальники не повинні його пропускати. Забороняється експлуатація апаратури, що має нещільності. При роботі, як правило, клапан вентиля ацетиленового балона повинен відкриватися на 0,7—1 оберт для того, щоб забезпечити швидке перекриття вентиля при виникненні займання або зворотного удару.

Шланги повинні застосовуватися відповідно до їх призначення. Не допускається використання кисневих шлангів для подачі ацетилену або навпаки. Шланги при газовому зварюванні повинні бути захищені від можливих ушкоджень. При укладанні шлангів не допускається їх сплющування, скручування та перегинання. Забороняється користуватися замасленими шлангами. Не повинне допускатися попадання на шланги іскор, вогню або важких предметів, а також вплив високих температур. Не рідше одного разу на місяць шланги повинні піддаватися огляду і випробуванню.

При використанні ручної апаратури забороняється приєднання до шлангів вилок, трійників та ін. для живлення декількох пальників (різаків).

Довжина шлангів для газового зварювання і різання не повинна перевищувати 30 м, а при виконанні монтажних робіт — 40 м. Мінімальна довжина ділянки стикуємих шлангів — не менше 3 м, а кількість стиків на шлангах — не більше двох. Закріплення шлангів на приєднувальних ніпелях апаратури (пальників, різаків, редукторів та ін.) повинне бути надійним — для цієї мети необхідно застосовувати спеціальні хомути.

Допускається обв'язування шланги м'яким відпаленим сталевим (в'язальним) дротом не менше ніж у двох місцях по довжині ніпеля. Місця приєднання шлангів повинні ретельно перевірятися на щільність перед початком і під час роботи. На ніпелі водяних затворів шланги повинні щільно надіватися, але не закріплюватися.

Застосування дефектних шлангів, а також підмотування їх ізоляційною стрічкою або іншим матеріалом забороняється. При необхідності ремонту шланга його зіпсовані місця повинні бути вирізані, а окремі шматки з'єднані спеціальними ніпелями. Забороняється робити з'єднання шлангів за допомогою відрізків гладких трубок.

Виконання газоплазмових робіт (зварювання, різання, стругання, газова виплавка пороків металу і нагрівання виробу) повинне здійснюватися на відстані не менше 10 м від переносних генераторів, 1,5 м — від газопроводів, 3 м — від газорозбірних постів при ручних роботах та 1,5 м — при машинних. Зазначені відстані стосуються газоплазмових робіт, коли полум'я і іскри спрямовані у бік, протилежний джерелам живлення газами. У випадку напрямку полум'я і іскор у бік джерел живлення газами повинні бути вжиті заходи із захисту їх від іскор або впливу тепла полум'я шляхом встановлення металевих ширм.

Роботи зі зварювання і різання металу із застосуванням пропан-бутану або природного газу, а також відкритого вогню від інших джерел допускаються на відстані (по горизонталі) не менше:

- від груп балонів (більше двох), призначених для ведення газоплазмових робіт, — 10 м;
- від окремих балонів з киснем і горючими газами — 5 м;
- від газопроводів горючих газів, а також газових постів, розміщених у металевих шафах: при ручних роботах — 3 м; при механізованих роботах — 1,5 м.

Різання металу з використанням пропан-бутанових сумішей дозволяється на відкритих площадках і в приміщеннях цехів. Застосування пропан-бутанових сумішей і рідкого пального у замкнутих і важкодоступних приміщеннях не допускається.

Метал, що надходить на зварювання або газове різання, повинен бути очищений від фарби (особливо на свинцевій основі), мастила, окалини і забруднення для запобігання розбризкування металу та забруднення повітря випаровуванням і газами.

При зварюванні і різанні пофарбованого та заґрунтованого металу, його необхідно очистити по лінії різання або шва. Ширина смуги, очищеної від фарби, повинна бути не меншою 100 мм (по 50 мм на сторону). Застосування для цієї мети газового полум'я не допускається.

При запалюванні ручного пальника або різача зварники та різальники повинні спочатку трохи відкрити вентиль кисню, потім відкрити вентиль ацетилену і після короткочасної продувки шланга повітрям запалити горючу суміш газів.

При тривалих перервах у роботі (обідня перерва та ін.), крім пальників і різаків, повинні бути закриті вентиля на кисневих і ацетиленових балонах або на газорозбірних постах, а натискні гвинти редукторів вивернуті до звільнення пружини. При перегріванні пальника (різача) робота повинна бути припинена, а пальник (різак) погашений і охолоджений до повного охолодження. Для охолодження пальника кожний зварник повинен мати посудину з чистою холодною водою.

При зворотному ударі полум'я треба негайно закрити вентиль на пальнику (різачу), балонах і водяному затворі. Перш ніж полум'я буде запалене знову після зворотного удару, повинен бути перевірений стан затвора, крім того, після кожного зворотного удару необхідно обов'язково перевірити шланги.

При тимчасовому припиненні робіт на газорізальних машинах, при налагодженні, встановленні копіїв та ін. подача газів і електричного струму до машини повинна припинятися.

При проведенні газозварювальних або газорізальних робіт забороняється:

- відігрівати замерзлі ацетиленові генератори, трубопроводи, вентиля, редуктори та інші деталі зварювальних установок відкритим вогнем або розпеченими предметами;
- допускати стикання кисневих балонів, редукторів і іншого зварювального устаткування з різними мастилами, а також промасленим одягом і ганчір'ям;

- працювати від одного запобіжного затвора двом зварникам;
- завантажувати карбід кальцію підвищеної грануляції;
- завантажувати карбід кальцію у мокрі завантажувальні пристрої;
- робити продувку шлангу для горючих газів киснем і кисневого шлангу горючим газом, а також взаємно замінити шланги при роботі;

**Таблиця 5.3. Небезпечні і шкідливі виробничі фактори, що впливають на працюючих при газоплазмовій обробці металів**

Процес газоплазмової обробки металів	Небезпечні і шкідливі виробничі фактори											
	Фізичні					Хімічні					Психофізичні	
	Підвищена запиленість і загазованість повітря робочої зони	Високочастотні	Підвищена температура поверхонь устаткування і матеріалів	Підвищений рівень інфрачервоної радіації	Підвищена яскравість світла	Характер дії на організм людини		Шляхи проникнення в організм людини через			Фізичні перевантаження	Нерво-психічні перевантаження
						токсичний	дратівний	органи дихання	шлунково-кишковий тракт	шкірні покриви і слизуваті оболонки		
Газове зварювання	+	-	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
Газове різання	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
Газоплазмове наплавлення	+	-	-	-	+	+	+	+	+	+	-	-
Газоплазмове поверхневе загартування	-	+	+	+	+	-	-	+	-	-	-	-
Зачищення та нагрівання	-	+	+	-	+	-	-	+	-	-	-	-

*Примітка.* \*При газоплазмовій обробці матеріалів, що містять цинк, мідь та ін. Знак “+” означає наявність фактора; знак “-” означає відсутність фактора



- перекручувати, заламувати або затискати газопідвідні шланги;
- переносити генератор при наявності у газозбірнику ацетилену;
- форсувати роботу ацетиленових генераторів;
- застосовувати інструмент з матеріалу, що іскрить, для розкриття барабанів з карбідом кальцію.

Небезпечні і шкідливі виробничі фактори при газоплазмовій обробці металів наведені у табл. 5.3.

### **5.12. Вимоги безпеки при проведенні паяльних робіт**

При проведенні паяльних робіт робоче місце повинне бути очищене від горючих матеріалів, а конструкції з горючих матеріалів, що перебувають на відстані менше 5 м повинні бути захищені екранами з негорючих матеріалів або политі водою (водяним розчином піноутворювача та ін.).

Паяльні лампи необхідно тримати у повній справності і не рідше одного разу на місяць перевіряти їх на міцність і герметичність з занесенням результатів і дати перевірки у спеціальний журнал. Крім того, не рідше одного разу на рік повинні проводитися їх контрольні гідравлічні випробування.

Кожна паяльна лампа повинна мати паспорт з вказівкою результатів заводських гідравлічних випробувань і допустимого робочого тиску, запобіжні клапани — бути відрегульовані на заданий тиск, а манометри на лампах — перебувати у справному стані.

Заправляти паяльні пампи пальним і розпалювати їх треба у спеціально відведених для цього місцях.

Для запобігання викиду полум'я з паяльної лампи пальне, що заправляється в лампу, повинне бути очищене від сторонніх домішок і води.

Щоб уникнути вибуху паяльної лампи забороняється:

- застосовувати у якості пального для ламп, що працюють на гасі, бензин або суміш бензину з гасом, а для ламп, що працюють на бензині, гас або суміш гасу з бензином;
- підвищувати тиск у резервуарі лампи при накачуванні повітря більше допустимого робочого тиску, зазначеного у паспорті лампи;
- заповнювати лампу паливом більше ніж на 3/4 об'єму її резервуара;
- відвертати повітряний гвинт і наливну пробку, коли лампа горить або ще не охолонула;
- ремонтувати лампу, а також виливати з неї або заправляти її паливом поблизу відкритого вогню (у тому числі палаючого сірника, сигарети та ін.).

### **5.13. Вимоги безпеки при проведенні газового зварювання і різання у закритих просторах**

Газоплазмову обробку матеріалів (ГОМ) у закритих (замкнених) посудинах, відсіках металоконструкцій вантажопідйомних кранів, просторах і важкодоступних місцях (резервуарах, котлах, цистернах, тунелях, підвалах) виконують згідно наряду-допуску на особливо небезпечні роботи.

ГОМ, що проводиться у замкнутих просторах і важкодоступних місцях, повинна виконуватися при дотриманні наступних умов:

- наявності не менше двох прорізів (вікон, дверей, люків);
- ретельного очищення повітря і перевірки на вміст шкідливих речовин у повітрі робочої зони перед початком робіт;
- перевірки значень показників пожежної безпеки відповідно до вимог ГОСТ 12.1.004—91 і правил пожежної безпеки НАПБ А.01.001—2014;
- відсутності у повітрі концентрації вибухонебезпечних речовин, що перевищує 20 % від нижньої межі вибуховості;

- здійсненні спеціальної вентиляції за допомогою місцевих відсмоктувачів від стаціонарних і пересувних установок, якщо загальнообмінна вентиляція не забезпечує нормальних умов роботи зварників і операторів ЛНК;
- встановлення контрольного поста для спостереження за працівниками.

При газовому зварюванні, різанні або нагріванні поверхонь металу всередині закритих і важкодоступних приміщень (відсіків замкнутих просторів металоконструкцій і секцій посудин, резервуарів, котлів, цистерн та ін.), крім загальнообмінної вентиляції цеху, необхідна наявність безперервно працюючої припливно-витяжної вентиляції, що забезпечує приплив свіжого і витяжку забрудненого повітря з нижньої і верхньої частин замкнутого простору або важкодоступного приміщення.

При недостатній кількості кисню (менше 19 %) у повітрі резервуара (відсіку) робота у ньому не допускається. До проведення газоплазмових робіт всередині відсіків, нафтових і вугільних ям, а також у резервуарах, що є місцем скупчення шкідливих газів або нагрітого повітря, повинні бути встановлені і запуснені місцеві припливні та витяжні вентилятори, відкриті двері, люки, горловини та ілюмінатори, наявні у цих приміщеннях.

При ГОМ у приміщеннях малих об'ємів (посудинах, відсіках, цистернах) рекомендується застосовувати загальнообмінну вентиляцію з розрахунку 4000—5000 м<sup>3</sup> повітря на 1 м<sup>3</sup> ацетилену, що спалюється.

Під час роботи у замкнутих просторах і важкодоступних місцях зварювальний трансформатор, ацетиленовий генератор, балони зі зрідженим або стисненим газом повинні розміщуватися поза ємностями, у яких виконується зварювання.

ГОМ у відсіках дозволяється проводити тільки у брезентовому або азбестовому одязі.

Одночасне виконання електрозварювальних і газоплазмових робіт всередині ємностей не допускається, крім того, не допускається

ся застосування бензорізів при виконанні газоплазмових робіт у резервуарах, колодязях, трубах та інших замкнутих ємностях.

Освітлення при виробництві зварювальних робіт всередині металевих ємностей повинне здійснюватися за допомогою світильників, встановлених ззовні, або ручних переносних ламп напругою не більше 12 В.

При ГОМ у замкнутих просторах забороняється:

- застосовувати апаратуру, що працює на рідкому паливі;
- залишати без догляду пальники, різакі, рукава під час перерви або після закінчення роботи;
- виконувати зварювання і різання посудин, що перебувають під тиском або містять вибухові та токсичні речовини.

#### **5.14. Вимоги безпеки до зберігання і експлуатації газових балонів**

Газові балони слід зберігати і застосовувати відповідно до вимог правил будови і безпечної експлуатації посудин, що працюють під тиском.

При зберіганні балонів на відкритих площадках навіси, що захищають їх від впливу опадів і прямих сонячних променів, повинні бути виконані з негорючих матеріалів.

Балони з горючим газом, що мають башмаки, повинні зберігатися у вертикальному положенні у спеціальних гніздах, клітках і інших пристроях, що виключають їхнє падіння. Балони, що не мають башмаків, повинні зберігатися у горизонтальному положенні на рамах або стелажах. Висота штабеля у цьому випадку не повинна перевищувати 1,5 м, а клапани повинні бути закриті запобіжними ковпаками та звернені в одну сторону.

Зберігання в одному приміщенні балонів з киснем і балонів з горючими газами, а також карбід у кальцію, фарб, мастил і жирів не дозволяється.

Газові балони дозволяється перевозити, зберігати, видавати і одержувати тільки особам, які пройшли навчання обігу з ними та мають відповідне посвідчення.

При експлуатації, зберіганні і переміщенні балонів з киснем необхідно забезпечити заходи захисту їх від зіткнення з матеріалами, одягом працівників і обтиральними матеріалами, які мають сліди мастил. Газові балони повинні охоронятися від ударів і дії прямих сонячних променів. Від опалювальних приладів балони встановлюються на відстані не менше 1 м, а від джерел тепла з відкритим вогнем і печей — не менше 5 м.

При перервах у роботі і наприкінці робочої зміни зварювальну апаратуру відключають. Шланги повинні бути від'єднанні, а тиск у паяльних лампах повністю знятий.

По закінченні роботи балони з газом розміщують у спеціально відведеному для зберігання балонів місці, що виключає доступ сторонніх осіб.

При обігу з порожніми балонами з-під кисню або горючих газів необхідно дотримуватися тих же заходів безпеки, як і з наповненими балонами.

### **5.15. Вимоги з електробезпеки при зварювальних роботах**

Експлуатація електроустаткування машин термічного різання і процес напилювання (ПН) повинні здійснюватися відповідно до вимог ПУЕ.

Дроти і кабелі для живлення електроустаткування машин та установок повинні мати надійну ізоляцію і захист від механічних ушкоджень.

Електроустаткування машин термічного різання повинне мати заземлення. У стаціонарних машин заземленню підлягають станина або рейковий шлях, у переносних машин — корпус. Повинні бути заземлені усі цехові і міжцехові газопроводи. Електричний опір між заземлюючим пристроєм і будь-якою точкою газопроводу не повинен перевищувати 100 Ом.

Зварювальні кола джерел зварювального струму не повинні мати гальванічних з'єднань з колами, що приєднуються до мережі.

Окремі елементи зварювального кола, а також частини зварювальних кабелів при нарощуванні довжини необхідно з'єднувати роз'ємними сполучними муфтами. Забороняється застосовувати з'єднання зварювального кола скрутками з оголеним кабелем. Струмоведачі кабелі зварювального кола ізолюють і захищають від механічних ушкоджень по усій довжині.

Кола керування машин термічного різання оснащують мінімальним захистом, що виключає (незалежно від положення органів керування) мимовільне включення машин термічного різання при відновленні раптово зниклої напруги. Забороняється робити ремонт машин термічного різання під напругою. Переносні машини термічного різання під час їхнього пересування необхідно відключати від електричної мережі.

Органи керування машин термічного різання оснащують написами або символами, що вказують об'єкт, до якого вони відносяться, його призначення і стан: “Включене”, “Відключене”, “Гальмо”, “Хід” та ін.

Металеві вали ручних приводів, рукоятки і маховики повинні бути ізольовані від частин машин термічного різання, що перебувають під напругою, і мати електричний контакт з нез'ємними частинами виробу, на яких розташований елемент заземлення.

При електрозварювальних роботах необхідно застосовувати устаткування, апарати і пристосування, що задовольняють вимогам діючих стандартів і норм на відповідне зварювальне устаткування. Напруга холостого ходу джерел зварювального струму не повинна перевищувати максимальних значень, зазначених у стандартах на відповідне устаткування.

Для дугового зварювання необхідно застосовувати ізольовані гнучкі кабелі, розраховані на надійну роботу при максимальних електричних навантаженнях з урахуванням тривалості циклу зварювання.

З'єднання зварювальних кабелів треба робити обпресуванням, зварюванням або пайкою з наступною ізоляцією місць з'єднання. Підключення кабелів до зварювального устаткування повинне здійснюватися за допомогою спресованих або припаяних кабельних наконечників.

При прокладці або переміщенні зварювальних дротів необхідно вживати заходів проти ушкодження їх ізоляції і контакту з водою, мастилом, сталевими канатами і гарячими трубопроводами. Відстань від зварювальних дротів до гарячих трубопроводів і балонів з киснем повинна бути не менше 0,5 м, а з горючими газами — не менше 1 м.

У електрозварювальних апаратах і джерелах їх живлення елементи, що перебувають під напругою, закривають огорожувальними пристроями.

Електродотримачі, що застосовуються при ручному дуговому електрозварюванні металевими електродами, повинні відповідати вимогам діючих стандартів.

Електрозварювальну установку (перетворювач, зварювальний трансформатор та ін.) приєднують до джерела живлення через рубильник і запобіжники або автоматичний вимикач, а при напрузі холостого ходу більше 70 В застосовують автоматичне відключення зварювального трансформатора.

Металеві частини електрозварювального устаткування, що не перебувають під напругою, а також зварювальні вироби і конструкції на весь час зварювання заземлюють. Крім цього, заземлюючий болт корпусу зварювального трансформатора з'єднують із затискачем вторинної обмотки, до якого підключається зворотний дріт.

У якості зворотного дроту або його елементів можуть бути використані сталеві шини і конструкції, якщо їх перетин забезпечує безпечно за умовами нагрівання протікання зварювального струму. З'єднання між собою окремих елементів, які застосовуються у якості зворотного дроту, повинне бути надійним і виконуватися на болтах, затискачах або зварюванням.

Забороняється використовувати дроти мережі заземлення, труби технічних-санітарно-технічних мереж (водопровід, газопровід та ін.), металеві конструкції будинків, технологічне устаткування у якості зворотного дроту електрозварювання. У якості зворотного дроту, що з'єднує зварювальні вироби з джерелом зварювального струму, можуть використовуватися гнучкі дроти, а також металеві шини достатнього перетину, зварювальні плити та сама зварювальна конструкція.

Забороняється використання у якості зворотного дроту мережі заземлення металевих будівельних конструкцій будинку, комунікацій і незварювального технологічного устаткування. З'єднання між собою окремих елементів, які застосовуються у якості зворотного дроту, повинне виконуватися зварюванням, струбциною або затискачем. При зварюванні колових швів допускається з'єднання зворотного дроту зі зварним виробом за допомогою ковзного контакту.

Корпус будь-якої електрозварювальної установки необхідно заземлювати. Машини, у яких здійснення захисного заземлення становить труднощі, необхідно оснастити пристроями захисного відключення, що забезпечують відключення усіх фаз мережі з появою у зварювальному колі напруги мережі. Для приєднання заземлюючого дроту на електрозварювальному устаткуванні повинен бути передбачений болт, розташований у доступному місці, з написом "Земля". Забороняється послідовне включення в заземлюючий провідник декількох апаратів.

Для підведення струму від джерела до електродотримача установки ручного дугового зварювання повинен використовуватися гнучкий дріт у гумовій оболонці. Забороняється застосування дротів з ізоляцією або у оболонці з горючих полімерних матеріалів. Зварювальні дроти повинні з'єднуватися способом гарячої пайки, зварювання або за допомогою муфт з ізолюючою оболонкою. Відстань від зварювальних дротів до гарячих трубопроводів і балонів з киснем повинна бути не менше 0,5 м, а з горючими газами — не менше 1 м.



На установках або автоматичних лініях з більшим фронтом обслуговування кнопки аварійного відключення повинні розташовуватися одна від одної на відстані не більше 10 м. Використовувані у таких випадках кнопки керування повинні мати засувки, що забезпечують тільки примусове повернення контактів у первісний стан. Пульти керування оснащуються блокуваннями, що виключають можливість паралельного керування від різних пультів, сигналізацією, а також аварійними кнопками для включення установки (лінії).

Схема приєднання кількох джерел зварювального струму при роботі на одну зварювальну дугу повинна виключати можливість одержання між виробом і електродом напруги, що перевищує найбільшу напругу холостого ходу одного з джерел зварювального струму.

Усі електрозварювальні установки з джерелом змінного і постійного струму при зварюванні у особливо небезпечних умовах (всередині металевих конструкцій, ємностей, колодязів, відсіків суден та ін.), а також установки для ручного зварювання на змінному струмі, які застосовуються у особливо небезпечних приміщеннях або поза приміщеннями, повинні бути оснащені пристроями відключення холостого ходу або обмеження його напруги до 12 В не пізніше ніж через 1 с після розмикання зварювального кола.

Обмежувач, виконаний у вигляді окремої приставки, повинен бути заземлений окремим дротом.

Закриті простори резервуарів, котлів, металевих конструкцій ємностей, відсіків суден та ін. при виконанні робіт із зварювання, наплавлення і різання повинні освітлюватися за допомогою світильників, встановлених ззовні, або ручних переносних ламп напругою не більше 12 В. Трансформатор для переносних ламп необхідно встановлювати поза виробом, що зварюється, а його вторинну обмотку заземлити. Забороняється застосування автотрансформаторів для зниження напруги живлення світильників.

Електродотримачі для ручного дугового зварювання і різання металевими вугільними електродами повинні задовольняти вимогам діючих стандартів.

Забороняється залишати на робочому місці електрозварювальний інструмент, що перебуває під напругою, та виконувати ремонт електрозварювальних установок під напругою.

Пересувні електрозварювальні установки під час їх пересування необхідно відключити від мережі. Приєднання і від'єднання від мережі електрозварювальних установок, а також спостереження за їхнім справним станом у процесі експлуатації повинен виконувати електротехнічний персонал даного підприємства, що має кваліфікаційну групу з електробезпеки не нижче III.

У зв'язку з імовірністю впливу електричного струму весь персонал, що обслуговує електрозварювальні установки, і персонал ЛНК повинен проходити навчання і атестацію на відповідну кваліфікаційну групу з електробезпеки.

Електрозварникам, що пройшли спеціальне навчання, присвоюється у встановленому порядку кваліфікаційна група з електробезпеки III і вище з правом приєднання і від'єднання електрозварювальних установок.

При виконанні зварювальних робіт всередині замкнутих об'ємів роботодавець зобов'язаний забезпечити працівників гумовими діелектричними калошами, рукавичками і шоломом. При роботі лежачи необхідно використовувати гумовий килимок. Забороняється користуватися металевими щитками.

### **5.16. Протипожежні вимоги при зварювальних роботах**

Виробничі і допоміжні приміщення для виконання газо- і електрозварювальних робіт, а також робочі місця працівників, зайнятих на ацетиленових, кисневих і наповнювальних установках, повинні відповідати вимогам пожежної безпеки відповідно до вимог ГОСТ 12.1.004—91 і забезпечуватися первинними засо-

бами пожежогасіння відповідно до вимог “Правил пожежної безпеки в Україні” (НАПБ А.01.001—2014), а також пожежним інвентарем відповідно до вимог ГОСТ 12.4.009—83 і мати ступінь вогнестійкості відповідно до класифікації виробництв з пожежної безпеки.

Як зазначалось раніше, до початку проведення газо- і електрозварювальних робіт, які виконуються у приміщенні, повинен бути проведений аналіз проб повітря з верхніх точок приміщення і підготовлених до ремонту апаратів для того, щоб переконатися у відсутності вибухонебезпечної концентрації ацетилену. Вміст ацетилену у пробі не повинен перевищувати 0,3 мг/л.

По закінченні газо- і електрозварювальних робіт, наплавлення і різання працівник не повинен залишати робоче місце, не переконавшись у відсутності джерела, здатного викликати пожежу на місці проведення роботи та у суміжних приміщеннях. Усі працюючі повинні бути навчені правилам ліквідації первинних осередків пожежі і правильному застосуванню первинних засобів пожежогасіння.

При виконанні газо- і електрозварювальних робіт горючі конструкції повинні бути обгороджені постійними або переносними огороженнями, а підлоги — бути захищені металевими листами. Переносні огороження повинні бути виготовлені з листової сталі.

Пожежонебезпечні органічні розчинники у підготовчих відділеннях необхідно зберігати тільки у кількості, погодженій з органами пожежного нагляду.

Місця виконання електрозварювальних і газоплазмових робіт на даному, а також на нижчерозташованих ярусах (при відсутності вогнетривкого захисного настилу або настилу, захищеного неспалним матеріалом) повинні бути звільнені від горючих матеріалів у радіусі не менше 5 м, а від вибухонебезпечних матеріалів і устаткування (газогенераторів, газових балонів та ін.) — не менше 10 м.

### **5.17. Режими праці і відпочинку при зварювальних роботах**

Режими праці і відпочинку працівників, зайнятих усіма видами газоплазмової обробки металів та роботами з контролю їх якості, виробництвом ацетилену і кисню, визначаються правилами внутрішнього трудового розпорядку організації. Режими праці і відпочинку працівників та персоналу ЛНК, що виконують роботи в умовах впливу небезпечних і шкідливих виробничих факторів, визначаються з урахуванням відповідних для цих умов нормативно-правових актів.

### **5.18. Вимоги з вибору і застосування засобів індивідуального захисту при зварювальних роботах**

Працівники, зайняті виконанням газоплазмових і електрозварювальних робіт і контролем їх якості, повинні забезпечуватися засобами індивідуального захисту, відповідно до “Правил забезпечення працівників спеціальним одягом, спеціальним взуттям і іншими засобами індивідуального захисту” (ЗІЗ). Застосовувані засоби індивідуального захисту повинні відповідати вимогам ДСТУ 7239:2011 (табл. 5.4).

Вибір конкретних типів засобів індивідуального захисту повинен проводитися залежно від виду робіт і застосовуваних речовин та матеріалів. Захисні засоби, що видаються у індивідуальному порядку, повинні знаходитися під час роботи у працівника і персоналу ЛНК або на їх робочому місці.

Вибір ЗІЗ зварників і операторів ЛНК необхідно визначати у залежності від рівня забруднення повітряного середовища і поверхонь виробу токсичними речовинами, інтенсивності шуму, вібрації, ступеня електробезпеки, мікроклімату на робочому місці і характеру виконуваної роботи.

Таблиця 5.4. Рекомендації з вибору спецодягу зварників і персоналу ЛНК у залежності від умов праці і методів зварювання

Методи зварювання	Умови праці	Призначення спецодягу	Типи спецодягу, що рекомендуються
Механізоване термічне різання, ручне зварювання, різання, наплавлення	Виробниче приміщення, зварювання різних металоконструкцій	Спецодяг повинен захищати передню частину тіла зварника і оператора ЛНК від інтенсивних іскор і бризок розплавленого металу та загального забруднення	Костюм чоловічий літній для зварників (ТУ 8572—017—00302190—93), костюм жіночий для захисту від підвищених температур ГОСТ 12.4.044—87, костюм чоловічий для захисту від підвищених температур ГОСТ 12.4.044—87, рукавиці спеціальні ГОСТ 12.4.010—75
Механізоване термічне різання, ручне зварювання, різання, наплавлення	На відкритому повітрі	Спецодяг повинен захищати зварника і оператора ЛНК від іскор і бризок розплавленого металу, загальних виробничих забруднень, дощу, снігу, вітру і температури повітря (від -50 до +50 °С) у залежності від кліматичних зон	Костюм для зварників з шкіряного спилку (ТУ 17—08—327—91 або ТУ 17—08—122—80)

ЗІЗ органів дихання застосовуються у тому випадку, коли за допомогою вентиляції не забезпечується необхідна чистота повітря робочої зони, що передбачена вимогами ГОСТ 12.1.005—88. Вибір ЗІЗ обличчя і органів зору повинен здійснюватися в залеж-

ності від методів, режимів і видів робіт, інтенсивності випромінювання і індивідуальних особливостей зору. Для захисту очей від випромінювання, іскор і бризок розплавленого металу та пилу повинні застосовуватися захисні окуляри типів “ЗП” і “ЗН”. Вибір захисних окулярів треба робити відповідно до вимог ОСТ 21—6—87. Допускається використання світлофільтрів.

При ручному і механічному газовому різанні, ручному зварюванні, газовому струганні, газовій вирубці пороків металу і нагріванні виробів та процесі напилювання газозварники та газорізальники повинні бути забезпечені захисними окулярами закритого типу зі склом марки “ГС—2”, що мають щільність світлофільтрів “ГС—3” при використанні пальників (різаків) з витратою ацетилену до 750 л/год., “ГС—7” — до 2500 л/год. та “ГС—12” — понад 2500 л/год. Допоміжним робітникам і персоналу ЛНК, що працюють безпосередньо зі зварником, різальником або працівником, що виконує напилювання, рекомендується використовувати захисними окулярами зі склом марки “СС—14” з світлофільтрами “П—1800”.

Для захисту обличчя при зварюванні, різанні, загартуванні, зачищенні, нагріванні та напилюванні працівники повинні забезпечуватися щитками, відповідно до вимог ГОСТ 12.4.023—84. Для ГОМ і процесів напилювання рекомендується застосовувати щитки типу:

- НФ — з наголовним кріпленням, корпус щитка — світлофільтруючий;
- КФ — щитки з кріпленням на касці, корпус щитка — світлофільтруючий;
- РФ — щиток з ручкою, корпус щитка — світлофільтруючий.

При проведенні електрозварювальних і газоплазмових робіт шум не повинен перевищувати значень, передбачених вимогами ГОСТ 12.1.003—83.

При перевищенні гранично допустимих норм шуму працівники повинні забезпечуватися ЗІЗ органів слуху: протишумовими навушниками, шоломами або вкладишами. ЗІЗ органів слуху необхідно обирати у залежності від частотного спектра шуму на робочому місці відповідно до вимог ГОСТ 12.4.051–87.

Працюючі зварники і оператори ЛНК, що користуються засобами індивідуального захисту, повинні бути проінструктовані щодо правил користування цими засобами і способів перевірки їх справності.

Спецодяг повинен бути нешкідливим, зручним, не обмежувати рух працюючого, не викликати неприємних відчуттів, захищати від іскор і бризок розплавленого металу виробу, що зварюється, вологи, виробничих забруднень, механічних ушкоджень, відповідати санітарно-гігієнічним вимогам і умовам праці. Вибір спецодягу в залежності від методів зварювання і умов праці повинен здійснюватися відповідно до рекомендацій ГОСТ 12.4.044—87, ГОСТ 12.4.045—87 і ГОСТ 12.4.010—75.

При виконанні робіт зі зварювання, наплавлення, різання, а також у випадках, коли температура навколишнього повітря перевищує +50 °С, спецодяг повинен забезпечувати ефективний теплозахист.

Для захисту рук при зварюванні, наплавленні, напилюванні і різанні працівники повинні забезпечуватися рукавицями або рукавичками, виготовленими з іскростійкого матеріалу з низькою електропровідністю. Забороняється використовувати рукавиці і спецодяг з синтетичних матеріалів типу лавсан, капрон та ін., які не мають захисних властивостей, руйнуються від випромінювань зварювальної дуги та можуть займатися від іскор і бризок розплавленого металу і спікатися при зіткненні з нагрітими поверхнями.

Для захисту ніг від опіків бризками розплавленого металу, механічних травм, переохолодження при роботі на відкритому повітрі взимку, перегрівання при зварюванні виробів з підігрівом,

а також ураження електричним струмом, особливо при роботі у закритих посудинах, відсіках, працівники повинні забезпечуватися спеціальним взуттям. Не допускається застосовувати спецвзуття з відкритим шнурованням і металевими цвяхами.

### 5.19. Нові конструкції касок, що використовуються при зварювальних роботах

У тих випадках, коли працюючому потрібно виконувати роботу у зоні підвищеного тепловипромінювання, використовується теплозахисна каска (рис. 5.1).

Вона має допоміжну порожнину 1 між зовнішньою та внутрішньою її поверхнями, куди подається стиснене повітря 2 за допомогою вентилятора 4, або діоксид вуглецю у зрідженому стані 5.

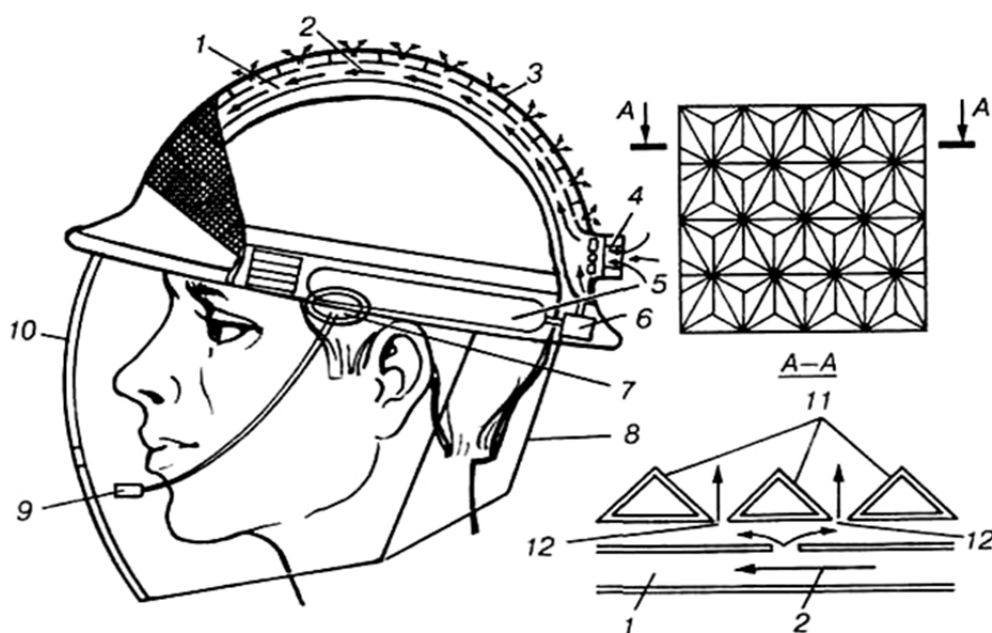


Рис. 5.1. Теплозахисна каска типу СГС—1: 1 — допоміжна порожнина; 2 — стиснене повітря; 3 — тепловідбивний екран; 4 — вентилятор; 5 — діоксид вуглецю у зрідженому стані; 6 — розширювальна камера; 7 — система подачі очищеного та зволоженого повітря у зону дихання людини; 8 — захисна тканина; 9 — розпилювач крапель інгаляційної суміші; 10 — прозорий щиток; 11 — кутникові відбивачі; 12 — отвір



Діоксид вуглецю застосовується в екстремальних умовах, при дуже сильному тепловому випромінюванні. Він подається у розширювальну камеру 6, де випаровується і знижує свою температуру до  $+5\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Уся поверхня захисної каски вкрита спеціальним тепловідбивним екраном 3, основою якого є спеціальні кутникові відбивачі 11, з'єднані між собою. У заглибленні кожного відбивача є отвір 12 допоміжної порожнини 1, що знаходиться у заглибленні кутникового відбивача. Останній повертає до 97 % променевого тепла, яке падає на нього, а стиснене повітря або діоксид вуглецю охолоджує його внутрішню поверхню та видуває пил із заглиблення. Така каска має ефективність близько 97 % при зовнішньому тепловому випромінюванні до  $10\text{—}15\text{ кВт/м}^2$ . Її використовують при внутрішньому ремонті теплотехнічних агрегатів, наприклад, печей.

Низька вологість повітря, наявність шкідливих випарів, пилу можуть зумовити кашель, приступи астми тощо. Для запобігання цьому теплозахисна каска має систему 7 з розпилувачем крапель інгаляційної суміші 9 та подачею очищеного та зволоженого повітря у зону дихання людини.

Для захисту органів зору від дії джерела оптичного або інфрачервоного випромінювання служить прозорий щиток 10, виготовлений з фотохромного скла, яке змінює свою щільність залежно від інтенсивності оптичного випромінювання. Каска має м'яку захисну тканину 8.

Крім процесів зварювання та різання, такий варіант каски використовується під час проведення ковальських робіт, при плавленні сплавів магнію та ін. Каску також доцільно застосовувати під час обслуговування електродугових печей з широким спектром сильного надлишкового випромінювання.

При веденні робіт у надзвичайних ситуаціях досить часто їх доводиться виконувати у екстремальних умовах у зоні з підвищеним тепловипромінюванням, що вимагає короткочасного ефекту захисту працівника від випромінювань на період переміщення його

го у небезпечну зону, виконання поставленого завдання у цій зоні та виходу з неї. У цих умовах найбільш вразливим місцем для людини є її голова.

Для ведення зварювальних та різальних робіт розроблена теплозахисна каска зі склопластику (рис. 5.2), яка використовується для захисту голови від механічних пошкоджень при підвищеному тепловипромінюванні.

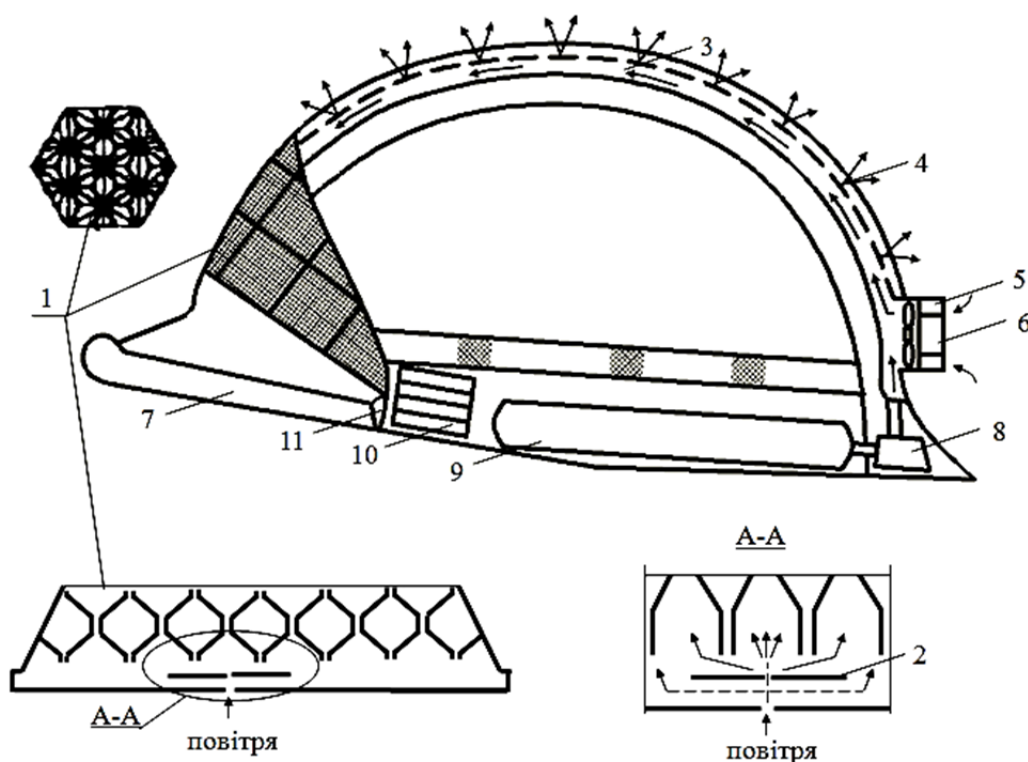


Рис. 5.2. Конструкція теплозахисної каски: 1 — змінний елемент теплозахисного екрану; 2 — повітряний розподілювач; 3 — внутрішня порожнина каски; 4 — отвори; 5 — вентилятор; 6 — запірні клапани; 7 — бортик для відводу діоксиду вуглецю; 8 — розширювальна камера; 9 — резервуар; 10 — елементи живлення; 11 — жолоб

Склопластик виготовляється з пресматеріалу марки АГ—4СН і дозуючого склопластику марки ДСР—4Р—2М методом пресування. Маса розробленої каски не більше 380—420 г (розмір 1). Каска витримує удар без руйнування енергією 45 Дж, величина безпечного зазору у момент удару становить не менше 5 мм.

Каска складається зі змінних елементів теплозахисного екрану 1. Для розподілення повітря всередині елемента екрану встановлено повітряний розподільувач 2. Охолоджуване повітря подається у внутрішню порожнину каски 3 і дроселюючись через отвори на поверхні елементу теплозахисного екрану 4 охолоджує її поверхню. Повітря у внутрішню порожнину каски подається за допомогою вентилятора 5 через запірні клапани 6. Для додаткового охолодження поверхні каски використовується ефект охолодження при випаровуванні у камері 8 зрідженого діоксиду вуглецю, розміщеного у резервуарі 9. Живлення вентилятора здійснюється від акумуляторів 10. Відпрацьовані продукти хладоагенту видаляються із зони дихання по бортику 7, що має форму жолоба 11.

Охолодження каски відбувається при проходженні повітря під невеликим надлишковим тиском, що створюється вентилятором або при випаровуванні рідкого діоксиду вуглецю, через сегменти теплозахисного екрану.

Пристрій працює наступним чином. При роботі в умовах екстремального надлишкового тепловиділення включається вентилятор, що нагнітає повітря у внутрішню порожнину каски. Повітря під надлишковим тиском, проходячи через вентиляційні отвори, охолоджується і охолоджує сегменти тепловідбиваючого екрану. Вентилятор живиться від елементів живлення, розташованих всередині каски.

У припливному отворі вентилятора знаходяться повітряні клапани, що перекривають припливний отвір вентилятора при непрацюючому вентиляторі і надмірному тиску всередині каски.

## 5.20. Кімната відпочинку та реабілітації

Кімната відпочинку та реабілітації для працівників небезпечних і шкідливих виробництв, у тому числі і зварювальників, передбачає розміщення у ній ряду пристроїв і проведення оздоровлюючих процедур, які стимулюють активний відпочинок (рис. 5.3).

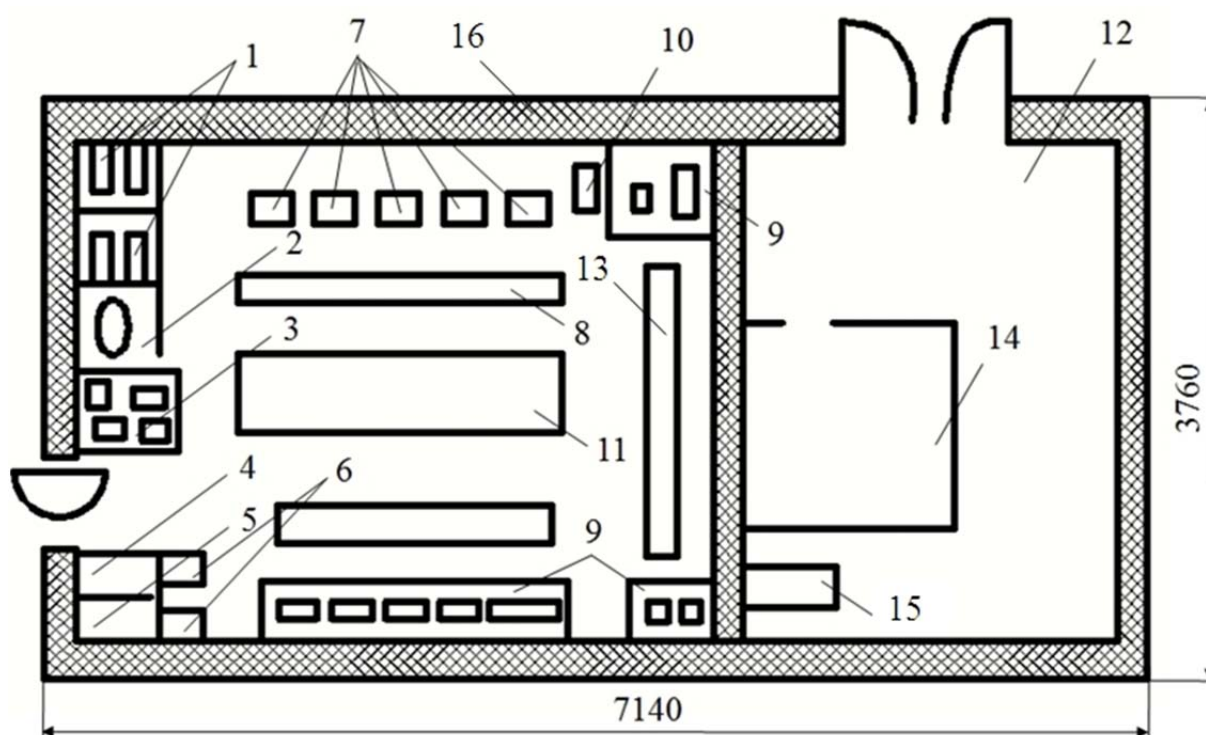


Рис. 5.3. Кімната відпочинку та реабілітації: 1 — душові; 2 — електрокип'ятильники; 3 — термоємності з пектино-вітамінізованими напоями; 4 — чотирьохкамерна ванна; 5 — термостабілізована ванна; 6 — навісна шафа для спецодягу з сушаркою; 7 — напівжорсткі стільці; 8 — столи; 9 — стелаж для головних уборів і рукавиць; 10 — холодильник; 11 — декоративний басейн; 12 — інгаляційна; 13 — панелі радіаційного охолодження; 14 — кондиціонери; 15 — компресор; 16 — тепловідзеркалюючий екран

У ній повинні бути розташовані (на відміну від типових кімнат) ємності з очищеною водою та душові 1, електрокип'ятильники 2 для отримання кип'яченої води з подальшим її охолодженням до температури 8—20 °С у залежності від пори року і конкретного цеху, а також термоємності з пектино-вітамінізованими напоями 3. Для зниження втомлюваності навантаження і електромасажу рук і ніг рекомендується використати чотирьохкамерну ванну 4 з призначеними лікарем медико-санітарної частини підприємства лікарськими розчинами при температурі 37—38 °С. Тривалість процедури 10—15 хв.

У кімнаті відпочинку та реабілітації також необхідно передбачати термостабілізовану ванну для рук і стоп ніг 5 з подачею у ванни настоянки трав. Стабілізація температури водних настоянок досягається за рахунок розміщення між внутрішньою і зовнішньою стінками корпусу ванн нагрівальних спіралей. У кімнаті передбачають навісну шафу для спецодягу 6, яку обладнують сушаркою, напівжорсткі стільці 7, покриті легкомиючим шкірозамінником (бажано “спокійних” кольорів).

Столи 8 встановлюються розкладного типу для збільшення ширини проходів при заповненні кімнати працівниками. Стелаж для головних уборів і рукавиць 9 повинен вентилюватися з подачею підігрітого повітря.

Декоративний басейн 11 обкладається кольоровою мозаїчною плиткою, має глибину 0,5 м і заповнюється водопровідною водою, ароматизованою настоянками трав. Мета застосування басейну — створення певного психологічного і фізіологічного мікроклімату, зняття втоми навантаження у працівників. В інгаляційній 12 встановлюється інгалятор для виконання різних процедур, що призначаються лікарем. Необхідні суміші і медикаменти (антибіотики, настоянки трав, медикаменти для гальванічних ванн та ін.) зберігаються в холодильнику 10.

Для підтримки нормованої заданої температури у кімнаті відпочинку необхідно встановлювати панелі радіаційного охолодження 13 з регулюванням температури від 7 до 24 °С, що працюють від компресора 15, а також кондиціонери 14. Кондиціонери і компресори з метою зниження шуму необхідно встановлювати у підсобних приміщеннях, що примикають до кімнати відпочинку.

Для ізолювання працівників у кімнаті відпочинку від джерел теплового випромінювання, використовується тепловідзеркалюючий екран 16, що монтується на стінах кімнати відпочинку.

Подібну кімнату необхідно обладнувати у кожному цеху, вона надає дієвий лікувальний, масажний і оздоровчий ефект, вносячи естетичний початок у виробничий процес.

### Контрольні запитання

1. Назвіть небезпечні та шкідливі фактори електро- і газозварювальних робіт та охарактеризуйте їх вплив на організм людини.
2. Охарактеризуйте вимоги безпеки при ручному дуговому зварюванні і контролі його якості.
3. Охарактеризуйте вимоги безпеки до процесів зварювання у захисних газах і їхніх сумішах.
4. Охарактеризуйте вимоги безпеки до устаткування для зварювання у вуглекислому газі.
5. Охарактеризуйте вимоги безпеки до зварювання в інертних газах.
6. Охарактеризуйте вимоги безпеки до процесів зварювання і умов його контролю на поточно-механізованих лініях.
7. Охарактеризуйте вимоги безпеки до процесів контактного зварювання.
8. Охарактеризуйте вимоги безпеки до процесів зварювання під флюсом і способів контролю його якості.
9. Охарактеризуйте вимоги безпеки при проведенні газозварювальних, газоплазмових та газорізальних робіт.
10. Охарактеризуйте вимоги безпеки при проведенні паяльних робіт.
11. Охарактеризуйте вимоги безпеки при газовому зварюванні і різанні у закритих просторах.
12. Охарактеризуйте вимоги безпеки до зберігання і експлуатації газових балонів.
13. Охарактеризуйте вимоги електробезпеки при зварювальних роботах.
14. Охарактеризуйте протипожежні вимоги у зонах виконання зварювальних робіт.
15. Охарактеризуйте вимоги з вибору і застосування ЗІЗ персоналу ЛНК у зонах зварювальних робіт.

16. Які види ЗІЗ використовуються при проведенні зварювальних робіт всередині приміщення та на відкритому повітрі?
17. Охарактеризуйте нові конструкції касок, що використовуються працівниками зварювальних ділянок.
18. Охарактеризуйте кімнату відпочинку та реабілітації для працівників небезпечних і шкідливих виробництв.

**ЛІТЕРАТУРА**

1. Марковец М. П. Исследование связи ударной вязкости стали с характеристиками растяжения / М. П. Марковец, В. М. Матюнин // Докл. АН СССР. Тех. физика. — 1970. — Т. 191. — № 1. — С. 79—81.
2. Марковец М. П. Построение диаграмм твердости при вдавливании шара / М. П. Марковец, В. М. Матюнин, В. И. Дегтярев // *Металл в современных энергоустановках*. — М. : Энергия, 1972. — С. 75—76.
3. Бекешко Н. А. Некоторые вопросы развития методов и средств теплового неразрушающего контроля / Н. А. Бекешко // *Дефектоскопия*. — 1996. — № 12. — С. 49—55.
4. Современная зарубежные приборы и установки неразрушающего контроля // *Экспресс-информация : Приборы, средства автоматизации и системы управления*. — 1997. — Вып. 6. — 46 с.
5. Инфракрасная дефектоскопия // *Экспресс-информация : Приборы, средства автоматизации и системы управления*. — 1997. — Вып. 7.
6. Достижения и перспективы развития промышленной томографии // *Экспресс-информация : Приборы, средства автоматизации и системы управления*. — 2001. — Вып. 2.
7. Основы расчета и диагностики сварных конструкций / под ред. Б. Е. Патона. — Киев : Индпром, 2001. — 815 с.
8. Смирнов А. Н. Диагностирование технических устройств опасных производственных объектов / А. Н. Смирнов, Б. Л. Герике, В. В. Муравьев. — Новосибирск : Наука, 2003. — 244 с.
9. Сварка. Резка. Контроль: справочник в 2 т. / под общ. ред. Н. П. Алешина, Г. Г. Чернышова. — М. : Машиностроение, 2004. — 1108 с.



10. McMaster R. C. The Present and future of eddy current testing / R. C. McMaster // *Materials Evaluation*. — 2005. — Vol. 43. — № 12. — P. 1512—1521.
11. Пантелеев В. Г. Компьютерная микроскопия / В. Г. Пантелеев, О. В. Егорова, Е. И. Клыкова. — М. : Техносфера, 2005. — 304 с.
12. Панин В. Е. Поверхностные слои как синергетический активатор пластического течения нагруженного твердого тела / В. Е. Панин // *МиТОМ*. — 2005. — № 7. — С. 62—68.
13. Иванова В. С. Перспективы использования синергетического подхода в решении проблем наноматериаловедения / В. С. Иванова // *МиТОМ*. — 2005. — № 7. — С. 55—61.
14. Мальцев П. П. Наноматериалы. Нанотехнологии. Наносистемная техника. Мировые достижения за 2005 год / П. П. Мальцев. — М. : Техносфера, 2006. — 150 с.
15. Пул Ч.-мл. Нанотехнологии / Ч.-мл Пул, Ф. Оуэнс. — М. : Техносфера, 2006. — 334 с.
16. Левченко Г. В. Технологія якості і сертифікація: навч. посіб. / Г. В. Левченко, В. М. Самохвал. — Дніпродзержинськ : ДДТУ, 2009. — 117 с.
17. Смирнов А. Н. Неразрушающие и разрушающие испытания сварных соединений: уч. пособ. / А. Н. Смирнов. — Кемерово : ГУ КузГТУ, 2009. — 187 с.
18. Панасенко Н. Н. Контроль качества сварных конструкций: уч. пособ. / Н. Н. Панасенко, Д. И. Меркулов. — Астрахань : Астраханский государственный университет, 2012. — 199 с.
19. Ольшанская Т. В. Контроль качества сварных соединений: уч. пособ. / Т. В. Ольшанская. — Пермь : Изд-во Перм. нац. исслед. политехн. ун-та, 2014. — 157 с.
20. Охорона праці в галузі та цивільний захист: навч. посіб. / Ю. А. Гасило, О. А. Крюковська, К. О. Левчук, Р. Я. Романюк. — Кам'янське : ДДТУ, 2017. — 369 с.

**Навчальне видання**

*ГАСИЛО Юрій Анатолійович*

**КОНТРОЛЬ ЯКОСТІ ЗВАРЮВАННЯ**  
**Том 2. Руйнівні методи контролю**

**(для студентів вищих навчальних закладів)**

*Навчальний посібник*

Підписано до друку 22.10.2018 р. Формат 60×84/16.  
Папір друк. Друк — різнограф. Ум.-друк. арк. 8,95.  
Тираж — 300. Зам. № 71/18.

Видавець і виготовлювач  
Дніпровський державний технічний університет  
51918, м. Кам'янське, вул. Дніпробудівська, 2

Свідоцтво про внесення суб'єкта видавничої справи  
до державного реєстру видавництва серія ДК № 5399  
від 26.07.2017 р.