



МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ УКРАЇНИ
ІНСТИТУТ ЗМІСТУ І МЕТОДІВ НАВЧАННЯ
НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ
"КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ"

І.А.Андрєєв, О.Г.Зубрій, І.О.Мікульонок

**ЗАСТОСУВАННЯ МАТЕРІАЛІВ
У ХІМІЧНОМУ МАШИНОБУДУВАННІ.
СТАЛІ Й ЧАВУНИ**

КИЇВ 1999

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ УКРАЇНИ
ІНСТИТУТ ЗМІСТУ І МЕТОДІВ НАВЧАННЯ
НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ
"КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ"

І.А.Андрєв, О.Г.Зубрій, І.О.Мікульонєк

**ЗАСТОСУВАННЯ МАТЕРІАЛІВ
У ХІМІЧНОМУ МАШИНОБУДУВАННІ.
СТАЛІ Й ЧАВУНИ**

Рекомендовано Міністерством освіти України
як навчальний посібник для студентів, які навчаються за спеціальністю
"Обладнання хімічних виробництв і підприємств будівельних матеріалів"

Київ 1999

Застосування матеріалів у хімічному машинобудуванні. Сталі й чавуни. Навчально-методичний посібник. І.А.Андрєєв, О.Г.Зубрій, І.О.Мікульонюк - К.: ІЗМН, 1999. - 148 с.

Наведено класифікацію сталей і чавунів, галузі їх використання, методику розрахунку допустимих напружень, основні фізичні й механічні властивості сталей і чавунів та їх застосування, приклади умовних позначень на кресленнях.

Призначено для студентів спеціальностей "Машини та апарати хімічних виробництв підприємств будівельних матеріалів" і "Машини та устаткування паперово-целюлозного виробництва". Має допомогти при виконанні розрахункових робіт, курсових, дипломних проектів та атестаційних робіт магістрів.

Іл.2. Табл.106. Бібліогр.36 назв.

Відповідальний редактор Ю.Ю.Лукач, д-р техн. наук, професор

Рецензенти: І.В.Коваленко, канд.техн.наук, доцент кафедри хімічного, полімерного й силікатного машинобудування НТУУ "КПІ"
В.В.Чижик, заступник начальника відділу держнагляду
Українського центру стандартизації, метрології та сертифікації

Начальне видання

Андрєєв Ігор Анатолійович
Зубрій Олег Григорович
Мікульонюк Ігор Олегович

ЗАСТОСУВАННЯ МАТЕРІАЛІВ У ХІМІЧНОМУ МАШИНОБУДУВАННІ.

СТАЛІ Й ЧАВУНИ

Навчальний посібник

Редактор Г.Л.Лоза

ISBN 966-622-000-8

© І.А.Андрєєв, О.Г.Зубрій, І.О.Мікульонюк, 1999

ВСТУП

При проектуванні машин та апаратів хімічних і нафтопереробних виробництв необхідно враховувати умови експлуатації обладнання. У хімічних апаратах можуть здійснюватися різноманітні фізико-хімічні процеси як при низьких температурах (одержання кисню з повітря: від мінус 183 до мінус 196 °С), так і при високих (виробництво карбіду кальцію: близько 2000 °С), при надлишковому тиску (до 2000 МПа – проведення деяких процесів синтезу) і при розрідженні (одержання багатьох хімічно чистих речовин). Перероблявані речовини, крім того, можуть бути агресивними або нейтральними по відношенню до матеріалу обладнання, токсичними або нешкідливими, пожежо- і вибухонебезпечними. Необхідно також враховувати можливу зміну властивостей конструкційного матеріалу під впливом процесів, які здійснюються в апараті чи появу нових шкідливих речовин, наприклад, якщо невміло вибраний матеріал апарата.

При виборі матеріалу апарата необхідно враховувати такі основні його характеристики в умовах експлуатації:

- 1) механічні властивості (міцність, модуль пружності під час розтягу, твердість та ін.);
- 2) густину;
- 3) теплопровідність;
- 4) коефіцієнт лінійного розширення;
- 5) технологічність у виготовленні (зварюваність, обробка різцями, ковкість, можливість паяння, склеювання);
- 6) корозійну стійкість;
- 7) вартість, дефіцитність.

Належить прагнути проектувати апарат таким чином, щоб він складався переважно з напівфабрикатів, які поставляються промисловістю, стандартних вузлів і деталей.

Найбільш поширеними конструкційними матеріалами є сплави на основі феруму (заліза) і карбону (вуглецю): сталі (вміст карбону не більше 2 % за масою) і чавуни (вміст карбону більше 2 % за масою).

При проектній розробці устаткування, а в навчальному закладі при виконанні курсових та дипломних проектів, необхідні знання фізичних, технологічних та механічних властивостей і характеристик конструкційних матеріалів. Ці відомості наведені в стандартах, довідниках, монографіях та інших літературних джерелах. На жаль, в Україні подібна література останніми роками видавалася в незначному обсязі.

Крім того, з часом змінюються позначення марок сталей і чавунів, нормативні розрахунки. Отже, користуватися довідниками середини 70-х – початку 80-х років необхідно з обережністю.

У цьому навчальному посібнику наведені дані про найбільш поширені в хімічному машинобудуванні сталі й чавуни, їх класифікація, основні властивості й характеристики, позначення, галузі використання в обсязі, достатньому для виконання курсових і дипломних проектів для студентів спеціальностей "Обладнання хімічних виробництв" і підприємств будівельних підприємств".

ОСНОВНІ ПОЗНАЧЕННЯ, ЯКІ ВИКОРИСТОВУЮТЬСЯ В ПОСІБНИКУ

α – коефіцієнт температуропровідності, $\text{м}^2/\text{с}$;
 c – питома теплоємність, $\text{Дж}/(\text{кг}\cdot\text{К})$;
 C_s – еквівалентний вміст карбону, %;
 E – модуль пружності під час розтягу, МПа (ГПа);
 F_k – площа поперечного перерізу зразка в місті розриву, м^2 ;
 F_0 – площа поперечного перерізу зразка до випробування, м^2 ;
 h – глибина обробки, м ;
 h_0 – висота опори, м ;
 K_s – коефіцієнт, що враховує навантаження елементів конструкцій;
 K_d – коефіцієнт, що враховує вплив термічної обробки;
 K_n – коефіцієнт, що враховує обсяг контролю;
 $K_{\text{дсп}}$ – коефіцієнт оброблюваності сталі для умов точення різцями зі швидкорізальною сталлю;
 $K_{\text{мат}}$ – коефіцієнт оброблюваності сталі для умов точення твердосплавними різцями;
 k_1 – коефіцієнт, що дорівнює відношенню границі міцності при вигині до границі міцності при розтягуванні;
 k_2 – коефіцієнт, що дорівнює відношенню границі міцності при стисканні до границі міцності при розтягуванні;
 K – коефіцієнт, що враховує знак напруження від вигину;
 K – втрати маси, $\text{кг}/(\text{м}^2\cdot\text{рік})$;
 KC – ударна в'язкість, $\text{Дж}/\text{м}^2$ ($\text{кДж}/\text{м}^2$);
 l – довжина зразка в момент зруйнування, м^2 ;
 l_0 – розрахункова базова довжина зразка до випробування, м ;
 m – показник степеня в рівняннях тривалої міцності сталі;
 n_b – коефіцієнт запасу міцності по границі міцності;
 $n_{\text{ср}}$ – коефіцієнт запасу міцності по границі міцності під час розтягу для сумарних напружень;
 $n_{\text{ср}}$ – коефіцієнт запасу міцності по границі міцності під час розтягу для ковкого чавуну й чавуну з пластивчастим графітом;
 $n_{\text{сп}}$ – коефіцієнт запасу міцності по границі міцності під час розтягу для мембранних напружень;
 n_T – коефіцієнт запасу міцності по границі тривалої міцності;
 n_{T0} – коефіцієнт запасу міцності болтів по границі тривалої міцності;
 n_P – коефіцієнт запасу міцності по границі повзучості;
 n_{P0} – коефіцієнт запасу міцності болтів по границі повзучості;
 n_L – коефіцієнт запасу міцності по границі плинності (коефіцієнт запасу

міцності по умовній границі плинності при 0,2 % мху відновлення для чавуну з пластивчастим графітом);
 n_{T0} – коефіцієнт запасу міцності болтів по границі плинності;
 n_s – коефіцієнт запасу стійкості;
 P – швидкість корозії (проникності), $\text{м}/\text{с}$;
 p – тиск, МПа;
 P – поточне значення розтягуючої сили, МН;
 P_0 – пробний тиск, МПа;
 P_x – розрахунковий тиск, МПа;
 t – розрахункова температура, $^{\circ}\text{C}$;
 t_d – розрахункова температура для елементів нижнього опорного вузла опорних об'єктів, $^{\circ}\text{C}$;
 t_0 – розрахункова температура боата, $^{\circ}\text{C}$;
 t_k – розрахункова температура вільного кілля, $^{\circ}\text{C}$;
 t_n – розрахункова температура нижнього днища колонії, $^{\circ}\text{C}$;
 $t_{\text{ср}}$ – середня температура найбільш холодної п'ятиденки, $^{\circ}\text{C}$;
 $t_{\text{ф}}$ – розрахункова температура фланця, $^{\circ}\text{C}$;
 T – тривалість етапу експлуатації, років;
 T_0 – загальний розрахунковий термін експлуатації, років;
 v – швидкість ковання, $\text{м}/\text{с}$;
 v_{60} – швидкість різання, яка відповідає 60-хвилинній стійкості різців, $\text{м}/\text{хв}$;
 HB – твердість за Брінелем, МПа;
 HRC – твердість за Роквеллом, МПа;
 HV – твердість за Віккерсом, МПа;
 α – коефіцієнт лінійного розширення, $1/\text{К}$;
 δ – відносна видовження, %;
 δ^l – відносна поперечна деформація, %;
 Δl – видовження розрахункової базової довжини зразка, м ;
 Δt – перепад температур, К ;
 η – поправочний коефіцієнт до допустимих напружень;
 λ – теплопровідність, $\text{Вт}/(\text{м}\cdot\text{К})$;
 μ – коефіцієнт Пуассона;
 ρ – густина, $\text{кг}/\text{м}^3$;
 σ – напруження, МПа;
 σ_s – номінальне значення границі міцності при розтязі при розрахунковій температурі, МПа;
 σ_0 – границя тривалої міцності чавуну при 600 $^{\circ}\text{C}$ на 1000 годин роботи до руйнування, МПа;
 $\sigma_{\text{ср}}$ – середнє значення границі тривалої міцності за 10⁵ годин при

розрахунковій температурі, МПа;

$\sigma_{\text{в}}$ – границя міцності при вигині, МПа;

$\sigma_{\text{н}}$, $\sigma_{\text{д}}$ – напруження від вигину, МПа;

$\sigma_{\text{ма}}$ – максимальне сумарне напруження на внутрішній або зовнішній стороні стінки посудини, МПа;

$\sigma_{\text{ма}}$ – мінімальне сумарне напруження на внутрішній або зовнішній стороні стінки посудини, МПа;

$\sigma_{\text{м}}$, $\sigma_{\text{д}}$ – мембранні напруження, МПа;

$\sigma_{\text{п}}$ – границя протектильності, МПа,

$\sigma_{\text{сж}}$ – границя міцності при стисненні, МПа;

$\sigma_{\text{т}}$ – границя плинності при розрахунковій температурі, МПа;

$\sigma_{\text{т}}^{20}$ – границя плинності при 20 °С, МПа;

$\sigma_{\text{т}}$ – границя пружності, МПа;

$\sigma_{\text{д}}$ – мінімальне значення умовної границі плинності при розрахунковій температурі (напруження, при якому залишкове видовження становить 0,2 %), МПа;

$\sigma_{\text{д}}^{20}$ – мінімальне значення умовної границі плинності при 20 °С (напруження, при якому залишкове видовження становить 0,2 %), МПа;

$\sigma_{\text{д}}$ – мінімальне значення умовної границі плинності при розрахунковій температурі (напруження, при якому залишкове видовження становить 1,0 %), МПа;

$\sigma_{\text{д}}^{20}$ – мінімальне значення умовної границі плинності при 20 °С (напруження, при якому залишкове видовження становить 1,0 %), МПа;

$\sigma_{\text{сж}}$ – середня 1 %-ва границя повзучості за 10⁵ годин при розрахунковій температурі, МПа;

$\sigma_{\text{т}}$ – границя витривалості при вигині, МПа;

$[\sigma]$ – допустиме напруження при розрахунковій температурі, МПа;

$[\sigma]_{\text{д}}$ – допустиме напруження для матеріалу болтів (шпильок) при розрахунковій температурі, МПа;

$[\sigma]_{\text{л}}$ – допустиме напруження для сумарних напружень, МПа;

$[\sigma]_{\text{м}}$ – допустиме напруження для мембранних напружень, МПа,

$[\sigma]_{\text{сж}}$ – допустиме напруження при 20 °С, МПа;

τ – границя витривалості при крученні, МПа;

$\tau_{\text{в}}$ – границя міцності при крученні, МПа,

$\tau_{\text{в}}$ – границя міцності при зрізі, МПа;

φ – головний кут різіше у плані, °,

ψ – відносне зсування, %.

1. ОСНОВНІ ФІЗИКО-МЕХАНІЧНІ ВЛАСТИВОСТІ МЕТАЛІВ І СПЛАВІВ

Залежно від умов роботи обладнання необхідно вибирати матеріал для конкретної деталі.

Навантаження, що діють на деталь в робочих умовах, можуть бути різноманітні. Тому для спрощення виділяють визначальні фактори, які впливають на міцність виробу, а кожна конкретна деталь повинна мати характерні механічні властивості.

Характеристики матеріалів, що використовуються в інженерних розрахунках, визначаються за допомогою випробування стандартних зразків з визначеними формою й розмірами за певними умовами.

Вибір матеріалу залежить не тільки від його масно-масових характеристик, але й від призначення та умов роботи деталі. При виборі матеріалу враховують властиві йому жорсткість, твердість, в'язкість, пластичність, технологічні характеристики (обробованість, штампованість, зварюваність), зносостійкість, корозійостійкість, жаростійкість і жароміцність. Важливу роль має напружність матеріалу [10].

1.1. Характеристики матеріалу, які визначаються при випробуванні на розтяг

Дані про міцність, пластичність і пружність матеріалу отримують у результаті випробувань на розтяг.

Прокрутність – здатність матеріалу повністю відновлювати недеформований стан після усунення напружень.

Пластичність – здатність матеріалу проявляти пластичну деформацію.

Пружна деформація – це деформація, що зникає після усунення навантаження, яке її спричинило.

Залишкова деформація – це деформація, що залишається після усунення навантаження, яке її спричинило.

Пластична деформація – це складова залишкової деформації, що не спричиняє зміни об'єму.

Випробування здійснюють при поступовому одновісному розтязі зразка. За результатами випробувань будують діаграму розтягів. Типовий вигляд діаграми розтягів у відносних координатах для низькоуглецевої сталі подано на рис. 1.1.

На осі абсцис відкладають відносне видовження $\delta = \Delta l / l_0$, а на осі ординат – напруження $\sigma = P / F_0$, де l_0 – розрахункова базова довжина зразка до випробування, м; Δl – видовження розрахункової базової довжини зразка, м; P – поточне значення розтягуючої сили, МН; F_0 – площа поперечного перерізу зразка до випробування, м².

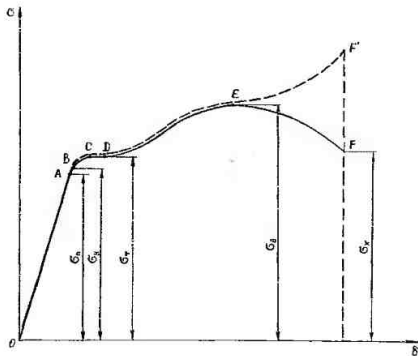


Рис.1.1. Діаграма розтягів для низькоуглецевої сталі

На першій стадії випробування зразок відоводжується пружно без залишкової деформації. Напруження σ_B носить назву *границі пропорційності*. До цього напруження (точка A) додержується лінійна залежність між δ і σ . Величина $E = \sigma / \delta$ називається *модулем пружності під час розтягу*.

Точка B відповідає найбільшому напруженню σ_B , при якому зразок зберігає пружні властивості, а напруження σ_C зветься *границею пружності*.

Враховуючи, що практично неможливо встановити початок відхилення від закону пропорційності й початок появи перших залишкових деформацій, вводять також поняття умовної границі пропорційності та умовної границі пружності.

Під *умовною границею пропорційності* розуміють найменше напруження, при якому відхилення від лінійної залежності між напруженням і деформацією досягає деякої заданої величини (близько 0,002 %).

Під *умовною границею пружності* розуміють найменше напруження, при якому залишкова деформація досягає заданої величини (звичайно 0,001 – 0,05 %) [11].

Точка C' відповідає напруженню $\sigma_{C'}$ при якому зразок деформується без чинячої пластичності, утворюючи на діаграмі "пасхадку пластичності" CD. Напруження $\sigma_{C'}$ зветься *границею пластичності*. Після точки D матеріал знову починає чинити опір подальшому деформуванню.

Для матеріалів, на діаграмі розтягів яких відсутня "пасхадка пластичності", границю текучості визначають умовно як напруження, при якому залишкова деформація становить деяку величину, що встановлюється стандартами або галузевими умовами. Так, наприклад, $\sigma_{0,2}$ – позначення умовної *граници пластичності* або напруження, при якому залишкова деформація становить 0,2 % розрахункової довжини зразка.

Точка E відповідає максимальному напруженню σ_E , після якого деформування починається із зміцненням, що спричиняє локалізацію деформації у вигляді місцевого зрушення зразка (утворення шийки). Напруження σ_E носить назву *граници міцності*.

Точка F відповідає напруженню σ_F , при якому зразок руйнується.

Оскільки при розтягуванні площа поперечного перерізу зразка зменшується, вищевизначені граничні значення напружень мають умовний характер (особливо напруження під час розриву σ_F , коли переріз шийки зразка значно менше початкової площі перерізу зразка F_0). На рис.1.1 штриховою лінією подана діаграма дійсних напружень, які визначаються як відношення дійсних на зразок зусиль у кожний момент часу до значень площ поперечного перерізу у відповідний момент часу.

При випробуванні на розтяг визначають також деформаційні характеристики матеріалу після розриву зразка, які вимірюються у відсотках: *відносне видовження*

$$\delta = \frac{(l_x - l_0)}{l_0} \cdot 100$$

і *відносне зуження*

$$\psi = \frac{(F_0 - F_x)}{F_0} \cdot 100,$$

де l_x – довжина зразка в момент зрушення, м,

F_x – площа поперечного перерізу зразка в місці розриву, мм^2 .

Матеріали, в яких у момент розриву $\delta > 10\%$, відносять до пластичних, а матеріали з $\delta < 3\%$ в момент розриву – до крихких.

Відносне зуження, як характеристика пластичності має перевагу в порівнянні з відносним видовженням, тому, що не залежить від форми зразка [12].

Важливим характеристикою матеріалу є *коефіцієнт Пуассона*, який розраховується як відношення абсолютних величин поперечної δ' та подов-

яльнї 8 лінійних деформацій за лінійного напруженого стану до границі пропорційності (коефіцієнт Пуассона завжди додатний незалежно від знаку відносних деформацій).

$$\mu = \delta' / \delta$$

1.2. Механічні характеристики матеріалу, які враховуються при високій температурі

Механічні характеристики матеріалів при підвищених температурах істотно змінюються. Важливе значення при цьому має також тривалість випробувань.

Жорсткість — це здатність матеріалів зберігати необхідну міцність при високих температурах. Жорсткість характеризується границею міцності, границею повзучості та границею тривалості міцності.

Жорсткість — це властивість матеріалу чинити опір хімічному руйнуванню поверхні при високих температурах.

Повзучість матеріалу (крип) — необоротне зростання деформації в матеріалі з часом під дією навантаження.

Границя повзучості — це напруження, за якого швидкість деформації повзучості або деформації повзучості за визначений час (за умовою) дорівнює заданій (наприклад, 1 % за 10^4 годин безперервної дії цього напруження при температурі 700 К. Позначається така границя повзучості як $\sigma_{700}^{1\% \cdot 10^4}$).

Границя тривалості міцності — це напруження, за якого зразок досягає поділу на частини за обумовлений час дії навантаження. Наприклад, границя тривалості міцності $\sigma_{873}^{10^3}$ означає, що дане напруження спричиняє зруйнування зразка через 10^3 годин безперервної дії при температурі 873 К.

1.3. Твердість

Твердість — це здатність матеріалу чинити опір деформованню та руйнуванню під дією місцевих контактних зусиль.

Твердість частіше визначається за допомогою вдавлення в поверхню досліджуваного матеріалу тіла у вигляді сталової загартованої кульки (спосіб Брінеля), алмазного конуса (спосіб Роквелла), чотиригранної піраміди (спосіб Віккерса) та ін.

Числа твердості за Брінелем (HB) і за Віккерсом (HV) визначаються як відношення навантаження на індентор (тіло, що вдавлюється) до площі поверхні відбитка на досліджуваному матеріалі.

Твердість за Роквеллом (HRC) не має тієї ж розмірності й того ж фізичного значення, як твердість за Брінелем або за Віккерсом, і визначається як різниця глибини проникнення в поверхню зразка алмазного конуса під дією

навантаження (1500 Н) і попереднього (100 Н) навантаження.

За допомогою таблиць або діаграм значення твердості, що одержані різними методами можуть бути переведені у твердість за Брінелем. У табл.1.1 наведені співвідношення між числами твердості за Брінелем, Роквеллом і границею міцності для сталі

Таблиця 1.1. Співвідношення між числами твердості за Брінелем (HB), Роквеллом (HRC) і границею міцності (σ_B) для сталей [11]

Діаметр індентора, мм	HB, МПа	HRC	σ_B для сталей, МПа			
			вуглецевої	хромистой	хромонікелевої	хромомолибденової
2,34	6880	65	2480	—	2340	2270
2,37	6700	64	2410	—	2280	2240
2,39	6560	63	2370	—	2240	2180
2,42	6430	62	2310	—	2180	2120
2,45	6270	61	2260	2180	2130	2070
2,48	6110	60	2200	2130	2070	2020
2,51	5970	59	2140	2080	2020	1970
2,54	5820	58	2080	2030	1970	1920
2,57	5690	57	2050	2000	1940	1880
2,62	5470	55	1960	1940	1850	1800
2,71	5100	52	1830	1780	1730	1680
2,78	4850	50	1750	1700	1650	1600
2,85	4610	48	1650	1620	1560	1520
2,91	4410	46	1590	1540	1500	1450
2,98	4200	44	1510	1470	1430	1380
3,08	3930	42	1410	1370	1340	1300
3,14	3780	40	1360	1320	1280	1250
3,24	3540	38	1280	1240	1210	1170
3,34	3330	36	1200	1170	1130	1100
3,44	3130	34	1120	1090	1060	1030
3,52	2980	32	1070	1040	1020	980
3,62	2820	30	1020	980	960	930
3,70	2690	28	980	940	920	890
3,80	2550	26	920	890	860	840
3,90	2410	24	870	840	820	800
4,00	2290	22	820	800	780	760
4,10	2170	20	780	760	740	720
4,20	2070	18	740	720	700	680
4,26	2000	—	720	700	680	660
4,37	1900	—	680	670	650	630
4,48	1800	—	650	630	610	590
4,60	1700	—	610	590	580	560
4,74	1600	—	580	560	540	520
4,88	1500	—	540	520	510	500
5,05	1400	—	500	490	480	470
5,21	1300	—	470	450	440	430
5,42	1200	—	430	420	410	400
5,63	1100	—	400	390	380	370
5,83	1020	—	370	360	350	340

1.4. Залежність механічних властивостей металів і сплавів від впливу різних факторів

Вплив високих температур. При високих температурах значно знижуються основні міцнісні показники металів і сплавів. З підвищенням температури у сталях, які знаходяться під дією навантаження, виникають повзучість і релаксація. При релаксації загальна деформація деталі постійна, а напруження в матеріалі падає, а при повзучості деформація безперервно зростає при постійному напруженні.

При підвищених температурах істотно зменшується також модуль пружності під час розтягу E , а коефіцієнт Пуассона μ трохи зростає.

Зниження механічних властивостей обумовлено структурними й фазовими перетвореннями, що чиняться в металі. Тому рекомендується в цьому випадку застосовувати спеціальні сталі: жаростійки (такі, що пропікають хімічному зруйнуванню при високих температурах) і жароміцні (такі, що зберігають механічні властивості при високих температурах).

Вплив низьких температур. Зі зниженням температури границя міцності σ_B , границя плинності σ_T і модуль пружності під час розтягу E зростають, відносно видовження δ і відносно звуження ψ зменшуються, і різко зменшується ударна в'язкість. Холодноломкість (здатність матеріалу виявляти крихкість у разі зниження температури) особливо виявляється при динамічній дії навантаження.

Вплив швидкості деформації. При збільшенні швидкості деформації матеріали, що знаходяться у пластичному стані, збільшують опір деформуванню; при цьому підвищується границя плинності σ_T і границя міцності σ_B , модуль пружності під час розтягу E змінюється незначно.

Вплив технологічних факторів. У процесі *лигтя* заготовок можливе утворення порожнин, раковин і включень, які знижують міцність деталей.

Прокатка обумовлює анізотропність властивостей сталей. Найбільш міцнісні властивості спостерігаються вздовж осі прокатки.

Наклеп (обробка металу тиском у холодному стані) підвищує міцність і твердість, знижує в'язкість, пластичність, залишкове видовження після розриву.

Волочіння в холодному стані (у результаті якого поперечний переріз виробу зменшується, а довжина збільшується) ще більше підвищує міцнісні властивості сталі.

Вплив термічної обробки. *Гартування* сталі значно підвищує її твердість, границю плинності σ_T , границю міцності σ_B , істотно зменшує пластичність. Модуль пружності під час розтягу E при цьому практично не змінюється.

Поверхнєве гартування струменем високої частоти підвищує поверхневу твердість деталі зі збереженням інших властивостей сталі.

Цементація (збільшення в поверхневому шарі низьковуглецевих сталей вмісту вуглецю) з наступним гартуванням підвищує поверхневу твердість.

Відпал (нагрівання, витримка й повільне охолодження) використовують для усунення наклепу, підвищення пластичності металу, надання певних електричних, магнітних та інших властивостей.

Нормалізація (нагрівання до повної перекристалізації й наступне охолодження у спокійному повітрі) призначена для підвищення міцності, пластичності та в'язкості сталі.

Відпуск (нагрівання сталі після гартування до температури від 100 °С до критичної з наступним охолодженням) призводить до зменшення крихкості, твердості й міцності сталі та збільшення її пластичності та в'язкості.

1.5. Зварюваність

Зварюваність – властивість металу або сполучення металів утворювати при встановленій технології зварки з'єднання, яке задовольняє вимоги, обумовлені конструкцією та експлуатацією виробу.

Згідно з ГОСТ 29273–92 металевий матеріал вважається таким, що піддається зварюванню до встановленого ступеня при даних процесах і для подальшої мети, коли зварюванням досягається металева цілісність при відповідному технологічному процесі, щоб зварювані деталі відповідали вимогам як у відношенні їх власних якостей, так і у відношенні їх впливу на конструкцію, яку вони утворюють.

Зварюваність залежить від ступеня легування, структури і вмісту домішок. Найбільший вплив на зварюваність сталей здійснює карбон (вуглець). Із збільшенням вмісту вуглецю, а також легуючих елементів зварюваність сталей погіршується. Орієнтовним кількісним показником зварюваності сталі відомого хімічного складу є еквівалентний вміст вуглецю (у відсотках), який обчислюється за формулою:

$$C_e = C + \frac{Mn}{6} + \frac{(Cr + Mo + V)}{5} + \frac{(Ni + Cu)}{15}$$

Залежно від C_e сталі за зварюваністю поділяють на чотири групи: хороша, задовільна, обмеженої та поганої зварюваності.

До першої групи ($C_e \leq 0,25\%$ – хороша зварюваність) відносять сталі зварювання яких може бути виконане без підігріву до і в процесі зварювання без подальшої термообробки: сталі марок Ст1–Ст4 за ГОСТ 380–94; сталі марок 08, 10, 15, 20, 25 за ГОСТ 1050–88; сталі 15Л, 20Л за ГОСТ 977–88; сталі марок 15Г, 20Г, 15Х, 20Х, 20ХГСА, 12ХН2 за ГОСТ 4543–71; сталі марок 12Х18Н9Т, 08Х18Н10Т, 20Х23Н18 за ГОСТ 5632–72 (марки матеріалів див. розділ 2).

До другої групи ($0,25\% < C_e \leq 0,35\%$ – задовільна зварюваність) відносять переважно сталі, при зварюванні яких у нормальних виробничих умовах тріщини не утворюються, а також сталі, які для запобігання тріщин потребують попереднього огляду; сталі, які необхідно піддавати попередній і подальшій термообробці: сталі марки Ст5 за ГОСТ 380–94; сталі марок 30, 35 за ГОСТ 1050–88; сталі марок 30Л і 35Л за ГОСТ 977–88; сталі 30Х, 25ХГСА, 20ХН3А, 12Х2Н4А за ГОСТ 4543–71.

До третьої групи ($0,35\% < C_e \leq 0,45\%$ – обмежена зварюваність) відносять сталі, схильні до утворення тріщин у звичайних умовах зварки. Їх зазвичай піддають термообробці й підігрівачу, а більшість сталей цієї групи термічно обробляють і після зварювання: сталі марки Ст6 за ГОСТ 380–94; сталі марок 40, 45, 50 за ГОСТ 1050–88; сталі марок 30ХМ, 30ХГГС, 30ХГСА, 33ХС, 20Х2Н4А за ГОСТ 4543–71; сталі марок 17Х18Н9, 12Х18Н9 за ГОСТ 5632–72.

До четвертої групи ($C_e > 0,45\%$ – погана зварюваність) відносять сталі, що найбільш важко зварюються і схильні до утворення тріщин. Їх застосування для зварки обмежено. Зварюють обов'язково з попередньою термообробкою, з підігрівом у процесі зварювання з подальшою термообробкою: сталі марок 40Г, 45Г, 50Г, 60Г, 65Г, 70Г, 50ХН за ГОСТ 4543–71; сталі 55Л за ГОСТ 977–88; сталі марок 65, 75, 85, 50ХГ, 50ХГА, 50С2, 55С2А, 55С2А, 60С2А за ГОСТ 14959–79; сталі марок Х12, Х12Н, 6ХВГ, 7Х3, 8Х3, ХВГ, ХВ4, 5ХГМ за ГОСТ 5950–73.

1.6. Оброблюваність різанням

Оброблюваність різанням визначається для умов напівчистового точіння без охолодження по чистому металу різцями, що оснащені твердими сплавами Т5К10, ВК6 (для вуглецевих сталей і сплавів на не залізистій основі), і різцями з швидкорізучою сталлю Р18, Р12 (для вуглецевих і легированих сталей) при постійних значеннях глибини різання 1,5 мм, поздовжній 0,2 мм об'ємі кута в різанні

різання $\phi 60^\circ$

Оброблюваність сталі і сплавів різанням оцінюється за швидкості різання, що відповідає 60-хвилинній стійкості різців V_{60} і виражається коефіцієнтами $K_{\text{швст}}$ і $K_{\text{швср}}$ по відношенню до еталонної сталі. Як еталонна сталь прийнята вуглецева сталь марки 45 за ГОСТ 1050–88 ($\sigma_t=637$ МПа, HB179), швидкість різання V_{60} якої прийнята за одиницю. Коефіцієнти оброблюваності даної сталі для умов точіння твердосплавними різцями $K_{\text{швст}} = V_{60}/145$, де V_{60} – швидкість різання, що відповідає 60-хвилинній стійкості різців при точінні даної сталі, м/хв; 145 – значення швидкості різання при 60-хвилинній стійкості твердосплавних різців при точінні еталонної сталі марки 45.

Коефіцієнти оброблюваності сталі $K_{\text{швср}}$ для умов точіння різцями із швидкоізучою сталлю $K_{\text{швср}} = V_{60}/70$, де 70 – значення швидкості різання при 60-хвилинній стійкості швидкоізучих різців при точінні еталонної сталі марки 45.

При прийнятих умовах різання абсолютне значення швидкості різання V_{60} даної сталі визначається множенням її коефіцієнта $K_{\text{швст}}$ або $K_{\text{швср}}$ на відповідні значення еталонної сталі марки 45.

1.7. Корозійна стійкість

Корозійна стійкість металів і сплавів у різних середовищах оцінюється за 10-бальною шкалою (табл.1.2) залежно від швидкості корозії, тобто проникнення корозії у глибину матеріалу зразка, яка розраховується виходячи з втрат маси після видалення продуктів корозії за формулою

$$P = K/p,$$

де K – втрати маси, кг/(м² рік), p – густина металу, кг/м³.

Таблиця 1.2. Корозійна стійкість металів

№ п/п	Група стійкості	Бал	Швидкість корозії металу
			П·10 ³ , м/рік
1	Цілком стійкі	1	Менше 0,001
2	Дуже стійкі	2	Понад 0,001 до 0,005
3	Дуже стійкі	3	Понад 0,005 до 0,01
4	Стійкі	4	Понад 0,01 до 0,05
5	Стійкі	5	Понад 0,05 до 0,1
6	Замовлено стійкі	6	Понад 0,01 до 0,5
7	Замовлено стійкі	7	Понад 0,5 до 1,0
8	Малостійкі	8	Понад 1,0 до 5,0
9	Малостійкі	9	Понад 5,0 до 10
10	Нестійкі	10	Понад 10

2. СТАЛІ

2.1. Класифікація сталей

Сталі поділяються:

за *способом виробництва*: на бесемєрівські, конверторні, мартенівські та одержані з електричних печей;

за *хімічним складом*: на вуглецеві й леговані;

за *використанням*: на конструкційні, спеціальні (інструментальні, пружинні, електротехнічні) і спеціального призначення (нержавіючі, жаро- і холодостійкі);

за *якістю*: на сталі звичайної якості, якісні, високоякісні та особовисокоякісні;

за *структурою*: на перлітні, аустейтні, феритні й мартенситні;

за *міцністю*: на сталі нормальної міцності (границя міцності σ_s до 1000 МПа), підвищеної міцності (σ_s до 1500 МПа) й високоміцні (σ_s до 2000 МПа).

У таблиці 2.1 наведено поділ сталей на класи

Таблиця 2.1. Поділ сталей на класи

Клас сталі	Марка сталі
Вуглецевий	Ст3, 10, 20, 15К, 16К, 18К, 20К, 20Ю4
Низьколегований, марганцевистий, кремнемарганцевистий	16ГС, 17ГС, 17ПС, 09Г2С, 10Г2СФ, 10Г2С1, 10Г2, 10Г2С1Д, 09Г2, 09Г2СЮ4, 16ГМЮ4, 09Г2СФБ
Низьколегований, хромо-нікелевий, хромо-нікель-нікельованадистий	12МХ, 12ХМ, 12ХМФ, 15ХМ, 10Х21НМ, 1Х2М1, 20Х2МА
Мартенситний	15Х5, 15Х5М, 15Х5ВФ, 12Х8ВФ, 20Х13, Х9М, 12Х13
Феритний	08Х13, 08Х17Т, 15Х25Т
Аустейтний	10Х14Г14Н4Г, 08Х18Н10Т, 08Х18Н12Б, 10Х17Н13М2Т, 08Х17Н15М3Т, 03Х17Н14М3, 12Х18Н12Т, 02Х18Н11, 02Х8Н22С6, 03Х19АГ3Н10Т, 07ХГЗАГ20, 12Х18Н10Т, 12Х18Н9Т, 03Х21Н21МУГБ
Сплави на залізонікелевій і нікелевій основі	06Х28МДТ, ХН32Т, 03Х28МДТ
Аустейтноферитний	08Х22Н6Т, 12Х21Н5Т, 08Х18Г8Н2Т, 15Х18Н12С4ТЮ

2.2. Вуглецеві сталі

Вуглецеві сталі – це найбільше поширені конструкційні матеріали. Механічні властивості цих сталей у значній мірі залежать від кількості вуглецю. Вміст домішок у сталі (сірка, фосфор, кисень, азот, водню та ін.) суворо регламентований. Якщо марганець і кремній необхідні для розкислення при виплаві, то сірка й фосфор є шкідливими домішками.

Вуглецеві сталі – сталі нормальної міцності. Їх випускають звичайної якості та якісними.

Низьковуглецеві сталі (вміст вуглецю до 0,25 %) частіше використовують у будівельних конструкціях; середньовуглецеві (вміст вуглецю до 0,46 %) – у машинобудуванні, а високовуглецеві (вуглецю більше 0,46 %) – в інструментальному виробництві.

2.2.1. Вуглецеві сталі звичайної якості

Вуглецеві сталі звичайної якості призначені для виготовлення гарячекатаного прокату (сортового, фасонного, товстолистового, тонколистового, широкотабоного) та холоднокатаного тонколистового прокату, а також виливків, бляшів, слябів, труб, поковок, штамповок, стрічки, дроту, метизів та ін.

Вуглецеві сталі звичайної якості маркують сполученням літер "Ст" і цифрою, наприклад, Ст0, Ст1, ..., Ст6. Цифри визначають умовний номер марки залежно від хімічного складу.

Ступінь розкислення сталі вказується індексом:

"сп" – спокійна (Ст1сп, Ст2сп, ..., Ст6сп);

"пс" – напівспокояна (Ст1пс, Ст2пс, ..., Ст6пс);

"кп" – кипляча (Ст1кп, Ст2кп, Ст3кп, Ст4кп).

Нормовані показники за хімічним складом сталі й механічними властивостями вуглецевих сталей звичайної якості наведені в таблицях 2.2 и 2.3.

Таблиця 2.2. Хімічний склад сталей за аналізом довгої проби [1]

Марка сталі	Масова частка елементів, %		
	вуглець	марганець	кремній
Ст0	не більше 0,23	–	–
Ст1кп	0,06–0,12	0,25–0,50	Не більше 0,05
Ст1пс	0,06–0,12	0,25–0,50	0,05–0,15
Ст1сп	0,06–0,12	0,25–0,50	0,15–0,30
Ст2кп	0,09–0,15	0,25–0,50	Не більше 0,05
Ст2пс	0,09–0,15	0,25–0,50	0,05–0,15
Ст2сп	0,09–0,15	0,25–0,50	0,15–0,30
Ст3кп	0,14–0,22	0,30–0,60	Не більше 0,05

Марка сталі	Масова частка елементів, %		
	вуглець	марганець	кремній
Ст3пс	0,14–0,22	0,40–0,65	0,05–0,15
Ст3сп	0,14–0,22	0,40–0,65	0,15–0,30
Ст3Гпс	0,14–0,22	0,80–1,10	Не більше 0,15
Ст3Гсп	0,14–0,22	0,80–1,10	0,15–0,30
Ст4кп	0,18–0,27	0,40–0,70	Не більше 0,05
Ст4пс	0,18–0,27	0,40–0,70	0,05–0,15
Ст4сп	0,18–0,27	0,40–0,70	0,15–0,30
Ст5пс	0,28–0,37	0,50–0,80	0,05–0,15
Ст5сп	0,28–0,37	0,50–0,80	0,15–0,30
Ст5Гпс	0,22–0,30	0,80–1,2	Не більше 0,15
Ст6пс	0,38–0,49	0,50–0,80	0,05–0,15
Ст6сп	0,38–0,49	0,50–0,80	0,15–0,30

Примітки:

- 1) У сталі марки Ст0 масова частка марганцю, кремнію, хрому, нікелю, міді, мінш'яку не нормується.
- 2) У разі розкласована напівспокійної сталі алюмінієм, титаном або іншими розкласовачами, що не мають кремнію, а також декількома розкласовачами (фосфорнієм та алюмінієм, фосфорнієм та титаном та ін.) масова частка кремнію в сталі допускається менше 0,05 %. Розкласована титаном, алюмінієм та іншими розкласовачами, що не мають кремнію, допускається в документі про якість.
- 3) Масова частка хрому, нікелю та міді в сталі повинна бути не більше 0,30 % кожного.
- 4) У сталі, виготовленій скрап-процесом, допускається масова частка міді до 0,40 %, хрому та нікелю – до 0,35 % кожного. При цьому в сталі марок Ст3кп, Ст3пс, Ст3сп, Ст3Гпс та Ст3Гсп масова частка вуглецю повинна бути не більше 0,20 %.
- 5) Масова частка азоту в сталі повинна бути не більше 0,010 %. Допускається масова частка азоту в сталі до 0,013 %, якщо в разі підвищення масової частки азоту на 0,001 % нормативне значення масової частки фосфору знижується на 0,005 %. Масова частка азоту в сталі, наплавленої в електродугових, повинна бути не більше 0,012 %.
- 6) Масова частка сірки в сталі всіх марок, крім Ст0, повинна бути не більше 0,05 %, фосфору – не більше 0,04 %, у сталі марок Ст0 сірки – не більше 0,06 %, а фосфору – не більше 0,07 %.
- 7) Масова частка мінш'яку в сталі повинна бути не більше 0,08 %. У сталі, випаленої на базі керченської руди, масова частка мінш'яку – не більше 0,15 %, а фосфору – не більше 0,05 %.
- 8) Літера Г вказується після номера при підвищеному вмісті марганцю в напівспокійній сталі.

Таблиця 2.3. Порівняння дозволених механічних властивостей вуглецевих сталей звичайної якості

Марка сталі	Гранична міцність σ_s , МПа	Гранична пластичність σ_p , МПа		Відносне видовження коротких зразків δ , %			
		МПа		Товщина зразка, мм			
		до 20	20...40	40...100	до 20	20...40	40...100
Ст0	310	–	–	–	23	22	20
Ст3пс	340...440	230	220	210	32	31	29
Ст3сп	340...440	230	220	210	32	31	29
Ст3Гпс	370...470	240	230	220	27	26	24
Ст3Гсп	380...490	250	240	230	26	25	23
Ст4пс	380...490	250	240	230	26	25	23
Ст4сп	380...500	250	240	230	26	25	23
Ст5пс	410...520	260	250	240	25	24	22
Ст5сп	420...540	270	260	250	24	23	21
Ст5Гпс	420...540	270	260	250	24	23	21
Ст5Гсп	500...640	290	280	270	20	19	17
Ст6пс	500...640	290	280	270	20	19	17
Ст6сп	460...600	290	280	270	20	19	17

Примітка: Для сталей в фасовій сталі товщиною ≥ 20 мм значення граничної пластичності допускається на 10 МПа вище в порівнянні з вказаним.

Вуглецеві сталі звичайної якості добре зварюються і знаходять масове застосування, коли основним критерієм роботоцятності є жорсткість [3].

Маловуглецеві сталі можуть піддаватися холодній обробці тиском. Середовуглецеві сталі (Ст5, Ст6) використовуються для виготовлення валів, шківів, зубчастих коліс та ін.

З термічно зміцнених вуглецевих сталей виготовляють газонафтопродуктні труби, цистерми, рейки, вагонні колеса.

Порівняння марок сталі типу "Ст" та типу "Fe" наведено в таблиці 2.4.

Таблиця 2.4. Порівняння марок сталі типу "Ст" та "Fe" згідно з міжнародними стандартами ISO 630 та ISO 1052 [1]

Марка "Ст"	Ст0	Ст3кп	Ст3пс	Ст3сп	Ст3Гпс	Ст3Гсп	Ст5пс	Ст5сп
Марка "Fe"	Fe310-0	–	–	–	–	–	–	–
Марка "Ст"	Ст3кп	Ст3пс	Ст3Гпс	Ст3сп	Ст3Гсп	Ст5пс	Ст5сп	–
Марка "Fe"	Fe360-A	Fe360-B	Fe360-B	Fe360-C	Fe360-C, Fe360-D	–	–	–
Марка "Ст"	Ст4кп	Ст4пс	Ст4сп	–	–	Ст5пс	–	–
Марка "Fe"	Fe430-A	Fe430-B	Fe430-C	Fe430-D	Fe510-B, Fe490	–	–	–
Марка "Ст"	Ст5Гпс	Ст5сп	Ст6сп	Ст6пс	–	–	–	–
Марка "Fe"	Fe510-B, Fe490	Fe510-C, Fe490	Fe590	Fe590	Fe690	–	–	–

Вимоги до хімічного складу сталі марок Fe310, Fe360, Fe430, Fe490, Fe510, Fe590, Fe690 наведені в таблиці 2.5.

Таблиця 2.5. Вимоги до хімічного складу сталі згідно з міжнародними стандартами ISO 630 та ISO 1052 [1]

Марка сталі	Категорія якості	Товщина прокату, мм	Масова частка елементів, %, не більше				Ступінь розкислення
			вуглецю	фосфору	сірки	азоту	
Fe310	0	—	—	—	—	—	—
Fe360	A	—	0,20	0,060	0,050	—	—
	B	До 16	0,18	0,050	0,050	0,009	—
	C	Понад 16	0,20	0,050	0,050	0,009	—
		—	0,17	0,045	0,045	0,009	E
Fe430	A	—	0,24	0,060	0,050	—	—
	B	До 40	0,21	0,050	0,050	0,009	E
	C	Понад 40	0,22	0,050	0,050	0,009	E
		—	0,20	0,045	0,045	0,009	E
Fe510	B	—	0,22	0,050	0,050	—	—
	C	До 16	0,20	0,045	0,045	—	E
		Понад 16	0,22	0,045	0,045	—	E
		До 35	0,20	0,040	0,040	—	CF
Fe490	—	Понад 35	0,22	0,040	0,040	—	CF
		—	—	0,050	0,050	—	—
		—	—	0,050	0,050	—	—
	—	—	—	0,050	0,050	—	—

Примітки:

1) Знак "—" означає, що показник не нормується.

2) E – спокійна сталь.

3) CF – драбосерниста спокійна сталь. Рекомендована масова частка загального алюмінію – не менше 0,02 %.

4) Сталь марок Fe490, Fe590, Fe690 виготовляють нитрогенспокійною та спокійною.

5) Для сталі марок Fe310, Fe360, Fe430, Fe510 масова частка марганцю – не більше 1,60 %.

кремнію – не більше 0,55 %.

6) Масову частку азоту визначають за відомого спокійника.

Для сталі, розкисленої алюмінієм, допускається масова частка азоту до 0,015 %.

Масова частка азоту в сталі, випаленій в електропечи, повинна бути не більше 0,012 %.

2.2.2. Якісні вуглецеві сталі

Якісні вуглецеві сталі використовують при виготовленні відповідальних несучих конструкцій, валів, осей, шпindelів, циліндрів, гідроприводів, зубчастих коліс, зірочок, муфт, фланців, гвентів, гайок, шпенок та ін.

Ці сталі містять менше фосфору (до 0,035 %), сірки (до 0,04 %) і немета-

лїчних включень, ніж вуглецеві сталі чистайшої якості і тому мають кращі механічні властивості.

Якісні вуглецеві сталі маркують таким чином: 05кп, 08кп, 08пс, 610кп, 10пс, 10, 11кп, 15кп, 15пс, 15, 18кп, 20кп, 20пс, 20, 25, 30, 35, 40, 45, 55, 58 (55пн), 60 [4].

Цифри в марках сталі вказують на вміст вуглецю в сотих частках відсотка з додаванням у відповідних випадках індексів "пс" або "кп". У марках спокійних сталей ступінь розкислення не вказується. Літери "пн", що застосовують для сталі 58 (55пн) означають підвищену прогартуваність.

У таблиці 2.6 вказані масові частки елементів залежно від марки сталі.

Таблиця 2.6. Марки і хімічний склад сталі за аналізом ковпкової проби [4]

Марка сталі	Масова частка елементів, %			
	вуглецю	кремнію	марганцю	хромом, не більше
05кп	Не більше 0,06	Не більше 0,03	Не більше 0,40	0,10
08кп	0,05–0,12	Не більше 0,03	0,25–0,50	0,10
08пс	0,05–0,11	0,05–0,17	0,35–0,65	0,10
08	0,05–0,12	0,17–0,37	0,35–0,65	0,10
10кп	0,07–0,14	Не більше 0,07	0,25–0,50	0,15
10пс	0,07–0,14	0,05–0,17	0,35–0,65	0,15
10	0,07–0,14	0,17–0,37	0,35–0,65	0,15
11кп	0,05–0,12	Не більше 0,06	0,30–0,50	0,25
15кп	0,12–0,19	Не більше 0,07	0,25–0,50	0,25
15пс	0,12–0,19	0,05–0,17	0,35–0,65	0,25
15	0,12–0,19	0,17–0,37	0,35–0,65	0,25
18кп	0,12–0,20	Не більше 0,06	0,30–0,50	0,15
20кп	0,17–0,24	Не більше 0,07	0,25–0,50	0,25
20пс	0,17–0,24	0,05–0,17	0,35–0,65	0,25
20	0,17–0,24	0,17–0,37	0,35–0,65	0,25
25	0,22–0,30	0,17–0,37	0,50–0,80	0,25
30	0,27–0,35	0,17–0,37	0,50–0,80	0,25
35	0,32–0,40	0,17–0,37	0,50–0,80	0,25
40	0,37–0,45	0,17–0,37	0,50–0,80	0,25
45	0,42–0,50	0,17–0,37	0,50–0,80	0,25
50	0,47–0,55	0,17–0,37	0,50–0,80	0,25
55	0,52–0,60	0,17–0,37	0,50–0,80	0,25
58(55пн)	0,55–0,63	0,10–0,30	Не більше 0,20	0,15

Продовження табл. 2.6

Марка сталі	Масова частка елементів, %			
	вуглець	кремній	марганець	хром, не більше
60	0,57-0,65	0,17-0,37	0,50-0,80	0,25

Примітки
 1) Сталь марки 60ка не допускається до використання в техніці, що створюється або модернізується.
 2) Масова частка сірки в сталі повинна бути не більше 0,040 %, фосфору – не більше 0,030 %. Для сталей марок 11кл і 18кл, що застосовуються для підшипників, масова частка сірки повинна бути не більше 0,035 %, фосфору – не більше 0,030 %.
 3) Залишкова масова частка нікелю в сталі всіх марок не повинна перевищувати 0,30 %, міді в сталі марок 11кл і 18кл – 0,20 %, в сталі інших марок – 0,30 %.
 4) У сталі марок 35, 40, 45, 50, 55, 60, що призначені для виготовлення патентуваного дроту, масова частка марганцю повинна бути 0,30-0,60 %, нікелю – не більше 0,15 %, хрому – не більше 0,15 %, міді – не більше 0,20 %, масова частка сірки й фосфору – відповідно до вимог стандартів на дрот, але не більше норм, що наведені в п. 2 цієї таблиці.
 5) У сталі марок 08пс, 10пс, 15пс і 20пс, яка призначена для виготовлення листового прокату для холодного штампування, допускається масова частка марганцю до 0,25 % за нижньою границею.
 6) У сталі марок 08пс, 10пс, 15пс і 20пс допускається масова частка кремнію менше 0,05 % за умов застосування інших (крім кремнію) розкислювачів у необхідній кількості.
 7) У сталі допускається масова частка міді як не більше 0,08 %.
 8) Масова частка азоту в киснової-кислотній сталі не повина перевищувати 0,006 % для товстолистового прокату та стрічки і 0,008 % – для інших видів прокату.

Високотемпературна сталь (марок 65, 70, 75, 80, 85), а також сталі, що вміщують марганець (марок 60Г, 65Г, 70Г), після загартовування й середнього відпуску використовуються для виготовлення силових пружинних елементів: ресор, витяжних пружин та ін.

2.3. Леговані сталі

Для одержання потрібних властивостей у сталі вводять легуючі елементи, що позначаються такими літерами:

А – нітроген;	Н – нікол;
Б – ніобій;	П – фосфор;
В – вольфрам;	Р – бор;
Г – марганець;	С – сімцістий;
Д – кобальт;	Т – титан;
Е – селен;	Ф – ванадій;
К – кобальт;	Х – хром;
Л – берилій;	Ц – цирконій;
М – молибден;	Ю – алюміній.

Ніккелювана сталь (вміст легуючих елементів до 2,5 %) поставляється у вигляді листового прокату [5, 6] і у вигляді прокату, поковок та труб [6].

Легована конструкційна сталь (вміст легуючих елементів до 10 %) поставляється у вигляді сертового прокату, труб і поковок [7].

Теплотривка сталь поставляється у вигляді листового, сертового прокату та труб [8].

Ніккелювана сталь поставляється у вигляді листового прокату, труб і поковок [9].

Властивості сталі залежать від легуючих елементів і їх кількості. Так, нікелювання підвищує міцність і пластичність сталі; нікель підвищує міцність, в'язкість, вистійливість; марганець підвищує границю плинності та твердість і використовується як заміник нікелю; кремній підвищує границю плинності, знижує в'язкість руйнування; молибден підвищує міцність і твердість; вольфрам підвищує високотемпературну стійкість, поліщує ливарні властивості; титан і ванадій підвищують термостійкість тощо.

Леговані сталі маркують цифрами й літерами, що позначають легуючі елементи.

Перші одна або дві цифри, що розташовані ліворуч, характеризують середній вміст вуглецю, відповідно, в десятках або сотнях частках відсотка. Приблизний вміст легуючого елемента в сталі вказується цифрою після відповідної літери у відсотках. Якщо вміст елемента не перевищує 1,5 %, то цифра випускається. Літера А в кінці марки означає, що сталь виготовляється зі зменшеними границями хімічного складу.

Якщо легована сталь містить не більше 0,035 % як сірки, так і фосфору.

Зварюваність сталей тим краще, чим менше в ній вуглецю й легуючих елементів.

Введення в конструкційну сталь сірки, селену, телуру, кальцію, свинцю, фосфору, сполучення яких утворюють включення, що створюють яким внутрішнє напруження, погіршує оброблюваність різанням, підвищує рідкотекучість.

Феритні, хромисті та аустенітні хромонікелеві сталі з вмістом хрому не менше 13 % належать до групи нержавіючих, наприклад 12Х18Н10Т.

2.4. Вимоги до матеріалів

Наведені вимоги відповідають ОСТ 26-291-87 [23].

2.4.1. Загальні вимоги

2.4.1.1. Матеріали за хімічним складом і механічними властивостями повинні задовольняти вимоги державних стандартів і технічних умов.

Якщо характеристики матеріалів повинні підтверджуватися підприємством-постачальником у відповідних сертифікатах.

При виборі матеріалів для виготовлення посудин (окисаючих одностінних деталей) повинні враховуватися розрахункові тиск, температура стінки (мінімальна негативна і максимальна розрхункова), хімічний склад і характер робочого середовища, технологічні властивості й корозійна стійкість матеріалів.

При виборі матеріалів для посудин, які призначені для встановлення на відкритому майданчику або в неопалюваних приміщеннях, повинна враховуватися абсолютна мінімальна температура зовнішнього повітря для даного району у випадку, якщо температура стінки посудини може стати негативною від дії оточуючого повітря, коли посудина знаходиться під тиском.

У решті випадків необхідно враховувати середню температуру найбільш холодної п'ятиденки із забезпеченістю 0,92 по СНІП 2.01.01-82 і перевірити, щоб якість матеріалу, який вибраний, відповідала вимогам таблиці 2.7.

Таблиця 2.7 До вибору матеріалу посудини (апарата) [23]

Внутрішній об'єм посудини, м ³	Середня температура найбільш холодної п'ятиденки $t_{\text{середн}}$, °C	Марка сталі й позначення стандарту
До 100	Не нижче мінус 30	Ст3пс, СтЗсп, СтЗпс, СтЗпс за ГОСТ 380-94
	Від мінус 31 до мінус 40	СтЗпс, СтЗсп, СтЗпс за ГОСТ 380-94 15К-3, 16К-3, 18К-3, 20К-3, 16ГС-3 за ГОСТ 5520-79
	Від мінус 41 до мінус 60	09Г2С-8, 10Г2С1-8 за ГОСТ 5520-79 09Г2С-8, 10Г2С1-8 за ГОСТ 19281-89
Більше 100	Не нижче мінус 30	СтЗпс, СтЗсп, СтЗпс за ГОСТ 380-94 15К-3, 16К-3, 18К-3, 20К-3 за ГОСТ 5520-79 16ГС-3, 09Г2С-3, 10Г2С1-6 за ГОСТ 5520-79
	Від мінус 31 до мінус 40	СтЗпс, СтЗсп, СтЗпс за ГОСТ 380-94 15К-5, 16К-5, 18К-5, 20К-5 за ГОСТ 5520-79 16ГС-6, 09Г2С-6, 10Г2С1-6 за ГОСТ 5520-79 16ГС-6, 09Г2С-6, 10Г2С1-6 за ГОСТ 19281-89

Продовження табл. 2.7

Внутрішній об'єм посудини, м ³	Середня температура найбільш холодної п'ятиденки $t_{\text{середн}}$, °C	Марка сталі й позначення стандарту
Більше 100	Від мінус 41 до мінус 60	09Г2С-8, 10Г2С1-8 за ГОСТ 5520-79 09Г2С-8, 10Г2С1-8 за ГОСТ 19281-89

Примітки:

- 1) Для матеріалів, які не наведені в таблиці, нижня температурна границя визначається згідно з розділами 2.5-2.9
- 2) Для макрократичних районів, у яких температура повітря найбільш холодної п'ятиденки із забезпеченістю 0,92 по СНІП 2.01.01-82 може бути нижче мінус 40 °C, матеріали для посудин визначаються спеціалізованою науково-дослідною установою.
- 3) Якщо при першій якості сталі за цією таблицею виявиться, що таблиці розділів 2.5-2.9 рекомендують інші категорії сталі за ГОСТ 5520-79, ГОСТ 19281-89 потрібно використовувати сталь більшої високотемпературної категорії.
- 4) Границі застосування двохшоврої сталі визначаються за основами паром.
- 5) Труби із сталей марок 10,20 допускається застосовувати при $t_{\text{середн}} \geq 40$ °C з врахуванням технічних вимог за ГОСТ 8731-87 і розд.2.6.
- 6) Поковки із сталі 20 гр.ІV за ГОСТ 8479-70 допускається застосовувати при $t_{\text{середн}} \geq 40$ °C.
- 7) Сталі марок 20, 25, 30, 35, 40 і СтЗсп допускається застосовувати для кріплених деталей, що працюють при $t_{\text{середн}} \geq 40$ °C.
- 8) Допускається випробування сталей на ударний вплив при $t_{\text{середн}} \geq 40$ °C для району встановлення посудини.

2.4.1.2. Матеріали опорних частин посудин, кроштивнів для кріплення навісного обладнання та інших деталей зовнішніх приварних елементів повинні вибиратися за табл.2.7.

Матеріали елементів, що приварюються безпосередньо до корпусу зварювальної машини, циліндричні опори, підкладки під фірмові таблички, опорні кільця під тарілки та ін., повинні мати добру зварюваність з матеріалом корпусу й мати з ним близькі значення коефіцієнтів лінійного розширення (при цьому різниця значень коефіцієнтів лінійного розширення не повинно перевищувати 10 %).

Примітки:

- 1) Допускається приварка до зовнішньої поверхні корпусу посудин з аустенітних хромонікелевих сталей елементів з вуглецевої або низколегованої сталей. Можливість приварки таких елементів, їх довжина й товщина встановлюються автором технічного проекту.
- 2) Допускається застосовувати листову сталь і сортовий прокат марок СтЗпс, СтЗсп товщиною не більше 10 мм для приварених і нецвараємих внутрішніх елементів посудин, що працюють при температурі від мінус 40 °C до 475 °C.

3) Допускається до посудин із сталей 12ХМ, 15ХМ і двошарової сталі з основним шаром із сталі 12ХМ приварювати зовнішні деталі (накладні, скоби для підйомів, косинки та ін.) із сталей 16Г, 09Г2С, СтЗ за умови підтвердження розрахунковою міцністю.

2.4.1.3. Вуглецева кнпльча сталь не повинна застосовуватися:

1) у посудинах, призначених для зріджених газів;

2) у посудинах, призначених для роботи з вибухо- і пожежонебезпечними речовинами, шкідливими речовинами 1 і 2 класів небезпеки за ГОСТ 12.1.005-88, ГОСТ 12.1.007-76 і середовищами, що спричиняють корозійне розтріскування (розчини KOH , NaOH , KNO_3 , NaNO_3 , NH_4NO_3 , $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$, HNO_3 , етилоламіну, аміачної води, рідкого аміаку та ін.), а також із середовищами, що спричиняють сірководневе розтріскування й розшарування.

Внутрішні пристрої, які стикаються з вибухопожежонебезпечними середовищами, допускається виконувати з кнпльчої сталі за товщиною не більше 10 мм.

2.4.1.4. Сталь СтЗпс товщиною більше 12 мм, але менше 25 мм допускається використовувати нарізні зі сталю СтЗпс для виготовлення посудин, що працюють під тиском більш 0,07 МПа, об'ємом не більше 50 м³ і товщиною стінок не більше 12 мм.

2.4.1.5. Корозійностійкі сталі (листи, труби, ковочки і штамповані деталі) при наявності вимог у технічному проекті повинні бути перевірені на стійкість проти міжкристалітної корозії за ГОСТ 6032-89.

2.4.1.6. Застосування матеріалів, передбачених у пп.2.5-2.9, для виготовлення посудин, що працюють за параметрами, які виходять за встановлені границі, а також використання матеріалів, непередбачених стандартом, допускається Міністерством на підставі висновку спеціалізованої науково-дослідної організації. Копія рішення Міністерства вкладається в паспорт посудини.

Допускається застосування нових матеріалів, розширення області застосування матеріалів або зміна об'єму випробувань матеріалів для посудин п'ятої групи (за винятком тих, що працюють під вакуумом) по висновку спеціалізованої науково-дослідної організації.

Допускається за рішенням головного інженера підприємства-виробника посудин застосування сталей більш високої категорії за ГОСТ 5520-79 і ГОСТ 19281-89.

При відсутності супровідних сертифікатів на матеріали або окремих випробувань випробування повинні бути виконані на підприємстві-виробнику посудин у відповідності з вимогами стандартів або технічних умов на ці матеріали.

Допускається за погодженням з автором технічного проекту і спеціалізованою науково-дослідною організацією використання матеріалів, наведених у таблиці 2.7 і пп.2.6-2.10, за іншими стандартами й технічними умовами, як-

що якість матеріалу за ними не нижче

Додаткові умови до матеріалів, що не передбачені стандартами або технічними умовами або передбачені в них "за вимогою замовника", повинні бути обов'язково вказані в технічній документації.

2.4.2. Сталь листова

2.4.2.1. При замовленні вуглецевих сталей за ГОСТ 5520-79 і низьколегірованих сталей за ГОСТ 19281-89 повинні бути вказані категорії сталі.

При замовленні сталей за ГОСТ 5520-79 необхідно вимагати постачання сталі з вмістом сірки не більше 0,035 % і фосфору не більше 0,03 %, а сталей марки 20К категорій 5 і 11 – поставку в нормалізованому стані.

2.4.2.2. Корозійностійка, жаростійка й жароміцна товстолистова сталь за ГОСТ 7350-77 повинна бути замовлена гарячекатаною, термічно обробленою, гнущеною, з обрізним прутком, з якістю поверхні за групою М26 і вимогам за стійкістю проти міжкристалітної корозії. За вказівкою автора технічного проекту слід обумовити вимогу за α -фазою.

Примітка. Допускається використання листа за ГОСТ 7350-77 з якістю поверхні за групами М36 і М46 за умови, що в розрахунок на міцність врахована глибина дефекту.

2.4.2.3. Листову вуглецеву сталь марки СтЗпс і двошарову сталь з основним шаром із сталі СтЗпс товщиною більше 25 мм і сталь марки СтЗпс товщиною більше 30 мм допускається застосовувати на параметри, передбачені п.2.5 за умови проведення випробування металу на ударний вигин на підприємстві-виробнику посудин або їх елементів. Випробування на ударний вигин належить проводити на трьох зразках. При цьому величина ударної в'язкості повинна бути не менше:

1) 50 Дж/см² при температурі 20 °С;

2) 30 Дж/см² при температурі мінус 20 °С і після механічного старіння, а не одномоментно допускається величина ударної в'язкості не менше 25 Дж/см².

Примітка. Допускається застосування сталей за ГОСТ 5520-79, ГОСТ 19281-89 низьких категорій на параметри застосування сталей більш високих категорій за умови проведення необхідних додаткових випробувань відповідно до вимог вказаних стандартів.

Вимога цього пункту не поширюється на посудини, які постачаються на експорт.

2.4.2.4. Листова сталь товщиною більше 60 мм, що призначена для посудин, працюючих під тиском більш 10 МПа, повинна підлягати на підприємстві-постачальнику металу контролю ультразвуковим або іншим рівноцінним методом. Методи контролю повинні відповідати ГОСТ 22727-88, норми контролю – класу І за ГОСТ 22727-88

Для продукції, що постачається на експорт, ультразвуковим або іншим рівноцінним методом контролю повинні контролюватися листи товщиною більше 50 мм.

2.4.2.5. Листи із двохшарової сталі товщиною 25 мм, що призначені для посудина, працюючих під тиском вище 4 МПа, повинні замовлятися за ГОСТ 10885-85 за вимогами, які відповідають класу І суцільності зчеплення шарів.

2.4.2.6. Допускається застосування листового двохшарового прокату й заготовок, одержаних методом вибуху.

2.4.2.7. Заготовки деталей із листової сталі марки 20К за ТУ 14-1-3922-84 підлягають нормалізації на підприємстві-виробнику посудин (складальних одиниць, деталей)

Примітка. Якщо механічні властивості металу листів у стан поставки відповідають вимогам ТУ 14-1-3922-84, що підлягають випробуванню на підприємстві-виробнику посудин (складальних одиниць, деталей), нормалізацію заготовок деталей на підприємстві-виробнику можна не проводити

2.4.3. Труби

2.4.3.1. Електрозварні труби не допускається застосовувати в теплообмінних апаратах, призначених для роботи з речовинами І і ІІ класів небезпеки за ГОСТ 12.1.005-88 і ГОСТ 12.1.007-76, за винятком сірководню при концентрації не більше 0,03 об.%, і в посудинах, де зміна середовища трубного й міжтрубного просторів може призвести до вибуху.

2.4.3.2. При замовленні зварних труб за ГОСТ 10706-76 належить обумовити поставку труб з вимогами для труб магістральних теплових мереж і контролем неруйнівними фізичними методами поперечних зварних швів.

2.4.3.3. При замовленні труб за ГОСТ 8731-87 і ГОСТ 8733-87 необхідно обумовити групу "В", вимоги гідралічного випробування труб і, при вказівці автора технічного проекту, випробування на роздачу, сплюснення або вигини.

2.4.3.4. При замовленні труб за ГОСТ 550-75 із сталей марок 10, 20, 15Х3М і Х8, призначених для виготовлення теплообмінних апаратів, необхідно обумовити групу "А" (асортимент за ГОСТ 550-75).

2.4.3.5. При замовленні труб за ГОСТ 9940-81 і ГОСТ 9941-81 необхідно, щоб партія складалася із труб однієї планки і була оформлена одним документом про якість з вказівкою хімічного складу й відомостей про термообробку, щоб глибина місцевої захистки або шліфівки не виходила діаметр і товщину стінки за границі минусових відхилень, а також гідралічне випробування труб, випробування на стійкість проти міжкристалічної корозії, випробування на роздачу або сплюснення.

При замовленні труб за ГОСТ 9940-81 необхідно вимагати також очистки від окислини і термообробку труб.

2.4.3.6. При замовленні електрозварних труб з корозійностійких сталей за ТУ 14-3-1391-85 необхідно забезпечити поставки труб у стані, стійкому проти міжкристалічної корозії.

2.4.3.7. Труби, що закріплюються в посудинах за допомогою розвальнювання, повинні випробуватися на роздачу, в інших випадках – на вигин або сплюснення у відповідності до стандартів на труби.

2.4.3.8. Допускається застосовувати труби, які мають гарантію гідралічних випробувань підприємства-постачальника замість гідралічного випробування труб.

2.4.3.9. Труби, які не пройшли випробування на підприємстві-постачальнику, допускається випробувати на підприємстві-виробнику посудин у відповідності з вимогами п.5.12 ОСТ 26-291-87.

2.4.4. Поковки

2.4.4.1. Режими ковки й термообробки поковок повинні відповідати режимам, встановленим у діючій технологічній документації.

2.4.4.2. Розміри поковки повинні відповідати кресленню з припусками на механічну обробку, технологічним напускам і допускам на точність виготовлення у відповідності до ГОСТ 7062-90, ГОСТ 7829-70 і ГОСТ 7565-81.

Якість поверхні, механічні властивості поковок, допустимі дефекти й методи усунення дефектів повинні відповідати вимогам ГОСТ 8479-70, ГОСТ 25054-81, ГОСТ 25169-82.

У випадках виготовлення поковок за розмірами, що виходять за границі, передбачені ГОСТ 8479-70 і ГОСТ 25054-81, вимоги до механічних властивостей поковок повинні бути обумовлені в технічному проекті.

2.4.4.3. Поковки з корозійностійких сталей при наявності вимоги у технічному проекті повинні випробуватися на стійкість проти міжкристалічної корозії за ГОСТ 6032-89.

2.4.4.4. Поковки з легированих, низьколегированих і середьлегированих сталей, що призначені для роботи під тиском вище номінального тиску 6,3 МПа і мають один з габаритних розмірів (діаметр) більше 200 мм і товщину більше 50 мм, належить піддавати попутному контролю ультразвуковою дефектоскопією або іншим рівноцінним методом. Поковки, що працюють під тиском не вище номінального тиску 6,3 МПа, а також поковки з аустенітичних і аустенітно-ферритних високолегированих сталей, що працюють під тиском вище номінального тиску 6,3 МПа, повинні підлягати вказаному контролю при наявності цієї

вимоги у технічному проєкті. Контролю ультразвуковою дефектоскопією або іншим рівноцінним методом належить піддавати не менше 50 % об'єму контролюваної поковки.

Методика контролю повинна відповідати вимогам ОСТ 26-11-09-85.

2.4.4.5. Перед запуском у виробництво кожна поковка для плоских днів, крім поковок з високолегованих сталей, повинна бути проконтрольована ультразвуковою дефектоскопією в зоні з'єднання з обичайною по всій площині й випробування на механічні властивості (границя міцності при розтягуванні σ_b , відносне видовження δ , відносне зуження ψ) із припуску тіла поковки в зоні з'єднання з обичайною. При ультразвуковому контролі дефекти не допускаються. Величина δ повинна бути не менше 14 %, а σ_b – не нижче, чим на 10 % значень відповідних величин, вказаних в державних стандартах на поковки із сталей.

2.4.5. Виливки

2.4.5.1. Сталеві виливки повинні застосовуватися в термообробленому стані з переважною механічних властивостей після термообробки.

Вид і режим термообробки встановлює підприємство-виробник виливок.

2.4.5.2. Сталь для виливок повинна плавлятися в мартенівських або електричних печах, спосіб виплавки вказується в сертифікаті. Сталь для виливок за ГОСТ 977-88, виплавлена кислим способом, повинна випускати сірки й фосфору не більше 0,05 % кожного.

2.4.5.3. Виливки за розмірами й формою повинні відповідати кресленням. Допустимі відхилення за розмірами й масою виливок, а також припуски на механічну обробку приймаються по III класу точності ГОСТ 26645-85.

2.4.5.4. Якість поверхні виливок повинна відповідати вимогам ГОСТ 977-88 і відповідним технічним умовам.

2.4.5.5. На поверхні виливок, що підлягають механічному обробленню, допускаються без виправлення місця, розцивлені від тріщин, слів, раковин, пористостей та інших дефектів, якщо глибина залегання дефекту не перевищує 2/3 припуску на механічне оброблення.

2.4.5.6. Дефекти виливок, які впливають на міцність і погіршують їх товарний вигляд, підлягають виправленню. Види, кількість, розміри й розташування дефектів, що підлягають виправленню, а також способи їх виправлення визначаються відповідними технічними умовами й кресленнями замовника на деталі з виливок.

2.4.5.7. Виливки з легованих і корозійностійких сталей підлягають конт-

ролю макро- й мікроструктури при наявності вимог у технічних умовах або кресленнях. Дослід макро- й мікроструктури проводиться по інструкції підприємства-виробника.

2.4.5.8. Виливки з корозійностійких сталей при наявності вимог креслення повинні бути випробувані на стійкість проти міжкристалічної корозії за ГОСТ 6032-84.

2.4.5.9. Зразки для випробувань механічних властивостей повинні виготовлятися у відповідності до вимог ГОСТ 977-88 і ГОСТ 2176-77.

2.4.5.10. Кожна порожниста виливка, що працює під тиском вище 0,07 МПа, повинна підлягати гідралічному випробуванню пробним тиском, вказаним у технічних умовах і ГОСТ 356-80. Випробування виливок, що пройшли на підприємстві-виробнику 100 % контроль перуїрними методами, допускається поєднувати з випробуванням складеного вузла або посудини пробним тиском, встановленим для вузла або посудини.

2.4.6. Сортова сталь

2.4.6.1. При замовленні вуглецевих сталей звичайної якості за ГОСТ 380-94 повинні бути вказані ступінь розкислення (сталь спокійна, напіспокоїна, каліляча).

При замовленні сталі за ГОСТ 19281-89 повинні бути вказані категорії сталі.

2.4.6.2. При замовленні корозійностійких сталей за ГОСТ 5949-75 необхідно вимагати постанову в термообробленому стані й перевірку на стійкість проти міжкристалічної корозії за ГОСТ 6032-89.

2.5. Вимоги до термічного оброблення

Наведені вимоги відповідають ОСТ 26-291-87 [23].

2.5.1. Посудини (складальні одиниці, деталі) з вуглецевих і низьколегованих сталей (за винятком сталей, вказаних у п.2.5.3), які виготовлені із застосуванням зварювання, штампування або вальцювання, підлягають обов'язковому термічному обробленню, якщо:

1) товщина стінки циліндричного або конічного елемента, днища, фланця або патрубку посудини у місці їх зварного з'єднання більше 36 мм для вуглецевих сталей і більше 30 мм для низьколегованих, марганцевистих і кремнемарганцевистих сталей (16ГС, 09Г2С, 17Г1С, 10Г2 та ін.);

2) товщина стінки циліндричних або конічних елементів посудини (бет-

рубка), що виготовлені з листової сталі вальцюванням, повинні мати величину, обчислену за формулою:

$$S = 0,009(D + 1,2),$$

де D — мінімальний внутрішній діаметр посудини (патрубка), м.

Примітка. Ця вимога не поширюється на вальцювані об'єкти.

3) Вони призначені для експлуатації у середовищах, що спричиняють корозійне розтріскування (рідкий аміак, аміачна вода, розчин їдкого натрію й калію, азотнокислого натрію, калію, амонію, кальцію, етаноламіну, азотної кислоти та ін.), при вказівці про це розробником у технічній документації.

4) Днища посудин і їх елементів незалежно від товщини виготовлені холодним штампуванням.

5) Необхідність термічного оброблення обумовлена умовами виготовлення, експлуатації посудини й обумовлюється в технічному проекті.

5.5.2. Зварні з'єднання з вуглецевих, низьколегованих марганцевистих, марганцевокремністих і хромомolibденових сталей, виконаних електрошлаковим зварюванням, підлягають нормалізації й високому відпуску, за винятком випадків, що обумовлені у примітках до обов'язкового додатка І5 ОСТ 26-291-87.

При електрошлаковому зварюванні заготовок штампованих і вальцюваних елементів із сталі марок 16ГС, 09Г2С і 10Г2С1, призначених для роботи не нижче мінус 40 °С, нормалізація може бути поєднана з нагріванням під штампування із закінченням штампування при температурі не нижче 700 °С.

2.5.3. Посудини (складальні одиниці, деталі) із сталей марок 12ХМ, 12ХМ, 15ХМ, 12Х1МФ, 10Х2ГНМ, 15Х5, Х8, 15Х5М, 15Х5ВФ, 12Х8ВФ, Х9М та із двошарової сталі з основним шаром із сталі марок 12ХМ, 12ХМ, 20Х2М, піддані зварюванню, повинні бути термооброблені незалежно від діаметра й товщини стінки.

2.5.4. Посудини (складальні одиниці, деталі) із сталей марок 08Х18Н10Т, 08Х18Н12Б та інших аустенітних сталей, стабілізованих титаном або ніобієм, призначені для роботи у середовищах, що спричиняють корозійне розтріскування, а також при температурах вище 350 °С у середовищах, що спричиняють мікрікристалітну корозію, повинні підлягати за вимогою у технічному проекті і погодженню зі спеціалізованою науково-дослідною організацією стабілізуючому відпуску.

2.5.5. Зварні посудини (складальні одиниці, деталі), штамповані днища із хромістий сталі 08Х13 підлягають термічному обробленню у відповідності з

вимогами технічної документації спеціалізованої науково-дослідної організації.

2.5.6. Необхідність і режим термічного оброблення посудин (складальних одиниць, деталей) з двошарової сталі з основним шаром з аустенітної сталі повинні визначатися за вимогами пп 2.5.1-2.5.3.

При визначенні товщини зварюваного елемента приймається вся товщина двошарової сталі. При наявності вимоги по стійкості проти мікрікристалітної корозії в технічному проекті технологія зварювання й режим термічного оброблення зварних з'єднань двох шарів сталей повинні забезпечувати стійкість зварних з'єднань корозійностійкого шару проти мікрікристалітної корозії.

2.5.7. Для днищ і деталей з вуглецевих і низьколегованих марганцевокремністих сталей, штампованих (вальцюваних) вгарту з закінченням штампування (вальцювання) при температурі не нижче 700 °С, для днищ і деталей з аустенітних хромонікелевих сталей, штампованих (вальцюваних) при температурі не нижче 850 °С, термічне оброблення не вимагається, якщо вказаних матеріалів нема інших вимог, вказаних у п.2.6.

Днища та інші елементи з низьколегованих сталей марок 12ХМ і 12ХМ, штампованих (вальцюваних) вгарту з закінченням штампування (вальцювання) при температурі не нижче 800 °С, допускається піддавати тільки відпуску (без нормалізації).

Днища та інші штамповані (вальцювані) вгарту елементи, які виготовляються із сталі марок 09Г2С, 10Г2С, і працюють при температурі від мінус 41 до мінус 70 °С, повинні піддаватися термічному обробленню — нормалізації або загартуванню й високому відпуску.

Технологія виготовлення днищ та інших штампованих елементів повинна забезпечувати необхідні механічні властивості, які вказані в ОСТ 26-291-87, і стійкість проти мікрікристалітної корозії при наявності вимоги у технічному проекті.

Примітки.

1) Допускається за погодженням зі спеціалізованою науково-дослідною організацією не піддавати термічному обробленню днища, що виконані із корозійностійкої сталі аустенітного класу металом холодного штампування, якщо вони не призначені для роботи у середовищах, спричиняючих корозійне розтріскування.

2) Можливість сполучення нормалізації з нагрівом під гартування днищ із сталей, які працюють від мінус 41 до мінус 70 °С, визначається у кожного окремого випадку після погодження зі спеціалізованою науково-дослідною організацією.

3) Допускається не піддавати термічному обробленню горішні штамповані днища із аустенітних сталей з відношенням внутрішнього діаметра до товщини стінки більше 28, якщо вони не призначені для роботи у середовищах, спричиняючих корозійне розтріскування.

1	2	3	4	5	6
С'444 за ГОСТ 380-94	За ГОСТ 14637-89	Більше 0 до 200		За ГОСТ 380-94 та п.2.4.2.1	Для трубних решіток та інших деталей з урахуванням вимог п.2.5.1
0804 за ГОСТ 1050-88	За ГОСТ 9045-93	Від мінус 40 до 475		За ГОСТ 9045-93 вг. гр.3	Для плоских прокладок та обшивки азбестоцементних прокладок. Прокладки застосовують не більше 2 мм височини опорується при температурі до -70 °С.
	За ГОСТ 1577-93			За ГОСТ 1577-93 кат. 2	Для прокладок овального та восьмикутного беринда.
10085 за ГОСТ 11036-75	За ГОСТ 11036-75	Від мінус 60 до 475		За ГОСТ 11036-75	
1606, 1806, 2006 категорії 3 за ГОСТ 5520-79	За ГОСТ 5520-79	Від мінус 20 до 200	Не обмежено	За ГОСТ 5520-79	Для корпусів, листів, плоских фланців та інших деталей з урахуванням вимог п.2.5.1
1606, 1806, 2006 категорії 3 за ГОСТ 5520-79		Більше 0 до 200			
1606, 1806, 2006 категорії 18 за ГОСТ 5520-79		Від 200 до 475			
1606, 1806, 2006 категорії 17 за ГОСТ 5520-79		Від мінус 20 до 475			
0902С, 1072С1 напівкорпусні, фасонні з робочою теплоізоляцією за ГОСТ 5520-79		Від мінус 70 до 200			Для корпусів, листів, плоских фланців, трубних решіток та інших деталей, для закріплених лоскутів із сталі 10Г2С1, які працюють під тиском, робоча температура має бути не вище мінус 60 °С, з урахуванням вимог п.2.5.1

1	2	3	4	5	6
171С, 171Г, 161С, 0912С, 1072С1 категорії 6 та ГОСТ 5520-79		Від мінус 40 до 200			Для корпусів, листів, плоских фланців, трубних решіток та інших деталей, з урахуванням вимог п.2.5.1
161С, 0912С, 1072С1, 171С, 171Г категорії 3 за ГОСТ 5520-79	За ГОСТ 5520-79	Від мінус 30 до 200	не обмежено	За ГОСТ 5520-79	Для корпусів, листів, плоских фланців, трубних решіток та інших деталей, з урахуванням вимог п.2.5.1
171С, 171Г категорії 12, 161С, 0912С, 1072С1 категорії 17 за ГОСТ 5520-79		Від мінус 40 до 475			Для корпусів, листів, плоских фланців, трубних решіток та інших деталей з урахуванням вимог п.2.5.1. При товщині листів більше 60 мм окислюється сталь категорії 12
161С по ГОСТ 14-1-3832-84	За ТУ 14-1-3832-84	Від мінус 40 до 475		За ТУ 14-1-3832-84	
0912С за ТУ 14-1-3832-84	За ТУ 14-1-3832-84	Від мінус 70 до 475			
12МХ за ТУ 14-1-3832-84	За ТУ 14-1-642-73 та ТУ 24-10-4002-70	Від мінус 40 до 540		За ТУ 14-1-642-73 та ТУ 24-10-4002-70	Для корпусів, листів, плоских фланців, трубних решіток та інших деталей з урахуванням вимог п.2.5.2
171С, 171Г, 161С за ТУ 14-1-642-73 та ТУ 24-10-4002-70		Від мінус 40 до 560			
12МХ за ТУ 14-1-642-73 та ТУ 24-10-4002-70	За ГОСТ 5520-79	Від мінус 40 до 560		За ГОСТ 5520-79	
12МХ за ТУ 14-1-642-73 та ТУ 24-10-4002-70	За ТУ 14-1-3304-78			За ТУ 14-1-3304-78	
2004 за ТУ 14-1-3333-82	За ТУ 14-1-3333-82	Від мінус 40 до 475		За ТУ 14-1-3333-82 та п.2.4.2.7	Для корпусів, листів, плоских фланців та інших деталей з урахуванням вимог п.2.5.1

1	2	3	4	5	6
15Г20Ф категорії 12 за ГОСТ 19281-89	За ГОСТ 19281-89	Від мінує 40 до 350		За ГОСТ 19281-89	Для корпусів, днищ, плоских фланців трубних решіток та інших деталей з урахуванням вимот п.2.5.1
10Х23НМ за ТУ 108.11.862-86	За ТУ 108.11.862-86	Від мінує 40 до 550		За ТУ 108.11.862-86	Для корпусів, днищ, плоских фланців трубних решіток для аварійних посудин, які працюють під тиском з урахуванням вимот п.2.5.1
16Г8МОН за ТУ 14-1-2404-78	За ТУ 14-1-2404-78	Від мінує 40 до 520	не обмежено	За ТУ 14-1-2404-78	Для корпусів, днищ, плоских фланців та інших деталей з урахуванням вимот п.2.5.1
15Х3М за ГОСТ 5632-72	Група М26 за ГОСТ 7350-77	Від мінує 40 до 600		Група М26 за ГОСТ 7350-77 та п.2.4.2.2	Для корпусів, плоских фланців, трубних решіток, стержнів, кілець та інших деталей з урахуванням вимот п.2.5.3
10Х14Г14Г14 за ГОСТ 5632-72	Група М26 за ГОСТ 7350-77 та М2а за М2а за ГОСТ 5582-75	Від мінує 196 до 500		Група М26 за ГОСТ 7350-77 та п.2.4.2.2	Для корпусів, днищ, плоских фланців та інших деталей.
08Х22Н16 за ГОСТ 5632-72	Група М26 за ГОСТ 7350-77 та М2а за М2а за ГОСТ 5582-75	Від мінує 40 до 300		Група М26 за ГОСТ 7350-77 з механічними своївостями за ТУ 14-1-2676-79	Для корпусів, днищ, плоских фланців та інших деталей.
02Х8Г12С6 за ТУ 14-1-3802-84	За ТУ 14-1-3802-84 та ТУ 14-1-3801-84	Від мінує 40 до 120	—	За ТУ 14-1-3802-84 та ТУ 14-1-3801-84	Для корпусів, днищ, плоских фланців та інших деталей.
03Х19АГ31Н10 за ТУ 14-1-3801-84	ТУ 14-1-2261-77	Від мінує 196 до 450	5	За ТУ 14-1-2261-77	
03Х21Н12М4Г16 за ГОСТ 5632-72	Група М26 за ГОСТ 7350-77	Від мінує 70 до 450	5	За ГОСТ 7350-77	

1	2	3	4	5	6
08Х18Н10Т за ГОСТ 5632-72	Група М26 за ГОСТ 7350-77	Від мінує 20 до 300	5	Група М26 за ГОСТ 5632-77 та п.2.4.2.2	Для корпусів, днищ, плоских фланців та інших деталей з урахуванням вимот п.2.5.4
07Х13АГ70 за ТУ 14-1-2640-79	ТУ 14-1-2640-79	Від мінує 70 до 300		За ТУ 14-1-2640-79	
ТУ 14-1-2342-82	ТУ 14-1-2342-82			ТУ 14-1-2342-82	
08Х18Н10Т за ГОСТ 5632-72	Група М26 за ГОСТ 7350-77 та М2а за М2а за ГОСТ 5582-75	Від мінує 253 до 610	Не обмежено	Група М26 за ГОСТ 7350-77 та п.2.4.2.2	Для корпусів, днищ, плоских фланців та інших деталей з урахуванням вимот п.2.5.4
08Х18Н10Т за ГОСТ 5632-72	За ТУ 14-1-2542-78 та ТУ 108-930-80	Від мінує 253 до 610		За ТУ 14-1-2542-78 та ТУ 108-930-80	Для плоских фланців, трубних решіток та інших деталей з урахуванням вимот п.2.5.4
08Х18Н10Т за ГОСТ 5632-72	ТУ 108-930-80	Від 610 до 700	5	ТУ 108-930-80	
08Х18Н10Т за ГОСТ 5632-72	ТУ 14-1-394-72	Від 610 до 700		ТУ 108-1151-82	
08Х18Н10Т за ГОСТ 5632-72	Група М26 за ГОСТ 7350-77	Від 610 до 700	5	Група М26 за ГОСТ 7350-77 та п.2.4.2.2	Для корпусів, днищ, плоских фланців та інших деталей з урахуванням вимот п.2.5.3
08Х18Н12Б за ГОСТ 5632-72		Від мінує 196 до 610	Не обмежено	Група М26 за ГОСТ 7350-77 та п.2.4.2.2	
08Х18Н12Б за ГОСТ 5632-72	За ТУ 14-1-3701-80 та ТУ 14-1-2144-74	Від мінує 253 до 650	5	За ТУ 14-1-3701-80 та ТУ 14-1-2144-74	Для корпусів, днищ, плоских фланців та інших деталей
03Х18Н11 за ГОСТ 5632-72	Група М2а та М2а за ГОСТ 5582-75			Група М2а та М2а за ГОСТ 5582-75	
10Х17Н13М2Т за ГОСТ 5632-72	Група М26 за ГОСТ 7350-77	Від мінує 253 до 350	Не обмежено	Група М26 за ГОСТ 7350-77 та п.2.4.2.2	Для корпусів, днищ, плоских фланців та інших деталей для сервісних, які не спрощують інженерну роботу з урахуванням вимот п.2.5.4
	Група М2а та М2а за ГОСТ 5582-75	Від мінує 350 до 700		М2а за ГОСТ 5582-75	

1	2	3	4	5	6
08X17H13M2T за ГОСТ 5632-72	За ТУ 14-1-394-72, Група А	Від мінує 253 до 700		За ТУ 14-1-394-72	Для корпусів, динів, плоских фланців та інших деталей з урахуванням вимог п.2.5.4
10X17H13M1T за ГОСТ 5632-72	Група М26 за ГОСТ 7350-77, ТУ 14-1-394-72, Група А, Група М2а та М3а за ГОСТ 5582-75	Від мінує 196 до 350		Група М26 за ГОСТ 7350-77 та п.2.4.2.2, ТУ 14-1-394-75	
02X18H11 за ТУ 14-1-3071-80	За ТУ 14-1-3071-80	Від мінує 253 до 450	5	За ТУ 14-1-3071-80	Для корпусів, динів, плоских фланців та інших деталей
10X17H13M1T за ГОСТ 5632-72	Група М26 за ГОСТ 7350-77	Вилізе 350 до 600	Не обмежено	Група М26 за ГОСТ 7350-77 та п.2.4.2.2	Для корпусів, динів, плоских фланців та інших деталей для середовищ, які не спричиняють міжкристаліну корозію з урахуванням вимог п.2.5.4
08X17H13M1T за ГОСТ 5632-72		Від мінує 196 до 600		Група М2а та М3а за ГОСТ 7350-77, Група М2а та М3а по ГОСТ 5582-75	Для корпусів, динів, плоских фланців, внутрішніх пристроїв та інших деталей з урахуванням вимог п.2.5.4
03X12BM1T 06X12BM1T за ГОСТ 5632-72	Група М26 за ГОСТ 7350-77 Група М2а та М3а за ГОСТ 5582-75	Від мінує 196 до 400	5	За ТУ 14-1-1154-74 ТУ 14-1-4692-73 ТУ 14-1-2144-77 ТУ 14-1-3120-80	Для корпусів, динів, плоских фланців та інших деталей
03X17H14M1 за ГОСТ 5632-72	За ТУ 14-1-1154-74 ТУ 14-1-2144-77 ТУ 14-1-3120-80	Від мінує 196 до 450		Група М2а та М3а за ГОСТ 5582-75, ТУ 14-1-31-996-81	Для плоских прокладок
08X18H10T за ГОСТ 5632-72	Група М2а та М3а за ГОСТ 5582-75, ТУ 14-1-31-996-81	Від мінує 253 до 600	Не обмежено		

1	2	3	4	5	6
08X18H10T 08X17H13M2T за ГОСТ 5632-72	За ГОСТ 7350-77 Група М26			За ГОСТ 7350-77 та п.2.4.2.2	Для прокладок сального та всесмічного перетізу
15X18H13C2HT за ГОСТ 5632-72	За ТУ 14-1-1410-75 ТУ 14-1-1337-75	Від мінує 20 до 200	2,5	За ТУ 14-1-1410-75 ТУ 14-1-1337-75	Для корпусів, динів, плоских фланців та інших деталей
12X18H9T 12X18H10T за ГОСТ 5632-72	Група М26 за ГОСТ 7350-77	Від мінує 253 до 350	Не обмежено	Група М26 за ГОСТ 7350-77 та п.2.4.2.2	Для корпусів, динів, плоских фланців та інших деталей для середовищ, які не спричиняють міжкристаліну корозію
12X18H10T за ГОСТ 5632-72		Від 610 до 700	5		Для деталей внутрішніх пристроїв, які не підлягають контролю Держсервісу, для середовищ, які не спричиняють міжкристаліну корозію
12X18H10T за ГОСТ 5632-72		Від мінує 253 до 700	0,07		Для корпусів, динів, плоских фланців та інших деталей
12X18H10T за ГОСТ 5632-72	Група М2а та М3а за ГОСТ 5582-75, ТУ 14-1-31-996-81	Від мінує 253 до 350	Не обмежено	Група М2а та М3а за ГОСТ 5582-75, ТУ 14-1-31-996-81	Для плоских фланців, трубних решіток та інших деталей
12X18H10T за ГОСТ 5632-72	За ТУ 14-1-2542-78 ТУ 108-1151-82 ТУ 108-930-80	Від мінує 253 до 600		За ТУ 14-1-2542-78 ТУ 108-1151-82 ТУ 108-930-80	Для корпусів, динів, плоских фланців та інших деталей для середовищ, які не спричиняють міжкристаліну корозію
12X18H10T за ГОСТ 5632-72	За ТУ 14-1-394-72	Від мінує 253 до 600	5	За ТУ 14-1-394-72	Для корпусів, динів, плоских фланців та інших деталей

1	2	3	4	5	6
08X13 за ГОСТ 5632-72	За ГОСТ 7350-77 Група М26 та М3а за ГОСТ 5582-75	Вит 40 до 550	до 0,07	Група М26 за ГОСТ 7350-77	Для корпусів, донців та інших деталей загальної дов. 12 мм
	Група М26 та М3а за ГОСТ 5582-75		—	Група М26 та М3а за ГОСТ 5582-75	Для внутрішніх деталей апарата
	За ГОСТ 7350-77		Не обмежено	Група М26 за ГОСТ 7350-77 та п.2.4.2.2	Для трубних решіток, які не піддаються зварюванню, а також несамозварюваних приварюваних та зварювальних деталей внутрішніх пристроїв
20X13, 12X13 за ГОСТ 5632-72	Група М26			Група М26 за ГОСТ 7350-77	Для трубних решіток, які не піддаються зварюванню, а також несамозварюваних приварюваних та зварювальних деталей внутрішніх пристроїв, які не піддаються контролю Держпротектатом
08X17T за ГОСТ 5632-72		Вит 30 до 700	—	Група М26 за ГОСТ 7350-77 та п.2.4.2.2	Для деталей внутрішніх пристроїв, які не піддаються контролю Держпротектатом
15X25T за ГОСТ 5632-72		Вит 40 до 1000			
ХНХ27 за ТУ 14-1425-73	За ТУ 14-1425-73	До 900	Не обмежено	За ТУ 14-1425-73	Для корпусів, лонців, плоских фланців та інших деталей

Виробництво здійснюється по підкатегоріям: виробничий апарат або окремі деталі.

Додатки.

- 1) Додаток застосовується до сталі марок 15 та 20 за ГОСТ 1577-69 за тих же умов, що сталі марок 16Х, 18Х та 20Х, при цьому виробництво цих сталей на підприємстві-виробнику має бути виконані у тому ж обсязі, що й для сталей марок 16Х, 18Х та 20Х відповідної категорії.
- 2) Сталі марок 16Т, 09ТЗС, 10ТЗС, 10ТЗСД, призначені для роботи при температурах нижче мікро 30 °С, допускається виробляти на уварку фланців при роботі температури виробу, при цьому уварку фланців має бути не менше 30 Діа/м.
- 3) Додаток застосовується до сталі 09ТЗ за ГОСТ 1577-69 при температурах від мікро 70 до мікро 41 °С з тривалістю виконання для сталі 09ТЗ у цьому температурному інтервалі.
- 4) Механічні властивості листів загальною товщиною 12 мм порівнюються на листів, що варті від партії.
- 5) Додаток застосовується до сталі марок С15С та С15СД для деталей, які не піддаються зварюванню, при чому їх параметри, що в сталі марок С15С та виробляються на заводі, фланців за підкатегорією виробничий апарат або їх окремі деталі.

Продовження табл. 2 Б

- 6) Додаток застосовується до сталі марок 20Х за ГОСТ 5526-79 при тих же параметрах та технічних вимогах, що в сталі марок 20К.
- 7) Виробництво на кольцеві сталі повинні здійснюватися в тому обсязі, коли при виготовленні апарата, які виступають при температурі більше 200 °С, сталь повинна складати деформувальний (напруги, ступінь, відбортів та ін.).
- 8) Для сталей марок 16Х, 19Х, 20Х, виробництва при мікро 20 °С, здійснюється на металургійному підприємстві, при цьому значення ударної енергії має бути не менше 30 Дж/м².
- 9) Додаток застосовується до сталей (всього 4 мм) при тих же робочих умовах, що в апаратах марок технологічної сталі.
- 10) Додаток застосовується до сталі 18Т на ті ж параметри, що в сталі С15Т.
- 11) Додаток застосовується до сталі 18Т за ГОСТ 19281-89, мають бути вироблені повністю при температурі експлуатації більше 200 °С або тиску більше 5 МПа при товщині листа 12 мм та більше. Контроль мікроструктури здійснюється згідно з вимогами ГОСТ 5526-79.
- 12) При товщині листа менше 5 мм допускається використання сталей за ГОСТ 5526-79 та ГОСТ 19281-89 категорії 2 замість сталей категорії 3-17.
- 13) При товщині листа менше 7 мм допускається використання сталей за ГОСТ 5526-79 та ГОСТ 19281-89 категорії 18 замість сталей категорії 6 замість сталей категорії 12 та категорії 5, 7, 8, 9 замість сталей категорії 17.
- 14) За утворенням в опікальній камері продукції-продукції організмів допускається використання сталей марок 16Х, 18Х, 20Х за ГОСТ 5526-79 та категорії 10 та 11 замість сталей категорії 18 і 17 відповідно; сталі 16Т, 09ТЗС, 10ТЗС за ГОСТ 5526-79 та ГОСТ 19281-89 категорії 12, 13, 14 та 15 (на деякі від роботи при температурі менше 0 °С) замість сталей категорії 17.
- 15) Додаток застосовується до сталей С15С, С15СД, С15СДД за ГОСТ 5526-79 та ГОСТ 19281-89 при температурі від мікро 40 °С до мікро 200 °С.
- 16) Додаток застосовується до сталей марок 09ТЗС, 09ТЗСД за ГОСТ 5526-79 та ГОСТ 19281-89 при температурі від мікро 40 °С до мікро 200 °С.
- 17) Додаток застосовується до сталей за ГОСТ 7350-77 групи електрої М30 та М46 за умови, що у розрахунок на міцність мають бути зроблені гіпотези закінчення дефектів та мігрові відокремлення.
- 18) Додаток застосовується до сталей за ТУ 14-14033-80 групи міцності 1 та 2 зазначених сталей відповідно до ГОСТ 380-84 та ГОСТ 19281-89.
- 19) Додаток застосовується до сталі марок 09Т20С за ТУ 14-14033-86 для застосування в розрахунок, які виконують при температурі від мікро 60 °С до мікро 420 °С на тиску до 10 МПа.
- 20) Додаток застосовується до сталей марок 09Т20С за ТУ 14-14033-86 для застосування в розрахунок, які виконують при температурі від мікро 60 °С до мікро 420 °С на тиску до 10 МПа.
- 21) Додаток застосовується до сталей 17ТС-У за ТУ 14-14190-77 на параметри від мікро 40 °С до мікро 200 °С та необхідному тиску.
- 22) Додаток застосовується до сталей за ТУ 108-030-80, ТУ 108-1151-82 на параметри використання сталей за ГОСТ 7350-77.
- 23) Додаток застосовується до сталей марок 09Т20С-Ш за ТУ 14-14033-86 на параметри, відповідні сталі 09Т2С.

Таблиця 2.9. Розміри сталевих листового прокату

Тип продукту	товариства	Розміри продукту, мм ширина	довжина
Прокат листовий гарматавий (ГОСТ 19003-74); виготовлений у листах	Від 6 до 26 включно з кроком 0,5; від 27 до 32 включно з кроком 1,0; від 34 до 40 включно з кроком 2,0; 42; 45; 48; 50; 52; 55; 58; 60; 62; 65; 68; 70; 72; 75; 78; 80; 82; 85; 90; 92; 95; від 100 до 160 включно з кроком 5,0; Від 1,2 до 1,6 включно з кроком 0,1; 1,8; 2,0; 2,2; 2,5; 2,8; 3,0; 3,2; 3,5; 3,8; 3,9; 4,0; 4,5; 5,0; 5,5; 5,8; 6,0; 6,5; Від 7,0 до 12 включно з кроком 0,5	500 - 1800	1200 - 12000
Прокат листовий холоднокатаний (ГОСТ 19004-80) виготовлений у листах	Від 0,35 до 0,80 включно з кроком 0,05; Від 0,90 до 1,80 включно з кроком 0,10; 2,00; 2,20; 2,50; 2,80; 3,00; 3,20; 3,50; 3,80; 3,90; 4,00; 4,20; 4,50; 4,80; 5,00	500 - 2250	1000 - 6000
Прокат листовий гарматавий (ГОСТ 19003-74); виготовлений у рулонах	Від 0,35 до 0,80 включно з кроком 0,05; Від 0,90 до 1,80 включно з кроком 0,10; 2,00; 2,20; 2,50; 2,80; 3,00; 3,20; 3,50; 3,80; 3,90; 4,00; 4,20; 4,50; 4,80; 5,00	500 - 2250	1000 - 6000
Прокат листовий холоднокатаний (ГОСТ 19004-80) виготовлений у рулонах	Від 0,35 до 0,80 включно з кроком 0,05; Від 0,90 до 1,80 включно з кроком 0,10; 2,00; 2,20; 2,50; 2,80; 3,00; 3,20; 3,50; 3,80; 3,90; 4,00; 4,20; 4,50; 4,80; 5,00	500 - 2250	1000 - 6000

Рис. 1. Изменение температуры по толщине проката листового холоднокатаного, мм [36]

[illegible]

Пам'ятки: 1) УТ* – висока точність; ПТ – підвищена точність; НТ – низька точність.

2) За вимогою споживача допуститься присутству з відгуками допустимими та недовідними, які порівнюють сумі гонимих відомих.

Таблиця 2.11. Різниці впливів на товщині прокату листового гарячекатаного [37]

[illegible]

Таблиця 2.14. Механічні властивості прокату з вуглецевої сталі звичайної якості [24]

Марка сталі	Границя міцності ст, МПа	Границя пластичності ст, МПа для товщин, мм				Відносна видовження δ, % для товщин, мм			
		не менше				не менше			
		до 20 включно	більше 20 до 40 включно	більше 40 до 100 включно	більше 100	до 20 включно	більше 20 до 40 включно	більше 40	більше 40
Ст3	Не менше 300	-	-	-	-	23	22	20	20
Ст3пс	320-410	215	205	195	185	33	32	30	30
Ст3пс, Ст3сп	330-430	225	215	205	195	32	31	29	29
Ст3сп	360-460	235	225	215	195	27	26	24	24
Ст3спс, Ст3сп	370-480	245	235	225	205	26	25	23	23
Ст3пс	370-490	-	-	-	-	-	-	-	-
Ст3Гпс	390-570	255	245	-	-	23	24	24	-
Ст4пс, Ст4сп	410-530	265	255	245	235	24	23	21	21
Ст4пс, Ст4сп	490-630	285	275	265	255	20	19	17	17
Ст5пс	450-590	-	-	-	-	-	-	-	-

Дopusкається перевищення верхнього значення границі міцності не більше, ніж на 50 МПа в порівнянні з наведеними у таблиці 2.14 при дотриманні інших норм, а за домопленістю виготовлення зі споживачем – без обмеження верхньої границі.

За домопленістю виробника зі споживачем значення границі пластичності прокату товщиною більше 20 мм допускається на 10 МПа нижче в порівнянні з наведеними у таблиці 2.14.

Дopusкається зменшення відносного видовження на 1 % абс. для прокату товщиною більше 8 мм і на кожний міліметр зменшення товщини для прокату товщиною 8 мм і менше.

Норми ударної в'язкості КCU прокату категорій 3-5 повинні відповідати тим, що наведені у таблиці 2.15.

Таблиця 2.15. Ударна в'язкість прокату з вуглецевої сталі звичайної якості категорій 3-5 [24]

Марка сталі	Товщина прокату, мм	Ударна в'язкість КСУ 10 ⁴ Дж/м ²		
		при температурі, °С		після механічного старіння
		+20	-20	
		не менше		
Ст3пс, Ст3сп	5-9	78	39	39
	10-25	69	29	29
	26-40	49	-	-
Ст3пс	5-9	78	39	39
	10-30	69	29	29
	31-40	49	-	-
Ст3Гпс	5-9	78	39	39
	10-30	69	29	29
	31-40	49	29	29
Ст4пс, Ст4сп	5-9	78	-	-
	10-25	59	-	-
	26-40	39	-	-

Примітка: За доменністю споживач з висвітлюючим норми ударної в'язкості встановлюються для товщин 4-9 мм відповідні значення для товщин 5-9 мм.

Примітка. За домопленістю споживача з виготовником норми ударної в'язкості еквівалентні для товщин 4-9 мм відповідно значенням для товщин 5-9 мм.

Механічні властивості прокату категорій 6 при випробуваннях на розтяг і норми ударної в'язкості КCU повинні відповідати тим, що наведені у табл. 2.16.

Таблиця 2.16. Механічні властивості прокату з вуглецевої сталі звичайної якості категорії 6 [24]

Товщина прокату, мм	Границя міцності σ _в , МПа	Границя пластичності σ _т , МПа	Відносне видовження δ, %	Ударна в'язкість КCU · 10 ⁴ , Дж/м ²	
	не менше			при температурі мінус 40 °С	після механічного старіння
6 – 20					
21 – 40	430	295	16	39	29

Норми ударної в'язкості КCV прокату категорій 5 і 6 повинні відповідати тим, що наведені у таблиці 2.17.

Механічні властивості листової вуглецевої, низьколегованої й легированої сталей товщиною від 4 до 160 мм у гарячекатаному й термічно обробленому стані, що придатні до зварювання, подані в таблицях 2.18-2.21.

Таблиця 2.17. Ударна в'язкість прокату з вуглецевої сталі звичайної якості категорій 5, 6 [24]

Категорія	Товщина прокату, мм	Ударна в'язкість КCV $\cdot 10^4$ Дж/м ² при температурі, °C	
		+20	0
5	5-20	34	-
	Більше 20	-	-
	8-9	-	34
6	10-20	-	30
	Більше 20	-	-

Таблиця 2.18. Механічні властивості листової сталі при температурі $+20 \pm 10^\circ \text{C}$ [5]

Марка сталі	Товщина прокату, мм	Границя пластичності σ _т , МПа	Границя міцності σ _в , МПа	Відносне видов- ження δ, %, не менше	Ударна в'язкість КСУ 10 ⁻⁴ Дж/м ²	
					не менше	після механічного старіння, не менше
15K	До 20 включно	225	372-480	27	69	34
	Від 21 до 40 вкл.	216	372-480	26	64	29
	Від 41 до 60 вкл.	206	372-480	25	60	29
16K	До 20 включно	235	402-490	22	60	34
	Від 21 до 40 вкл.	245	402-490	22	60	34
	Від 41 до 60 вкл.	225	402-490	22	60	34
18K	До 20 включно	275	431-519	20	59	29
	Від 21 до 40 вкл.	265	431-519	20	59	29
	Від 41 до 60 вкл.	255	431-519	20	59	29
20K	До 20 включно	245	402-509	25	59	29
	Від 21 до 40 вкл.	235	402-509	24	54	24
	Від 41 до 60 вкл.	225	402-509	23	49	24
22K	До 60 включно	265	не менше 431	22	59	29
	Більше 60 вкл.	265	не менше 431	22	59	29
12X1MФ	Від 4 до 40 вкл.	294	не менше 440	21	79	-
12XM	Від 4 до 50 вкл.	245	не менше 440	22	59	-
	Від 51 до 100 вкл.	235	не менше 431	20	49	-
12X2M	Від 101 до 160 вкл.	225	не менше 421	18	39	-
	Від 8 до 50 вкл.	294	392-588	20	98	-

Примітка: Ударна в'язкість КСУ для сталі марки 20K при температурі мінус 20 °С повинна бути не менше 3·10⁴ Дж/м²

Таблиця 2.19. Механічні властивості листової сталі [5]

Марка сталі	Товщина прокату, мм	Границя міцності σ_b , МПа	Границя пластичності σ_t , МПа	Відносне видовження δ , %	Ударна в'язкість КСЧ 10^{-4} Дж/м ²		
					при температурі, °C		
					-20	-40	-70
09Г2С	До 5	345	490	-	-	-	-
	Від 5 до 10	345	490	-	64	39	34
	Від 10 до 20 включно	325	470	-	59	34	29
	Від 21 до 32 включно	305	460	21	59	34	29
	Від 33 до 60 включно	285	450	-	59	34	29
	Від 61 до 80 включно	275	440	-	59	34	29
	Від 81 до 160 включно	265	430	-	59	34	29
10Г2С1	До 5	355	490	-	-	-	-
	Від 5 до 20	345	490	-	64	39	29
	Від 10 до 20 включно	335	480	-	59	29	24
	Від 21 до 32 включно	325	470	21	59	29	24
	Від 33 до 60 включно	325	450	-	59	29	24
	Від 61 до 80 включно	295	430	-	59	29	24
	Від 81 до 100 включно	295	430	-	59	29	24
16ГС	До 5	325	490	-	-	-	-
	Від 5 до 10	325	490	-	59	39	29
	Від 10 до 20 включно	315	480	-	59	29	24
	Від 21 до 32 включно	295	470	21	59	29	24
	Від 33 до 60 включно	285	460	-	59	29	24
	Від 61 до 160 включно	275	450	-	59	29	24
	Від 161 до 200 включно	265	440	-	59	29	24

Марка сталі	Товщина прокату, мм	Границя міцності ств., МПа	Границя пластичності ст., МПа	Відносне видовження δ, %	Ударна в'язкість КСД, 10 ⁴ Дж/м ² після металічного старіння при +20 °С			
					при температурі, °С			
					+20	-40	-70	не менше
17ГС	До 5 Від 5 до 10 Від 10 до 20 включно	345 345 335	510 510 490	23	-	44 34	-	29
17Г1С	До 5 Від 5 до 10 Від 10 до 20 включно	355 355 345	510 510 490	23	-	44 39	-	29
14ХГС	До 5 Від 5 до 10 Від 10 до 20 включно	345 345 345	490 490 490	22	-	39 34	-	29

Таблиця 2.20. Границя пластичності листової сталі при підвищених температурах [5]

Марка сталі	Границя пластичності, МПа при температурі, °С, не менше						
	200	250	300	350	400	450	500
	15К	17К	16К	157	118	98	78
16К	206	186	157	137	118	98	-
18К	225	206	176	157	137	118	-
20К	216	196	176	157	137	118	-
16ГС	245	225	196	176	157	137	-
17ГС	265	245	225	206	176	176	-
09Г2С	-	225	196	176	157	-	-
10Г2С1	-	245	216	196	176	-	-
12ХМ	-	225	216	206	196	186	-
10Х2М	-	225	216	206	196	186	-
12Х1МФ	-	245	235	225	216	206	-
	274*	265*	255*	245*	225*	206	176*

* Використовуються у договірно-правових відношеннях.

Таблиця 2.21. Границя повзучості і тривалої міцності при підвищених температурах [5]

Марка сталі	Температура, °С	Границя повзучості при видовженні 1%		Тривала міцність		
		10000 годин	100000 годин	10000 годин	100000 годин	200000 годин
		МПа				
16К	380	194	132	233	157	139
	390	188	121	215	143	125
	400	162	108	196	129	113
	410	146	96	178	116	101
	420	130	84	160	103	89
	430	116	74	144	91	77
	440	103	64	129	79	67
	450	91	54	115	69	58
	460	80	46	103	59	49
	470	72	36	92	50	41
	480	64	31	82	42	33
	(490)	57	25	74	35	26
16ГС, 17ГС	390	197	137	277	194	174
	400	175	102	248	172	152
	410	155	106	221	151	132
	420	137	93	194	132	115
	430	121	80	172	115	100
	440	106	69	150	100	86
	450	92	59	131	86	75
	460	80	50	116	75	64
	470	70	43	102	64	54
	480	61	37	88	54	45
	(490)	53	31	78	46	38

Продовження табл. 2.21

Марка сталі	Температура, °С	Границя повзучості при видовженні 1%		Тривала міцність		
		10000 годин	100000 годин	10000 годин	100000 годин	200000 годин
		МПа				
12ХМ	450	235	192	333	265	240
	460	224	178	317	247	223
	470	212	165	298	228	205
	480	198	146	278	208	186
	490	183	129	257	187	167
	500	167	113	233	167	146
	510	145	94	208	140	120
	520	122	78	179	112	94
	530	102	64	150	86	71
	540	84	50	126	66	52
	550	69	38	103	49	37
	(560)	58	29	85	38	27
10Х2М	470	204	117	242	168	149
	480	184	106	223	149	132
	490	165	97	204	132	116
	500	147	87	186	118	102
	510	128	78	169	105	91
	520	112	70	153	93	80
	530	97	62	137	82	71
	540	83	54	124	73	62
	550	71	46	108	63	53
	560	61	40	94	53	45
	570	53	34	82	46	38
12Х1МФ	500			210	186	145
	510			180	170	130
	520			170	157	115
	530			150	141	105
	540			135	126	95
	550			120	113	85
	560			110	98	75
	570			100	88	70
	580			90	78	60
	590			80	68	55
	600			70	59	50
	610			65	50	-

Примітка: 1) Вказані значення є середніми.

2) Значення температури в дужках показують, що відповідну сталь при цій температурі не можна застосовувати в умовах тривалого навантаження.

Перелік марок сталі підвищеної міцності, які рекомендуються для різних класів міцності і товщин листового прокату наведені у таблиці 2.22, а механічні властивості цих сталей — у таблицях 2.23—2.24.

Таблиця 2.22. Марки сталі для листового, широкоштабового універсального прокату і гнутих профілів [6]

Клас міцності	Товщина прокату, що поставляється по цьому класу міцності, мм	Марки сталі, що забезпечують цей клас міцності при різних товщинах прокату	Марки сталі, що забезпечують цей клас міцності при змінювальній обробці
265	До 20 включно Від 20 до 160 включно	Ст3сп 09Г2С, 16ГС	-
295	До 20 включно Від 21 до 32 включно Від 33 до 100 включно	09Г2 09Г2С, 09Г2 10Г2С1	Ст3сп* -
315	До 10 Від 10 до 20 Від 20 до 60	12ГС 16ГС 10Г2С1	09Г2С*, 17Г1С*
325	До 10 Від 10 до 20 Від 20 до 32 Від 20 до 60	16ГС 09Г2С 14Г2 10Г2С1	- - 17Г1С*
345	До 10 Від 10 до 20 Від 10 до 32	09Г2С, 17ГС, 09ХНД, 10Г2С1, 14Х1С 15ГФ, 17Г1С 15ХСНД	- 17Г1С*
355	До 5 До 10 Від 10 до 20	10Г2С1 17Г1С 15ГФ	- 17Г1С
375	До 10 Від 10 до 32 Від 32 до 50	15ГФ, 10Г2Б 14Г2АФ 14Г2АФ	- 09Г2С* 17Г1С**
390	До 10 До 32 До 40 До 50	12Г2Б 15Г2АФДпс, 15Г2СФ 10ХСНД; 14Г2АФ	14Г2**; 10Г2С1** -
440	До 32	16Г2АФ, 18Г2АФпс	-

* Регламентована або контролювана прокатка або прискорене охолодження.

** Зварювання плюс відпускання.

Таблиця 2.23. Механічні властивості листового, штабового, широкоштабового універсального прокату і гнутих профілів [6]

Клас міцності	Товщина прокату, що поставляється по цьому класу міцності, мм	Границя плинності ст, МПа	Границя міцності ст, МПа	Відносне видовження δ, %
		не менше		
265	До 160	265	430	21
295	Від 20 до 100	295	430	
315	До 60	315	450	
325	До 60	325	450	
345	До 32	345	490	
355	До 20	355	490	

Продовження табл. 2.23

Клас міцності	Товщина прокату, що поставляється по цьому класу міцності, мм	Границя плинності ст, МПа	Границя міцності ст, МПа	Відносне видовження δ, %
не менше				
375	До 50	375	510	20
390	До 50	390	510	19
440	До 32	440	590	

Примітка. При замовленні класу міцності 265 із марки сталі 16ГС границя міцності повинна бути не менше 450 МПа; при замовленні класу міцності 315 із марки сталі 12ГС відносне видовження повинно бути не менше 26 %; при замовленні класу міцності 345 із марки сталі 17ГС відносне видовження повинно бути не менше 23 %.

Таблиця 2.24. Ударна в'язкість товстолистового і широкополосного універсального прокату [6]

Клас міцності	Товщина прокату, мм	Ударна в'язкість КСВ-10 ⁴ , Дж/м ² , при температурі, °С			Ударна в'язкість КСВ-10 ⁴ , Дж/м ² , після механічного старіння при температурі +20 °С		
		+20	-40	-70	0	-20	
не менше							
1	2	3	4	5	6	7	8
265	Від 5 до 10	79	-	-	-	-	29
	Від 10 до 20 включно	69	-	-	-	-	
	Від 21 до 160 включно	59	29	24	-	-	
295	Від 21 до 32 включно	59	29	24	-	-	29
	Від 33 до 60 включно	59	29	24	-	-	
	Від 61 до 100 включно	59	29	24	-	-	
315	До 5	-	-	-	-	-	29
	Від 5 до 10 включно	-	-	-	-	-	
	Від 11 до 20 включно	59	29	24	-	-	
	Від 21 до 32 включно	59	29	24	-	-	
325	Від 33 до 60 включно	59	29	24	-	-	29
	До 5	59	39	29	-	-	
	Від 5 до 10 включно	59	39	29	-	-	
	Від 11 до 20 включно	59	34	29	-	-	
345	Від 21 до 32 включно	59	29	24	-	-	29
	Від 33 до 60 включно	59	29	24	-	-	
	До 5	64	39	29	-	-	
355	Від 5 до 10 включно	64	39	29	-	-	29
	Від 11 до 20 включно	-	29	29	40	40	
	Від 21 до 32 включно	-	29	29	40	40	

Продовження табл. 2.24

1	2	3	4	5	6	7	8
375	До 5	-	39	34	-	-	29
	Від 5 до 10 включно	-	39	34	-	-	
	Від 11 до 20 включно	-	39	29	-	-	
	Від 21 до 32 включно	-	39	29	-	-	
	Від 33 до 50 включно	-	39	29	-	-	
390	До 5	-	44	34	-	-	29
	Від 5 до 10 включно	-	44	34	-	-	
	Від 11 до 15 включно	-	39	29	40	40	
	Від 16 до 32 включно	-	39	29	40	40	
	Від 33 до 40 включно	-	39	29	40	40	
440	До 5	-	44	34	-	-	29
	Від 5 до 10 включно	-	44	34	-	-	
	Від 11 до 20 включно	-	39	29	-	-	
	Від 21 до 32 включно	-	39	29	-	-	

Примітки: 1) Для прокату класу міцності 265 із сталі марки 09Г2С ударна в'язкість КСВ при температурі мінус 40 °С повинна бути не менше $3,4 \cdot 10^3$ Дж/м², при температурі мінус 70 °С - не менше $2,9 \cdot 10^3$ Дж/м².
 2) Для прокату класу міцності 295 із сталі марок 09Г2, 09Г2Д для товщин від 20 до 32 мм включно значення ударної в'язкості КСВ повинно бути не менше $3,9 \cdot 10^3$ Дж/м².
 3) Для прокату класу міцності 325 із сталі марки 14Г2 для товщин від 5 до 20 мм значення ударної в'язкості КСВ при температурі випробування мінус 40 °С зменшується на $5 \cdot 10^3$ Дж/м².
 4) Для прокату класу міцності 345 товщиною від 5 до 10 мм включно з марки сталі 17ГС значення ударної в'язкості КСВ при температурі випробування мінус 40 °С повинно бути не менше $4,4 \cdot 10^3$ Дж/м², із марки сталі 09Г2С при температурі випробування мінус 70 °С не менше $3,4 \cdot 10^3$ Дж/м².

Механічні властивості термічно обробленої сталі товстолистової корозійностійкої, жаростійкої й жароміцної повинні відповідати нормам, що вказані в таблиці 2.25.

Таблиця 2.25. Механічні властивості термічно обробленої листової сталі [26]

Марка сталі	Режим термічної обробки	Границя плинності ст, МПа	Границя міцності ст, МПа	Відносне видовження δ, %	Ударна в'язкість КСВ-10 ⁴ , Дж/м ²
не менше					
1	2	3	4	5	6
15Х5М	Відпал при 840-870 °С, охолодження на повітрі	470	235	18	-
20Х13	Нормалізація або загартовування при 1000-1500 °С, охолодження на повітрі, відпал при 680-780 °С, охолодження з глибоко або на повітрі. Відпал за режимом виробника.	510	375	20	-
		Не більше 750			

Продовження табл 2 25

1	2	3	4	5	6
14X17H2*	Відпал або відпуск при 650-700 °C	За узгодженням виробника зі споживачем			
09X16H4B	Відпал за режимом виробника	Не більше 1030	-	13	-
12X13	Загартування при 960-1020 °C, охолодження на повітрі, відпуск при 680-780 °C, охолодження на повітрі або з гіччою. Відпал за режимом виробника	490	345	21	-
08X13	Загартування при 960-1020 °C, охолодження у воді або на повітрі, відпуск при 680-780 °C, охолодження на повітрі або з гіччою. Відпал за режимом виробника	420	295	23	-
12X17*	Відпал або відпуск при 760-780 °C, охолодження на повітрі або з гіччою.	Не більше 650	250	15	-
08X17T*	Відпал або відпуск при 760-780 °C, охолодження на повітрі.	440	-	18	-
15X2T*	Відпал або відпуск при 740-780 °C, охолодження у воді.	440	-	14	20
08X22H6T	Загартування при 1000-1050 °C, охолодження у воді	590	345	18	59
12X21H5T*	Загартування при 950-1050 °C, охолодження у воді або на повітрі	690	390	14	-
08X21H6M2T	Загартування при 1050±25 °C, охолодження у воді	590	345	20	59
03X22H6M2	Загартування при 1030-1050 °C, охолодження у воді	590	345	25	-
20X23H13*	Загартування при 1030-1120 °C, охолодження у воді	570	-	35	-
10X14F 14H4T	Загартування при 1050-1080 °C, охолодження у воді або на повітрі	590	245	40	-
12X17T9AH4*	Загартування при 1030-1100 °C, охолодження у воді	690	345	40	-

Продовження табл 2 25

1	2	3	4	5	6
10X17H13M2T	Загартування при 1030-1080 °C, охолодження у воді або на повітрі	530	235	37	-
08X17H13M2T	Загартування при 1030-1080 °C, охолодження у воді або на повітрі	510	196	40	-
10X17H13M3T	Загартування при 1030-1080 °C, охолодження у воді або на повітрі	530	235	37	-
08X17H13M3T*	Загартування при 1030-1080 °C, охолодження у воді або на повітрі	510	196	40	-
17X18H9	Загартування при 1080-1120 °C, охолодження у воді	590	265	35	-
12X18H9	Загартування при 1050-1120 °C, охолодження у воді або під водяним душем	530	215	38	-
12X18H9T	Загартування при 1030-1080 °C, охолодження у воді або на повітрі	530	215	38	-
08X18H10	Загартування при 1050-1100 °C, охолодження у воді або на повітрі	510	205	43	-
04X18H10	Загартування при 1050-1100 °C, охолодження у воді або на повітрі	490	175	45	-
12X18H10T	Загартування при 1000-1080 °C, охолодження у воді або на повітрі	530	235	38	-
03X23H6	Загартування при 1030-1050 °C, охолодження у воді	590	345	25	-
08X18H10T	Загартування при 1000-1080 °C, охолодження у воді або на повітрі	510	205	43	-
12X18H12T	Загартування при 1030-1080 °C, охолодження у воді або на повітрі	530	235	38	-
08X18H12T	Загартування при 1030-1080 °C, охолодження у воді або на повітрі	510	205	43	-
08X18H12B	Загартування при 1000-1100 °C, охолодження у воді або на повітрі	510	205	40	-
20X23H18	Загартування при 1030-1130 °C, охолодження у воді	540	265	35	-

1	2	3	4	5	6
03XH28MДТ*	Загартування при 1040-1080 °С, охолодження у воді	540	215	35	-
12Х2Н16Г1А*	Загартування при 1050-1150 °С, охолодження у воді або на повітрі	740	390	50	-
15Х18Н12С4Т5*	Загартування при 1020-1050 °С, охолодження у воді або на повітрі	690-930	345	30	-
07Х16Н6	Нормалізація при 1040±10 °С, охолодження на повітрі	Не більше 1180	Не більше 390	15	-
00Х2Н12М4Г*	Загартування при 1060-1120 °С, охолодження у воді або під водним душем	590	295	30	-
08Х18ГН2Т	Загартування при 980-1020 °С, охолодження у воді або під водним душем	590	345	20	59
09Х17Н7Ю	Загартування при 1030-1070 °С, на повітрі, дворазовий перший відпуск при 740-760 °С, охолодження на повітрі або у воді, другий відпуск при 580-680 °С, охолодження на повітрі	830	Не більше 735	12	49
06ХН28МДТ	Загартування при 950-1080 °С, охолодження у воді	540	215	35	-
03Х18Н11	Загартування при 1080-1100 °С, охолодження у воді або на повітрі	490	196	40	-
03Х17Н14М3	Загартування при 1080-1100 °С, охолодження у воді або на повітрі	490	196	40	-

*Для листів товщиною більше 25 мм механічні властивості не нормуються, визначення обов'язкове.

Примітки: 1) У таблиці вказані рекомендовані режими і вид термічної обробки, що застосовується на завод-виробнику.

2) По узгодженню виробника зі споживачем допускається зміна режиму і виду термічної обробки з відповідними змінами норм механічних властивостей.

3) Для гарячекатаних листів із сталі марок 20Х13, 12Х13, 08Х13 дозволяється на виконувати термічну обробку при відповідності механічних властивостей цій таблиці.

4) Для листів товщиною до 6 мм включно із сталі марки 12Х2Н16Г1А границя пластичності повинна бути не менше 441 МПа.

5) Для гарячекатаних листів товщиною 4 мм із сталі марок 20Х13, 12Х13, 08Х13 норми границі пластичності встановлюються по узгодженню виробника зі споживачем.

6) Для листів із сталі марки 09Х17Н7Ю відносно зварюваності повинно бути не менше 40%.

7) Для листів без термічної обробки механічні властивості не вказуються.

2.7. Рекомендовані марки і механічні властивості труб

Таблиця 2.26. Застосування сталевих труб [23]

Марка сталі, позначення стандарту або механічних властивостей	Технічні властивості	Робочі умови		Види випробувань і виміри	Прийняття і умови використання
		температура в стінці, °С	тиск середовища, МПа, не більше		
Ст-3пс Ст-3пс за ГОСТ 380-94	2 Труби водопропускні (пластичні) за ГОСТ 5.1124-71	3 Від 0 до 200	4 1,6	5 За ГОСТ 5.1124-71	6 Для трубопроводів води й інших хладагентів, розчилювачів та інших деталей з урахуванням вимог п.2.5.1
	Труби електроварні за ГОСТ 10706-76 група В	Від 10 до 200 до 150	0,07	За ГОСТ 10706-76 група В.1 п.2.4.3.2	
Ст-3пс за ГОСТ 380-94	Труби електроварні за ГОСТ 10706-76 група В	Від мінує 20 до 400	5	За ГОСТ 10706-76 група В.1 п.2.4.3.2	Для корпусів патрубків та інших деталей з урахуванням вимог п.2.4.3.1, 2.4.3.1, 2.5.1
Ст-3пс за ГОСТ 380-71	Труби електроварні за ГОСТ 10706-76				Для корпусів патрубків та інших деталей з урахуванням вимог п.2.4.3.1, 2.4.3.2, 2.5.1

1	2	3	4	5	6
10X14T14H4T за TV 14-3-59-72	ГОСТ 8731-74 группа В За TV 14-3-59-72	Від мігус 30 до 475 Від мігус 190 до 500		За ГОСТ 580-75, ГОСТ 8731-74, ГОСТ 8731-74 За TV 14-3-59-72	Для трубних пучків, зімбовиш та інших деталей з урахуванням вимог п.2.5.4
08X22H6T за ГОСТ 5632-72	За ГОСТ 9940-81 ГОСТ 9941-81 ГОСТ 14-3-59-72 TV 14-3-1231-83	Від мігус 40 до 300		За ГОСТ 9940-81 ГОСТ 9941-81 ГОСТ 14-3-59-72 TV 14-3-1231-83	Для трубних пучків, зімбовиш та інших деталей
07X13A1T20 за TV 14-3-1322-85	За TV 14-3-1322-85	Від мігус 70 до 300	5,0	За TV 14-3-1322-85 TV 14-3-1323-85	
TV 14-3-1323-85	TV 14-3-1323-85				
08X21H6M2T за TV 14-3-59-72	TV 14-3-1323-85 За TV 14-3-59-72	Від мігус 40 до 300	16 обмежено	За TV 14-3-59-72	
08X18T8H2T за ГОСТ 5632-72	За ГОСТ 5632-72	Від мігус 20 до 300	2,5	За ГОСТ 5632-72	Для трубних пучків, зімбовиш та інших деталей
03X19A1H10 за TV 14-3-415-75	За TV 14-3-415-75	Від мігус 190 до 450	5	За TV 14-3-415-75	
03X17H14M3 за TV 14-3-396-75	За TV 14-3-396-75			За TV 14-3-396-75	
TV 14-3-1348-85	TV 14-3-1348-85			За TV 14-3-1357-85	
TV 14-3-1357-85	TV 14-3-1357-85			За TV 14-3-1348-85	
02X8H2XK за TV 14-3-1024-81	За TV 14-3-1024-81	Від мігус 40 до 120	-	За TV 14-3-1024-81	Для трубних пучків
03X18H10T за ГОСТ 5632-72	ГОСТ 9940-81 ГОСТ 9941-81 ГОСТ 14-3-59-72 TV 14-3-1391-85	Від мігус 273 до 610	5	За TV 14-3-1391-85 і п.2.5.4	Для трубних пучків, зімбовиш та інших деталей з урахуванням вимог п.2.4.3 і 2.4.3.9

Продолжение табл. 2.26

1	2	3	4	5	6
12X18H10T за ГОСТ 5632-72	За ГОСТ 9940-81 ГОСТ 9941-81	Від мінує 253 до 350 до 610	Не обмежено	За ГОСТ 9940-81, ГОСТ 9941-81 п.2.4 з.5, 2.4.3.8	Для зм'ягчених, трубних пучків, патрубків та інших деталей з урахуванням вимог п.2.5.4
12X18H12T за ТУ 14-3-460-75	За ТУ 14-3-460-75	См. 350 до 610			Для зм'ягчених, трубних пучків, патрубків та інших деталей для середовищ, які не спричиняють міжкристалітну корозію з урахуванням вимог п.2.5.4
08X18H10T за ГОСТ 5632-72	За ГОСТ 9940-81 ГОСТ 9941-81	Від мінує 253 до 610		За ТУ 14-3-460-75	Для трубних пучків та інших мінімальних, підтримок та інших деталей для середовищ, які не спричиняють міжкристалітну корозію з урахуванням вимог п.2.5.4
12X18H12T за ТУ 14-3-460-75	За ТУ 14-3-460-75				Для зм'ягчених, трубних пучків, патрубків та інших деталей з урахуванням вимог п.2.5.4
08X18H10T за ГОСТ 5632-72	За ГОСТ 9940-81 ГОСТ 9941-81	Від 610 до 700	5	За ГОСТ 9940-81, ГОСТ 9941-81 п.2.4 з.8	Для трубних пучків, зм'ягчених, трубних пучків, патрубків та інших деталей з урахуванням вимог п.2.5.4
12X18H12T за ТУ 14-3-460-75	За ТУ 14-3-460-75			За ТУ 14-3-460-75	Для зм'ягчених, трубних пучків, патрубків та інших деталей з урахуванням вимог п.2.5.4
08X18H10T за ГОСТ 5632-72	За ГОСТ 9940-81 ГОСТ 9941-81	Від мінує 196 до 610	Не обмежено	За ГОСТ 9940-81, ГОСТ 9941-81 п.2.4 з.8	Для зм'ягчених, трубних пучків, патрубків та інших деталей з урахуванням вимог п.2.5.4
08X17H13M2T за ГОСТ 5632-72		Від мінує 196 до 250			

1	2	3	4	5	6
10X17H13M2T за ГОСТ 5632-72	За ГОСТ 9940-81 ГОСТ 9941-81	Св. 330 до 700		За ГОСТ 9940-81, ГОСТ 9941-81 п.м.2.4.3.5, 2.4.3.8	Для змійовиків, трубних пуч- ків, патрубків та інших деталей для середнього, які не піддають- ються міжкристалітній коро- зії з урахуванням вимог п.2.5.4
10X17H13M3T за ГОСТ 5632-72		Від мінус 196 до 600			Для змійовиків, трубних пуч- ків, патрубків та інших дета- лей з урахуванням вимог п.2.5.4
10X18H1T за ГОСТ 5632-72	За ТУ 14-3- 461-78	Від мінус, 196 до 450	5 (50)	За ТУ 14-3-461-78	Для трубних пучків, теплообмінників, змійовиків, патрубків та інших деталей
10X18H1T за ГОСТ 5632-72	За ТУ 14-3-1401-86	Від мінус 196 до 450		За ТУ 14-3-1401-86 ТУ 14-3-1359-85	
10X21H12M4T за ГОСТ 5632-72	ТУ 14-3-1359-85	Від мінус 70 до 400		За ТУ 14-3-751-78	Для трубних пучків теплооб- мінників, патрубків та інших деталей
10X21H12M4T за ГОСТ 5632-72	ТУ 14-3-694-78	Від мінус 196 до 400		За ТУ 14-3-694-78	
10X21H12M4T за ГОСТ 5632-72	ТУ 14-3-751-78	Від мінус 196 до 400		За ТУ 14-3-751-78	
10X21H12M4T за ГОСТ 5632-72	ТУ 14-3-1201-83	Від мінус 196 до 400		За ТУ 14-3-1201-83	
10X21H12M4T за ГОСТ 5632-72	ТУ 14-3-318-75	Від мінус 196 до 400		За ТУ 14-3-318-75	Для трубних пучків теплооб- мінників, апаратів та інших деталей з урахуванням вимог п.п. 2.4.3.5, 2.5.4
10X21H12M4T за ГОСТ 5632-72	ТУ 14-3-763-78	Від мінус 196 до 400		ТУ 14-3-763-78	
10X21H12M4T за ГОСТ 5632-72	ТУ 14-3-822-79	Від мінус 196 до 400	Не обмежено	ТУ 14-3-822-79	Для трубних пучків, які не піддаються зароданню
10X21H12M4T за ГОСТ 5632-72	ТУ 14-3-949-80	Від 0 до 300	—	За ТУ 14-3-949-80	Для деталей внутрішніх пристроїв, які не піддаються контролю
10X21H12M4T за ГОСТ 5632-72	ТУ 14-3-949-80	Від 0 до 300	—	За ТУ 14-3-949-80	Для деталей внутрішніх пристроїв, які не піддаються контролю

Продовження табл. 2.26

1	2	3	4	5	6
15X25T за ГОСТ 5632-72	За ГОСТ 9940-81*	Від 0 до 900		За ГОСТ 9940-81, ГОСТ 9941-81	Для деталей внутрішніх пристроїв, які не піддаються контролю
15X25T за ГОСТ 5632-72	За ГОСТ 9940-81	Від мінус 40 до 600			Для змійовиків, трубних пучків, патрубків та інших деталей
15X18H13M3T за ГОСТ 5632-72	За ТУ 14-3-310-74	Від мінус 20 до 200	2,5	За ТУ 14-3-310-74 ГОСТ 9941-81	Для змійовиків, трубних пучків, патрубків та інших деталей
15X18H13M3T за ГОСТ 5632-72	За ТУ 14-3-489-76	Від 40 до 550	6,4	За ТУ 14-3-489-76	Для змійовиків, трубних пучків, патрубків та інших деталей
15X18H13M3T за ГОСТ 5632-72	За ТУ 14-3-489-76	Від 40 до 550	6,4	За ТУ 14-3-489-76	Для змійовиків, трубних пучків, патрубків та інших деталей
15X18H13M3T за ГОСТ 5632-72	За ТУ 14-3-489-76	Від 40 до 550	6,4	За ТУ 14-3-489-76	Для змійовиків, трубних пучків, патрубків та інших деталей
15X18H13M3T за ГОСТ 5632-72	За ТУ 14-3-489-76	Від 40 до 550	6,4	За ТУ 14-3-489-76	Для змійовиків, трубних пучків, патрубків та інших деталей
15X18H13M3T за ГОСТ 5632-72	За ТУ 14-3-489-76	Від 40 до 550	6,4	За ТУ 14-3-489-76	Для змійовиків, трубних пучків, патрубків та інших деталей
15X18H13M3T за ГОСТ 5632-72	За ТУ 14-3-489-76	Від 40 до 550	6,4	За ТУ 14-3-489-76	Для змійовиків, трубних пучків, патрубків та інших деталей
15X18H13M3T за ГОСТ 5632-72	За ТУ 14-3-489-76	Від 40 до 550	6,4	За ТУ 14-3-489-76	Для змійовиків, трубних пучків, патрубків та інших деталей

* Розраховується на експортну продукцію.

1) Доповненням заводу-виробника труби товщиною стінки не більше 12 мм і сталі марок 10 і 20 за ГОСТ 550-75, ГОСТ 8733-74.

2) Труби з стінкою товщиною 12 мм і більше і сталей марок 10, 20 за ГОСТ 8731-74, мають бути випробувані на ударну в'язкість

при температурі плюс 20 °С. При цьому значення ударної в'язкості за ГОСТ 550-75.

3) Труби з сталі марок 10 і 20 за ГОСТ 8733-74 і ТУ 14-3-460-75 діаметром 20, 25 мм і стінкою товщиною не більше 2,5 мм

допускається застосовувати при температурі не нижче мінус 60 °С.

Примітки:

1) При замовленні труб для виготовлення корпусів, патрубків, локів і штуцерів, які піддаються контролю Держгоснагляду і розраховуються за ГОСТ 8731-74, необхідно вимоги позначення граничної гвинтності.

2) Труби з стінкою товщиною 12 мм і більше і сталей марок 10, 20 за ГОСТ 8731-74, мають бути випробувані на ударну в'язкість

при температурі плюс 20 °С. При цьому значення ударної в'язкості за ГОСТ 550-75.

3) Труби з сталі марок 10 і 20 за ГОСТ 8733-74 і ТУ 14-3-460-75 діаметром 20, 25 мм і стінкою товщиною не більше 2,5 мм

допускається застосовувати при температурі не нижче мінус 60 °С.

Механічні властивості основного металу труб електросварних прямошовних з вуглецевої сталі повинні відповідати нормам, вказаним у таблиці 2.27

Таблиця 2.27 Механічні властивості електросварних прямошовних труб з вуглецевої сталі [28]

Марка сталі	Границя міцності ст, МПа	Границя пластичності ст, МПа	Відносне видовження δ, %
			не менше
Ст2кп	324	216	22
Ст2кв	334	225	22
Ст2сп	363	235	20
Ст3кп	372	245	18
Ст3кв			
Ст3сп			

Труби сталеві для нафтохімічної промисловості повинні виготовлятися в термічно обробленому стані. Гарячедеформовані труби із сталей марок 10, 20 і 10Г2 можуть виготовлятися з прокатного нагріву. Механічні властивості металу труб повинні відповідати наведеним у таблиці 2.28.

Таблиця 2.28 Механічні властивості труб для нафтопереробної і нафтохімічної промисловості [29]

Марка сталі	Границя міцності ст, МПа	Границя пластичності ст, МПа	Відносне видовження δ, %	Відносне звуження ψ, %	Ударна в'язкість КС · 10 ⁻⁵ , Дж/см ²	Твердість за Брінклем НВ, не більше	Види труб
							не менше
10	355	216	25	50	8	137	Гарячедеформовані
20	431	255	22	50	8	156	
10Г2	470	265	21	50	12	197	
12ХМХ	412	245	21	45	7	156	
15Х3	392	216	24	50	10	170	
15Х3М	392	216	22	50	12	170	
15Х3ВФ	392	216	22	50	12	170	
12ХВВФ	392	167	22	50	10	170	
10	333	208	28	-	-	137	Холоднедеформовані і теплодеформовані
20	412	245	23	-	-	156	
15Х3М	392	216	22	-	-	170	
Х8	392	216	22	-	-	170	

Примітка. За замовленням споживача труби із сталі марки 10Г2 повинні мати ударну в'язкість при температурі мінус 40 °С не менше 2,5 · 10⁵ Дж/см².

Механічні властивості безшовних гарячедеформованих труб корозійностійкої сталі повинні відповідати вказаним у табл.2.29, безшовних холодно- й теплодеформованих – у табл.2.30.

Таблиця 2.29 Механічні властивості гарячедеформованих труб з корозійностійкої сталі [30]

Марка сталі	Границя міцності ст, МПа	Відносне видовження δ, %	Густина ρ · 10 ⁻³ , кг/м ³
			не менше
08Х13	372	22	7,7
08Х17Т	372	17	7,7
12Х13	392	21	7,7
12Х17	441	17	7,7
15Х28	441	17	7,6
15Х25Т	441	17	7,6
04Х18Н10	441	40	7,9
10Х23Н18	491	37	7,95
08Х17Н15М3Т	510	35	8,1
08Х18Н10	510	40	7,9
08Х18Н10Т	510	40	7,9
08Х18Н12Б	510	38	7,9
08Х18Н12Т	510	40	8,1
08Х20Н14С2	510	35	7,7
10Х17Н13М2Т	529	35	8,0
12Х18Н9	529	40	7,9
12Х18Н10Т	529	40	7,9
12Х18Н12Т	529	40	7,95
17Х18Н9	568	40	7,9
08Х22Н6Т	588	24	7,7

Примітки: 1) Для труб з відношенням зовнішнього діаметра до товщини стінки труб, що дорівнює або менше 8, із сталей марок 04Х18Н10, 08Х20Н14С2, 10Х17Н13М2Т, 08Х18Н12Т, 10Х23Н18, 08Х18Н10, 08Х18Н10Т, 08Х17Н15М3Т, 12Х18Н10Т, 12Х18Н12Т, 12Х18Н9, 17Х18Н9, 08Х22Н6Т допускається зниження границі міцності на 19,6 МПа.

2) Границя пластичності для труб із сталі марки 12Х18Н10Т повинна бути не менше 216 МПа.

3) Норми границі пластичності для труб із сталей марок 12Х18Н12Т і 08Х18Н10Т встановлюють за уголеним виробом і казі споживачем.

Таблиця 2.30 Механічні властивості безшовних холодно-й теплотрестформованих труб з корозійностійкої сталі [31]

Марка сталі	Границя міцності σ _в , МПа	Відсоток видовження δ, %	Густина ρ · 10 ⁻³ , кг/м ³
	не менше		
08X17T	372	17	7,7
08X13	372	22	7,7
12X13	392	22	7,7
12X17	441	17	7,7
15X25T	461	17	7,6
04X18H10	490	45	7,9
08X20H14C2	510	35	7,7
10X17H13M2T	529	35	8,0
08X18H12B	529	37	7,9
10X23H18	529	35	7,95
08X18H10	529	37	7,9
08X18H10T	549	37	7,9
08X18H12T	549	37	7,95
08X17H15M3T	549	35	8,1
12X18H10T	549	35	7,95
12X18H12T	549	35	7,9
12X18H9	549	37	7,9
17X18H9	568	35	7,9
08X22H6T	588	20	7,6
06XH28MDT	490	30	7,96

Примітки: 1) Границя плинності для труб із сталі марки 12X18H10T повинна бути не менше 216 МПа.
2) Норми границі плинності для труб із сталі марок 12X18H12T, 10X17H13M2T і 08X18H10T встановлюються за узгодженням виробника зі споживачем.

Примітки: 1) Границя пластичності для труб із сталі марки 12X18H10T повинна бути не менше 216 МПа.
2) Норми границі пластичності для труб із сталі марок 12X18H12T, 10X17H13M2T і 08X18H10T встановлюються за узгодженням виробника зі споживачем.

2.8. Рекомендовані марки й механічні властивості поковок

Таблиця 2.31 Застосування поковок [23]

Марка сталі, позначення стандарту або технічних вимог	Технічні вимоги	Робочі умови		Види виробувань з вимоги	Позначення й умови використання
		температура, °C	тикс сероло-віща, МПа, не більше		
Ст-5п за ГОСТ 380-84	За ГОСТ 8479-70 група IV-KT.245 (KT125)	3 Від мінус 20 до 400	4 5	5 За ГОСТ 8479-70, група IV	6 Для стовпних кілець, трубних решіток та інших деталей, які не піддаються заварюванню, з урахуванням вимог п.2.5.1
20 за ГОСТ 1050-88	За ГОСТ 8479-70 група IV-KT.195 (KT120) і група IV-KT.215 (KT122)	Від мінус 30 до 475	Не обмежено	16	Для фланців, трубних решіток з урахуванням вимог п.2.5.1
20К за ГОСТ 5520-79	За ГОСТ 8479-70 група IV-KT.195 (KT120)	Від мінус 40 до 475			Для фланців з урахуванням вимог п.2.5.1
20К за ГОСТ 5520-79	За ГОСТ 8479-70 група IV-KT.215 (KT122)	Від мінус 40 до 475			Для фланців, трубних решіток з урахуванням вимог п.2.5.1
16ГС за ГОСТ 19282-73	За ГОСТ 8479-70 група IV-KT.245 (KT125), для сталі марок 10Г2 (KT122)	Від мінус 70 до 475	Не обмежено		Для фланців, трубних решіток та інших деталей поковок мають бути у сталі нормалізації, з урахуванням вимог п.2.5.1
10Г2 за ГОСТ 1453-71	За ГОСТ 8479-70 група IV-KT.215 (KT122)	Від мінус 31 до 475			Для стовпних кілець, теплообмінників, підгірників з урахуванням вимог п.2.5.2
10Г2 за ГОСТ 19282-73	За ГОСТ 8479-70 група IV-KT.395 (KT140)	Від мінус 40 до 450			

1	2	3	4	5	6
15ХМ а ГОСТ 4543-71	За ГОСТ 8479-70 група IV-КП 275- -σ _с ≥ 440	Від мінус 40 до 560			Для фланців, трубних решіток та інших деталей з урахуванням ви- мост п.2.5.2
15Х5ВФ, 15Х5М за ГОСТ 5632-72	За ГОСТ 8479-70 група IV- КП 396С- -δ ≥ 13% -ψ ≥ 35% КСЧ2 ≥ 50	Від мінус 40 до 600	Не обме- жено	За ГОСТ 8479-70, група IV	Для фланців, трубних решіток та інших деталей з урахуванням ви- мост п.2.5.2
08Х22Н6Т 08Х21Н6М2Т за ГОСТ 5632-72	За ГОСТ 23054-81 група IV	Від мінус 40 до 560		За ГОСТ 23054-81 На мікросталіну корозію - від парції за вимотови зрешення	Для фланців, трубних решіток та інших деталей
12Х18Н9Т 12Х18Н10Т за ГОСТ 5632-72		Від мінус 253 до 350			Для фланців, трубних решіток та інших деталей для середовищ, які не спричиняють мікросталіну кор- розію з урахуванням вимог п.2.5.4
06Х18Н10Т за ГОСТ 5632-72		Від мінус 196 до 600 Від мінус 253 до 610 Від 610 до 700			Для фланців, трубних решіток та інших деталей з урахуванням вимог п.2.5.4
10Х17Н13М2Т за ГОСТ 5632-72		Від мінус 253 до 600	Не обме- жено		Для фланців, трубних решіток та інших деталей для середовищ, які не спричиняють мікросталіну кор- розію з урахуванням вимог п.2.5.4
03Х18Н11 по ГОСТ 5632-72		Від мінус 253 до 450			Для фланців, трубних решіток та інших деталей для середовищ, які не спричиняють мікросталіну кор- розію з урахуванням вимог п.2.5.4
03Х17Н14М3 за ГОСТ 5632-72		Від мінус 196 до 450			Для фланців, трубних решіток та інших деталей з урахуванням ви- мост п.2.5.4
10Х17Н13М2Т за ГОСТ 5632-72		Від мінус 196 до 350			Для фланців, трубних решіток та інших деталей з урахуванням ви- мост п.2.5.4

1	2	3	4	5	6
08Х17Н15М3Т за ГОСТ 5632-72		Від 350 до 600			Для фланців, трубних решіток та інших деталей для середовищ, які не спричиняють мікросталіну корозію з урахуванням вимог п.2.5.4
06ХН2М2Т за ГОСТ 5632-72	За ГОСТ 23054-81 група IV	Від мінус 196 до 600	5	За ГОСТ 23054-81 гру- па IV. На мікросталіну ко- розію - від парції за ви- мотови зрешення	Для фланців, трубних решіток та інших деталей з урахуванням ви- мост п.2.5.4
08Х13, 12Х13 за ГОСТ 5632-72		Від 0 до 550	6.4	За ГОСТ 23054-81, група IV	Для трубних решіток, краників, об'єднань та інших деталей, які не піддаються загартовуванню

Виробничі записки не підлягають виробничій послужі.

- 1) Допускається застосовувати покосови до II групи для ануоб'єктивних середовищ при тиску менше 0,07 МПа.
- 2) Допускається застосовувати сталеві гармачнікі, ківалі для виготовлення фланців із сталей марок 20 за ТУ 14-1-1431-75, 20, 10Г2, 15Х5М, 15Х18Н10Т за ТУ 14-3-975-75.
- 3) Допускається застосовувати фланці приварні з сталею покосови групи IV-КП 22 за ГОСТ 8479-70 і балачки заготовок із сталей 20 ГОСТ 1058-88 нижче температури мінус 30 °С до температури мінус 40 °С за умов термобробки - прокрутки і подовженого випрессування або переміщення після приварювання фланця до патрубка, обточка або дробу. Патрубок фланця, який приварюється до корпусу, має бути виготовлений із сталей 10Г2С (09Г2С, 10Г2), при цьому значення ударної в'язкості основних сталей повинні бути не менше ніж при температурі загартовування за ГОСТ 14-3-975-75 (п. 1.1) допустимі заготовки відокремлення фланців шпундерів із сталей 20, термоб.
- 4) Покосови спостерігають марку 10Г2С, 10Г2 мають вироблюватися на ударні в'язкості при робочих температурах нижче мінус 30 °С. При цьому допускається ударної в'язкості має бути не менше 30 Дж/см².
- 5) Допускається застосовувати заготовки, озерами методом електрошлакового переплаву із сталей марок 20Ш, 10Г2Ш за ТУ 0251-1-6-78 на параметри, аналогічні сталей 20 и 10Г2.
- 6) Допускається застосовувати покосови із сталей 20 заготовками у місці заварювання не більше 12 мм при температурі не нижче мінус 40 °С без гарантованого обробки дварного утворення.

У таблиці 2.32 наведені рекомендовані марки сталі залежно від діаметра (товщини) поковок і категорії міцності, яка вимагається, після остаточної термічної обробки.

Таблиця 2.32. Марки сталі залежно від діаметра (товщини) поковок і категорії міцності, яка вимагається [34]

Категорія міцності	Діаметр (товщина) поковок, мм			
	До 100	Від 100 до 300	Від 300 до 500	Від 500 до 800
1	2	3	4	5
КП175	15*, 20*, 25, С13*	С13*, 15*, 20*, 25*, С15*	20*, 25*, 30*, С15*	20*, С15*, 30*, 35*
КП195	С13*, С13Ген*, 15*, 20*, 25*, 15Х*, 20*, 15ХМ*	С13*, 15ХМ*, 20*, 25*, 30*, С15*, 15Х*, 20Х*, 12Х1МФ*	С15*, 25*, 30*, 35*, 20Х*, 22К*	С15*, 30*, 35*, 22К*
КП215	20*, 25*, 10Г2*, 20Х*, 15ХМ*, 12Х1МФ*	20*, 25*, С15*, 30*, 35*, 20Х*, 15ХМ*, 10Г2*, 22К*, 16ГС*, 12Х1МФ*	30*, 35*, 40*, 10Г2*, 22К*, 12Х1МФ*	30*, 35*, 40*, 22К*, 1ХГ2*, 12Х1МФ*
КП245	25*, 30*, 35*, С15*, 20Х*, 12ХМ*, 15ХМ*, 20ГС*, 20ГС*	20, 30*, 35*, 40*, 45*, 20Х*, 12ХМ*, 15ХМ*, 16ГС*, 20ГС*, 12Х1МФ*	30*, 35*, 40*, 45*, 40, 25ГС*, 35ХМ*, 12Х1МФ*	45*, 25ГС*, 40Х*, 35ХМ*
КП275	35*, 40*, 45*, 20Х*, 25ГС*, 15ХМ*	25, 35, 40*, 45*, 50*, 20Х*, 25ГС*, 12ХМ*, 15ХМ*, 35Г2*, 35ХМ*, 34ХМ (34ХМА)	40, 45, 40Х*, 25ГС*, 15ХМ*, 35ХМ*, 34ХМ (34ХМА)	40, 40Х*, 25ГС*, 15Х1М1Ф
КП315	35, 45*, 50*, 40Х*, 45Х*, 15ХМ*, 50Г2*, 35ХМ*, 34ХМ (34ХМА)	40, 45, 40Х*, 55*, 50Г2*, 15ХМ*, 40ХН*, 20Х*, 34ХМ (34ХМА)	45, 45Х*, 40Х*, 40ХН*, 38ХГН, 34ХН1М	40Х*, 45Х*, 45Х*, 40ХН*, 38ГН*
КП345	40, 45, 15Х*, 40Х*, 50Г2*, 45Х*, 50Х*, 15ХМ*, 35ХМ*, 38ХГН*	45, 15ХН, 20Х*, 40Х*, 45Х*, 50Х*, 50Г2*	40Х*, 45Х*, 40ХН, 50Х*, 38ХГН	45Х*, 50Х*, 38ХГН, 35ХМ, 15Х1М1Ф, 34ХМ (34ХМА)
КП395	45, 30Х, 40Х, 50Г2*, 15ХМ, 30ХМА, 40ХН, 30ХГС*, 34ХН1М*, 18ХГТ	35Х*, 40Х, 45Х, 34ХМ, 35ХМ, 40ХФА, 40ХН, 38ХГН, 15Х1М1Ф, 34ХН1М*, 34ХМ (34ХМА)	40Х, 45Х, 40ХН, 35ХМ, 38ХГН, 40ХФА, 34ХМ (34ХМА)	40ХН, 35ХМ, 38ХГН, 34ХМ (34ХМА)

Продовження табл.2.32

1	2	3	4	5
КП440	40Х, 35ХМ, 40ХН, 38ХГН, 25Х1М1Ф*, 34ХН1М, 30ХМА, 15ХМ	40Х, 45Х, 35ХМ, 40ХН, 30ХМА, 35ХМА, 25Х1М1Ф*, 34ХН1М, 45ХНМ*, 34ХМ (34ХМА)	45Х, 35ХМ, 40ХН, 34ХН1М, 38ХГН, 45ХНМ, 34ХМ (34ХМА)	40ХН, 34ХН1М, 45ХНМ*, 38Х2Н2МА, 40ХН2МА
КП490	55, 55Х, 35Х, 40Х, 45Х, 15ХМ, 35ХМ, 30ХГСА, 30ХМА, 38ХМ, 38ХГН, 40ХН, 25Х1МФ	40Х, 45Х, 35ХМ, 40ХФА, 40ХН, 30ХГСА, 35ХГСА, 38ХГН, 25Х2М1Ф*, 25Х1М1Ф, 20Х1М1Ф1ТР, 34ХН1М, 30ХН2МФА, 45ХНМ*, 34ХМ (34ХМА)	34ХН1М, 30ХН2МФА, 40ХН2МА, 45ХНМ	34ХН1М, 40ХН2МА
КП540	38ХС, 40ХН, 40ХФА, 38ХГН, 34ХН1М, 25Х1М1Ф, 30ХГСА	45Х, 50Х, 35ХН, 40ХН, 30ХНМА, 40ХФА, 35ХГСА, 38ХГН, 34ХН1М, 40ХН2МА	34ХН1М, 40ХН2МА	45ХНМ
КП590	45Х, 38ХС, 38ХГ, 35ХГСА, 35ХМ, 40ХН, 45ХН, 38ХГН, 20ХН3А, 25Х1МФ, 30ХГСА	50Х, 34ХНМА, 40ХН, 25Х1М1Ф, 38Х2М1ЮА, 35ХНМА, 30ХГСА, 34ХН1М, 20Х1М1Ф1ТР, 25Х2М1Ф, 40ХН2МА, 34ХН1М, 45ХНМ	34ХН1М, 40ХН2МА, 45ХНМ	40ХН2МА, 45ХНМ
КП640	45Х, 50Х, 45ХН, 30ХГСА, 35ХГСА, 34ХН1М	34ХН1М, 38ХН3МА, 34ХН3М*	34ХН3М, 38ХН3МА, 40ХН2МА	38ХН3МА, 38ХН3М1ФА, 34ХН3М, 35ХН1М2ФА, 36Х2Н2МФА

1	2	3	4	5
КП1685	30ХГТ, 30ХГСА, 20ХНЗА, 20ХН1МФ1ТР, 20ХНЗА, 25Х2М1Ф*, 34ХН1М, 34ХНЗМ*	50ХФА, 25Х1М1Ф, 25Х2М1Ф1, 34ХН2М*, 34ХН1М, 38ХНЗМ*, 38ХНЗМФА*, 40ХН2МА	34ХНЗМ*, 38ХНЗМА*, 38ХНЗМФА*, 38ХН2МА, 18Х2Н4МА, 45ХНМ	38ХНЗМА, 38ХНЗМФА, 34ХНЗМ, 36ХН2МФА
КП1735	34ХН1М, 40ХН2МА, 34ХНЗМ*, 40ХН2НМА, 38ХН2НМА	34ХНЗМ*, 40ХН2МА, 38ХНЗМ*, 38ХНЗМФА*, 18Х2Н4МА	34ХНЗМ, 38ХНЗМА, 36ХН2МФА	34ХНЗМ, 38ХНЗМФА
КП1785	18Х2Н4ВА, 38ХНЗМФА*, 34ХНЗМА*, 38ХН2НМА, 40ХН2МА	34ХН1МА, 34ХНЗМА, 36ХН2МФА, 38ХНЗМФА, 40ХН2МА, 38ХН2НМ	34ХНЗМА, 38ХНЗМФА, 38ХНЗМА, 36ХН2МФА	-

Примітка: Знак "*" означає, що сталь заводиться в нормалізованому стані; в інших випадках сталі відповідної категорії міцності забезпечуються загартовуванням і відпуском.

За механічними властивостями поковки, що постачаються, цілком остаточної термічної обробки, поділяються на категорії міцності. Категорії міцності, відповідні їм норми механічних властивостей, що визначаються при випробуваннях на поздовжніх зразках, і норми твердості наведені у таблиці 2.33.

При визначенні механічних властивостей поковок на поперечних, тангенціальних або радіальних зразках допускається зниження норм механічних властивостей в порівнянні з тими, що наведені у таблиці 2.33 на величини, які вказані в таблиці 2.34.

Таблиця 2.34. Допустимі зниження норм механічних властивостей для поперечних, тангенціальних або радіальних зразків [34]

Показники механічних властивостей	Допустиме зниження норм механічних властивостей, %			
	для поперечних зразків	для тангенціальних зразків	для тангенціальних зразків поковок діаметром до 300 мм	для тангенціальних зразків поковок діаметром більше 300 мм
Границя пластичності	10	10	5	5
Границя міцності	10	10	5	5
Відносне видовження	50	35	25	30
Відносне звуження	40	35	20	25
Ударна в'язкість	50	40	25	30

Примітка: Для поковок типу кільця, що виготовляються розкаткою, норми механічних властивостей, що отримані при випробуваннях тангенціальних зразків, встановлюються за нормами для поздовжніх зразків.

Таблиця 2.33. Механічні властивості поковок [34]

Категорія міцності	Границя міцності, МПа, не менше	Границя пластичності, МПа, не менше	Відносьне видовження δ, %		Відносьне звуження ψ, %		Діаметр (толщина) поперечного перерізу, мм		Відносьне звуження поперечного перерізу, %		Ударна міцність КСЧН-10*, Дж/см², не менше	Твердість НВ, не менше				
			До 100 мм	Більше 100 мм	До 100 мм	Більше 100 мм	До 100 мм	Більше 100 мм	До 100 мм	Більше 100 мм						
КП1725	175	355	28	24	22	20	25	55	50	45	40	64	59	54	49	101-143
КП1735	195	390	36	32	30	28	35	65	60	55	50	74	69	64	44	111-156
КП1745	215	430	34	30	28	26	53	48	40	35	30	54	49	44	39	123-167
КП1745	245	470	32	28	26	24	47	42	35	30	26	49	39	34	34	143-179
КП1755	275	550	26	22	20	18	40	38	32	30	26	44	34	29	29	166-197
КП1765	315	570	17	14	12	11	38	35	30	30	26	34	29	29	29	174-217
КП1745	345	590	18	17	14	12	42	40	38	33	30	34	29	29	29	182-229
КП1755	395	615	17	15	13	11	45	40	35	30	30	54	49	49	39	197-235
КП1760	440	635	16	14	13	11	45	40	35	30	30	54	49	49	39	212-248
КП1760	490	655	16	13	12	11	45	40	35	30	30	54	49	49	39	233-263
КП1760	540	685	15	13	12	10	45	40	35	30	30	54	49	49	39	245-277
КП1760	590	705	14	13	12	10	45	40	35	30	30	54	49	49	39	268-293
КП1760	640	735	13	12	11	10	42	38	33	30	30	54	49	49	39	292-311
КП1765	685	755	13	12	11	10	42	38	33	30	30	54	49	49	39	297-321
КП1775	735	800	13	12	11	10	42	38	33	30	30	54	49	49	39	297-321
КП1785	785	850	12	11	10	10	40	35	30	30	30	54	49	49	39	293-331

Примітка: 1) Категорія міцності позначається літерою КП і цифрою, яка вказує границю пластичності.
2) За утворенням між виробником і споживачем допускається визначати замість умовної границі пластичності (σ_{0.2}) фінішу границю пластичності σ_{0.2} з додержанням норм для (σ_{0.2}), які вказані в таблиці.
3) За товщині (діаметрі) поковки профілюється і розраховується переріз під термічну обробку.

2.9. Рекомендовані марки й механічні властивості вилків

Таблиця 2.35 Застосування сталевих вилків [23]

Марка сталі, позначення стандар- ту або технічних ви- мот	Технічні вимоги	Р. боч. умови температу- ра стілки, °С	тиск сере- довища, МПа, не більше	Види випробувань і вимоги	Прийняття та умови використання
1	2	3	4	5	6
20Л-II (основний) 20Л-III (основний), 20Л- III (основний) I класу за ГОСТ 977-88	За ГОСТ 977-88	Від мінус 30 до 450		За ГОСТ 977-88 та ТУ 26-02-19-75	Для кришок, стержнів кілець та інших деталей; для заварних ес- ментів висхідного типу мас бути не більше 0,25 %
25Л-II (основний) 25Л-III (основний) I класу за ГОСТ 977-88			Не обмежено		Для стержнів кілець плаваючих головах підшипників і термобин- ників
35Л-II та 45Л-II (ос- новний) I класу про- цес плавлення, 35Л-III та 45Л-III (основний) I класу процес плавлення за ГОСТ 977-88					Для фланців та інших деталей
20ХМЛ за ТУ 26-02- 19-75	За ГОСТ 977-88	Від мінус 40 до 540		За ГОСТ 977-88 та ТУ 26-02-19-75	Для кришок, стержнів кілець, за- варної арматури та інших деталей
20ХМЛ-II, 20ХМЛ-III за ГОСТ 977-88	За ТУ 26-0781-26-77 та ГОСТ 977-75	Від мінус 40 до 600		За ГОСТ 977-88 та ТУ 26-02-19-75	Для кришок та інших деталей
20ХМЛ за ТУ 26-0781-26-77	За ГОСТ 977-88	Від мінус 40 до 425			

Продовження табл. 2.35

1	2	3	4	5	6
20ХСЛ-II за ТУ 26-02-19-75	За ТУ 26-02-19-75	Від мінус 40 до 550			Для дюгів та інших деталей
20ХСЛ-II, 20ХСЛ-II за ГОСТ 2176-77	За ГОСТ 977-88	Від мінус 40 до 600	Не обмежено	За ГОСТ 977-88 та ТУ 26-02-19-75	Для дитих деталей обладнання в галузі хімічного й нафтового ма- шинобудування, в умовах нестат- тичних температур
20ХСЛ за ТУ 26-02-19-75	За ТУ 26-02-19-75	Від мінус 70 до 450		За ГОСТ 977-88 та ТУ 26-02-19-75	Для арматури, патрубків та інших деталей
12Х18Н9Т-II, II, 12Х18Н9Т-II, II, 10Х18Н9Т-II, II, 10Х18Н9Т-II, II за ГОСТ 2176-77		Від мінус 253 до 600	Не обмежено		Для деталей, які працюють у ко- розійних середовищах
12Х18Н12М3Т-II, II, 12Х18Н12М3Т-II, II, 10Х18Н9Т-II, II за ТУ 26-02-19-75	За ТУ 26-02-19-75	Від мінус 40 до 300		За ТУ 26-02-19-75	Для деталей, які піддаються по- луменному напіву
40Х24Н10СЛ-II, II за ГОСТ 977-88	За ГОСТ 977-88	Від 0 до 1200	-	За ГОСТ 977-88	
35Х23Н8СЛ-II за ГОСТ 2176-77		Від 0 до 1000			

1. Поставлення вилків за ТУ 26-02-19-75 здійснюється тільки для галузі нафтохімічного машинобудування.

2. При випуску вуглецю більше 0,25 % заварювання має проводитися підтримкою і нагрівом термичним обробленням. Примітка. Допускається застосовувати вилки з вуглецевих сталей марок 20Л-II, 20Л-III, 25Л-II, 25Л-III до температури експлуатації мінус 40 °С за умов проведення термічного оброблення в режимі нормованого глибокого випуску або гартування після випуску.

Механічні властивості конструкційної легированої й легированої сталі для вилків, що мають стінку товщиною до 100 мм при хімічній температурі після термічної обробки повинні відповідати нормам, наведеним у таблиці 2.36, легированої сталі зі спеціальними властивостями – у таблиці 2.37.

1	2	3	4	5	6
09ГХС-12, 09ГХ 12 за ГОСТ 19281-73	За ГОСТ 14543-75	Від мінує 40 до 75	Не обмежено	За ГОСТ 4543-75 і умови вказані при роботі з іншими мінеральними вибоєм	Для фланців, патрубків та інших деталей з урахуванням вибоєм п.2.5.1
10Х17Н13М3Т за ГОСТ 5632-72	За ГОСТ 5949-75	Від мінує 196 до 500		За ГОСТ 5949-75	Для фланців, патрубків та інших деталей з урахуванням вибоєм п.2.5.1
08Х21Н6М2Т за ГОСТ 5632-72		Від мінує 40 до 300			Для фланців, патрубків та інших деталей
12Х18Н10Т за ГОСТ 5632-72		Від мінує 253 до 550			Для фланців, патрубків та інших деталей
15Х5М за ГОСТ 20072-74	За ГОСТ 20072-74	Від мінує 40 до 600		За ГОСТ 20072-74	Для фланців, патрубків та інших деталей для середовищ, які не спричиняють міжкристаліну корозію
08Х18Н10Т за ГОСТ 5632-72	За ГОСТ 5949-75	Від мінує 253 до 610		За ГОСТ 5949-75	Для фланців, патрубків та інших деталей з урахуванням вибоєм п.2.5.4
08Х18Н10Т за ГОСТ 5632-72		Від 610 до 700	5		Для фланців, патрубків та інших деталей з урахуванням вибоєм п.2.5.4
15Х18Н13М3Т за ГОСТ 5632-72	За ТУ 14-1-915-74	Від мінує 20 до 120	2,5	За ТУ 14-1-915-74	Для фланців, патрубків та інших деталей з урахуванням вибоєм п.2.5.4
08Х18Н13М3Т за ТУ 14-1-3812-84	За ТУ 14-1-3812-84	Від мінує 40 до 120	-	За ТУ 14-1-3812-84	Для фланців, патрубків та інших деталей з урахуванням вибоєм п.2.5.4
10Х17Н13М3Т за ГОСТ 5632-72	За ГОСТ 5949-75	Від мінує 253 до 350	Не обмежено	За ГОСТ 5949-75	Для фланців, патрубків та інших деталей з урахуванням вибоєм п.2.5.4

Продовження табл. 2.38

1	2	3	4	5	6
10Х17Н13М3Т за ГОСТ 5632-72	За ГОСТ 5949-75	Ск. 350 до 600	Не обмежено		Для фланців, патрубків та інших деталей для середовищ, які не спричиняють міжкристаліну корозію, з урахуванням вибоєм п.2.5.4
08Х17Н13М3Т за ГОСТ 5632-72		Від мінує 196 до 500	5		Для фланців, патрубків та інших деталей з урахуванням вибоєм п.2.5.4
08Х21Н6М2Т за ГОСТ 5632-72	За ТУ 14-1-22-71	Від мінує 60 до 350	Не обмежено	За ТУ 14-1-22-71	Для муфт, пробок та інших внутрішніх пристроїв з урахуванням вибоєм п.2.3.4
08Х13 за ГОСТ 5632-72	За ГОСТ 5949-75	Від мінує 40 до 550	6,4	За ГОСТ 5949-75	Для деталей внутрішніх пристроїв
12Х13 за ГОСТ 5632-72		Від мінує 196 до 450	5,0 (50)	За ТУ 14-1-1160-74	Для фланців, патрубків та інших деталей
08Х18Н13 за ГОСТ 5632-72	За ТУ 14-1-3303-82	Від мінує 40 до 700	-	За ТУ 14-1-3303-82	Для фланців, патрубків та інших деталей
08Х21Т за ГОСТ 5632-72	За ГОСТ 5949-75	Від 0 до 900		За ГОСТ 5949-75	Для деталей внутрішніх пристроїв
15Х25Т за ГОСТ 5632-72		Від 0 до 900			Для деталей внутрішніх пристроїв
15Х28 за ГОСТ 5632-72		Від мінує 70 до 900	Не обмежено	За ТУ 14-1-284-72	Для деталей апарату

Примітки.

1) За анодують протекати виробів і сортової корозійної стійкості виробується на відповіді протекати корозійної стійкості за ГОСТ 6032-84.

2) При виборі прокату менше 5 мм допускається застосування сталі за ГОСТ 14-1-75 категорії 2 згідно з категорією 6, 9, 12.

3) При виборі прокату менше 7 мм допускається застосування сталі за ГОСТ 19382-79 категорії 2 згідно з категорією 12.

Прокат сортовий і фасонний із сталі вуглецевої звичайної якості виготовляється у гарячкатаному стані. Для забезпечення властивостей, які вимагаються, може застосовуватися термічна обробка.

Механічні властивості прокату при розтязі повинні відповідати нормам, що наведені у табл. 2.39, а ударна в'язкість — значенням у табл. 2.40.

Таблиця 2.39. Механічні властивості прокату сортового й фасонного із сталі вуглецевої звичайної якості при розтязі [25]

Марка сталі	Границя міцності σ_t , МПа, для товщин, мм	Границя пластичності σ_s , МПа, для товщин, мм					Відносне видовження δ , %, для товщин, мм		
		до 10	від 11 до 20	від 21 до 40	від 41 до 100	більше 100	до 20	від 21 до 40	більше 40
	до 10	більше 10	не менше						
Ст0	Не менше 300	-	-	-	-	-	18	18	15
Ст3пс	360-460	235	235	225	215	185	27	26	24
Ст3пс	370-480	245	245	235	225	205	26	25	23
Ст3сп	380-490	255	245	235	225	205	26	25	23
Ст4пс	400-510	255	255	245	235	225	25	24	22
Ст4пс, Ст4сп	410-530	265	265	255	245	235	24	23	21
Ст5пс	490-630	285	285	275	265	255	20	19	17
Ст5сп	490-630	295	285	275	265	255	20	19	17
Ст6пс, Ст6сп	Не менше 590	315	315	305	295	295	15	14	12

Примітки: 1) Для фасонного прокату товщиною більше 20 мм значення границі пластичності допускається на 10 МПа нижче, ніж вказані в таблиці.
2) Допускається зменшення відносного видовження для фасонного прокату всіх товщин на 1 % (абс.).

Примітки: 1) Для фасонного прокату товщиною більше 20 мм значення границі пластичності допускається на 10 МПа нижче, ніж вказані в таблиці.
2) Допускається зниження відносного видовження для фасонного прокату всіх товщин на 1% (абс.)

Таблиця 2.40. Ударна в'язкість прокату сортового й фасонного із сталі вуглецевої звичайної якості [25]

Марка сталі	Товщина прокату, мм	Ударна в'язкість КСЧУ $\cdot 10^{-4}$, Дж/м ² , не менше	
		при температурі, °C	
		-20	+20
Ст3пс	5-9	108	49
Ст3сп	10-25	98	29
	26-40	88	-
Ст4пс	5-9	58	-
Ст4сп	10-25	88	-
	26-40	69	-

Нижче наведені характеристики базового виконання гарячкатаного

й ковального сортового прокату з вуглецевої якісної конструкційної сталі діаметром або товщиною до 250 мм, а також каліброваного прокату та прутку зі спеціальною обробкою поверхні.

Твердість сортового прокату не повинна перевищувати 255НВ, каліброваного та зі спеціальною обробкою поверхні — 269НВ [4].

Механічні властивості прокату повинні відповідати нормам, що наведені у таблиці 2.41.

Перелік марок сталі підвищеної міцності, які рекомендуються для різних класів міцності й товщин сортового, штабового й фасонного прокату наведені в таблиці 2.42, а механічні властивості цих сталей — у таблицях 2.43 і 2.44.

Механічні властивості для гарячкатаного й ковального сталі діаметром, стороною квадрата або товщиною до 200 мм, каліброваного сталі діаметром або стороною квадрата до 70 мм, сталі зі спеціальною обробкою поверхні мезостійкої, жаростійкої й жароміцної сталей наведені у таблиці 2.45

Таблиця 2.41. Механічні властивості прокату з вуглецевої якісної конструкційної сталі [4]

Марка сталі	Механічні властивості, не менше			
	границя пластичності σ_s , МПа	границя міцності σ_t , МПа	відносне видовження δ , %	відносне звуження Ψ , %
08	196	320	33	60
10	205	330	31	55
15	225	370	27	55
20	245	410	25	55
25	275	450	23	50
30	295	490	21	50
35	315	530	20	45
40	335	570	19	45
45	355	600	16	40
50	375	630	14	40
55	380	650	13	35
58 (58шп)	315	600	12	28
60	400	680	12	35

Примітки: 1) Норми механічних властивостей, що наведені в цій таблиці, відносяться до прутку діаметром або товщиною до 80 мм. Для прокату діаметром або товщиною більше 80 мм допускається зниження відносного подовження на 2% (абс.) і відносного звуження на 5% (абс.). Норми механічних властивостей для заготовок, що переважають 4 прутків діаметром або товщиною більше 120 до 250 мм на прокат діаметром або товщиною від 90 до 100 мм, повинні відповідати наведені в цій таблиці.

2) У погодженням виробника зі споживачем для сталі марок 25-60 допускається зниження границі міцності на 20 МПа в порівнянні з нормами, що вказані в цій таблиці, при одночасному підвищенні норм відносного видовження на 2% (абс.).

Таблиця 2.42. Марки сталі сортового, штабового й фасонного прокату [6]

Клас міцності	Товщина прокату, що поставляється за цим класом міцності, мм	Марка сталі, що забезпечує цей клас міцності при різній товщині прокату	Марки сталі, що забезпечують цей клас міцності при зварюванні при зварюванні
265	До 20 Від 20 до 100 включно	СтЗсп 09Г2С	-
295	До 20 включно Від 21 до 32 включно Від 33 до 100 включно	09Г2 09Г2С, 09Г2 10Г2С1	СтЗсп*
325	До 20 включно Від 21 до 32 включно Від 33 до 60 включно	09Г2С 14Г2, 15ГФ, 15ХСНД 10Г2С1	-
345	До 10 включно Від 10 до 20 включно	09Г2С, 10Г2С1, 10ХНДП 15ХСНД, 15ГФ	09Г2*
375	До 10 включно	15ГФ, 10Г2Б	-
390	До 15 включно До 20 включно	10ХСНД 15Г2СФ	-

* Регламентована або контрольована прокатка або прискорене охолодження.

Таблиця 2.43. Механічні властивості сортового й фасонного прокату [6]

Клас міцності	Товщина прокату, що поставляється по цьому класу міцності, мм, не більше	Границя плинності $\sigma_{\text{т}}$, МПа	Границя міцності $\sigma_{\text{в}}$, МПа	Відносне видовження δ , %
не менше				
265	100	265	430	21
295	100	295	430	21
325	60	325	450	21
345	20	345	480	21
375	10	375	510	21
390	20	390	530	18

Таблиця 2.44. Ударна в'язкість сортового, штабового й фасонного прокату [6]

Клас міцності	Товщина прокату, мм	Ударна в'язкість КСУ · 10 ⁻⁴ , Дж/м ² , при температурі, °С			Ударна в'язкість КСV · 10 ⁻⁴ , Дж/м ² , при температурі, °С			Ударна в'язкість КСУ · 10 ⁻⁴ , Дж/м ² , після механічного старіння при температурі +20 °С		
		+20	-40	-70	0	-20				
		не менше								
265	До 20 від 21 до 32 включно від 33 до 100 включно	98 59	- 29 29	- - -	- - -	- - -	- - -	- - -	29	

Продовження табл. 2.44

Клас міцності	Товщина прокату, мм	Ударна в'язкість КСУ · 10 ⁻⁴ , Дж/м ² , при температурі, °С			Ударна в'язкість КСУ · 10 ⁻⁴ , Дж/м ² , при температурі, °С		Ударна в'язкість КСУ · 10 ⁻⁴ , Дж/м ² , після механічного старіння при температурі +20 °С
		+20	-40	-70	0	-20	
295	До 20	98	-	-	-	-	29
	Від 21 до 32 включно	-	29	-	-	-	
	Від 33 до 60 включно	59	29	-	-	-	
	Від 61 до 100 включно	59	29	-	-	-	
325	До 5	64	34	34	34	34	29
	Від 5 до 10 включно	64	34	34	34	34	-
	Від 11 до 20 включно	59	29	29	34	34	
	Від 21 до 32 включно	59	29	-	-	-	
	Від 33 до 60 включно	59	29	-	-	-	
		59	29	-	-	-	
345	До 5	64	39	29	40	40	29
	Від 5 до 10 включно	64	39	29	40	40	
	Від 11 до 20 включно	-	29	-	-	-	
375	До 5	-	39	-	-	-	29
	Від 5 до 10	-	39	-	-	-	
	10	-	29	-	-	-	
390	До 5	-	39	34	-	-	29
	Від 5 до 10 включно	-	39	34	-	-	
	Від 11 до 15 включно	-	34	29	-	-	
	Від 16 до 20 включно	-	34	-	-	-	

Примітки: 1) Для прокату класу міцності 325 із сталі марки 09Г2С товщиною від 5 до 32 мм включно, значення ударної в'язкості КСУ при температурі випробування мінус 40°С збільшуватися на 5 · 10⁴ Дж/м².

2) Для прокату класу міцності 345 із сталі марки 09Г2С товщиною від 5 до 10 мм включно, ударна в'язкість КСУ при температурі мінус 70°С повинна бути не менше 3,4 · 10⁴ Дж/м².

3) Для прокату класу міцності 390 із сталі марки 10ХСНД товщиною від 5 до 15 мм включно, значення ударної в'язкості КСУ при температурі випробування мінус 40°С повинно бути не менше 4,9 · 10⁴ Дж/м², товщиною більше 10 до 15 мм включно – не менше 3,9 · 10⁴ Дж/м².

Примітки: 1) Для прокату класу міцності 325 із сталі марки 09Г2С товщиною від 5 до 32 мм включно, значення ударної в'язкості КСУ при температурі випробування мінус 40 °С збільшується на $5 \cdot 10^3$ Дж/м².2) Для прокату класу міцності 345 із сталі марки 09Г2С товщиною від 5 до 10 мм включно, ударна в'язкість КСУ при температурі мінус 70 °С повинна бути не менше $3,4 \cdot 10^3$ Дж/м².3) Для прокату класу міцності 390 із сталі марки 10ХСНД товщиною від 5 до 15 мм включно, значення ударної в'язкості КСУ при температурі випробування мінус 40 °С повинно бути не менше $4,9 \cdot 10^3$ Дж/м², товщиною більше 10 до 15 мм включно – не менше $3,9 \cdot 10^3$ Дж/м².

Таблиця 2.45. Механічні властивості сталей сортового і катодового, корозійностійкої, жаростійкої [27]

Класи норми маркі за ГОСТ 5632-72	Марки сталей	Рекомендовані режими термічної обробки заготовок для виготовлення деталей	Гранична міцність			Гранична пластичність			Відносне подовження ψ , %	Відносне зменшення φ , %	Удлинение в изгибе КСД 10^{-3} , Дин/м ²
			4	5	6	7	8	9			
2-4	12X13	Загартування з 1000-1050 °С, охолодження на повітрі або в маслі, відпуск при 700 °С, охолодження на повітрі.	590	410	20	60	88				
3-2	68X13	Загартування з 1000-1050 °С, охолодження в маслі, відпуск при 700-800 °С, охолодження в маслі.	590	410	20	60	98				
3-4	68X17T	Відпал при 760-780 °С, охолодження на повітрі.									
3-6	13X25T	Відпал при 750-770 °С, охолодження на повітрі або у воді, або безтермічної обробки.	440	295	20	45	-				
3-7	15X28	Відпал при 680-720 °С, охолодження на повітрі або у воді, або безтермічної обробки.	440	295	20	45	-				
4-3	67X16H6	Загартування з 975-1000 °С, охолодження у воді, на повітрі або в маслі, розвалює обробка холодною при температурі 70 °С, витривалість 2 години при температурі 50 °С, витривалість 4 години, старіння при 330-400 °С, витривалість 1 години, охолодження на повітрі.	1080	880	12	50	69				
5-3	68X25H6T	Загартування з 950-1050 °С, охолодження на повітрі або у воді.	590	345	20	45	-				
5-5	68X17H6M2T	Загартування з 950-1050 °С, охолодження на повітрі.	590	345	25	45	-				
6-6	10X14H14H4T	Загартування з 1000-1080 °С, охолодження на повітрі, у маслі або у воді.	640	345	35	50	-				

Продовження табл. 2.45

1	2	3	4			5			7	8
			4	5	6	7	8	9		
6-20	68X17H14M3T	Загартування з 1070-1100 °С, охолодження у воді.	490	196	40	-	-			
6-22	10X17H13M2T	Загартування з 1050-1100 °С, охолодження на повітрі, у маслі або у воді.	510	315	40	55	-			
6-23	10X17H13M3T	Загартування з 1050-1100 °С, охолодження на повітрі, у маслі або у воді.	530	196	40	55	-			
6-24	68X17H13M3T	Загартування з 1050-1100 °С, охолодження на повітрі, у маслі або у воді.	490	196	35	45	-			
6-30	68X18H10T	Загартування з 1020-1100 °С, охолодження на повітрі, у маслі або у воді.	490	196	40	55	-			
6-31	12X18H10T	Загартування з 1020-1100 °С, охолодження на повітрі, у маслі або у воді.	510	196	40	55	-			
6-33	05X18H11T	Загартування з 1020-1100 °С, охолодження на повітрі, у маслі або у воді.	440	155	40	55	-			
6-38	68X18H12B	Загартування з 1020-1100 °С, охолодження на повітрі, у маслі або у воді.	490	175	40	55	-			
7-6	68X24M1T	Загартування з 1100-1150 °С, охолодження на повітрі або у воді.								

Примітки 1) Норми механічних властивостей вказані до деталей, що відібрані від сталі діаметром або товщиною до 60 мм. Для сталі діаметром або товщиною більше 60 до 100 мм допускається зниження відносного видовження на 1 ас, % відносного зусилля на 5 ас, % ударної енергії на 4,9 · 10³ Дж/м² при нормі менше 7,84 · 10³ Дж/м² і на 9,8 · 10³ Дж/м² при нормі 7,84 · 10³ Дж/м² і більше. Для сталі діаметром або товщиною більше 100 до 150 мм допускається зниження відносного видовження на 3 ас, % відносного зусилля на 10 ас, % ударної енергії на 9,8 · 10³ Дж/м² при нормі менше 7,84 · 10³ Дж/м² і на 1,47 · 10⁴ Дж/м² при нормі 7,84 · 10³ Дж/м² і більше. Властивості сталі діаметром або товщиною більше 100 мм допускається не перевіряти на пружність, що перевіряють або перекладають на розмір 80-100 мм. Норми механічних властивостей зразків у шому випадку повинні відповідати тим, що вказані в діль таблиці.

2) Норми ударної енергії вказані для катодів і штабів розміром 12 мм і більше, кругів і шестигранників розміром 16 мм і більше.

2.11. Нормативні параметри й допустимі напруження

2.11.1. Товкостінні посудини та апарати

Визначення поширюються на циліндричні об'єкти, кінцеві елементи, днища і кришки посудин та апаратів з вуглечевих і легированих сталей, що застосовуються в хімічній, нафтопереробній і суміжних галузях промисловості. При цьому мається на увазі, що робочі навантаження – одноразові й багаторазові статичні під внутрішнім надлишковим тиском, вакуумом або зовнішнім надлишковим тиском та під дією осевих і поперечних зусиль і згинаючих моментів [13].

Розрахункова температура використовується для визначення фізико-механічних характеристик матеріалу й допустимих напружень.

Розрахункову температуру визначають на підставі теплотехнічних розрахунків або результатів випробувань.

За розрахункову температуру стінки посудини або апарата приймають найбільше значення температури стінки. Якщо температура нижче 20 °C за розрахункову температуру при визначенні допустимих напружень приймають температуру 20 °C.

Якщо неможливо провести теплові розрахунки або виміри та якщо під час експлуатації температура стінки підвищується до температури стінчного середовища, то за розрахункову температуру належить приймати найбільшу температуру середовища, але не нижче 20 °C.

При обігріванні відкритим полум'ям, випарцями газами або електронагрівачами розрахункову температуру приймають більше температури середовища на 20 °C у разі закритого обігрівання й більше на 50 °C у разі відкритого обігрівання, якщо нема більш точних даних.

Під робочим тиском для посудини та апарата належить розуміти максимальний внутрішній надлишковий або зовнішній тиск, що виникає при нормальному проходженні робочого процесу без врахування гідростатичного тиску середовища та без врахування допустимого короточасного підвищення тиску під час дії запобіжного клапана або інших запобіжних пристроїв.

Під розрахунковим тиском у робочих умовах для елементів посудини і апаратів слід розуміти тиск, на який здійснюється їх розрахунок на міцність.

Розрахунковий тиск для елементів посудини або апарата приймають, як правило, таким, що дорівнює або вище робочого тиску.

При підвищенні тиску в посудині або апараті під час дії запобіжних пристроїв більш ніж на 10 %, порівняно з робочим, елементи апарата повинні розраховуватися на тиск, що дорівнює 90 % тиску при повному відкритті клапана або запобіжного пристрою.

Для елементів, що розділяють простіри з різними тисками (наприклад, в апаратах з теплообмінними оболонками), за розрахунковий тиск належить приймати або послідовно тиск у кожному просторі, або тиск, що потребує більшої товщини стінки. Якщо забезпечується одночасна дія тисків, тоді допускається робити розрахунок на різницю тисків. Різниця тисків приймається як розрахунковий тиск також для елементів, які відокремлюють простіри з внутрішнім надлишковим тиском від простору з абсолютним тиском, що менший від атмосферного. Якщо відсутні точні дані щодо різниці між абсолютним тиском і атмосферним, тоді абсолютний тиск приймають таким, що дорівнює нулю.

Якщо на елемент посудини або апарата діє гідростатичний тиск, що дорівнює 5 % і вище від робочого, тоді розрахунковий тиск для цього елемента повинен бути підвищений на це значення.

Під пробним тиском у посудині або апараті належить розуміти тиск, при якому проводиться випробування посудини або апарата.

Для всіх посудин, за винятком литих, пробний тиск визначається за формулою:

$$p_R = 1,25 p_R \frac{[\sigma]_{20}}{[\sigma]}, \quad (2.1)$$

де p_R – розрахунковий тиск, МПа; $[\sigma]_{20}$ – допустиме напруження при температурі 20 °C, МПа; $[\sigma]$ – допустиме напруження при розрахунковій температурі, МПа;

Відношення $[\sigma]_{20}/[\sigma]$ приймається по тому з використаних матеріалів елементів посудини (об'єкти, днища, фланці, кріпильні елементи, патрубки та ін.), для якого воно є найменшим.

Для литих посудин, а також деталей, що виготовлені з литва, пробний тиск визначається за формулою:

$$p_R = 1,5 p_R \frac{[\sigma]_{20}}{[\sigma]}. \quad (2.2)$$

Гідравлічні випробування криogenних посудин при наявності вакууму в ізоляційному просторі повинні проводитися пробним тиском (МПа), що визначається за формулою

$$p_u = 1,25 p_R - 0,1 \quad (2.3)$$

Під розрахунковим тиском в умовах випробування для елементів посудини або апаратів слід розуміти тиск, якому вони піддаються під час пробного випробування виключаючи гідростатичний тиск, якщо він дорівнює 5 % або більше від пробного тиску.

Під умовним тиском належить розуміти найбільший надлишковий тиск при температурі середнього 293 К (20 °С), при якому допустима тривала робота обладнання, що має задані розміри, обґрунтовані розрахунками на міцність при обраних матеріалах і характеристиках їх міцності, відповідних температурі 293 К (20 °С). *Примітка.* Для арматури та з'єднань трубопроводів застосовується так званий еквівалентний тиск – лінійно-часове позначення, що характеризує надлишковий тиск, за якого забезпечується заданий термін служби арматури та з'єднань трубопроводів за температури робочого середнього 293 К (20 °С). Позначення номінального тиску складається з літерного сполучення "РМ" і числової частини, що є значенням тиску в кгс/см².

ДСТУ 3543-97 встановлює такий ряд числових значень позначення номінальних тисків: 0,1; 0,16; 0,25; 0,4; 0,63; 1,0; 1,6; 2,5; 4,0; 6,3; 10; 16; 25; 40; 80; 100; 125; 160; 200; 320; 400; 500; 630; 800; 1000.

За розрахункові зусилля й моменти приймають діючі для відповідного стану навантаження (наприклад, при експлуатації, випробуванні або монтажі), зусилля й моменти, що виникають від дії власної маси, присланих трубопроводів, штирових, сітрової та інших навантажень.

Допустиме напруження $[\sigma]$ при розрахунку по граничних навантажених посудин і апаратів, що працюють при статичних однорозових навантаженнях або при багаторозових статичних навантаженнях, коли кількість циклів навантажування від тиску, температурних деформацій або інших дій не перевищує 10^5 , визначають за формулами (2.4 і 2.5).

При знаходженні числа циклів навантажування не враховують коливання навантаження в межах 15 % від розрахункового.

Для вуглецевих і низьколегірованих сталей

$$[\sigma] = \eta \cdot \min \left(\frac{\sigma_T \text{ або } \sigma_{0,2}}{n_T}, \frac{\sigma_s}{n_s}, \frac{\sigma_{D \cdot 10^5}}{n_D}, \frac{\sigma_{15 \cdot 10^5}}{n_{15}} \right) \quad (2.4)$$

Для аустенітних сталей

$$[\sigma] = \eta \cdot \min \left(\frac{\sigma_{10}}{n_T}, \frac{\sigma_s}{n_s}, \frac{\sigma_{D \cdot 10^5}}{n_D}, \frac{\sigma_{15 \cdot 10^5}}{n_{15}} \right) \quad (2.5)$$

де η – поправочний коефіцієнт; σ_T – границя пластичності при розрахунковій температурі, МПа; $\sigma_{0,2}$ – мінімальне значення умовної границі пластичності при розрахунковій температурі (напруження, при якому залишкове видовження становить 0,2 %), МПа; σ_{10} – мінімальне значення умовної границі пластичності при розрахунковій температурі (напруження, при якому залишкове видовження становить 1 %), МПа; σ_s – мінімальне значення тимчасового опору (границі міцності) при розрахунковій температурі, МПа; $\sigma_{D \cdot 10^5}$ – середнє значення границі тривалої міцності за 10^5 годин при розрахунковій температурі, МПа; $\sigma_{15 \cdot 10^5}$ – середнє значення границі півзучості за 10^5 годин при розрахунковій температурі, МПа; n_T – коефіцієнт запасу міцності по границі пластичності; n_s – коефіцієнт запасу міцності по границі міцності, n_D – коефіцієнт запасу міцності по границі тривалої міцності, n_{15} – коефіцієнт запасу міцності по границі півзучості.

Границя півзучості використовується для визначення допустимого напруження у випадках, коли відсутні дані по границі тривалої міцності або за умов експлуатації треба обмежити величину деформації (переміщення).

Через брак даних по умовній границі текучості при 1 %-му залишковому видовженні допустиме напруження для аустенітної сталі визначають за формулою (2.1).

Для умов випробування допустимі напруження для вуглецевих і низьколегірованих сталей визначаються за формулою (2.6), а для аустенітних сталей – за формулою (2.7):

$$[\sigma] = \eta \cdot \frac{\sigma_{0,2}^{20} \text{ або } \sigma_{10}^{20}}{n_T} \quad (2.6)$$

$$[\sigma] = \eta \cdot \frac{\sigma_{0,2}^{20} \text{ або } \sigma_{10}^{20}}{n_T} \quad (2.7)$$

Індекс "20" в розрахункових формулах (2.6) і (2.7) означає, що наведені границі міцності визначають при температурі 20° С.

Коефіцієнти запасу міцності повинні відповідати поданим у таблиці 2.46.

Таблиця 2.46. Величини коефіцієнтів запасу міцності залежно від умов навантаження

Умови навантаження	Коефіцієнт запасу міцності			
	n_T	n_s	n_D	n_{15}
Робочі умови	1,5	2,4	1,5	1,0
Умови випробування				
гідралічні випробування	1,1	-	-	-
тискометричне випробування	1,2	-	-	-
Умови монтажу	1,1	-	-	-

Для посудин та апаратів групи 3, 4 (табл. 2.47) коефіцієнт запасу міцності по границі міцності n_s допускається приймати таким, що дорівнює 2,2.

Якщо допустиме напруження для аустенітних сталей визначають за формулою (2.4), тоді приймають, що $n_T = 1,3$.

Для посудин та апаратів, що працюють в умовах повзучості при розрахунковому терміні експлуатації від 10^4 до $2 \cdot 10^5$ годин, коефіцієнт $n_D = 1,5$. При розрахунковому терміні експлуатації, що дорівнює $2 \cdot 10^5$ годин, допускається приймати $n_D = 1,25$, якщо виконується контроль жароміцності і тривалої пластичності матеріалу при експлуатації, а відхилення в менший бік тривалої міцності й повзучості від середнього значення не перевищує 20 %.

Розрахунок на міцність циліндричних об'єктів і конічних елементів, випуклих і плоских днів для умов випробувань проводити не треба, якщо розрахунковий тиск в умовах випробування буде менше, ніж розрахунковий тиск в робочих умовах, помножений на 1,35 $[\sigma] / [\sigma]$.

Таблиця 2.47. Розподіл посудин на групи [18]

Група посудин	Розрахунковий тиск, МПа	Температура стінки, °С	Характер робочого середовища
1	Понад 0,07	Незалежно	Вибухонебезпечне, пожежо-небезпечне або 1, 2 класів небезпеки за ГОСТ12.1.007-76
2	До 2,5	Нижче мінус 70, вище 400	Будь-яке, за винятком зазначеного для 1 групи посудин
	Понад 2,5 до 4	Нижче мінус 70, вище 200	
	Понад 4 до 5	Нижче мінус 40, вище 200	
	Понад 5	Незалежно	
3	До 1,6	Від мінус 70 до мінус 20 Від 200 до 400	
	Понад 1,6 до 2,5	Від мінус 70, до 400	
	Понад 2,5 до 4	Від мінус 70, до 200	
	Понад 4 до 5	Від мінус 40, до 200	
	До 1,6	Від мінус 20, до 200	
4	До 1,6	Від мінус 20, до 200	

Поправочний коефіцієнт до допустимих напружень $\eta=1$ за винятком сталевих вишивок, для яких коефіцієнт η має такі значення: 0,8 – для вишивок, що підлягають індивідуальному методу неруйнівного контролю; 0,7 – для інших вишивок.

Для сталей, що широко використовуються в хімічному, нафтохімічному й нафтопереробному машинобудуванні, допустимі напруження для робочих умов при $\eta=1$ наведені у таблицях 2.48–2.51.

Дозволяється допустиме напруження при температурі 20 °С визначати по формулах (2.4), (2.5), (2.6), (2.7), приймаючи гарантовані значення механічних характеристик згідно зі стандартами або технічними умовами на сталі з урахуванням товщини листового прокату. При підвищених температурах допустимі напруження, що приймаються з урахуванням товщини прокату і груп міцності сталі, дозволяється визначати по затвердженій нормативно-технічній документації.

Розрахункові механічні характеристики, які необхідні для визначення допустимих напружень при підвищених температурах для сталей, які не наведені у таблицях 2.52–2.60, визначають після проведення випробувань необхідної кількості зразків.

Таблиця 2.48. Допустимі напруження для вуглецевих і низьколегірованих сталей [13]

Розрахункова температура стінки посудини або апарата	Допустимі напруження $[\sigma]$, МПа для сталей марок						
	Ст3	09Г2С, 16ГС	20, 20К	10	10Г2, 09Г2	17ГС, 17Г1С, 10Г2С1	
	Товщина, мм						
	До 20	Понад 20	До 32	Понад 32	До 160		
20	154	140	196	183	147	130	183
100	149	134	177	160	142	125	160
150	145	131	171	154	139	122	154
200	142	126	165	148	136	118	148
250	131	120	162	145	132	112	145
300	115	108	151	134	119	100	134
350	105	98	140	123	106	83	123
375	93	93	133	116	98	82	116
400	85	85	122	105	92	77	105
410	81	81	104	104	86	75	104
420	75	75	92	92	80	72	92
430	71*	71*	86	86	75	68	86
440	–	–	78	78	67	60	78
450	–	–	71	71	61	53	71
460	–	–	64	64	55	47	64
470	–	–	56	56	49	42	56
480	–	–	53	53	46*	37	46**

* Для розрахункової температури стінки 425 °С.

** Для розрахункової температури стінки 475 °С.

Примітки:

1) При розрахункових температурах нижче 20 °С допустимі напруження приймають та ж самі, як і при 20 °С за умови допустимого застосування матеріалу при даній температурі.

2) Для проміжних розрахункових температур стінки допустиме напруження визначають лінійною інтерполяцією з округленням результатів до 0,5 МПа у бік меншого значення.

3) Для сталі марки 20 при $\sigma_{\frac{20}{T}} < 220$ МПа допустимі напруження, що зазначені в таблиці, домножують на відношення $\sigma_{\frac{20}{T}} / 220$.

4) Для сталі марки 10Г2 при $\sigma_{0,2}^{20} < 270$ МПа допустимі напруження, що зазначені в таблиці, домножують на відношення $\sigma_{0,2}^{20} / 270$.

Таблиця 2.49. Допустимі напруження для теплопровідних хромистих сталей [13]

Розрахункова температура стінки посудини або апарата, °С	Допустимі напруження [σ], МПа, для сталей марок				
	12XM	12MX	15XM	15XM5M	15XM5M-Y
20	147	147	155	146	240
100	146,5	146,5	153	141	235
150	146	146	152,5	138	230
200	145	145	152	134	225
250	145	145	152	127	220
300	141	141	147	120	210
350	137	137	142	114	200
375	135	135	140	110	180
400	132	132	137	105	170
410	130	130	136	103	160
420	129	129	135	101	150
430	127	127	134	99	140
440	126	126	132	96	135
450	124	124	131	94	130
460	122	122	127	91	126
470	117	117	122	89	122
480	114	114	117	86	118
490	105	105	107	83	114
500	96	96	99	79	108
510	82	82	84	72	97
520	69	69	74	66	85
530	60	57	67	60	72
540	50	47	57	54	58
550	41	-	49	47	52
560	33	-	41	40	45
570	-	-	-	35	40
580	-	-	-	30	34
590	-	-	-	28	30
600	-	-	-	25	25

Примітки:

1) При розрахункових температурах нижче 20 °С допустимі напруження приймають такими самими, як і при 20 °С за умови допустимого застосування матеріалу при даній температурі.

2) Для проміжних розрахункових температур стінки допустимі напруження визначають лінійною інтерполяцією з округленням результатів до 0,5 МПа у бік меншого значення.

3) При розрахункових температурах нижче 200 °С сталі марок 12MX, 12XM, 15XM застосовувати не рекомендується.

Таблиця 2.50. Допустимі напруження для жаростійких, жаростійких і корозійностійких сталей аустейтного класу [13]

Розрахункова температура стінки посудини або апарата, °С	Допустимі напруження [σ], МПа, для сталей марок				
	03X2H2M4G7	03X18H11	03X17H14M3	06X18H10T, 06X18H12T, 06X17H13M2T, 06X17H13M3T	12X18H10T, 12X18H12T, 10X17H13M2T, 10X17H13M3T
20	180	160	153	168	184
100	173	133	140	156	174
150	171	125	130	148	168
200	171	120	120	140	160
250	167	115	113	132	154
300	149	112	103	123	148
350	143	108	101	113	144
375	141	107	96	108	140
400	140	107	87	103	137
410	-	107	83	102	136
420	-	107	82	101	135
430	-	107	81	100,5	134
440	-	107	81	100	133
450	-	107	80	99	132
460	-	-	-	98	131
470	-	-	-	97,5	130
480	-	-	-	97	129
490	-	-	-	96	128
500	-	-	-	95	127
510	-	-	-	94	126
520	-	-	-	79	125
530	-	-	-	79	124
540	-	-	-	78	111
550	-	-	-	76	111
560	-	-	-	73	101
570	-	-	-	69	97
580	-	-	-	65	90
590	-	-	-	61	81
600	-	-	-	57	74
610	-	-	-	-	68
620	-	-	-	-	62
630	-	-	-	-	57
640	-	-	-	-	52
650	-	-	-	-	48
660	-	-	-	-	45
670	-	-	-	-	42
680	-	-	-	-	38
690	-	-	-	-	34

Розрахункова температура стінки посудини або апарата, °C	Допустиме напруження [σ], МПа, для сталей марок				
	03X21H21M4ГБ	03X18H11	03X17H14M3	08X18H10T, 08X18H12T, 08X17H13M2T, 08X17H15M3T	12X18H10T, 12X18H12T, 10X17H13M2T, 10X17H15M3T
700	—	—	—	—	30
Примітки:					
1) При розрахункових температурах нижче 20 °C допустимі напруження приймають такими самими, як і при 20 °C за умови допустимого застосування матеріалу при даній температурі.					
2) Для проміжних розрахункових температур стінки допустиме напруження визначають інтерполяцією двох найближчих значень, що зазначені в таблиці, з округленням результатів до 0,5 МПа у бік меншого значення.					
3) Для поковок з сталі марок 12X18H10T, 10X17H13M2T, 10X17H15M3T допустимі напруження, що зазначені в таблиці при температурах до 550 °C, домножують на 0,83.					
4) Для сортового прокату з сталі марок 12X18H10T, 10X17H13M2T, 10X17H15M3T допустимі напруження, що зазначені в таблиці при температурах до 550 °C, домножують на відношення $\sigma_{b2}/240$, де σ_{b2} — умовна границя плинності матеріалу сортового прокату, визначена за ГОСТ 5949; для сортового прокату з сталі марки 03X18H11 допустимі напруження домножують на 0,8.					
5) Для поковок і сортового прокату з сталі марки 08X18H10T допустимі напруження, що зазначені в таблиці при температурах до 550 °C, домножують на 0,95.					
6) Для поковок з сталі марки 03X17H14M3 допустимі напруження, що зазначені в таблиці, домножують на 0,9.					
7) Для поковок з сталі марки 03X18H11 допустимі напруження, що зазначені в таблиці, домножують на 0,9; для сортового прокату з сталі марки 03X18H11 допустимі напруження домножують на 0,8.					
8) Для труб з сталі марок 03X21H21M4ГБ (31-35) допустимі напруження, що зазначені в таблиці, домножують на 0,88.					
9) Для поковок з сталі марок 03X21H21M4ГБ (31-35) допустимі напруження, що зазначені в таблиці, домножують на відношення $\sigma_{b2}/250$, де σ_{b2} — умовна границя плинності матеріалу поковок, визначена за ГОСТ 25054 (за пошкодженнями).					

Таблиця 2.51. Допустимі напруження для жароміцних, жаростійких і корозійностійких сталей аустенітного та аустенітно-ферритного класу [13]

Розрахункова температура стінки посудини або апарата, °C	Допустиме напруження [σ], МПа, для сталей марок					
	08X18H10T (X0-3)	07X13Al20 (ЧС-40)	09X6H12C6 (ЭП-94)	15X18H12C4T Ю (ЭП-454)	06X12H8AlT, 03X12H3AlT	06X21H6AlQT
20	230	233	133	233	147	233
100	206	173	106,5	220	138	200
150	190	153	100	206,5	130	193
200	175	133	90	200	124	188,5
250	160	127	83	186,5	117	166,5
300	144	120	76,5	180	110	160
350	—	113	—	—	107	—
375	—	110	—	—	105	—
400	—	107	—	—	103	—
Примітки:						
1) При розрахункових температурах нижче 20 °C допустимі напруження приймають такими самими, як і при 20 °C за умови допустимого застосування матеріалу при даній температурі.						
2) Для проміжних розрахункових температур стінки допустиме напруження визначають інтерполяцією двох найближчих значень, що зазначені в таблиці, з округленням результатів до 0,5 МПа у бік меншого значення.						

Таблиця 2.52. Розрахункові значення границі плинності для вуглецевих і низьколегірованих сталей [13]

Розрахункова температура стінки посудини або апарата, °С	Розрахункові значення границі плинності σ_s , МПа, для сталей марок							
	Ст3		09Г2С, 16ГС		20, 20К	10	10Г2, 09Г2	17ГС, 17Г1С, 10Г2С1
	товщина, мм							
	до 20	понад 20	до 32	понад 32	до 160			
20	250	210	300	280	220	195	270	280
100	230	201	165,5	240	213	188	240	240
150	224	197	156,5	231	209	183	231	231
200	223	189	247,5	222	204	177	222	222
250	197	180	243	218	198	168	218	218
300	173	162	226,5	201	179	150	201	201
350	167	147	210	185	159	132	185	185
375	164	140	199,5	174	147	123	162	174
400	-	-	183	158	-	-	-	158
410	-	-	-	156	-	-	-	156
420	-	-	-	138	-	-	-	138

Таблиця 2.53. Розрахункові значення границі плинності для вузлів і навантажуваних сталей [13]

Розрахункова температура стінки посудини	Розрахункові значення границі міцності σ_b , МПа, для сталей марок					
	Ст3		09Г2С, 16ГС		20, 20К	
	товщина, мм					
					10	10Г2, 17ГС, 09Г2, 17Г1С, 10Г2С1
або апарата, °С	до 20	понад 20	до 32	понад 32	до 160	
20	460	380	470	440	410	340
100	435	360	425	385	380	310
150	460	390	430	430	425	340
200	505	420	439	439	460	382
250	510	435	444	444	460	400
300	520	440	445	445	460	374
350	480	420	441	441	430	360
375	450	402	425	425	410	330

Таблиця 2.54. Розрахункові значення умовної границі плинності для теплопровідних хромистих сталей [13]

Розрахункова температура стінки посудини або апарата, °C	Розрахункові значення умовної границі плинності $\sigma_{0.2}$, МПа, для сталей марок				
	12МХ	12ХМ	15ХМ	15Х5М	15Х5М-У
20	220	220	233	220	400
100	219	219	230	210	352,5
150	218	218	229	207	345
200	217,5	217,5	228	201	337,5
250	217,5	217,5	228	190	330
300	212	212	220	180	315
350	206	206	213	171	300
375	202	202	210	164	270
400	198	198	205	158	255
410	195	195	204	155	240
420	194	194	202	152	225

Таблиця 2.55. Розрахункові значення границі плинності для теплопровідних хромистих сталей [13]

Розрахункова температура стінки посудини або апарата, °C	Розрахункові значення границі плинності σ_b , МПа, для сталей марок				
	12МХ	12ХМ	15ХМ	15Х5М	15Х5М-У
20	430	430	450	400	600
100	440	440	440	380	572
150	434	434	434	355	555
200	430	430	430	330	535
250	440	437	437	320	520
300	454	445	445	318	503
350	437	442	442	314	492
375	427	436	436	312	484
400	415	426	426	310	472
410	413	424	424	306	468
420	410	421	421	300	462

Таблиця 2.56. Розрахункові значення умовної границі плинності $\sigma_{0.2}$ для жароміцних, жаростійких і корозійостійких сталей аустенітного та аустенітно-феритного класу [13]

Розрахункова температура стінки посудини або апарата, °C	Розрахункові значення умовної границі плинності $\sigma_{0.2}$, МПа, для сталей марок					
	06Х18Г9Т (Ю-3)	07Х13АГ20 (ЧС-46)	02Х18Н2С6 (ЭП-794)	15Х18Н12С4ТЮ (ЭП-654)	06Х22Н6Т, 06Х21Н6МТ	06Х28Н6ДТ, 03ХН28МДТ
20	350	350	200	350	350	220
100	328	260	160	330	300	207
150	314	230	150	310	290	195
200	300	200	135	300	283	186
250	287	190	125	280	250	175
300	274	180	115	270	240	165
350	-	170	-	-	-	160
375	-	165	-	-	-	157,5
400	-	160	-	-	-	155

Таблиця 2.57. Розрахункові значення границі плинності σ_b для жаростійких і корозійостійких сталей аустенітного та аустенітно-феритного класу [13]

Розрахункова температура стінки посудини або апарата, °C	Розрахункові значення границі плинності σ_b , МПа, для сталей марок				
	06Х18Г9Т (Ю-3)	07Х13АГ20 (ЧС-46)	02Х18Н2С6 (ЭП-794)	15Х18Н12С4ТЮ (ЭП-654)	06Х28Н6ДТ, 03ХН28МДТ
20	600	670	550	700	550
100	535	550	500	640	527,5
150	495	520	480	610	512,5
200	455	490	468	580	500
250	415	485	450	570	490
300	375	480	440	570	482,5
350	-	465	-	-	478
375	-	458	-	-	474
400	-	450	-	-	470

Таблиця 2.58. Розрахункові значення умовної границі пластичності сталі для жароміцких, жаростійких і корозійностійких сталей аустенітного класу [13]

Розрахункова температура стиску посудини або апарату, °С	Розрахункові значення границі пластичності $\sigma_{0,2}$ МПа, для сталей марок				
	12Х18Н10Т, 12Х18Н12Т, 10Х17Н13М2Т, 10Х17Н13М3Т	08Х18Н10Т, 08Х18Н12Т, 08Х17Н13М2Т, 08Х17Н13М3Т	03Х21Н21М4ГБ	03Х18Н11	03Х17Н14М3
20	276	252	270	240	230
100	261	234	260	200	210
150	252	222	257	187,5	195
200	240	210	257	180	180
250	231	198	250	173	170
300	222	184,5	223	168	155
350	216	169,5	215	162	152
375	210	162	212	160	135
400	205,5	154,5	210	160	130
410	204	153	—	160	125
420	202,5	151,5	—	160	123
430	201	150,75	—	160	122
440	199,5	150	—	160	121
450	198	148,5	—	160	120
460	196,5	147	—	—	—
470	195	146	—	—	—
480	193,5	145,5	—	—	—
490	192	144	—	—	—
500	190,5	142,5	—	—	—
510	189	141	—	—	—
520	187,5	139,5	—	—	—
530	186	138	—	—	—

Примітка. Границю пластичності для поковок, сортового прокату і труб при 20 °С належить приймати:

для поковок із сталі марок 12Х18Н10Т, 10Х17Н13М2Т, 10Х17Н13М3Т — $\sigma_{1,0}^{20}$ (листа) / 1,2;

для поковок і сортового прокату із сталі марок 08Х18Н10Т — $\sigma_{1,0}^{20}$ (листа) / 1,05;

для сортового прокату із сталі марок 12Х18Н10Т, 10Х17Н13М2Т, 10Х17Н13М3Т — $1,15 \cdot \sigma_{1,0}^{20}$ (сорт);

для поковок із сталі марок 03Х17Н14М3, 03Х18Н11 — $\sigma_{1,0}^{20}$ (листа) / 1,11;

для сортового прокату із сталі марки 03Х18Н11 — $\sigma_{1,0}^{20}$ (листа) / 1,25;

для труб із сталі марки 03Х21Н21М4ГБ (ЗН-35) — $\sigma_{1,0}^{20}$ (листа) / 1,14;

для поковок із сталі марки 03Х21Н21М4ГБ (ЗН-35) — $\sigma_{0,2}^{20}$ 1,06,

де $\sigma_{0,2}^{20}$ — границя пластичності матеріалу поковок визначена за ГОСТ 25054 (за погодженням).

Таблиця 2.59. Розрахункові значення границі пластичності сталі для жароміцких, жаростійких і корозійностійких сталей аустенітного класу [13]

Розрахункова температура стиску посудини або апарату, °С	Розрахункові значення границі пластичності $\sigma_{0,2}$ МПа, для сталей марок				
	12Х18Н10Т, 12Х18Н12Т, 10Х17Н13М2Т, 10Х17Н13М3Т	08Х18Н10Т, 08Х18Н12Т, 08Х17Н13М2Т, 08Х17Н13М3Т	03Х21Н21М4ГБ	03Х18Н11	03Х17Н14М3
20	240	210*	250	200	200
100	228	195	240	160	180
150	219	180	235	150	165
200	210	173	235	140	150
250	204	165	232	135	140
300	195	150	205	130	126
350	190	137	199	127	115
375	186	133	195	125	108
400	181	129	191	122,5	100
410	180	128	—	121,5	98
420	180	128	—	121	97,5
430	179	127	—	120,5	97
440	177	126	—	120	96
450	176	125	—	120	95
460	174	125	—	—	—
470	173	124	—	—	—
480	173	123	—	—	—
490	171	122	—	—	—
500	170	122	—	—	—
510	168	120	—	—	—
520	168	119	—	—	—
530	167	119	—	—	—

* Для сталей 08Х17Н13М2Т, 08Х17Н13М3Т границя пластичності при 20 °С дорівнює 200 МПа.

Примітка:

1) Для поковок із сталі марок 12Х18Н10Т, 10Х17Н13М2Т, 10Х17Н13М3Т границі пластичності множать на 0,83.

2) Для сортового прокату із сталі марок 12Х18Н10Т, 10Х17Н13М2Т, 10Х17Н13М3Т границі пластичності домножують на $\sigma_{0,2}^{20}/240$, де $\sigma_{0,2}^{20}$ — умовна границя пластичності матеріалу сортового прокату, визначена за ГОСТ 5949.

3) Для поковок і сортового прокату з сталі марок 08Х18Н10Т границі пластичності домножують на 0,95.

4) Для поковок із сталі марки 03Х17Н14М3 границі пластичності домножують на 0,9.

5) Для поковок із сталі марки 03Х18Н11 границі пластичності множать на 0,9; для сортового прокату із сталі марки 03Х18Н11 границі пластичності домножують на 0,8.

6) Для труб із сталі марки 03Х21Н21М4ГБ (ЗН-35) границі пластичності домножують на 0,88.

7) Для поковок з сталі марки 03Х21Н21М4ГБ (ЗН-35) границі пластичності домножують на відношення $\sigma_{0,2}^{20}/250$, де $\sigma_{0,2}^{20}$ — умовна границя пластичності матеріалу поковок, визначена за ГОСТ 25054 (за погодженням).

Таблиця 2.60 Розрахункові значення гранич м'якості $\sigma_{0.2}$ для жаростійких, жаростійких і корозійостійких сталей аустенітного класу [13]

Розрахункова температура стінки посудина або апарата, °C	Розрахункові значення гранич м'якості $\sigma_{0.2}$, МПа, для сталей марок					
	03Х2Н1Н1М4ГБ	03Х22Н6Т 03Х21Н6М2Т	03Х17Н14МТ	03Х18Н11	08Х18Н10Т, 08Х18Н12Т, 08Х17Н13М2Т, 08Х17Н13М3Т	12Х18Н10Т, 12Х18Н12Т, 10Х17Н13М2Т, 10Х17Н13М3Т
20	550	600	500	520	520	540
100	540	583	474	450	480	500
150	535	550	453	433	455	475
200	535	515	432	413	430	450
250	534	503	412	405	424	440
300	520	500	392	397	417	440
350	518	-	376	394	408	438
375	517	-	368	392	405	437
400	516	-	360	390	402	436
416	-	-	358	388	400	434
420	-	-	356	386	398	432
430	-	-	354	384	396	431
440	-	-	352	382	394	430
450	-	-	350	380	392	428
460	-	-	-	-	390	426
470	-	-	-	-	388	424
480	-	-	-	-	386	422
490	-	-	-	-	383	421
500	-	-	-	-	381	420
510	-	-	-	-	380	418
520	-	-	-	-	378	416
530	-	-	-	-	374*	412*

* Для розрахункової температури стінки 550 °C.

Для елементів посудина та апаратів, які працюють в умовах повушчості при різних ва вєс ча експлуатації розрахункових температурах, як допустиме напруження дозволяється приймати еквівалентне допустиме напруження $[\sigma]_{\text{екв}}$, що визначається формулою:

$$\sigma_{\text{екв}} = [\sigma]_i \sqrt{\left[\sum_{i=1}^n \frac{T_i}{T_0} \left(\frac{[\sigma]_i}{[\sigma]_1} \right)^m \right]^{\frac{1}{m}}}, \quad (2.8)$$

де $[\sigma]_1, [\sigma]_2, \dots, [\sigma]_n$ – допустиме напруження для розрахункового термину експлуатації при температурах t_i ($i=1, 2, \dots, n$); T_i – тривалість стадії експлуатації елементів з температурою стінки відповідно t_i ($i=1, 2, \dots, n$); $T_0 = \sum_{i=1}^n T_i$ – загальний розрахунковий термін експлуатації, год; m – показник ступеня в рівняннях тривалості м'якості сталі (для легированих жароміцних сталей рекомендується приймати $m=8$).

Етапи експлуатації при різних температурах стінки рекомендується приймати по ступенях температури у 5 °C і 10 °C.

Для посудина та апаратів, що працюють при багаторазових навантажуваннях, допустиму амплітуду напружень визначають згідно з ГОСТ 25859.

Розрахункові значення гранич пластичності, тимчасового опору й коефіцієнта лінійного розширення наведені у таблицях 2.52–2.61.

Розрахункові значення модуля пружності під час розтягу E для вуглецевих і легированих сталей залежно від температури наведені в табл.2.62.

Таблиця 2.61. Коефіцієнт лінійного розширення [13]

Марка сталі	Розрахункові значення коефіцієнту $\alpha \cdot 10^{-6}$, °C ⁻¹ , при температурі, °C				
	20–100	20–200	20–300	20–400	20–500
Ст3, 20, 20К	11,6	12,6	13,1	13,6	14,1
09Г2С, 16ГС, 17ГС, 17Г1С, 10Г2С1, 10Г2	13,0	14,0	15,3	16,1	16,2
12ХМ, 12ХМ, 15ХМ, 15ХМ, 15ХМ-У	11,9	12,6	13,2	13,7	14,0
08Х22Н6Т, 08Х21Н6М2Т	9,6	13,8	16,0	16,0	16,5
12Х18Н10Т, 12Х18Н12Т, 03Х17Н14М3, 10Х17Н13М2Т, 10Х17Н13М3Т, 08Х18Н10Т, 08Х18Н12Т, 08Х18Н11, 08Х17Н13М2Т, 08Х17Н13М3Т	16,6	17,0	18,0	18,0	18,0
03Х21Н1М4ГБ	14,9	15,7	16,6	17,3	17,5
06ХН28МДТ, 03ХН18МДТ	15,3	15,9	16,5	16,9	17,3
08Х18ГН2Т	12,3	13,1	14,4	14,4	15,3

Таблиця 2.62. Модуль пружності під час розтягу $E \cdot 10^{-3}$, МПа, при температурі, °C

Сталь	Модуль пружності під час розтягу $E \cdot 10^{-3}$, МПа, при температурі, °С														
	20	100	150	200	250	300	350	400	450	500	550	600	650	700	
Вуглецеві й низьколегіровані сталі	1,99	1,91	1,86	1,81	1,76	1,71	1,64	1,55	1,46	—	—	—	—	—	
Теплоустійчиві й корозійостійкі хромисті сталі	2,15	2,15	2,05	1,98	1,93	1,90	1,84	1,78	1,71	1,63	1,54	1,46	—	—	
Жароміцні, жаростійкі й корозійостійкі вакситні сталі	2,00	2,00	1,99	1,97	1,94	1,90	1,85	1,80	1,74	1,67	1,60	1,52	1,43	1,32	

2.11.2. Сталеві фланцеві з'єднання, що працюють під дією внутрішнього тиску

Розрахункова температура елементів фланцевого з'єднання в залежності від типу з'єднання та температури обичайки t визначається згідно з [14] за таблицею 2.63.

Таблиця 2.63. Розрахункова температура елементів фланцевого з'єднання

Тип фланцевого з'єднання	Елементи фланцевого з'єднання					
	шпильки			металоволокно		
	t_ϕ	t_e	t_b	t_ϕ	t_e	t_b
Приварний у стик	t	—	0,97 t	0,96 t	—	0,95 t
Приварний плоский	t	—	0,97 t	0,96 t	—	0,95 t
З пальцями: кінцями	t	0,97 t	0,90 t	0,96 t	0,90 t	0,81 t

Примітка: t_ϕ , t_e , t_b — розрахункова температура фланця, вільного кінця і болта відповідно.

Допустимі напруження для матеріалів болтів (шпильок) визначаються таким чином:

1) якщо розрахункова температура болтів (шпильок) t_b не перевищує для вуглецевих сталей 280 °С, низьколегованих — 420 °С, аустенітних — 525 °С, тоді:

$$[\sigma]_b = \frac{\sigma_T}{n_{Tb}} \quad (2.9)$$

2) якщо розрахункова температура болтів (шпильок) більша за вказану вище, тоді:

$$[\sigma]_b = \min \left\{ \frac{\sigma_T}{n_{Tb}}, \frac{\sigma_{D10^5}}{n_{Db}}, \frac{\sigma_{1510^5}}{n_{Db}} \right\} \quad (2.10)$$

де n_{Tb} — коефіцієнт запасу міцності болтів по границі пластичності;

n_{Db} — коефіцієнт запасу міцності болтів по границі тривалої міцності;

n_{Lb} — коефіцієнт запасу міцності болтів по границі повзучості.

Значення коефіцієнтів n_{Tb} , n_{Db} , n_{Lb} наведені в табл. 2.64.

Таблиця 2.64. Коефіцієнти запасу міцності болтів (шпильок)

Матеріал болтів (шпильок)		n_{Tb}		n_{Lb}	n_{Db}
Сталь	Характеристика	Затягування не контролюється	Затягування контролюється		
Вуглецева	$\sigma_T/\sigma_b \geq 0,7$	2,8	2,4	1,8	1,1
	$\sigma_T/\sigma_b < 0,7$	2,3	2,1	1,8	1,1
Аустенітна	—	1,9	1,8	1,8	1,1

2.11.3. Опори колонних апаратів

Розрахункова температура для елементів нижнього опорного вузла опорних обичайок, які приварені до корпусу колони, в робочих умовах визначають за формулою [15]:

$$t_A = \max \{ t_k - \Delta t; 20^\circ \text{C} \}, \quad (2.11)$$

де t_k — розрахункова температура нижнього днища колони в робочих умовах, °С,

Δt — перепад температур, що визначається за рис 2.1 або формулою.

$$\Delta t = 10 + 132 \cdot h_0 + 249 \cdot h_0^2 - 305 \cdot h_0^3 + 93,4 \cdot h_0^4 \quad (2.12)$$

де h_0 — висота опори, м.

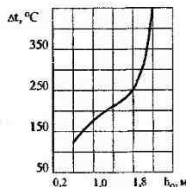


Рис. 2.1. Перепад температур в опорній обичайці

2.11.4. Посудини та апарати високого тиску

Наведені нижче визначення відповідають ГОСТ 25215-82 [16]. Стандарт поширюється на одношарові обичайки, плоскі й опуклі днища сталевих колон, кованозварних посудин та апаратів, а також одношарових посудин і апаратів, які виготовлені з сталюого листового прокату. Матеріал, з якого виготовляють обичайки і днища, використовується в хімічній і нафтопереробній промисловостях і працюють в умовах статичних навантажень під дією внутрішнього надлишкового тиску понад 10 МПа до 100 МПа.

Вимоги стандарту діють за умови, що розрахункова температура не перевищує значень, при яких в розрахунках на міцність враховується пов-

зучість матеріалів. У випадку відсутності точних даних про температуру нижче наведені визначення придатні при розрахунковій температурі, що не перевищує 380 °С для вуглецеві сталі, 420 °С для низьколегованої та середньолегованої сталей і 525 °С для аустенітної сталі.

Розрахункова температура, а також робочий, розрахунковий і пробний тиски визначаються відповідно з п.2.8.1.

Допустиме напруження при розрахунку по граничних навантажених конструктивних елементів з вуглецевих, низьколегованих і середньолегованих сталей визначають за формулою

$$[\sigma] = \min \left\{ \frac{\sigma_T \text{ або } \sigma_{0,2}}{n_T}, \frac{\sigma_B}{n_B} \right\} \quad (2.13)$$

Коефіцієнти запаса міцності повинні відповідати тим, що наведені в табл.2.65.

Таблиця 2.65. Значення коефіцієнтів запаса міцності

Умови навантаження	Коефіцієнт запаса міцності	
	n_T	n_B
Робочі умови	1,5	2,4
Умови випробування	1,1	-

2.11.5. Шпильки посудин і апаратів високого тиску

Визначення поширюються на шпильки посудин та апаратів, що використовуються в хімічній і нафтопереробній та інших промисловостях в умовах статичних навантажень від дією внутрішнього надлишкового тиску понад 10 МПа до 100 МПа [17].

Розрахункова температура, а також робочий, розрахунковий і пробний тиски визначаються відповідно з п.2.8.1.

Допустиме напруження для матеріалу шпильки обчислюється за формулою:

$$[\sigma] = \sigma_T / n_T \quad (2.14)$$

де коефіцієнт запаса міцності по границі пластичності $n_T = 1,5$.

2.12. Фізичні властивості сталей

Основні фізичні властивості сталей, які використовуються при розрахунках обладнання на міцність і жорсткість, наведені в табл.2.66-2.70.

Таблиця 2.66. Модуль пружності під час розтягу, $E \cdot 10^{-5}$, МПа [33]

Марка сталі	Температура випробувань, °С									
	20	100	200	300	400	500	600	700	800	900
Ст3кп	213	208	202	195	187	176	167	153	-	-
Ст2пс	198	183	175	167	158	-	-	-	-	-
Ст3пс	213	208	202	195	187	176	167	153	-	-
Ст4пс	196	183	174	167	158	-	-	-	-	-
Ст5пс	198	196	186	175	167	-	-	-	-	-
Ст6пс	197	197	186	175	168	-	-	-	-	-
Ст6пс	197	197	186	175	168	-	-	-	-	-
Ст2пс	198	183	175	167	158	-	-	-	-	-
Ст3пс	194	192	187	183	178	167	159	146	120	99
Ст5пс	198	196	191	185	164	-	-	-	-	-
15К	207	204	201	196	187	176	162	-	-	-
20К	207	204	201	196	187	176	162	-	-	-
22К	207	-	-	-	-	-	-	-	-	-
16Г	-	-	-	181	172	162	-	-	-	-
08кп	203	207	182	153	141	-	-	-	-	-
10кп	186	-	-	-	-	-	-	-	-	-
15кп	201	192	185	172	156	-	-	-	-	-
20кп	212	208	203	197	189	177	163	140	-	-
08пс	203	206	183	-	-	-	-	-	-	-
10пс	186	-	-	-	-	-	-	-	-	-
15пс	201	192	185	172	156	-	-	-	-	-
20пс	212	208	203	197	189	177	163	140	-	-
25пс	198	196	191	186	163	-	-	-	-	-
08	203	207	182	153	141	-	-	-	-	-
10	206	199	195	186	178	169	157	-	-	-
15	204	192	185	176	156	-	-	-	-	-
20	212	208	203	197	189	177	163	140	-	-
25	198	196	191	186	163	-	-	-	-	-
30	200	196	191	185	-	164	-	-	-	-
35	206	197	187	156	168	-	-	-	-	-
40	212	206	204	192	176	163	151	131	118	-
45	200	201	193	190	172	-	-	-	-	-
50	216	213	207	200	180	171	154	136	123	-
55	210	-	-	-	-	-	-	-	-	-
60	204	-	208	189	174	-	-	-	-	-
65	205	-	-	-	-	-	-	-	-	-
70	206	-	-	-	-	-	-	-	-	-
75	191	-	-	-	-	-	-	-	-	-
85	191	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Продовження табл 2.66

Марка сталі	Температура випробувань, °C									
	20	100	200	300	400	500	600	700	800	900
15Г	-	186	183	-	-	-	-	-	-	-
20Г	204	-	-	-	-	-	-	-	-	-
30Г	204	-	-	-	-	-	-	-	-	-
40Г	206	-	-	-	-	-	-	-	-	-
50Г	216	213	208	199	185	174	160	142	130	-
10Г2	204	-	-	-	-	-	-	-	-	-
35Г2	204	-	-	-	-	-	-	-	-	-
40Г2	212	-	-	-	-	-	-	-	-	-
45Г2	204	-	-	-	-	-	-	-	-	-
50Г2	204	-	-	-	-	-	-	-	-	-
12МХ	212	206	200	195	189	179	170	160	-	-
15ХМ	205	-	-	-	-	-	-	-	-	-
15Х5М	211	-	-	-	178	145	102	-	-	-
60Г	204	-	-	-	-	-	-	-	-	-
65Г	215	213	207	200	180	170	154	136	128	-
08Х13	217	212	206	198	189	180	-	-	-	-
12Х13	217	212	206	198	189	180	-	-	-	-
08Х17Т	206	-	-	-	-	-	-	-	-	-
15Х25Т	204	200	197	189	176	164	140	124	119	109
15Х28	220	216	210	204	193	184	165	-	-	-
10Х14Г14Н4Т	194	189	181	170	164	159	161	-	-	-
08Х18Н10	196	-	-	-	-	-	-	-	-	-
12Х18Н9Т	195	189	182	175	167	180	153	143	135	-
12Х18Н10Т	198	194	189	181	174	166	157	147	-	-
08Х18Н10Т	196	-	-	-	-	-	-	-	-	-
08Х22Н6Т	203	201	193	181	165	162	154	141	139	-
10Х17Н13М2Т	206	-	186	177	177	167	157	147	-	-
06ХН28МДТ	-	191	186	179	171	161	156	151	145	-
20Л	201	196	188	183	173	165	152	132	120	-
35Л	212	206	201	192	176	163	151	131	118	-
50Л	219	214	208	196	178	170	155	136	122	-
35ХМЛ	215	212	207	203	192	179	166	141	130	-
40Х24Н12СЛ	196	-	-	-	-	167	157	145	-	-

Таблиця 2.67. Густина ρ , кг/см³ [33]

Марка сталі	Температура випробувань, °C									
	20	100	200	300	400	500	600	700	800	900
15К	7850	-	-	-	-	-	-	-	-	-
20К	7850	-	-	-	-	-	-	-	-	-
16ГС	7850	-	-	-	-	-	-	-	-	-
08кп	7871	7846	7814	7781	7745	7708	7668	7628	7598	7602
10кп	7856	7832	7800	7765	7730	7692	7653	7613	7582	7594
15кп	7850	7827	7794	7759	7724	7687	7648	7611	7599	7584
20кп	-	7834	7803	7770	7736	7699	7659	7617	7624	7600
08кпс	-	7846	7814	7781	7745	7708	7668	7628	7598	7602
10кпс	-	7832	7800	7765	7730	7692	7653	7613	7582	7594
15кпс	7850	7827	7794	7759	7724	7687	7648	7611	7599	7584
20кпс	-	7834	7803	7770	7736	7699	7659	7617	7624	7600
25кпс	7850	7828	7798	7765	7725	7693	7653	7610	7600	7550
08	7871	7846	7814	7781	7745	7708	7668	7628	7598	7602
10	7856	7832	7800	7765	7730	7692	7653	7613	7582	7594
15	7850	7827	7794	7759	7724	7687	7648	7611	7599	7584
20	7859	7834	7803	7770	7736	7699	7659	7617	7624	7600
25	7820	-	-	-	-	-	-	-	-	-
30	7850	-	-	-	-	-	-	-	-	-
35	7826	7804	7771	7737	7700	7662	7623	7583	7600	7549
40	7850	-	-	-	-	-	-	-	-	-
45	7826	7799	7769	7735	7698	7662	7625	7587	7595	-
50	7810	-	-	-	-	-	-	-	-	-
55	7720	-	-	-	-	-	-	-	-	-
60	7800	-	-	-	-	-	-	-	-	-
65	7810	-	-	-	-	-	-	-	-	-
70	7810	-	-	-	-	-	-	-	-	-
15Г	7810	-	-	-	-	-	-	-	-	-
20Г	7820	-	-	-	-	-	-	-	-	-
30Г	7810	-	-	-	-	-	-	-	-	-
40Г	7810	-	-	-	-	-	-	-	-	-
50Г	7810	-	-	-	-	-	-	-	-	-
10Г2	7790	-	-	-	-	-	-	-	-	-
35Г2	7790	-	-	-	-	-	-	-	-	-
40Г2	7800	-	-	-	-	-	-	-	-	-
45Г2	7810	-	-	-	-	-	-	-	-	-
50Г2	7900	-	-	-	-	-	-	-	-	-
12МХ	7850	7830	7800	7760	7730	7690	7650	7610	-	-
15ХМ	7750	7830	7800	7760	7730	7700	7660	-	-	-
15Х5М	7850	7730	7700	7670	7640	7610	7580	-	-	-
60Г	7810	-	-	-	-	-	-	-	-	-
65Г	7850	7830	7800	-	7830	-	-	-	-	-
08Х13	7760	7740	7710	-	-	-	-	-	-	-
12Х13	7720	7700	7670	7640	7620	7580	7550	7520	7490	7500
08Х17Т	7700	-	-	-	-	-	-	-	-	-
15Х25Т	7600	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Продовження табл. 2.67

Марка сталі	Температура випробувань, °C									
	20	100	200	300	400	500	600	700	800	900
15X28	7630	-	-	-	-	-	-	-	-	-
10X14Г14Н4Т	7800	-	-	-	-	-	-	-	-	-
08Х18Н10	7850	-	-	-	-	-	-	-	-	-
12Х18Н10Т	7900	7860	7820	7780	7740	7690	7650	7600	7560	7510
12Х18Н10Т	7900	-	-	-	-	-	-	-	-	-
08Х18Н10Т	7900	-	-	-	-	-	-	-	-	-
08Х22Н6Т	7700	-	-	-	-	-	-	-	-	-
10Х17Н13М2Т	7900	7870	7830	7790	7750	7700	7660	7620	-	-
06ХН28МДТ	7960	-	-	-	-	-	-	-	-	-
15Л	7830	-	-	-	-	-	-	-	-	-
20Л	7850	-	-	-	-	-	-	-	-	-
25Л	7830	-	-	-	-	-	-	-	-	-
30Л	7810	-	-	-	-	-	-	-	-	-
35Л	7830	-	-	-	-	-	-	-	-	-
40Л	7810	-	-	-	-	-	-	-	-	-
45Л	7800	-	-	-	-	-	-	-	-	-
50Л	7820	-	-	-	-	-	-	-	-	-
55Л	7820	-	-	-	-	-	-	-	-	-
35ХМЛ	7840	-	-	-	-	-	-	-	-	-
40Х24Н12СЛ	7800	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Таблиця 2.68 Теплопровідність λ , Вт/(м·К) [33]

Марка сталі	Температура випробувань, °C									
	20	100	200	300	400	500	600	700	800	900
23Л	51	76	65	44	38	-	-	-	-	-
30Л	-	76	65	-	44	38	-	-	-	-
35Л	53	51	49	45	42	39	35	31	27	27
40Л	-	60	53	-	47	41	-	-	-	-
45Л	-	68	55	-	36	32	-	-	-	-
50Л	48	48	46	44	41	38	34	30	25	26
55Л	-	68	55	-	36	32	-	-	-	-
12Х18Н9ДЛ	15	16	18	19	21	22	24	25	26	27
Сксп	-	55	54	50	45	39	34	30	-	-
15К	-	57	53	-	45	-	38	-	-	-
20К	-	51	49	46	42	39	36	-	-	-
22К	50	48	46	44	-	-	-	-	-	-
08кп	63	60	56	51	47	41	37	34	30	27
10кп	-	58	54	49	45	40	36	32	29	27
15кп	-	53	53	49	46	43	39	36	32	30
20кп	-	51	49	44	43	39	36	32	26	26
08кп	-	60	56	51	47	41	37	34	30	27
10кп	-	58	54	49	45	40	36	32	29	27
15кп	-	53	53	49	46	43	39	36	32	30
20кп	-	51	49	44	43	39	36	32	26	26
23кп	52	51	49	46	43	-	-	-	-	-

Продовження табл. 2.68

Марка сталі	Температура випробувань, °C									
	20	100	200	300	400	500	600	700	800	900
08	-	60	56	51	47	41	37	34	30	27
10	-	58	54	49	45	40	36	32	29	27
15	53	53	53	49	46	43	39	36	32	30
20	-	51	49	44	43	39	36	32	26	26
25	-	51	49	46	43	40	36	32	26	27
30	52	51	49	46	43	39	36	32	-	-
35	-	49	49	47	44	41	38	35	29	28
40	-	51	48	46	42	38	34	30	25	26
45	-	48	47	44	41	39	36	31	27	26
50	48	48	47	44	41	38	35	31	27	-
55	-	68	55	-	36	32	-	-	-	-
60	-	68	53	-	36	-	-	-	-	-
65	-	68	53	-	36	31	-	-	-	-
70	-	68	52	37	29	-	-	-	-	-
20Г	-	78	67	48	-	-	-	-	-	-
30Г	-	76	65	53	44	38	-	-	-	-
40Г	-	60	53	-	47	24	-	-	-	-
50Г	43	42	41	38	36	34	31	29	28	-
10Г2	-	-	38	37	36	-	-	-	-	-
35Г2	-	40	38	37	36	35	-	-	-	-
45Г2	-	-	45	43	41	35	-	-	-	-
50Г2	-	41	40	38	36	35	-	-	-	-
12МХ	-	50	50	50	49	47	46	44	-	-
15ХМ	-	44	41	41	39	36	34	-	29	29
15Х5М	-	37	36	35	34	33	-	-	-	-
65Г	37	36	35	34	32	31	30	29	28	-
08Х13	-	28	28	28	28	27	26	26	25	27
12Х13	-	28	28	28	28	27	26	26	25	27
08Х17Т	25	-	-	-	-	-	-	-	-	-
15Х25Т	17	-	-	-	-	-	-	-	-	-
15Х28	-	21	22	23	23	24	25	-	-	-
10Х14Г14Н4Т	15	17	18	21	24	30	36	43	51	-
08Х18Н10	17	-	-	-	-	-	-	-	-	-
12Х18Н9Т	-	16	18	20	21	23	25	26	28	29
12Х18Н10Т	15	16	18	19	21	23	25	27	26	-
08Х18Н10Т	-	16	18	19	-	-	-	-	-	-
08Х22Н6Т	-	15	16	18	20	21	23	24	27	30
06ХН28МДТ	13	13	15	17	-	22	24	25	26	-
15Л	-	78	67	-	48	41	-	-	-	-
20Л	54	53	51	48	43	39	35	32	27	27

Таблиця 2.69 Коефіцієнт лінійного розширення ($\alpha \cdot 10^{-6}, K^{-1}$) [33]

Марка сталі	Температура випробувань, °C										
	20-100	20-200	20-300	20-400	20-500	20-600	20-700	20-800	20-900	20-1000	
30Л	12,6	13,9	-	15,0	15,6	-	-	-	-	-	-
35Л	11,1	12,0	12,9	13,5	13,9	14,5	14,8	11,9	12,3	-	-
40Л	12,4	12,6	-	14,5	-	14,6	-	-	-	-	-
45Л	11,6	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
50Л	12,0	12,4	12,8	13,3	13,7	14,1	14,5	12,4	13,3	-	-
55Л	11,0	11,8	-	13,4	-	14,5	-	-	-	-	-
15К	-	11,9	12,8	13,2	13,6	13,9	-	-	-	-	-
20К	-	11,9	12,8	13,2	13,6	13,9	-	-	-	-	-
22К	11,0	12,6	13,4	13,6	-	-	-	-	-	-	-
16ГС	11,1	12,1	12,9	13,5	13,9	14,1	-	-	-	-	-
09Г2С	11,4	12,2	12,6	13,2	13,8	-	-	-	-	-	-
08кп	12,5	13,4	14,0	14,5	14,9	15,1	15,3	14,7	12,7	13,8	-
10кп	12,4	13,2	13,9	14,5	14,9	15,1	15,3	12,1	14,8	12,6	-
15кп	12,4	13,2	13,9	14,4	14,8	15,1	15,3	14,1	13,2	13,3	-
20кп	12,3	13,1	13,8	14,3	14,8	15,1	15,2	-	-	-	-
08лс	12,5	13,4	14,0	14,5	14,9	15,1	15,3	-	-	-	-
10лс	12,4	13,2	13,9	14,5	14,9	15,1	15,3	-	-	-	-
15лс	12,4	13,2	13,9	14,4	14,8	15,1	15,3	-	-	-	-
20лс	12,3	13,1	13,8	14,3	14,8	15,1	15,2	-	-	-	-
25лс	12,2	13,0	13,7	14,3	14,7	15,0	15,2	12,7	12,4	13,4	-
08	12,5	13,4	14,0	14,5	14,9	15,1	15,3	14,7	12,7	13,8	-
10	12,4	13,2	13,9	14,5	14,9	15,1	15,3	12,1	14,8	12,6	-
15	12,4	13,2	13,9	14,4	14,8	15,1	15,3	14,1	13,2	13,3	-
20	12,3	13,1	13,8	14,3	14,8	15,1	15,2	-	-	-	-
25	12,2	13,0	13,7	14,3	14,7	15,0	15,2	12,7	12,4	13,4	-
30	12,1	12,9	13,6	14,2	14,7	15,0	15,2	-	-	-	-
35	12,0	12,9	13,6	14,2	14,6	15,0	15,2	12,7	13,9	-	-
40	11,9	12,8	13,5	14,1	14,6	14,9	15,2	12,5	13,5	14,5	-
45	11,9	12,7	13,4	14,1	14,6	14,9	15,2	-	-	-	-
50	11,2	12,0	12,8	13,4	13,9	14,2	14,5	13,4	-	-	-
55	11,0	11,9	12,7	13,4	14,0	14,5	14,8	12,5	13,5	14,4	-
60	11,0	11,9	-	13,9	14,6	-	-	-	-	-	-
65	11,0	11,6	12,3	13,2	13,8	14,2	14,6	14,7	13,9	14,8	-
70	11,5	12,3	13,0	13,8	-	-	-	-	-	-	-
15Г	12,3	-	13,2	-	-	14,9	-	-	-	-	-
20Г	12,5	13,4	14,4	15,1	-	15,2	-	-	-	-	-
30Г	12,6	13,9	14,6	15,0	15,3	15,6	14,8	-	-	-	-
40Г	11,1	11,7	12,7	-	14,3	-	-	-	-	-	-
50Г	11,8	12,5	13,2	13,8	14,3	14,8	15,1	12,3	-	-	-
10Г2	11,3	-	-	14,7	-	-	-	-	-	-	-
45Г2	11,3	11,9	12,7	-	14,7	-	-	-	-	-	-
50Г2	11,3	12,2	12,3	-	-	14,7	-	-	-	-	-

Продовження табл. 2.69

Марка сталі	Температура випробувань, °C										
	20-100	20-200	20-300	20-400	20-500	20-600	20-700	20-800	20-900	20-1000	
12МХ	11,2	12,5	12,7	12,9	13,2	13,5	13,8	-	-	-	-
15ХМ	12,2	13,0	13,3	13,7	14,0	14,3	14,5	13,4	11,2	12,5	-
15Х5М	11,3	11,6	11,9	12,2	12,3	12,5	-	-	-	-	-
60Г	11,6	11,9	12,9	13,8	-	14,6	-	-	-	-	-
65Г	11,8	12,6	13,2	13,6	14,1	14,6	14,5	11,8	-	-	-
08Х13	10,5	11,1	11,4	11,8	12,1	12,3	12,5	12,8	-	-	-
12Х13	10,2	11,2	11,4	11,8	12,2	12,4	12,7	13,0	10,8	11,7	-
08Х17Т	10,0	10,0	10,5	10,5	11,0	-	-	-	-	-	-
15Х25Т	10,1	10,7	11,0	11,2	11,3	-	-	-	-	-	-
15Х28	10,0	10,5	10,5	11,0	11,0	-	-	-	-	-	-
10Х14Г14Н4Т	16,0	16,7	17,5	18,4	19,0	19,5	20,1	20,6	21,0	-	-
08Х18Н10	16,0	17,0	17,0	18,0	18,0	-	-	-	-	-	-
12Х18Н9Т	16,6	17,0	17,6	18,0	18,3	18,6	18,9	19,3	19,5	20,1	-
12Х18Н10Т	16,6	17,0	17,2	17,5	17,9	18,2	18,6	18,9	19,3	-	-
08Х18Н10Т	16,1	-	17,4	-	18,2	-	19,1	-	-	-	-
08Х22Н6Т	9,6	13,8	16,0	16,0	16,4	16,2	16,5	16,7	17,1	-	-
10Х17Н13М2Т	15,7	16,1	16,7	17,2	17,6	17,9	18,2	-	-	-	-
06ХН28М4Т	10,9	12,9	13,6	14,4	14,9	15,3	16,8	16,3	16,8	-	-
15Н	11,9	12,5	-	13,6	14,2	-	-	-	-	-	-
20Н	12,2	12,7	13,1	13,5	13,9	14,4	14,9	12,6	12,4	-	-
25Н	11,5	12,9	13,0	13,2	13,5	-	-	-	-	-	-

Таблиця 2.70. Питома теплотемпература ϵ , Дж/(кг·°C) [33]

Марка сталі	Температура випробувань, °C										
	20-100	20-200	20-300	20-400	20-500	20-600	20-700	20-800	20-900	20-1000	
08кп	482	498	514	533	555	584	626	695	703	695	-
10кп	466	479	-	512	-	567	-	-	-	-	-
15кп	465	486	515	532	565	586	620	691	708	-	-
20кп	486	498	514	533	555	584	636	703	703	695	-
08лс	482	498	514	533	555	584	626	695	703	695	-
15лс	465	486	515	532	565	586	620	691	708	-	-
20лс	486	498	514	533	555	584	636	703	703	695	-
25лс	470	483	-	521	571	-	-	-	-	-	-
08	482	498	514	533	555	584	626	695	703	695	-
10	466	479	-	512	-	567	-	-	-	-	-
15	465	486	515	532	565	586	620	691	708	-	-
20	486	498	514	533	555	584	636	703	703	695	-
25	470	483	-	521	571	-	-	-	-	-	-
30	470	483	546	563	764	-	-	-	-	-	-
35	469	490	511	532	553	578	611	708	699	-	-
40	486	497	512	529	550	574	628	674	657	653	-

Марка сталі	Температура випробування, °С									
	20-100	20-200	20-300	20-400	20-500	20-600	20-700	20-800	20-900	20-1000
45	473	494	515	536	583	578	611	720	708	-
50	487	500	517	533	559	584	-	-	-	-
55	479	487	-	525	571	-	-	-	-	-
60	483	487	-	529	-	567	-	-	-	-
65	483	-	-	525	-	-	-	-	-	-
70	483	487	-	521	-	567	-	-	-	-
15Г	-	496	-	538	-	592	-	-	-	-
20Г	-	525	-	554	-	698	-	-	-	-
30Г	470	483	546	601	764	-	-	-	-	-
40Г	487	483	-	491	-	575	-	-	-	-
50Г	487	500	517	533	559	584	609	676	-	-
45Г2	-	445	428	-	-	-	-	-	-	-
12МХ	473	519	565	594	653	733	888	1365	-	-
15ХМ	487	-	-	-	-	-	-	-	-	-
15ХСМ	483	-	-	-	-	-	-	-	-	-
60Г	483	487	-	529	-	575	-	-	-	-
65Г	490	510	525	560	575	590	625	705	-	-
08Х13	462	-	-	-	-	-	-	-	-	-
12Х13	473	487	506	527	554	586	636	657	666	-
08Х17Т	462	-	-	-	-	-	-	-	-	-
15Х25Т	462	-	-	-	-	-	-	-	-	-
12Х12Н9	504	-	-	-	-	-	-	-	-	-
08Х18Н10	504	-	-	-	-	-	-	-	-	-
12Х18Н9Т	469	486	498	511	519	528	532	544	548	-
12Х18Н10Т	462	496	517	538	550	563	575	596	-	-
15Л	470	479	-	517	-	571	-	-	-	-
20Л	487	500	517	533	559	588	638	706	706	-
25Л	470	483	-	525	-	571	-	-	-	-
30Л	470	483	-	525	-	571	-	-	-	-
35Л	470	491	512	533	554	580	613	710	701	-
40Л	470	483	-	525	-	571	-	-	-	-
45Л	470	483	-	525	-	571	-	-	-	-
50Л	479	500	517	542	559	584	617	727	710	-
55Л	479	487	-	525	-	571	-	-	-	-
35ХМЛ	479	500	512	539	550	580	617	689	685	-
15К	470	483	-	525	-	571	-	-	-	-
20К	470	483	-	538	-	571	-	-	-	-
22К	470	483	-	525	-	571	-	-	-	-
16ГС	470	-	-	-	-	-	-	-	-	-

3. ЧАВУНИ

3.1. Нормативні параметри й допустимі напруження

Розрахункова температура, робочий, розрахунковий і пробний тиск визначаються відповідно до ГОСТ 14249-89 (див.п.2.8.1).

За розрахункові зусилля і моменти приймають діючі в стані навантажування (наприклад при експлуатації, випробуванні або монтажі) зусилля і моменти, що виникають від дії власної ваги, приєднаних трубопроводів та інших навантажень.

3.1.1. Допустимі напруження й коефіцієнти запасу міцності при розрахунку по граничних навантаженнях

Допустимі напруження $[\sigma]$ визначають таким чином [19]:
для чавуну з пластичним графітом та для ковкого чавуну

$$[\sigma] = K_N K_F K_B \frac{\sigma_B}{\beta_0}; \quad (3.1)$$

для чавуну з кулястим графітом

$$[\sigma] = K_N K_F \min \left\{ \frac{\sigma_{B2}}{n_T}, \frac{\sigma_B}{n_B} \right\}, \quad (3.2)$$

де K_N , K_F і K_B – коефіцієнти, що визначаються по табл.3.1

Таблиця 3.1. Значення коефіцієнтів K_N , K_F і K_B

Умови розрахунку	Коефіцієнт
Відпалений або смальований чавун	$K_N=1,0$
Невідпалений чавун	$K_N=0,8$
Неруйнівний контроль і контроль механічних характеристик, який проводиться на кожному виділку	$K_F=1,0$
Для серійних виробів у разі перевірки дотримання лінійної технології і контролю механічних характеристик у процесі плавлення	$K_F=1,0$
Контроль механічних характеристик за весь час процесу плавлення при відсутності неруйнівного контролю	$K_F=0,85$
Елементи, що випробують виключно згинаюче навантаження (плоскі, торосферичні і сферичні невідторговані диски у випадках розрахунку в крайових зонах, фланці)	$K_B=1,4$
Елементи, що випробують виключно мембранні напруження (циліндричні оболонки, огуки диски при розрахунку в центральних зонах)	$K_B=1,0$

Коефіцієнти запасу міцності мають відповідати поданим в табл.3.2.

Таблиця 3.2 Значення коефіцієнтів запасу міцності

Умови навантажування	Коефіцієнти запасу міцності		
	Для чавуну з пластинчастим графітом і ковкого чавуну	Для чавуну з кулястим графітом (відносне видовження при розриві $\geq 12\%$)	
	n_{σ}	n_{δ}	n_T
Робочі умови	7,0	4,4	3,0
Умови випробування й монтажу	3,5	2,2	1,5

Примітка: Для чавуну з кулястим графітом, у якого відносне видовження при розриві менше 12 %, коефіцієнт запасу міцності приймають як для чавуну з пластинчастим графітом.

Коефіцієнт запасу стійкості n , при розрахунках посудин і апаратів на стійкість по нижнім критичним напруженням в межах пружності необхідно приймати рівним: 2,4 – для робочих умов; 1,8 – для умов випробування й монтажу.

Перевірку стійкості чавунних елементів, як правило, не виконують.

3.1.2. Допустимі напруження, коефіцієнти запасу міцності та умови міцності при розрахунку на основі теорії пружності

Розрахунок на основі теорії пружності застосовується для деталей з чавуну з пластинчастим графітом, для яких виконуються умови, відповідні $K_N=K_F=1,0$ (по табл.3.1) [19].

Розрахунок на міцність на основі теорії пружності виконують у наступних випадках:

при докладному дослідженні напруженого стану посудини або апарата;

коли розрахункова схема враховує усі особливості конструкції, а також концентрацію напружень від дефектів типу раковин та вищербин.

Допустимі напруження визначають за допомогою формул для сумарних напружень.

$$[\sigma]_E = \sigma_E / n_{eE}, \quad (3.3)$$

для мембранних напружень

$$[\sigma]_m = \sigma_E / n_{em}. \quad (3.4)$$

Коефіцієнти запасу міцності мають відповідати наведеним у табл.3.3.

Таблиця 3.3 Значення коефіцієнтів запасу міцності

Умови навантаження	Коефіцієнти запасу міцності	
	n_{σ}	n_{δ}
Робочі умови	2,2	3,5
Умови випробування й монтажу	1,3	2,2

Для внутрішньої й зовнішньої сторони стінки посудини мають виконуватися умови міцності:

$$\sigma_{max} \leq [\sigma]_E; \quad (3.5)$$

$$|\sigma_{max} - \sigma_{min}| \leq K_2 [\sigma]_E; \quad (3.6)$$

$$\max\{\sigma_{m1}; \sigma_{m2}\} \leq [\sigma_m]. \quad (3.7)$$

Максимальні й мінімальні сумарні напруження на внутрішньому й зовнішньому сторони стінки посудини визначають за формулами:

$$\sigma_{max} = \max\left\{0; \left(\sigma_{m1} + \frac{K_3 \sigma_{\perp}}{K_1}\right); \left(\sigma_{m2} + \frac{K_3 \sigma_{\perp 2}}{K_1}\right)\right\}; \quad (3.8)$$

$$\sigma_{min} = \min\left\{0; \left(\sigma_{m1} + \frac{K_3 \sigma_{\perp}}{K_1}\right); \left(\sigma_{m2} + \frac{K_3 \sigma_{\perp 2}}{K_1}\right)\right\}. \quad (3.9)$$

Індекс 1 і 2 позначають напрямки напружень у площині стінки.

У формулах (3.8) і (3.9) необхідно враховувати знаки напружень σ_m і $\sigma_{\perp}$. При цьому треба мати на увазі, що $\sigma_{\perp} > 0$, якщо згин спричинює на поверхні стінки напруження розтягу, і $\sigma_{\perp} < 0$, якщо згин спричинює напруження тиску.

Значення коефіцієнтів K_1 і K_2 приймають залежно від марки чавуну та елемента конструкції. За відсутності таких даних треба приймати:

$$K_1 = 1,45; K_2 = 3,0. \quad (3.10)$$

Значення коефіцієнтів K_3 приймають з вимог:

$$K_3 = \begin{cases} 1,0 & \text{для } \sigma_{\perp} \geq 0, \\ K_2 & \text{для } \sigma_{\perp} < 0. \end{cases} \quad (3.11)$$

3.2. Класифікація чавунів

Чавун – це сплав заліза з карбоном (вуглицем) (понад 2 % вуглецю за масою) та іншими елементами, який характеризується наявністю евтектич-

Таблиця 3.2 Значення коефіцієнтів запасу міцності

Умови навантажування	Коефіцієнти запасу міцності		
	Для чавуну з пластинчастим графітом і ковкого чавуну	Для чавуну з кулястим графітом (відносне видовження при розриві $\geq 12\%$)	
	n_{σ}	n_{δ}	n_T
Робочі умови	7,0	4,4	3,0
Умови випробування й монтажу	3,5	2,2	1,5

Коефіцієнт запасу стійкості n , при розрахунках посудин і апаратів на стійкість по нижнім критичним напруженням в межах пружності необхідно приймати рівним: 2,4 – для робочих умов; 1,8 – для умов випробування й монтажу.

Перевірку стійкості чавунних елементів, як правило, не виконують.

3.1.2. Допустимі напруження, коефіцієнти запасу міцності та умови міцності при розрахунку на основі теорії пружності

Розрахунок на основі теорії пружності застосовується для деталей з чавуну з пластинчастим графітом, для яких виконуються умови, відповідні $K_N=K_F=1,0$ (по табл.3.1) [19].

Розрахунок на міцність на основі теорії пружності виконують у наступних випадках:

при докладному дослідженні напруженого стану посудини або апарата;

коли розрахункова схема враховує усі особливості конструкції, а також концентрацію напружень від дефектів типу раковин та вищербин.

Допустимі напруження визначають за допомогою формул для сумарних напружень

$$[\sigma]_E = \sigma_E / n_{eE}, \quad (3.3)$$

для мембранних напружень

$$[\sigma]_m = \sigma_E / n_{em}. \quad (3.4)$$

Коефіцієнти запасу міцності мають відповідати наведеним у табл.3.3.

Таблиця 3.3 Значення коефіцієнтів запасу міцності

Умови навантаження	Коефіцієнти запасу міцності	
	n_{σ}	n_{δ}
Робочі умови	2,2	3,5
Умови випробування й монтажу	1,3	2,2

Для внутрішньої й зовнішньої сторони стінки посудини мають виконуватися умови міцності:

$$\sigma_{max} \leq [\sigma]_E; \quad (3.5)$$

$$|\sigma_{max} - \sigma_{min}| \leq K_2 [\sigma]_E; \quad (3.6)$$

$$\max\{\sigma_{m1}; \sigma_{m2}\} \leq [\sigma_m]. \quad (3.7)$$

Максимальні й мінімальні сумарні напруження на внутрішньому й зовнішньому сторони стінки посудини визначають за формулами:

$$\sigma_{max} = \max\left\{0; \left(\sigma_{m1} + \frac{K_3 \sigma_{\perp}}{K_1}\right); \left(\sigma_{m2} + \frac{K_3 \sigma_{\perp 2}}{K_1}\right)\right\}; \quad (3.8)$$

$$\sigma_{min} = \min\left\{0; \left(\sigma_{m1} + \frac{K_3 \sigma_{\perp}}{K_1}\right); \left(\sigma_{m2} + \frac{K_3 \sigma_{\perp 2}}{K_1}\right)\right\}. \quad (3.9)$$

Індекси 1 і 2 позначають напрямки напружень у площині стінки.

У формулах (3.8) і (3.9) необхідно враховувати знаки напружень σ_m і $\sigma_{\perp}$. При цьому треба мати на увазі, що $\sigma_{\perp} > 0$, якщо згин спричинює на поверхні стінки напруження розтягу, і $\sigma_{\perp} < 0$, якщо згин спричинює напруження тиску.

Значення коефіцієнтів K_1 і K_2 приймають залежно від марки чавуну та елемента конструкції. За відсутності таких даних треба приймати:

$$K_1 = 1,45; K_2 = 3,0. \quad (3.10)$$

Значення коефіцієнтів K_3 приймають з вимого:

$$K_3 = \begin{cases} 1,0 & \text{для } \sigma_{\perp} \geq 0, \\ K_2 & \text{для } \sigma_{\perp} < 0. \end{cases} \quad (3.11)$$

3.2. Класифікація чавунів

Чавун – це сплав заліза з карбоном (вуглицем) (понад 2 % вуглецю за масою) та іншими елементами, який характеризується наявністю евтектич-

3.4.2. Службові й технологічні властивості

3.4.2.1. Фрикційні властивості

При сухому (без мастильного матеріалу) терті в парі з фрикційним пластмасами сірий чавун є фрикційним матеріалом. У широкому діапазоні швидкості ковзання при нагріванні поверхонь тертя він забезпечує стабільний коефіцієнт тертя $f=0,2-0,4$.

При терті з мастильним матеріалом у парі зі сталлю, чавуном, іншими матеріалами і сплавами сірий чавун є антифрикційним матеріалом. Коефіцієнт тертя пари чавун-сталь з мастилом становить 0,03.

3.4.2.2. Корозійна стійкість

Сірий чавун не є корозійостійким матеріалом. У міцних і слабких розчинах кислот швидкість його корозії висока. В атмосфері, навіть збагаченої сірчистим газом, швидкість корозії дорівнює 0,08-0,79 мм/рік, а в морській воді – 0,03-0,085 мм/рік.

3.4.2.3. Зварюваність

Сірий чавун характеризується високим вмістом вуглецю, кремнію і марганцю, які інтенсивно окислюються й вигорають у процесі зварювання. Інтенсивне розігрівання зварного шва і прилягаючих ділянок металу спричиняє значні внутрішні напруження, які можуть призвести до утворення тріщин. Тому для зварювання сірого чавуну використовують електроди і присадки прутки з великим вмістом вуглецю і кременю (вище ніж у чавуні, який зварюється), використовують гаряче зварювання з попереднім підігрівом деталей та ін.

Основними способами зварювання сірого чавуну є газове, електродугове й електроконтактне точкове, які використовуються для з'єднання чавунних деталей з мідними, бронзовими й латунними деталями.

3.4.2.4. Термічна обробка

При виробництві виливків з сірого чавуну з пластинчастим графітом термічну обробку використовують для зняття внутрішніх напружень і забезпечення мінімальних деформацій при експлуатації, а також для поліпшення оброблюваності і стійкості проти спрацювання (зносоустійкості). В окремих випадках термічну обробку здійснюють для усунення вбилювання у виливках (випалення браку).

Виливки із сірого чавуну піддають гартуванню, поліпшенню, нормалізації, високотемпературному відпалу, відпалу для зняття внутрішніх напружень, низькотемпературній тепловій обробці й низькотемпературному відпалу для поліпшення оброблюваності.

Таблиця 3.4. Призначення виливків з сірого чавуну залежно від марки чавуну [20]

Марка чавуну	Характеристика й призначення виливків з сірого чавуну
СЧ100	Використовується для невідповідальних виливків незалежно від вимог за механічними властивостями
СЧ110	Мак. низьку міцність. Використовується для невідповідальних виливків з товщиною стінок до 15 мм
СЧ115	Мак. помірну механічну властивість. Використовується для маловідповідальних виливків з товщиною стінок 8-13 мм
СЧ120	Мак. середню міцність в передлах до 40 мм. Використовується для відповідальних виливків при вказаній товщині стінок
СЧ125	Мак. добру міцність у виливках з товщиною стінок 20-40 мм. Використовується для відповідальних виливків
СЧ130	Використовується для відповідальних складних машинобудівних виливків з товщиною стінок 20-60 мм
СЧ135	Використовується для відповідальних високонавантажених виливків з товщиною стінок 20-100 мм

Таблиця 3.5. Фізичні властивості сірого чавуну [21]

Марка чавуну	ρ , кг/м ³	c , Дж/(кг·К) при 20-180 °С	λ , Вт/(м·К) при 20 °С	$\alpha \cdot 10^6$, 1/К при 20-179 °С
СЧ110	6800	460	60	8,0
СЧ115	7000	460	59	9,0
СЧ120	7100	480	54	9,5
СЧ125	7200	500	50	10,5
СЧ130	7300	525	46	10,5
СЧ135	7400	545	42	11,0

Таблиця 3.6. Міцність при втопленості сірого чавуну СЧ135 [22]

t , °С	20	150	260	370	430	540	650
σ_1 , МПа	141	136	130	155	152	110	46
σ_n , МПа	336	315	326	351	314	323	115
σ_1/σ_n	0,42	0,43	0,40	0,44	0,43	0,47	0,40

Таблиця 3.7. Ударна в'язкість КС і модуль пружності під час розтягу E сірого чавуну [21]

Марка чавуну	СЧ110	СЧ115	СЧ120	СЧ125	СЧ130	СЧ135
КС, кДж/м ²	—	10	20	40	60	80
$E \cdot 10^{-3}$, МПа	70-110	70-110	85-110	90-110	120-145	130-160

Примітка: Залежність модуля пружності під час розтягу від температури визначається за формулою: $E_t = E_{20}(1 - 6,8 \cdot 10^{-5} t - 4,4 \cdot 10^{-7} t^2)$, де t – температура, °С; E_{20} та E_t – модуль пружності під час розтягу при 20 °С і температурі t відповідно, МПа.

Марка чавуну	$\sigma_{\text{в}}$ МПа	$\sigma_{\text{в}}$ при розтягуванні, МПа (не менше) / твердість НВ (не більше) при товщині стінки випробів, мм										$\sigma_{\text{сж}}$ МПа	Стріла про- гину, як при відстані між опорами, мм		$\sigma_{\text{сж}}$ МПа	Тем- п МПа
		4	8	15	30	50		80	100	600	300					
Не визначається																
СЧ100	100-150	140/205	120/200	100/190	80/185	75/156	70/149	65/120	280	7,0	3,0	530	110			
СЧ110	150-200	220/241	180/224	150/210	110/201	105/163	90/156	80/130	320	8,0	3,0	650	150			
СЧ120	200-250	270/255	220/240	200/230	160/216	140/170	130/163	120/143	400	9,0	3,0	800	200			
СЧ125	250-300	310/260	270/255	250/245	210/238	180/187	165/170	150/156	490	10,0	3,5	950	250			
СЧ130	300-350		330/270	300/260	260/250	220/197	195/187	180/163	560	11,0	4,0	1100	300			
СЧ135	від 350		380/290	350/275	310/270	260/229	225/201	205/179	630	12,0	4,5	1250	350			

Примітка: 1) У дугрітій колонці таблиці наведено мінімальні протипутиє значення $\sigma_{\text{в}}$, які вказані в стандарті для даних сталей.

Примітки: 1) У другій колонці таблиці наведено мінімальні припустимі значення $\sigma_{\text{в}}$, які визначено в стандартній латій загострі діаметром 30 мм.

2) Допускається перевищення максимального значення $\sigma_{\text{в}}$ при розгін над мінімальним не більше 100 МПа, якщо в технічних умовах на випробів нека інших позначень.

3) Для випробів масою більше 1000 кг при товщині стінки не менше 30 мм приймають значення $\sigma_{\text{в}}$ на 10% нижче, ніж вказано в другій колонці таблиці.

4) З достатнім ступенем точності співвідношення між границею міцності $\sigma_{\text{в}}$ наведеною у другій колонці таблиці, і діаметром випробів можна визначитися залежністю $\sigma_{\text{в}}/\sigma_{\text{в}}^{\text{н}} = (d/d^{\text{н}})^{0,8}$, де a – коефіцієнт взаємозв'язку, який визначає однорідність металічних властивостей чавуну по перерізу випробів: $a = 0,24 + 0,286 [(4\% + 0,8 (\%Si)) \cdot 4,2]^2$, де $\%Si$ – вміст вуглецю у чавуні в $\%$; $d^{\text{н}}$ – середнє, креслено (структура і хімічний склад дані [21]).

5) Міцність сірого чавуну з підвищеною температурою до 300–400 °С змінюється незначно.

Таблиця 3.9. Механічні характеристики й допустимі напруження чавунних випробів [21; 22]

Марка чавуну	Напруження, МПа					Форма перерізу випробів	Припустимі напруження, МПа																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																			
	$\sigma_{\text{в}}$	$\sigma_{\text{сж}}$	$\tau_{\text{в}}$	$\sigma_{\text{т}}$	$\tau_{\text{т}}$		При згині			При крученні			При розтяг			При стиску																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																										
							I	II	III	I	II	III	I	II	III	I	II	III																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																								
СЧ15	320	150	650	240	70	50	K	70	40	30	53	30	20																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																													

Примітка. Діючі навантаження поділені на три категорії: I – статичні навантаження; II – змінні навантаження, що змінюються від певної позитивної величини до такої ж негативної.

Літери K, T, II, III позначають відповідно круглі, прямокутні, довгасті, перерізи випробів.

3.5. Ковкий чавун

Ковкий чавун – це чавун, що одержується внаслідок спеціального тривалого високотемпературного відпалу виділеної литої заготовки з білого чавуну. Внаслідок цього графітові включення набувають пластичної форми.

Марки ковких чавунів (ГОСТ 1215-79): КЧ30-6, КЧ33-8, КЧ35-10, КЧ37-12, КЧ45-7 (попередні позначення КЧ45-6 за ГОСТ 1215-59), КЧ50-5 (КЧ50-4 за ГОСТ 1215-59), КЧ55-4 (КЧ56-4 за ГОСТ 1215-59), КЧ60-3 (КЧ63-2 за ГОСТ 1215-59), КЧ65-3, КЧ70-2, КЧ80-1,5.

Примітка: Позначення марки чавуну містить значення границі міцності в кг/мм² (МПа 10^{-1}) і відносне видовження в відсотках.

З чавунів феритного класу марок КЧ33-8, КЧ35-10 виготовляють фітинги, вентилі, радіаторні ніпелі, кронштейни, пневмокорпуси, фланці, муфти та ін.

Ковкі чавуни перлитного класу марок КЧ45-7, КЧ50-5, КЧ60-3, КЧ65-3, КЧ70-2, КЧ80-1,5 мають високу міцність, помірну пластичність і добрі антифрикційні властивості. З них виготовляють черв'ячні колеса, шестерні, поршні, втулки, муфти, шатуни, колінчасті й розподільні вали та ін.

Основні характеристики і властивості ковкого чавуну наведено у табл. 3.10-3.12.

Таблиця 3.10 Основні фізичні властивості ковкого чавуну залежно від класу виділок [21]

Тип чавуну	ρ , кг/м ³	α 293-373, 10^{-6} , 1/К	λ 293-373, Вт/(м·К)	γ 293-373, Дж/(кг·К)
Феритний	7200-7400	10,5-11,0	50-60	460-500
Перлитний	7300-7500	10,3-10,8	45-60	530-545

Таблиця 3.11. Основні механічні властивості ковкого чавуну [21, 22]

Марка чавуну	σ_B , МПа	$\sigma_{0.2}$, МПа	σ_B , МПа	$\sigma_{0.2}$, МПа	σ_{-1} , МПа	σ_{-1} , МПа	$E \cdot 10^{-5}$, МПа	δ , %	ψ , %	μ	НВ
не менше											
КЧ30-63	294	186	480	264	117	107	1,51	6	7	0,23	100-163
КЧ33-8	323	206	519	284	127	117	1,56	8	9	0,25	100-163
КЧ35-10	343	215	558	294	137	127	1,62	10	11	0,27	100-163
КЧ37-12	362	225	568	294	137	127	1,94	12	13	0,36	100-163
КЧ45-7	441	—	—	—	—	—	—	7	—	—	130-207
КЧ50-5	490	264	705	352	176	156	1,70	5	3,5	0,28	170-230
КЧ55-4	539	—	—	—	—	—	—	4	—	—	192-241
КЧ60-3	588	—	—	—	—	—	—	3	—	—	200-269
КЧ65-3	637	—	—	—	—	—	—	3	—	—	212-269
КЧ70-2	686	—	—	—	—	—	—	2	—	—	241-285
КЧ80-1,5	784	—	—	—	—	—	—	1,5	—	—	270-320

Таблиця 3.12. Основні фізичні властивості деяких марок ковкого чавуну [22]

Умовні позначення і одиниці виміру	Мінімальні значення по марках чавуну				
	КЧ30-6	КЧ33-8	КЧ35-10	КЧ37-12	КЧ50-5
ρ , кг/м ³	7200	7210	7220	7240	7300
λ , Вт/(м·К)	58,7	62,8	62,8	62,8	50,2
γ , Дж/(кг·К)	511	511	511	511	523

3.6. Чавун з кулястим графітом

Марки чавунів з кулястим графітом (ГОСТ 7293-85):

ВЧ35 (попередні позначення ВЧ38-17 за ГОСТ 7293-79 і ГОСТ 7293-70);

ВЧ40 (ВЧ42-12 за ГОСТ 7293-79 і ГОСТ 7293-70);

ВЧ45 (ВЧ45-5 за ГОСТ 7293-79 і ГОСТ 7293-70);

ВЧ50 (ВЧ50-7 за ГОСТ 7293-79, ВЧ50-2 за ГОСТ 7293-79 і ГОСТ 7293-70);

ВЧ60 (ВЧ60-2 за ГОСТ 7293-79 і ГОСТ 7293-70);

ВЧ70 (ВЧ70-2 за ГОСТ 7293-79, ВЧ70-3 за ГОСТ 7293-70);

ВЧ80 (ВЧ80-2 за ГОСТ 7293-79, ВЧ80-3 за ГОСТ 7293-70);

ВЧ100 (ВЧ100-2 і ВЧ120-2 за ГОСТ 7293-79, ВЧ100-4 і ВЧ120-4 за ГОСТ 7293-70).

Примітка: Позначення марки чавуну містить значення границі міцності в кг/мм² (МПа 10^{-1}). У попередніх позначеннях марки чавуну друге число вказує відносне видовження в відсотках.

Чавун з кулястим графітом використовують замість ковкого й сірого чавунів, вуглецевої сталі у деталях, які працюють при теплових ударах (максимальна температура циклу до 400-600 °С, мінімальна до мінус 100 °С), а також в умовах помірно агресивних газових і рідких середовищ (кислотних, содових, лужних), високого тиску, знакозмінних динамічних навантажень.

Більше половини світового виробництва чавуну з кулястим графітом витрачається на виготовлення відцентрових напірних труб і фітингів для води, нафти, агресивних рідких і газових середовищ.

З чавуну з кулястим графітом виготовляють також корпуси і кришки турбін, насосів, гідромоторів, автоклави, клапани, поршні, запірні й регулювальні арматура (тиск – до 4 МПа, температура – до 420 °С), конденсаторів-охолоджувачів, сушильних циліндрів, опорів, фланців (тиск – до 7 МПа, температура – від мінус 30 °С до плюс 340 °С).

Основні характеристики і властивості чавуну з кулястим графітом наведено у табл. 3.13-3.19.

Таблиця 3.13. Густина чавуну з кулястим графітом [21]

Матриця	ρ , кг/м ³
Феритна	7100-7200
Перлітна	7200-7300
Бейнітна	7250-7350

Таблиця 3.14. Фізичні властивості чавуну з кулястим графітом при різних температурах [21]

t , °C	c , кДж/(кг·K)	λ , Вт/(м ² ·K)	$\alpha \cdot 10^{-6}$, м ² /с	$\alpha \cdot 10^{-6}$, °C ⁻¹
20	-	-	10-12	-
100	-	-	-	-
150	-	31-39	-	12,43-13,57
200	-	-	9-11	-
250	0,559	-	-	12,30-13,96
300	-	-	-	-
350	0,548-0,553	-	-	11,96-14,42
400	-	30-38	7-8	-
450	0,553-0,559	-	-	13,27-15,05
500	-	-	-	-
550	0,586-0,624	-	-	11,66-15,78
600	0,641-0,729	-	5,5-6,5	-
650	0,762-1,009	-	-	11,66-15,33
700	1,001-1,252	-	-	12,19-15,13*
750	1,114-1,273	-	-	-
800	0,871-1,051	-	5,0-5,6	2,33-9,97**
850	0,758-0,825	-	-	20,00-33,88***
900	0,695-0,699	-	-	-
950	0,636-0,666	-	-	-
1000	0,595-0,649	-	-	-
1050	0,607-0,636	-	-	-
1200	0,565-0,599	-	-	-
1250	0,521-0,599	-	-	-
1300	0,544-0,607	-	-	-

Примітки:

* - значення коефіцієнта лінійного розширення в діапазоні температур 700 °C - $A_c^{H_1}$ ** - значення коефіцієнта лінійного розширення в діапазоні температур $A_c^{H_1} - A_c^{H_2}$ *** - значення коефіцієнта лінійного розширення в діапазоні температур $A_c^{H_2} - 900$ °C,де $A_c^{H_1}$; $A_c^{H_2}$ - температури, відповідно, початку й кінця евтектоїдного перетворення при нагріві, які залежать від структури матриць [21]

Таблиця 3.15. Механічні властивості чавуну з кулястим графітом (ГОСТ 7293-85 [21])

Марка чавуну	σ_B , МПа (не менше)	$\sigma_{0,2}$, МПа (не менше)	δ , % (не менше)	НВ
BЧ35	350	220	22	140-170
BЧ40	400	250	15	140-202
BЧ45	450	310	10	140-225
BЧ50	500	320	7	153-245
BЧ60	600	370	3	192-277
BЧ70	700	420	2	228-302
BЧ80	800	480	2	248-351
BЧ100	1000	700	2	270-360

Таблиця 3.16. Механічні властивості чавуну з кулястим графітом, що не передбачені ГОСТ 7293-85 [21]

Марка чавуну	Границя міцності, МПа				Границя текучості, МПа			
	при згині	при стику	при крутінні	при зрізі	при згині	при стику	при крутінні	при зрізі
BЧ35	700	1200	400	320	440	760	250	200
BЧ40	800	1400	420	340	540	930	280	230
BЧ45	850	1500	440	360	620	1100	320	260
BЧ50	900	1600	520	400	630	1120	360	280
BЧ60	1000	1800	600	450	660	1200	400	300
BЧ70	1100	2000	680	500	700	1280	440	320

Таблиця 3.17. Рекомендовані значення модуля пружності під час розгарту E для практичних розрахунків [21]

Марка чавуну	BЧ35, BЧ40	BЧ45	BЧ50, BЧ60	BЧ70	BЧ100
E, ГПа	160-165	165-170	170-175	175-180	180-190

Таблиця 3.18. Допустиме напруження у виділах [21]

Марка чавуну	Категорія наванта-	Допустимі напруження [σ], МПа при											
		роз- тяг	сти- ску	зрізі	згин для перерізів				крутіння для перерізів				
					K	X	II	Kop	K	X	II	Kop	
ВЧ35	1	110	340	90	200	185	175	150	115	90	80	80	
	2	73	220	65	125	117	110	90	80	60	55	55	
	3	55	170	50	90	85	80	60	60	45	40	40	
ВЧ40	1	127	420	105	245	230	215	170	125	100	85	85	
	2	85	280	76	150	140	130	110	90	70	60	60	
	3	65	210	60	110	100	95	80	70	55	45	45	
ВЧ45	1	150	500	120	280	260	250	210	145	115	100	100	
	2	95	320	84	165	155	145	120	100	80	70	70	
	3	70	240	65	120	110	105	80	80	60	55	55	

Продовження табл. 3.18

Марка чавуну	Категорія навантаження	Допустимі напруження $\sigma_{\text{д}}$, МПа при									
		розтяг	стиг	згин для перерізів				крутіння для перерізів			
				K	X	П	Kор	K	X	П	Kор
ВЧ50	1	160	510	125	290	270	255	165	130	110	110
	2	107	340	90	175	165	155	130	115	90	80
	3	80	260	70	125	115	110	90	90	70	60
ВЧ60	1	180	540	135	300	280	265	225	180	140	124
	2	120	360	95	185	175	165	130	125	100	85
	3	90	270	73	135	125	120	100	100	75	65
ВЧ70	1	205	580	145	320	300	285	240	195	155	135
	2	130	370	100	250	180	175	150	135	105	90
	3	95	275	78	200	140	130	110	105	80	70

Примітки:
 1) Категорії навантаження 1 – статичні; 2 – пульсуючі, що змінюються від нуля до максимуму; 3 – знакозмінне симетричне.
 2) Перерізи: K – круглий; X – хрестоподібний; П – прямокутний; Кор – виробачистий.

Таблиця 3.19. Утомна міцність чавуну з кулястим графітом [21]

Марка чавуну	Границя витривалості неонадрізаних зразків, МПа				
	при розтяг	при згині	при стику	при крутінні	при згині
ВЧ35	120	200	330	140	110
ВЧ40	140	240	460	160	130
ВЧ45	160	260	530	180	140
ВЧ50	180	280	570	200	150
ВЧ60	200	300	590	220	160
ВЧ70	210	330	600	230	170

3.7. Зносостійкий чавун

Зносостійкий чавун – це чавун, здатний чинити опір зношуванню в різних умовах.

Марки зносостійких чавунів (ГОСТ 7769-82):

низьколегований хромистий чавун ЧХ3Т;

хромисті чавуни ЧХ9Н5, ЧХ16, ЧХ16М2, ЧХ22, ЧХ28Д2, ЧХ32;

високолегований марганцевий чавун ЧГ7Х4;

низьколегований нікелевий чавун ЧН4Х2.

Низькохромисті чавуни, які леговані 3–5 % нікелем, заустя "ніхард".

Деталі із зносостійких чавунів використовують, коли термін їх служби визначається абразивним зношуванням. Із стійких проти спрацювання чавунів виготовляють подрібнювачі тіла, валки млинів, футеровку млинів,

барабани, торцевих кришок, завантажувальні й розвантажувальні патрубків, жолаба, футеровки борти живильників, відбійні стики, корпуси гідротранспорту, труби і коліна для гідротранспорту та ін.

Основні характеристики і властивості зносостійкого чавуну наведено у табл. 3.20–3.22.

Таблиця 3.20. Деякі фізичні властивості чавунів типу «ніхард» [21]

Властивості	Ніхард-1 Ніхард-2	Ніхард-4
Густина при 20 °С, ρ , кг/м ³	7600–7800	7750
Коефіцієнт лінійного розширення, $\alpha \cdot 10^{-6}$, К ⁻¹ в інтервалі температур, °С:		
10–95	8,1–9,0	–
100–100	–	14,8
20–200	–	15,2
10–260	11,3–11,9	–
30–300	12,2–12,8	15,8
10–425	–	–
Теплопровідність, λ , Вт/(м·К) в інтервалі температур, °С:		
20–100	14	12,6–15,0
120	14,5	–
450	19	–
Питома теплоємність при 20 °С, c , Дж/(кг·К)	–	450

Таблиця 3.21. Механічні властивості билих зносостійких чавунів після термічної обробки [21]

Марка чавуну	ЧН4Х2	ЧГ7Х4	ЧХ9Н5	ЧХ16	ЧХ22	ЧХ32	ЧХ23Д2
$\sigma_{\text{в}}$, МПа	200	150	350	350	290	390	390
$\sigma_{\text{т}}$, МПа	400	330	700	700	540	690	690

Таблиця 3.22. Механічні властивості чавунів типу «ніхард» після термічної обробки [21]

Марка чавуну	Тип ливарної форми	Твердість		$\sigma_{\text{в}}$, МПа	$\sigma_{\text{т}}$, МПа	Модуль пружності E, ГПа
		HB	HRC			
Ніхард-1	Піщана	550–650	53–61	490–610	275–345	172–187
	Кокіль	600–725	56–64	550–835	345–410	172–187
Ніхард-2	Піщана	525–625	52–59	550–665	315–380	172–187
	Кокіль	575–675	55–56	665–855	410–520	172–187
Ніхард-3	Піщана	550–700	53–63	600–735	490–590	–
	Кокіль	600–725	56–64	665–880	–	–

Примітка: Модуль пружності під час розгату визначається при випробуванні зразка діаметром 30 мм і відстані між отворами 300 мм.

3.8. Корозійостійкий чавун

Корозійостійкий чавун – це чавун, здатний чинити опір руйнуванню вислідок хімічної або електрохімічної взаємодії з корозійними середовищами.

ГОСТ 7769-82 встановлює такі марки корозійостійкого чавуну:

хромисті чавуни ЧХ22С, ЧХ28 та ЧХ32 (чавун ЧХ22 використовують при виготовленні деталей апаратури для концентрування азотної та фосфорної кислот, а також деталей печей; чавуни ЧХ28 та ЧХ32 використовують при виготовленні деталей, що працюють у середовищі SO_2 і SO_3 , у лугах, азотній кислоті, розчинах і розплавах солей до 1000°C , а також деталей печей для випалу колчедану);

високхромисті чавуни ЧС13, ЧС15, ЧС15М4, ЧС17, ЧС17М3 (чавуни ЧС13, ЧС15 та ЧС17 використовують для виготовлення деталей, що працюють в середовищі концентрованих і розведених кислот, розчинах солей, луг (крім фтористоводневих і фтористих з'єднань до 200°C); чавуни ЧС15М4 та ЧС17М3 мають особливо високу корозійну стійкість у сірчаній, азотній та соляній кислотах, водних розчинах луг та солей і використовуються для виготовлення компресорів, насосів, трубопроводної арматури, теплообмінних апаратів та іншої хімічної апаратури);

високонікелеві чавуни ЧН15Д3Ш, ЧН15Д7, ЧН19Х3Ш та ЧН11Г7Ш (використовують для виготовлення деталей, що працюють у контакті з лугами, слабкими розчинами кислот, сірчаної кислоти будь-якої концентрації (до 50°C для ЧН15Д3Ш та ЧН15Д7 та вище 600°C для ЧН19Х3Ш та ЧН11Г7Ш, які є також жароміцними), морською водою та у середовищі перегрітої пари).

Низьколеговані корозійостійкі чавуни марок ЧНХТ, ЧНХМД, ЧНМШ, ЧНХМДШ, СЧЦ-1, СЧЦ-2 використовують для виготовлення деталей кінцевих та газових компресорів, паперопереробних машин (ЧНМШ — для циліндрів останніх). Лугостійкий чавун СЧЦ-1 та СЧЦ-2 використовують як матеріал, стійкий у лугах та їх водних розчинах.

Основні характеристики і властивості корозійостійких чавунів наведено у табл. 3.23-3.24.

Таблиця 3.23. Фізичні властивості корозійостійких чавунів [21]

Марка чавуну	ρ , кг/м ³	λ , Вт/(м·К)	$\alpha \cdot 10^6$, 1/К
ЧХ28	7400-7600	17,6	9,4-10,0 (при 0-200°C)
ЧХ32			12,7-17,6 (при 50-500°C)
ЧС13	6750		3,6 (при 20-100°C) 4,7 (при 20-200°C)
ЧС15	6950	52,3	6,15 (при 20-300°C) 7,15 (при 20-400°C)
ЧС17	7150	52,3	7,75 (при 20-500°C) 9-10 (при 20-600°C)
ЧС15М4	6950		
ЧС17М3	7150		

Таблиця 3.24. Механічні властивості корозійостійких чавунів [21]

Марка чавуну	$\sigma_{\text{в}}$, МПа	$\sigma_{\text{т}}$, МПа	Марка чавуну	$\sigma_{\text{в}}$, МПа	$\sigma_{\text{т}}$, МПа
	(не менше)			(не менше)	
ЧХ22С	290	540	ЧН15Д7	Більше 150	
ЧХ28	370	560	ЧН19Х3Ш	340	
ЧХ32	290	490	ЧН11Г7Ш	390	
ЧС13	100	210	ЧНХТ	280	430
ЧС15	60	170	ЧНХМД	290	690
ЧС15М4	60	140	ЧНМШ	490	
ЧС17	40	140	ЧНДХМШ	600	
ЧС17М3	50	100			

3.9. Жаростійкий чавун

Жаростійкий (окислостійкий) чавун — це чавун, здатний чинити опір руйнуванню внаслідок хімічної взаємодії з газами при температурах до 1100°C .

Згідно з ГОСТ 7769-82 жаростійкий чавун повинен збільшувати масу в результаті окислення не більше $0,5 \text{ г/(м}^2 \cdot \text{рік)}$ і мати приріст маси не більше $0,2\%$ при температурі експлуатації протягом 150 годин.

До жаростійких відносять хромисті, кремнієві, алюмінієві чавуни з пластичним та кулястим графітом. Високонікелеві корозійостійкі та жароміцні чавуни також мають високу жаростійкість, хоч їх застосування як жаростійких обмежується через високу вартість і дефіцитність нікелю.

Згідно з ГОСТ 7769-82 використовується жаростійкий чавун таких марок:

алюмінієві чавуни ЧЮХШ, ЧЮ6С5, ЧЮ7Х2, ЧЮ22Ш та ЧЮ30 (чавун ЧЮХШ використовують у повітряному середовищі до 700°C для виготовлення деталей пічного устаткування, тонких котлів, газових компресорів. Чавун ЧЮ6С5 є жаростійким у повітряному середовищі до 800°C , стійким до різних змін температури; використовуються для виготовлення арматури, деталей цементних печей, хімічних апаратів. Чавун ЧЮ7Х2 стійкий у повітряному середовищі до 1100°C ; використовуються для деталей хімічного й нафтопереробного устаткування, пічної арматури, цементних печей. Чавун ЧЮ22Ш жаростійкий у повітряному середовищі до 800°C ; використовуються для виготовлення деталей печей для випалу колчедану та інших печей, топкової арматури. Чавун ЧЮ30 жаростійкий у повітряному середовищі до 1100°C , у середовищі, яке містить сірку й сірчаний газ, у середовищі топкових газів; використовуються для деталей термічних печей та печей для випалу колчедану);

хромисті чавуни: низькохромисті ЧХ1, ЧХ2, ЧХ3, жаростійкі у повітряному середовищі до 700°C та високохромисті чавуни ЧХ16, ЧХ28, ЧХ32 — до 1200°C ; використовуються для виготовлення пічної арматури, деталей пічного устаткування, в тому числі цементних печей та печей для випалу колчедану;

кремнієві чавуни ЧС5 та ЧСШ; використовуються для виготовлення деталей пичного устаткування. Чавун ЧС5 жаростійкий у середовищі топкових газів та в повітряному середовищі до 700 °С, а чавун ЧСШ – до 800 °С.

Основні характеристики і властивості жаростійких чавунів наведено у табл.3.25–3.29.

Таблиця 3.25. Фізичні властивості алюмінієвих чавунів ЧЮ7Х2 та ЧЮ30 (у чисельнику – чавуну ЧЮ7Х2, а в знаменнику – ЧЮ30) [21]

Параметр	Температура, °С								
	20	100	200	300	400	300	600	700	800
$E \cdot 10^4$, МПа	10,70 13,61	10,20 13,18	9,50 12,62	8,30 12,05	8,15 11,49	7,45 10,98	— 10,38	—	—
ρ , кг/м ³	6880 5500	6660 5480	6630 5440	6600 5410	6560 5380	6520 5300	6490 5300	6460 —	— 5210
λ , Вт/(м·К)	339 147	331 155	318 167	310 176	301 184	289 197	281 205	272 214	—
c , Дж/(кг·К)	—	454 599	511 624	532 641	557 662	585 —	653 716	733 —	— 804
$\alpha \cdot 10^6$, 1/К	—	148 185	148 187	151 190	153 195	157 201	160 207	163 214	—

Примітка: Фізичні властивості чавунів ЧС5 та ЧСШ: $\rho = 7700\text{--}7000$ кг/м³, $\alpha = (14\text{--}17) \cdot 10^{-6}$, 1/К в інтервалі 0–900 °С.

Таблиця 3.26. Механічні властивості алюмінієвих чавунів [21]

Марка чавуну	ЧЮХШ	ЧЮ6С5	ЧЮ7Х2	ЧЮ2Ш	ЧЮ30
σ_B , МПа	390	120	120	290	200
$\sigma_{0.2}$, МПа	590	240	170	490	350

Таблиця 3.27. Механічні властивості чавуну ЧЮ2Ш при підвищенні температур [21]

Механічні властивості при температурі, °С												
20	500	600	700	800	1000							
σ_B , МПа	σ_B , МПа	σ_B , МПа	$\sigma_{0.2}$, МПа	σ_B , МПа	δ , %	σ_B , МПа	$\sigma_{0.2}$, МПа	δ , %	σ_B , МПа	$\sigma_{0.2}$, МПа	δ , %	ψ , %
378	388	322	298	310	2,8	145	140	9,0	25	23	32,4	38,6
368	—	365	292	307	2,0	168	162	2,9	27	25	28,5	32,3
374	296	274	—	262	—	174	172	8,9	34	32	56,3	58,4
358	427	408	—	337	0,7	192	164	3,3	68	66	4,4	9,2

Таблиця 3.28. Механічні властивості хромистих чавунів [21]

Марка чавуну	ЧХ1	ЧХ2	ЧХ3	ЧХ16	ЧХ28	ЧХ32
σ_B , МПа	170	150	150	350	370	290
$\sigma_{0.2}$, МПа	350	310	310	700	560	490

Таблиця 3.29. Механічні властивості кремнієвих чавунів [21]

Марка чавуну	σ_B , МПа, при температурі, °С				
	20	500	600	700	800
ЧС5	150 (не менше)	118	98	49	19
ЧСШ	290 (не менше)	440	382	118	39

Примітка: Згідно з ГОСТ 7769–82 використовувалася жаростійкий чавун марок: ЖЧХ, ЖЧХ2, ЖЧХ3, ЖЧХ16, ЖЧХ30, ЖЧСШ, ЖЧСХШ, ЖЧОХ2, ЖЧО6С5, ЖЧО22, ЖЧО2Ш та ЖЧО30.

3.10. Жароміцний чавун

Жароміцний чавун – це чавун, здатний чинити опір за умов підвищених температур до 650 °С короткочасній та тривалій дії зовнішніх навантажень, які викликають деформацію та руйнування.

ГОСТ 7769–82 встановлює наступні марки жароміцного чавуну: ЧН1Г7Ш та ЧН19Х3Ш (чавуни цих марок є також корозійостійкими).

Жароміцні чавуни використовують для виготовлення деталей, що працюють у лужних середовищах, розведених розчинах кислот, солевих розчинах (тільки ЧН19Х3Ш), а також деталей для кріогенної техніки.

Основні характеристики і властивості жароміцних чавунів наведено у табл.3.30–3.32.

Таблиця 3.30. Фізичні властивості жароміцного чавуну [21]

Марка чавуну	ρ , кг/м ³	c , Дж/(кг·К)	λ , Вт/(м·К)	$\alpha \cdot 10^6$, 1/К
ЧН1Г7Ш	7400–7800	110–200	—	—
ЧН19Х3Ш	7400–7800	110–200	—	17–19

Таблиця 3.31. Механічні властивості жароміцного чавуну [21]

Марка чавуну	σ_B , МПа			$\sigma_{0.2}$, МПа		δ , %		КС, кг/дм ²	Е, ГПа
	20 °С	600 °С	600 °С	20 °С	600 °С	20 °С	600 °С		
ЧН1Г7Ш	350	300	180	4	2	2	2	110	—
ЧН19Х3Ш	340	250	180	4	10	2	2	120	—

Таблиця 3.32. Тривала міцність та швидкість повзучості жароміцного чавуну [21]

Марка чавуну	σ_B , МПа при 600 °С та 1000 год роботи до руйнування	Швидкість повзучості, %/год при напруженні
ЧН19Х3Ш	120	$1,0 \cdot 10^{-4}$
ЧН19Х3Ш*	120	$2,0 \cdot 10^{-4}$
ЧН1Г7Ш	120	$1,8 \cdot 10^{-4}$

Примітка: * – швидкість повзучості визначена при 700 °С та напруженні 30 МПа.

3.11. Антифрикційний чавун

Антифрикційний чавун – це чавун з низьким коефіцієнтом тертя та здатністю до схоплювання.

ГОСТ 1585-85 встановлює такі марки антифрикційного чавуну: АЧС-1, АЧС-2, АЧС-3, АЧС-4, АЧС-5, АЧС-6, АЧВ-1, АЧВ-2, АЧК-1, АЧК-2 (в позначенні марки: АЧ – антифрикційний чавун, С – сірий з пластинчастим графітом, В – з кулястим графітом, К – ковкий з компактным графітом, цифра – порядковий номер марки).

Основними факторами, які враховуються при виборі марки антифрикційного чавуну, є умови роботи (табл.3.33).

Таблиця 3.33. Призначення та режими роботи деталей з антифрикційного чавуну [21]

Марка чавуну	Призначення роботи:	Граничні режими роботи		
		Тиск p , МПа	Швидкість ковзання v , м/с	$F\tau$, МПа(кгс)
АЧС-1	Для роботи в парі з загартованим чи нормалізованим валом	5,0 14,0	5,0 0,3	12,0 2,5
АЧС-2	Те саме, що і для АЧС-1	10,0 0,1	0,3 3,0	2,5 0,3
АЧС-3	Те саме, що і для АЧС-1, або в парі з валом, що не піддавався термообробці	0,6	1,0	5,0
АЧС-4	Те саме, що і для АЧС-1	15,0	5,0	40,0
АЧС-5	Для роботи в особливо навантажених вузлах тертя в парі з загартованим чи нормалізованим валом	20,0-30,0	1,0-0,4	20,0-12,5
АЧС-6	Для роботи у вузлах тертя до 300°C у парі з валом, що не піддавався термообробці	9,0	4,0	9,0
АЧВ-1	Для роботи у вузлах тертя з підвищеними коловими швидкостями у парі з загартованим або нормальним валом	1,5-20,0	10,0-1,0	12,0-20,0
АЧВ-2	Для роботи у вузлах тертя з підвищеними коловими швидкостями у парі з валом, що не піддавався термообробці	1,0-12,0	5,0-1,0	3,0-12,0
АЧК-1	Те саме, що і для АЧС-1	20,0	2,0	20,0
АЧК-2	Те саме, що і для АЧС-3	0,5-12,0	5,0-1,0	2,5-12,0

У таблиці 3.34 наведені значення коефіцієнта тертя ковзання різних антифрикційних сплавів по сталі, а у таблиці 3.35 – значення твердості виливків з антифрикційного чавуну.

Таблиця 3.34. Коефіцієнт тертя ковзання антифрикційних сплавів по сталі [21]

Вид сплава	Коефіцієнт тертя ковзання	
	з мастилом	без мастила
Антифрикційний чавун	0,004-0,100	0,12-0,80
Баббін	0,004-0,009	0,24-0,44
Олов'янисті бронзи	0,005-0,014	0,10-0,30
Безолов'янисті бронзи	0,009-0,017	0,20-0,70
Алюмінієві бронзи	0,004-0,016	0,18-0,30

Таблиця 3.35. Твердість виливків з антифрикційного чавуну [21]

Марка чавуну	Твердість НВ
АЧС-1	180-262
АЧС-2	180-229
АЧС-3	160-190
АЧС-4	180-229
АЧС-5	180-290 (у литому стані) 140-180 (після загартування)
АЧС-6	100-120
АЧВ-1	210-260
АЧВ-2	167-197
АЧК-1	187-262
АЧК-2	167-197

4. ПОЗНАЧЕННЯ МАТЕРІАЛУ НА КРЕСЛЕННЯХ ДЕТАЛЕЙ. НАНЕСЕННЯ НА КРЕСЛЕННЯХ ТЕРМІЧНОЇ ОБРОБКИ

4.1. Загальні відомості про позначення матеріалу на кресленнях деталей

На кожну деталь виконують окреме креслення на аркушах форматів за ГОСТ 2.301-68. Основний наліс креслення повинен відповідати ГОСТ 2.104-68.

В основному наліси показують умовне позначення матеріалу, яке має відповідати його позначенню, що наведене в стандарті на цей матеріал, з тією повнотою, яка необхідна в кожному окремому випадку.

Умови позначення матеріалів підрозділяються на дві групи: позначення, які містять тільки якісну характеристику матеріалу деталі, і позначення, які містять не тільки якісну характеристику матеріалу деталі, але й характеристику профілю сортового матеріалу, з якого виготовляється деталь.

У першому випадку позначення матеріалу складається з назви матеріалу, його марки та номера стандарту, наприклад: "Сталь 45 ГОСТ 1050-88". Якщо в позначення входить скорочена назва матеріалу ("Ст", "СЧ" та

ін.), то повні назви "Сталь", "Сірий чавун" тощо писати не треба, наприклад: "Ст3 ГОСТ 380-94".

У другому випадку позначення містить наступні відомості про сортовий матеріал: найменування сортового матеріалу, розмірна та якісна характеристики профілю, номер стандарту, у якому викладені всі вимоги до даного профілю.

Залежно від того, які відомості містяться в стандарті, який характеризує якість матеріалу і в стандарті, який характеризує сортовий матеріал, умовні позначення сортових матеріалів поділяються на три типи:

1) Якщо в стандарті, який характеризує якість матеріалу, містяться і технічні вимоги до виготовленого з нього сортаменту, то в умовних позначеннях вказується номер стандарту сортового матеріалу й номер стандарту, у якому викладена якісна характеристика матеріалу.

Так, наприклад, умовне позначення сталі гарячекатаної, квадратної, із стороною квадрата 100 мм, звичайної точності прокатки (В) за ГОСТ 2591-88, марки 30, для гарячої обробки - підгрупи а, категорії 2:

$$\frac{100 - \text{В ГОСТ 2591-88}}{\text{Квадрат}} \\ 30 - \text{а} - 2 \text{ ГОСТ 1050-88}$$

2) Якщо технічні вимоги до сортового матеріалу викладені в окремому стандарті, то в умовному позначенні вказуються номер стандарту сортового матеріалу й номер стандарту технічних вимог. Марка матеріалу вказується в позначенні без посилання на номер стандарту, тому що останній обумовлений у стандарті, який встановлює технічні вимоги.

Наприклад, умовне позначення кутка рівнополічного розміром 50х50х3 мм за ГОСТ 8509-93 із сталі Ст3 ГОСТ 380-94, звичайної точності (Б), що поставляється за технічними вимогами ГОСТ 535-88:

$$\frac{\text{Б} - 50 \times 50 \times 3 \text{ ГОСТ 8509-93}}{\text{Уголок}} \\ \text{Ст3 ГОСТ 535-88}$$

3) Якщо в стандарті на сортовий матеріал викладені й технічні вимоги, то в умовному позначенні вказується тільки номер стандарту на сортовий матеріал. Марка матеріалу вказується в позначенні без посилання на номер стандарту, останній оговорений у стандарті на сортовий матеріал.

Наприклад, умовне позначення стрічки заготовки 2 мм, шириною 50 мм за ГОСТ 6009-74, із сталі Ст2 ГОСТ 380-94:

$$\text{Лента 2 \times 50 Ст2 ГОСТ 6009-74.}$$

Якщо для виготовлення деталі можливо використати замінник ниб-

раного матеріалу, це записують у технічних вимогах. В основному написи вказують не більше одного матеріалу.

Нижче наведені приклади позначення сталей та чавунів в основному написі креслення деталі.

4.2. Чавун

Приклади позначення сірого й ковкого чавунів:

$$\text{СЧ 20 ГОСТ 1412-85;} \\ \text{КЧ 30-6 ГОСТ 1215-79.}$$

4.3. Сталеві виливки

Приклади позначень
виливки із сталі марки 25Л групи I

$$\text{Отливка 25Л-I ГОСТ 977-88;}$$

виливки із сталі 30ХГСФЛ при поточно-масовому конструктивному виробництві:

$$\text{Отливка 30ХГСФЛ ГОСТ 977-88.}$$

4.4. Сталь вуглецева, конструкційна та інструментальна

Приклад позначення сталі вуглецевої звичайної якості (технічні вимоги на цю сталь викладені в ГОСТ 535-88):

$$\text{Ст 3 ГОСТ 380-94.}$$

Сталь вуглецева якісна конструкційна:

$$\text{Сталь 10 ГОСТ 1050-88.}$$

Сталь легована конструкційна:

$$\text{Сталь 40ХН2МА ГОСТ 4543-71.}$$

Інструментальна вуглецева сталь:

$$\text{Сталь У8 ГА ГОСТ 1435-90.}$$

4.5. Сталь прокатна

Сортамент сталей різного профілю визначається наступними стандартами:

$$\begin{array}{ll} \text{ГОСТ 2590-88} & \text{Прокат листовий гарячекатаний круглий. Сортамент;} \\ \text{ГОСТ 2591-88} & \text{Прокат листовий гарячекатаний квадратний. Сортамент;} \end{array}$$

ГОСТ 1133-71	Сталь кованая круглая и квадратная. Сортамент;
ГОСТ 2879-88	Прокат стальной горячекатаный шестигранный. Сортамент;
ГОСТ 103-76	Полоса стальная горячекатаная. Сортамент;
ГОСТ 7417-75	Сталь калиброванная круглая. Сортамент;
ГОСТ 8559-75	Сталь калиброванная квадратная. Сортамент;
ГОСТ 2560-78	Прокат калиброванный шестигранный. Сортамент;
ДСТУ 2251-93 (ГОСТ 8509-93)	Кутики сталеві гарячекатані рівнополічні. Сортамент;
ГОСТ 8510-86	Углки стальные горячекатаные неравнополочные. Сор- тамент;
ГОСТ 8240-89	Швеллеры стальные горячекатаные. Сортамент;
ГОСТ 8239-89	Двутавры стальные горячекатаные. Сортамент;
ГОСТ 7350-77	Сталь толстолистовая коррозионно-стойкая, жаростойкая и жа- ропрочная. Технические условия;
ГОСТ 19903-74	Прокат листовой горячекатаный. Сортамент;
ГОСТ 19904-90	Прокат листовой холоднокатаный. Сортамент;
ГОСТ 8732-78	Трубы стальные бесшовные горяччеформованные. Сортамент;
ГОСТ 9940-81	Трубы бесшовные горяччеформованные из коррозио- стойкой стали. Технические условия;
ГОСТ 550-75	Трубы стальные бесшовные для нефтеперерабатывающей и нефтехимической промышленности. Технические условия;
ГОСТ 10704-91	Трубы стальные электросварные прямошовные. Сортамент;
ГОСТ 10707-80	Трубы стальные электросварные холодногнутые и деформиро- ванные. Технические условия;
ГОСТ 11068-81	Трубы электросварные из коррозионно-стойкой стали. Техниче- ские условия.

Приклади позначень:

1) прокат горячекатаный крупный диаметром 30 мм, обычной точ-
ности прокатки (В), II класса кривизны за ГОСТ 2690-88, из стали марки Ст3,
группы II:

$$\text{Круг} \frac{30\text{-В ГОСТ 2590-88}}{\text{Ст3-II ГОСТ 535-88}};$$

2) прокат горячекатаный кутовый равнополочный размером 45-45-3
мм, высокой точности прокатки (А) за ГОСТ 8509-86, из стали марки Ст3, з
гарантиєю зварюваності (св):

$$\text{Уголок} \frac{45\text{-}45\text{-}3\text{-А ГОСТ 8509-86}}{\text{Ст3-св ГОСТ 535-88}};$$

3) двотавр горячекатаный номер 30 за ГОСТ 8239-86, підвищеної
точності (В), із сталі марки Ст3:

$$\text{Двутавр} \frac{30\text{-В ГОСТ 8239-86}}{\text{Ст3 ГОСТ 535-88}};$$

4) двотавр номер 30 за ГОСТ 8239-86, із сталі підвищеної міцності
(класу міцності 345):

$$\text{Двутавр} \frac{30 \text{ ГОСТ 8239-86}}{345 \text{ ГОСТ 535-88}};$$

5) прокат горячекатаный швеллер номер 20 з паралельними гранями
полиць (П) за ГОСТ 8240-89, із сталі підвищеної міцності (класу міцності
315):

$$\text{Швеллер} \frac{30\text{-П ГОСТ 8240-89}}{315 \text{ ГОСТ 19281-89}};$$

6) прокат горячекатаный кутовый нерівнополічний розміром 63-40-4
мм, звичайної точності прокатки (В) за ГОСТ 8510-86, із сталі підвищеної
міцності (класу міцності 345):

$$\text{Уголок} \frac{63\text{-}40\text{-}4\text{-В ГОСТ 8510-86}}{345 \text{ ГОСТ 19281-89}};$$

7) прокат горячекатаный крупный диаметром 40 мм, звичайної точ-
ності прокатки (В) за ГОСТ 2590-90, першої групи (I), із сталі підвищеної
міцності (класу міцності 345):

$$\text{Круг} \frac{40\text{-В ГОСТ 2590-90}}{345\text{-I ГОСТ 19281-89}};$$

8) прокат горячекатаный квадратный, зі стороною квадрата 50 мм,
звичайної точності прокатки (В) за ГОСТ 2591-88, із сталі підвищеної
міцності (класу міцності 315):

$$\text{Квадрат} \frac{50\text{-В ГОСТ 2591-88}}{315 \text{ ГОСТ 19281-89}};$$

9) прокат листовой, нормализованный, розміром 8-1100-5000 мм, підви-
щеної точності (А), високої площинності (ПВ), з обрізним пругом (О) за
ГОСТ 19903-74, із сталі підвищеної міцності 10ХСНД (класу міцності 390):

8-1100-5000 А-ПВ-О ГОСТ 19903-74
Лист —————
390-10СНД ГОСТ 19281-89

10) прокат гарячекатаний листовий, розміром 2-1000-2000 мм, підвищеної точності (А), нормальної площинності (ПН), з обрізним пругом (О) за ГОСТ 19903-74, групи міцності К270В, категорії 4, підвищеного оздоблення поверхні (П) із сталі марки 08пс з гарантією зварюваності (св):

А-ПН-О-2-1000-2000 ГОСТ 19903-74
Лист —————
К270В4-П-08пс-св ГОСТ 16583-89

11) прокат гарячекатаний листовий, високої точності по товщині (ВТ), підвищеної точності за шириною (АШ), нормальної точності за довжиною (БД), покращеної площинності (ПШ), з обрізним пругом (О), розміром 1-1000-2000 мм за ГОСТ 19904-90, групи міцності К270В, категорії 6, високого оздоблення поверхні (П), глибокої витяжки (Г):

ВТ-АШ-БД-П-Ц-1-1000-2000 ГОСТ 19904-90
Лист —————
К270В6-П-Г ГОСТ 16583-89

12) лист підвищеної точності (А), особливо високої площинності (ПО), з обрізним пругом (О), розмірами 8-1500-12000 мм за ГОСТ 19903-74, із сталі Ст3 за ГОСТ 14637-89:

А-ПО-О-8-1500-12000 19903-74
Лист —————
Ст3 ГОСТ 14637-89

13) лист підвищеної точності (А), з необрізним пругом (НО), розмірами 10-1500 мм за ГОСТ 19903-74, із сталі Ст3 за ГОСТ 14637-89:

А-НО-10-1500 19903-74
Лист —————
Ст3 ГОСТ 14637-89

14) труба із зовнішнім діаметром 70 мм, товщиною стінки 3,5 мм, номірної довжини, із сталі марки 10, виготовленої за групою Б (з нормуванням хімічного складу, із звичайним вмістом марганцю)

70-3,5 ГОСТ 8240-89
Труба —————
Б10 ГОСТ 8731-87

15) те саме, що і у прикладі 4, довжини 6000 мм (мірна довжина), із сталі марки Ст4сп, категорії сталі 1:

70-3,5-6000 ГОСТ 8732-78
Труба —————
Б Ст4сп ГОСТ 8731-87

16) труба із внутрішнім діаметром 70 мм (решта – те саме, що і у попередньому прикладі)

вн 70-3,5-6000 ГОСТ 8732-78
Труба —————
Б Ст4сп ГОСТ 8731-87

17) труба безшовна гарячедеформована із сталі 08Х18Н10Т із зовнішнім діаметром 76 мм, товщиною стінки 5 мм, звичайної точності виготовлення, номірної довжини:

Труба 76-5 – 08Х18Н10Т ГОСТ 9940-81,

18) те саме, що і в прикладі 7, але з високою точністю виготовлення

Труба 76-5-6 – 08Х18Н10Т ГОСТ 9940-81;

19) те саме, що і в прикладі 7, але мірної довжини 3000 мм

Труба 76-5х3000 – 08Х18Н10Т ГОСТ 9940-81;

20) труба холоднодеформована із сталі 12Х18Н10Т із зовнішнім діаметром 25 мм, товщиною стінки 2 мм, звичайної точності виготовлення, номірної довжини

Труба 25-2 – 12Х18Н10Т ГОСТ 9941-81;

21) те саме, що і в прикладі 10, підвищеної точності виготовлення по діаметру і високої точності виготовлення по товщині стінки, мірної довжини 3000 мм

Труба 25-2-3000 – 12Х18Н10Т ГОСТ 9941-81;

22) труба сталева електроварена прямошовна із зовнішнім діаметром 25 мм, товщиною стінки 2 мм, довжиною кратною 2000 мм, І класу точності по довжині, із сталі Ст3сп, виготовленої за групою В ГОСТ 10705-80

25-2-2000 кр І ГОСТ 10704-91
Труба —————
В – Ст3сп ГОСТ 10705-80

23) те саме, що і в прикладі 12, але термооброблена

25-2-2000 кр І ГОСТ 10704-91
Труба Т —————
В – Ст3сп ГОСТ 10705-80

24) труба електроварна із сталі 12Х18Н10Т із зовнішнім діаметром 25 мм і товщиною стінки 2 мм

Труба 25-2 12Х18Н10Т ГОСТ 11068-81;

25) труба безшовна холоднодеформована із сталі марки 20 з зовнішнім діаметром 70 мм, товщиною стінки 2 мм, довжиною 6000 мм, з поставкою за механічними властивостями й хімічним складом (група В) ГОСТ 8733-87

*70-2-6000 ГОСТ 8734-75
Труба —————
В 20 ГОСТ 8733-87*

26) те саме, що і в прикладі 15, але немірної довжини й поставкою без нормування механічних властивостей і хімічного складу але з вказанням величини гідралічного тиску (група Д) ГОСТ 8733-87

*70-2 ГОСТ 8734-75
Труба —————
Д 20 ГОСТ 8733-87*

27) труба безшовна для нафтопереробної й нафтохімічної промисловості холоднодеформованої або теплодеформованої з зовнішнім діаметром 25 мм, товщиною стінки 2 мм, із сталі марки 15Х5М мірної довжини (група А)

Труба А-25-2-9000 - 15Х5М ГОСТ 550-75;

28) труба безшовна для нафтопереробної й нафтохімічної промисловості гарячедеформованої з зовнішнім діаметром 219 мм, товщиною стінки 10 мм, із сталі марки 15Х5ВФ немірної довжини (група Б)

Труба Б-219-10 - 15Х5ВФ ГОСТ 550-75;

29) труба сталева електроварна холоднолягнута або холоднокатана із зовнішнім діаметром 20 мм, товщиною стінки 2 мм, мірної довжини 6000 мм, із сталі марки 20, виготовленої за групою Б ГОСТ 8733-87

*20-2-6000 ГОСТ 10707-80
Труба —————
Б 20 ГОСТ 8733-87*

4.6. Нанесення на кресленнях термічної обробки

Виріб у цілому або його частина (частини) можуть підлягати термічній обробці. Показники властивостей матеріалу виробів в цьому випадку

приводять в технічних вимогах креслення.

Якщо термообробці підлягають окремі ділянки виробу, то їх обводять стовпцевою штрих-пунктирною лінією на відстані 0,8-1 мм від лінії контура й показники проставляють на полиці ліній-виноски, проведеної від штрих-пунктирної лінії.

Поверхню або ділянку виробу, які визначаються терміном або технічними поняттям, дозволяється не обводити стовпцевою штрих-пунктирною лінією, в робити запис у технічних умовах по типу "Хвостовик h 0,8...1 мм; 48...52 HRC" або "Поверхня А - 45...50 HRC".

У позначенні вказують такі показники: твердість за Роквеллом (HRC, HRB, HRA), твердість за Брінелем (HB), твердість за Віккерсом (HV), границю міцності (σ_s), границю пружності (σ_p), ударну в'язкість (KCU, KCV, KCT), глибину обробки (h) та ін.

Значення показників властивостей матеріалу вказують граничними значеннями (наприклад: h 0,7...0,9; 40...46 HRC) або номінальними значеннями з граничними відхиленнями (наприклад: h 0,8 $\pm$ 0,1; 43 $\pm$ 3 HRC). Дозволяється вказувати на позначенні знаки $\geq$ або $\leq$ (наприклад, $\sigma_s \geq 150$ МПа).

При позначенні твердості спочатку вказують числове значення, а потім літери, що позначають метод визначення твердості.

При необхідності в зоні твердості, що вимірюється, вказують місце випробування твердості.

Дозволяється вказувати на кресленні види обробки, якщо вони є єдиними, що гарантують необхідні властивості, або якщо їх результат не підлягає контролю. У цьому випадку використовують термини або умовні скорочення, які прийняті в технічній літературі (наприклад, азотування, цементування, відпал, струмами високої частоти (СВЧ) та ін.).

Якщо більшу частину поверхні піддають одному виду обробки, а інші поверхні - іншому або запобігають від обробки, то в технічних вимогах роблять запис за типом "40...45 HRC, крім поверхні А" або "30...35 HRC, крім місця, позначеного особливо". За необхідністю на кресленні вказують розміри ділянки, що підлягає обробці.

Якщо у виробі властивості матеріалів різних поверхонь різні, то їх вказують окремо для кожної ділянки.

Симетричні ділянки або поверхні, що підлягають однакової обробці, обводять стовпцевою штрих-пунктирною лінією, але показники властивостей вказують один раз.

Якщо напис з вказанням властивостей і розмірів оброблюваної ділянки затруднюють читання креслення, дозволяється приводити їх на додатковому спрощеному зображенні, яке виконане у зменшеному масштабі.

ЛІТЕРАТУРА

- 1) ДСТУ 2651-94 (ГОСТ 380-94) Сталь вуглецева звичайної якості.
- 2) Нікітін Г. А., Віноградов В. А. Сварные конструкции: Расчет и проектирование. Учебник для вузов / Под ред. Г. А. Нікітіна. — М.: Высш. шк., 1990. — 446 с.
- 3) Справочное пособие по расчету машиностроительных конструкций на прочность / А. А. Лебедев, Б. И. Ковальчук, С. З. Уманский и др. — К.: Техника, 1990. — 240 с.
- 4) ГОСТ 1650-88 Прокат сортовой, калиброванный, со специальной отделкой поверхности из углеродистой качественной конструкционной стали.
- 5) ГОСТ 5520-79 Сталь листовая углеродистая низкого легирования и легированная для котлов и сосудов, работающих под давлением. Технические условия.
- 6) ГОСТ 19281-89 Прокат из стали повышенной прочности. Общие технические условия.
- 7) ГОСТ 4543-71 Прокат из легированной конструкционной стали. Технические условия.
- 8) ГОСТ 20072-74 Сталь теплоустойчивая. Технические условия.
- 9) ГОСТ 5632-72 Сталь высоколегированная и стали коррозионностойкие, жаростойкие и жаропрочные. Марки.
- 10) Орлов Л. И. Основы конструирования. — М.: Машиностроение, 1977. — Т. I. — 623 с.
- 11) Справочник по сопротивлению материалов / Г. С. Писаренко, А. П. Яковлев, В. В. Матвеев; Отв. ред. Писаренко Г. С. — 2-е изд., перераб. и доп. — К.: Наук. думка, 1988. — 736 с.
- 12) Биргер И. А., Маштозов Р. Р. Сопротивление материалов: Учеб. пособие. — М.: Наука, 1986. — 500 с.
- 13) ГОСТ 14249-89 Сосуды и аппараты. Нормы и методы расчета на прочность.
- 14) ОСТ 26-373-78 Сосуды и аппараты. Нормы и методы расчета на прочность.
- 15) ГОСТ 24757-81 Сосуды и аппараты. Нормы и методы расчета на прочность. Аппараты колонного типа.
- 16) ГОСТ 25215-82 Сосуды и аппараты высокого давления. Обечайки и днища. Нормы и методы расчета на прочность.
- 17) ГОСТ 26303-84 Шпильки. Методы расчета на прочность.
- 18) ДНАОП 0.00-1.07-94 Прощан будова та безпечної експлуатації посудин, що працюють під тиском.
- 19) ГОСТ 26159-84 Сосуды и аппараты чугунные. Нормы и методы расчета на прочность. Общие требования.
- 20) Келогов Ю. П., Захаревич К. М., Карташевская М. И. Металлы и сплавы. — 2-е изд., испр. и перераб. — Киев: Картэ Модерністична, 1977. — 264 с.
- 21) Чугун: Справ. изд. / Под ред. А. Д. Шеремета и А. А. Жукова. — М.: Металлургия, 1991. — 576 с.
- 22) Материалы в машиностроении: Справочник в 5-ти т. / Под ред. А. А. Жукова и А. Д. Шеремета. — Т. 4. Чугун. — М.: Машиностроение, 1969. — 248 с.
- 23) ОСТ 26-291-87 Сосуды и аппараты стальные сварные. Общие технические условия.
- 24) ГОСТ 14637-89 Прокат толстолистовой из углеродистой стали обыкновенного качества.
- 25) ГОСТ 535-88 Прокат сортовой и фасонный из стали углеродистой обыкновенного качества. Общие технические условия.

- 26) ГОСТ 7350-77 Сталь толстолистовая коррозионностойкая, жаростойкая и жаропрочная. Технические условия.
- 27) ГОСТ 5949-75 Сталь сортовая и калиброванная коррозионностойкая, жаростойкая и жаропрочная. Технические условия.
- 28) ГОСТ 10706-76 Трубы стальные электросварные прямошовные. Технические требования.
- 29) ГОСТ 550-75 Трубы стальные бесшовные для нефтеперерабатывающей и нефтехимической промышленности.
- 30) ГОСТ 9940-81 Трубы бесшовные горячедеформированные из коррозионностойкой стали. Технические условия.
- 31) ГОСТ 9941-81 Трубы бесшовные холодно- и теплодеформированные из коррозионностойкой стали. Технические условия.
- 32) ГОСТ 977-88 Отлиски сталевые. Общие технические условия.
- 33) Марочник сталей и сплавов / В. Г. Сорокин, А. В. Волосинкова, С. А. Ваткин и др.; Под общ. ред. В. Г. Сорокина. — М.: Машиностроение, 1989. — 640 с.
- 34) ГОСТ 8479-70 Поковки из конструкционной углеродистой и легированной стали. Общие технические условия.
- 35) ГОСТ 19903-74 Прокат листовой горячекатаный. Сортеммент.
- 36) ГОСТ 19904-90 Прокат листовой холоднокатаный. Сортеммент.

ЗМІСТ

ВСТУП	3
ОСНОВНІ ПОЗНАЧЕННЯ, ЯКІ ВИКОРИСТОВУЮТЬСЯ В ПІСІБНИКУ	4
1. ОСНОВНІ ФІЗИКО-МЕХАНІЧНІ ВЛАСТИВОСТІ МЕТАЛІВ І СПЛАВІВ	7
1.1. Характеристики матеріалу, які визначаються при випробуванні на розтяг	7
1.2. Механічні характеристики матеріалу, які визначаються при високій температурі	10
1.3. Твердість	10
1.4. Залежність механічних властивостей металів і сплавів від впливу різних факторів	12
1.5. Зварюваність	13
1.6. Оброблюваність різанням	14
1.7. Корозійна стійкість	15
2. СТАЛІ	16
2.1. Класифікація сталей	16
2.2. Вуглецеві сталі	17
2.2.1. Вуглецеві сталі звичайної якості	17
2.2.2. Якісні вуглецеві сталі	20
2.3. Легована сталь	22
2.4. Вимоги до матеріалу	23
2.4.1. Загальні вимоги	23
2.4.2. Сталь листовая	27
2.4.3. Труби	28
2.4.4. Поковки	29
2.4.5. Витяжки	30
2.4.6. Сортова сталь	31

2.5. Вимоги до термічного оброблення	31
2.6. Рекомендовані марки й механічні властивості листової сталі	35
2.7. Рекомендовані марки й механічні властивості труб	61
2.8. Рекомендовані марки й механічні властивості поковок	71
2.9. Рекомендовані марки й механічні властивості виливків	78
2.10. Рекомендовані марки й механічні властивості сортового й фасонного прокату	81
2.11. Нормативні параметри й допустимі напруження	90
2.11.1. Товстостінні посудини та апарати	90
2.11.2. Сталеві фланці з'єднання, що працюють під дією внутрішнього тиску	106
2.11.3. Опори рухомих апаратів	107
2.11.4. Посудини та апарати високого тиску	107
2.11.5. Шпильки посудин і апаратів високого тиску	108
2.12. Фізичні властивості сталей	108
3. ЧАВУНИ	117
3.1. Нормативні параметри й допустимі напруження	117
3.1.1. Допустимі напруження й коефіцієнти запасу міцності при розрахунку по граничних навантаженнях	117
3.1.2. Допустимі напруження, коефіцієнти запасу міцності та умови міцності при розрахунку на основі теорії пружності	118
3.2. Класифікація чавунів	119
3.3. Білі чавуни	120
3.4. Чавун з пластинчастим графітом (сірий чавун)	120
3.4.1. Використання	121
3.4.2. Службові й технологічні властивості	122
3.4.2.1. Фрикційні властивості	122
3.4.2.2. Корозійна стійкість	122
3.4.2.3. Зварюваність	122
3.4.2.4. Термічна обробка	122
3.5. Ковкий чавун	126
3.6. Чавун з кулястим графітом	127
3.7. Зносостійкий чавун	130
3.8. Корозійностійкий чавун	131
3.9. Жаростійкий чавун	133
3.10. Жароміцний чавун	135
3.11. Алгифрикційний чавун	136
4. ПОЗНАЧЕННЯ МАТЕРІАЛУ НА КРЕСЛЕННЯХ ДЕТАЛЕЙ. НАНЕСЕННЯ НА КРЕСЛЕННЯХ ТЕРМІЧНОЇ ОБРОБКИ	137
4.1. Загальні відомості про позначення матеріалу на кресленнях деталей	137
4.2. Чавун	139
4.3. Сталі виливки	139
4.4. Сталь вулканова, конструкційна та інструментальна	139
4.5. Сталь прокатна	139
4.6. Нанесення на кресленнях термічної обробки	144
ЛІТЕРАТУРА	146