

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
Національний університет кораблебудування
імені адмірала Макарова

**С. Ж. Боду, О. П. Шумілов,
А. В. Новошицький, М. Я. Поліщук**

ТЕХНОЛОГІЯ МАШИНОБУДУВАННЯ

Навчальний посібник

У двох частинах

Частина 1

Рекомендовано Вченою радою НУК



ВИДАВНИЦТВО
НАЦІОНАЛЬНОГО УНІВЕРСИТЕТУ
КОРАБЛЕБУДУВАННЯ
ІМ. АДМІРАЛА МАКАРОВА

2026

УДК 621.891(076)
ТЗ8

Укладачі:

С. Ж. Боду, старший викладач;
О. П. Шумілов, канд. техн. наук, доцент;
А. В. Новошицький, канд. техн. наук;
М. Я. Поліщук, інженер

Рецензенти:

С. І. Сербін, д-р техн. наук, професор;
О. К. Чередниченко, д-р техн. наук, професор;
П. Я. Ревнюк, канд. техн. наук, засл. діяч науки і техніки України

*Рекомендовано до друку Вченою радою
Національного університету кораблебудування імені адмірала Макарова
(протокол № 5 від 23.05.2025 р.)*

Технологія машинобудування : навчальний посібник : у 2 ч. Ч. 1 /
ТЗ8 С. Ж. Боду, О. П. Шумілов, А. В. Новошицький, М. Я. Поліщук. – Мико-
лаїв : НУК, 2026. – 140 с.

ISBN 978-966-321-499-3

Навчальний посібник містить теоретичні відомості про конструкцію, службове призначення та умови роботи типових деталей і вузлів, а також довідковий матеріал, необхідний для виконання лабораторних робіт. Наведені положення та рекомендації щодо складання звітів, а також контрольні питання для перевірки засвоєного матеріалу.

Призначено для студентів денної і заочної форм навчання, які вивчають дисципліну «Технологія машинобудування». Може бути використаний студентами інших технічних спеціальностей, викладачами вищих навчальних закладів четвертого-третього рівнів акредитації.

УДК 621.891(076)

ISBN 978-966-321-499-3

© С. Ж. Боду, О. П. Шумілов,
А. В. Новошицький, М. Я. Поліщук, 2026
© Національний університет кораблебудування
імені адмірала Макарова, 2026

ЗМІСТ

Передмова	7
Робота № 1. ПЕРЕВІРКА КОЛІНЧАСТОГО ВАЛА	9
Мета й задачі роботи.....	9
1. Технічні вимоги.....	12
2. Порядок виконання роботи.....	16
3. Зміст звіту.....	19
Контрольні питання.....	20
Робота № 2. ПЕРЕВІРКА УМОВ СКЛАДАННЯ ШАТУНА І ПОРШНЯ ТРОНКОВОГО ДВИГУНА	21
Мета й задачі роботи.....	21
1. Технічні вимоги.....	26
2. Порядок виконання роботи.....	28
3. Зміст звіту.....	28
Контрольні питання.....	31
Робота № 3. ПЕРЕВІРКА ПАРАЛЕЛЬНОСТІ ОТВОРІВ ВЕРХНЬОЇ ТА НИЖНЬОЇ ГОЛОВОК ШАТУНА ДВЗ ТА ВИМІРЮВАННЯ МІЖОСЬОВОЇ ВІДСТАНІ	32
Мета й задачі роботи.....	32
1. Вимоги до координації поверхні шатуна.....	34
2. Порядок виконання роботи.....	34
3. Зміст звіту.....	38
Контрольні питання.....	41

Робота № 4. ПЕРЕВІРКА КООРДИНАЦІЇ ПОВЕРХОНЬ ПОРШНЯ ДВЗ.....	42
Мета й задачі роботи.....	42
1. Технічні вимоги до координації поверхонь поршня.....	45
2. Порядок виконання роботи.....	48
3. Зміст звіту.....	51
Контрольні питання.....	54
Робота № 5. ПЕРЕВІРКА ВТУЛКИ БЛОКА ЦИЛІНДРІВ ДВИГУНА ВНУТРІШНЬОГО ЗГОРЯННЯ.....	56
Мета й задачі роботи.....	56
1. Технічні вимоги.....	60
2. Порядок виконання роботи.....	62
3. Зміст звіту.....	65
Контрольні питання.....	67
Робота № 6. МЕТОДИ ПЕРЕВІРКИ ПОРШНЕВИХ КІЛЕЦЬ ДВЗ.....	69
Мета й задачі роботи.....	69
1. Контрольовані параметри технічних вимог.....	73
2. Порядок виконання роботи.....	74
3. Зміст звіту.....	77
Контрольні питання.....	79
Робота № 7. ВИЯВЛЕННЯ ЗАЛИШКОВИХ ТЕХНОЛОГІЧНИХ НАПРУГ У ДЕТАЛЯХ.....	80
Мета й задачі роботи.....	80
1. Порядок виконання роботи.....	84
2. Зміст звіту.....	86
РЕКОМЕНДОВАНА ЛІТЕРАТУРА.....	88
Нормативи.....	89
Інформаційні ресурси.....	89

ДОДАТКИ	90
Таблиця 1. Значення допусків для номінальних розмірів до 3150 мм.....	91
Таблиця 2. Значення основних відхилень отворів від <i>A</i> до <i>M</i>	92
Таблиця 3. Значення основних відхилень отворів від <i>N</i> до <i>ZC</i> та значення Δ	95
Таблиця 4. Значення основних відхилень валів від <i>a</i> до <i>j</i>	97
Таблиця 5. Значення основних відхилень валів від <i>k</i> до <i>zc</i>	100
Таблиця 6. Твердість гарячекатаної та кованої сталі вуглецевої якісної конструкційної діаметром або товщиною понад 5 мм, призначеної для холодної механічної обробки та холодного волочіння (ДСТУ 7809:2015).....	103
Таблиця 7. Твердість каліброваної відпаленої та нагартованої сталі вуглецевої якісної конструкційної діаметром або товщиною більше 5 мм (ДСТУ 7809:2015).....	104
Таблиця 8. Механічні властивості сталі вуглецевої якісної конструкційної 2-ї категорії (ДСТУ 7809:2015).....	105
Таблиця 9. Механічні властивості сталі низьколегованої конструкційної (ДСТУ 7809:2015).....	106
Таблиця 10. Механічні властивості сталі низьколегованої товстостішової та широкосмугової універсальної (ДСТУ 7809:2015).....	109
Таблиця 11. Твердість по Брінеллю (<i>HB</i>) відпаленої або високовідпущеної сталі легованої конструкційної діаметром або товщиною понад 5 мм (ДСТУ 7809:2015; ДСТУ 7806:2015).....	113

Таблиця 12. Механічні властивості сталі легованої конструкційної при нормальній температурі, що визначаються на термічно оброблених зразках або зразках, виготовлених з термічно оброблених заготовок (ДСТУ 7806:2015).....	117
Таблиця 13. Механічні властивості деяких марок чавунів.....	128
Таблиця 14. Механічні властивості алюмінієвих сплавів ДСТУ 2839–94	129

ПЕРЕДМОВА

Дисципліна «Технологія машинобудування» забезпечує формування у студентів базових знань і практичних навичок у сфері технології виробництва машин та механізмів. Вона передбачає ознайомлення з основними технічними вимогами до машин і складальних одиниць, класифікацією типових деталей машинобудівної продукції, базовими методами виготовлення деталей і складання виробів, а також з методами забезпечення точності та якості продукції. Окрему увагу приділено вивченню основних видів конструкційних матеріалів, технологій одержання заготовок і структурних особливостей машинобудівного виробництва.

У процесі вивчення дисципліни здійснюється формування знань, умінь і компетентностей, що охоплюють розробку технічної та технологічної документації відповідно до чинних стандартів, регламентів і нормативних вимог; застосування нормативних і довідкових даних для контролю відповідності технічної документації, виробів і технологічних процесів установленим вимогам; обґрунтований вибір обладнання та комплектацію технічних комплексів; розуміння організаційної структури та функціональних завдань підприємств галузі. Крім того, студенти набувають умінь у використанні обладнання, матеріалів, інструментів, інженерних технологій і виробничих процесів із врахуванням їхніх обмежень під час вирішення професійних завдань.

У посібнику послідовно викладено рекомендації щодо методики вирішення типових задач, наближених до реальних

виробничих умов, що сприяє кращому засвоєнню теоретичного матеріалу та його практичному застосуванню.

Під час виконання лабораторних робіт студенти закріплюють розуміння основних термінів, позначень, параметрів і загальних положень технології машинобудування. Лабораторні заняття особливо потребують конкретизації матеріалу, використання чинних директивних, методичних і нормативних документів, а також спеціалізації навчального змісту відповідно до профілю підготовки майбутніх фахівців. Тематика лабораторних занять підібрана з урахуванням специфіки галузі.

Робота № 1. ПЕРЕВІРКА КОЛІНЧАСТОГО ВАЛА

Мета й задачі роботи:

- ознайомитись з конструкцією колінчастого вала;
- набути практичних навичок з контролю остаточно обробленого колінчастого вала.

Колінчастий вал двигуна перетворює енергію розширених газів, що передається шатунами від поршнів, на крутний момент. Він також забезпечує рух поршнів під час допоміжних тактів та запуску двигуна (рис. 1).

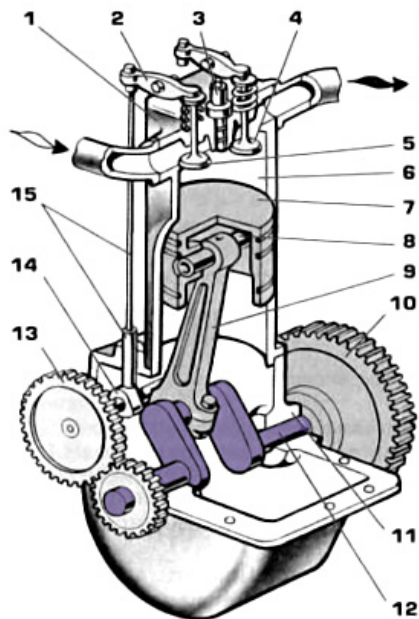


Рис. 1. Схема
одноциліндрового
чотиритактного ДВЗ:
1 – головка циліндра;
2 – коромисла;
3 – свічка запалювання;
4, 5 – випускний та впускний
клапани; 6 – втулка циліндра;
7 – поршень; 8 – поршневі
кільця; 9 – шатун;
10 – маховик; 11 – картер;
12 – колінчастий вал;
13 – привідні шестерні;
14 – кулачки розподільного
вала;
15 – передавальні механізми

Форма колінчастого вала визначається числом і розташуванням циліндрів, порядком роботи й тактністю двигуна.

Колінчастий вал складається з корінних і шатунних шийок, з'єднаних щоками, до яких кріпляться противаги (можуть бути відлитими як одне ціле з валом), переднього кінця з поясом для кріплення газорозподільного зубчастого колеса і шківів. На задньому кінці колінчастого вала розташовані масловідбивний гребінь, маслосгінна різьба і фланець (може бути відсутнім) для кріплення маховика (рис. 2).

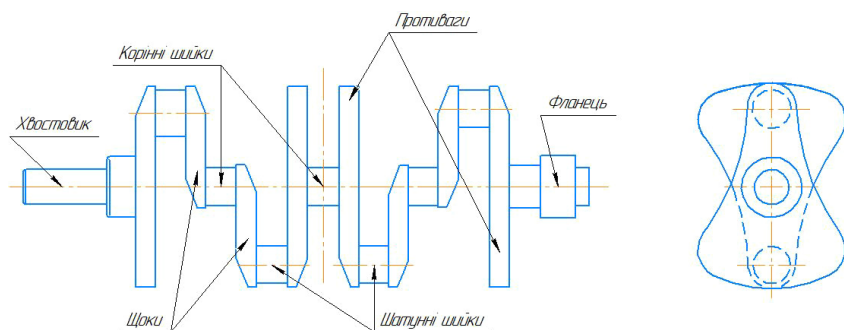


Рис. 2. Схема колінчастого вала

У корінних шийках для масляних каналів виконані отвори під кутом до порожнистих шатунних шийок, де масло додатково очищається під дією відцентрових сил.

Основні види колінчастих валів

Монолітні виготовляються з цільного матеріалу, часто використовуються у двигунах із високими навантаженнями.

Складені застосовуються в суднових двигунах і складаються з кількох частин, що полегшує їх транспортування і збирання.

Збірні в основному використовуються для двотактних двигунів великої потужності, наприклад, у суднових дизелях.

Колінчасті вали відрізняються за розмірами залежно від застосування:

Автомобільні двигуни – довжина колінчастого вала може варіюватися від 300 до 700 мм, вага – від 10 до 30 кг.

Суднові двигуни – довжина колінчастого вала для великих суднових дизелів може досягати 10 метрів і більше, а вага становити до кількох сотень тон. Наприклад, великі суднові колінчасті вали можуть мати діаметр шийок до 1,5 метра, що робить їх одними з наймасивніших компонентів у двигуні.

Колінчасті вали піддаються значним навантаженням, які залежать від типу двигуна і його потужності.

У зоні роботи колінчастого вала температура зазвичай варіюється від 100 до 150 °С, але може досягати до 250 °С у двигунах із високими навантаженнями, зокрема суднових. Система змащення охолоджує вал, запобігаючи перегріву і знижуючи знос.

Тиск на корінні та шатунні шийки може досягати 100...150 МПа, особливо у потужних дизельних двигунах.

В автомобільних двигунах колінчастий вал може обертатися зі швидкістю до 6000...8000 об/хв у високошвидкісних моделях.

У суднових дизелях частота обертання зазвичай нижча – до 100...300 об/хв, але вони мають великий обертальний момент.

Для великих суднових двигунів колінчасті вали проектується з урахуванням низької частоти обертання і високого обертального моменту. Це дозволяє зменшити знос і підвищити надійність при тривалій роботі.

Матеріал і спосіб отримання заготовки залежить від особливостей конструкції, вимог до міцності, зносостійкості та технологічності виготовлення, серійності виробництва.

Колінчасті вали двигуна можуть виготовлятися штампуванням з вуглецевих, хромомарганцевих,

хромонікельмолібденових та інших сталей, а також литтям із спеціальних високоміцних чавунів, бути збірними (для важких колінчастих валів). При виготовленні деталей кривошипно-шатунного механізму важливим є орієнтація волокон застосовуваного матеріалу. Після формування заготовку очищають від окалини, піддають термічній обробці. У ході виробництва колінчасті вали балансують.

1. ТЕХНІЧНІ ВИМОГИ

1.1. Колінчасті вали повинні виготовлятися відповідно до вимог стандартів автотракторної, суднобудівної промисловості.

1.2. На валах не допускаються тріщини, флокени, закоти, закови, вальцювальні плени, розшарування, усадкові раковини, скупчення неметалевих включень, розкуті та розкочені бульбашки, відбитки та окалина.

На шийках і галтелях не допускаються риси глибиною понад $1/2$ допуску та залишки окалини.

Розміри, число і розташування волосин та окремих неметалевих включень, що допускаються на поверхні вала, повинні обмежуватися робочим кресленням. На загартованих і цементованих поверхнях шийок і галтелей не допускаються шліфувальні тріщини та припали. На необроблених після загартування ТВЧ поверхнях допускаються кольори мінливості.

1.3. Допускається виведення окремих дефектів, перерахованих у п. 1.2 (за винятком флокенів, усадкових раковин та розшарування), вибіркою металу на поверхнях вала, крім галтелей і ділянок, які позначені буквою А на рис. 3.

1.3.1. Місця виправлень повинні мати пологі краї і повинні бути зачищені до шорсткості, що відповідає шорсткості основної поверхні.

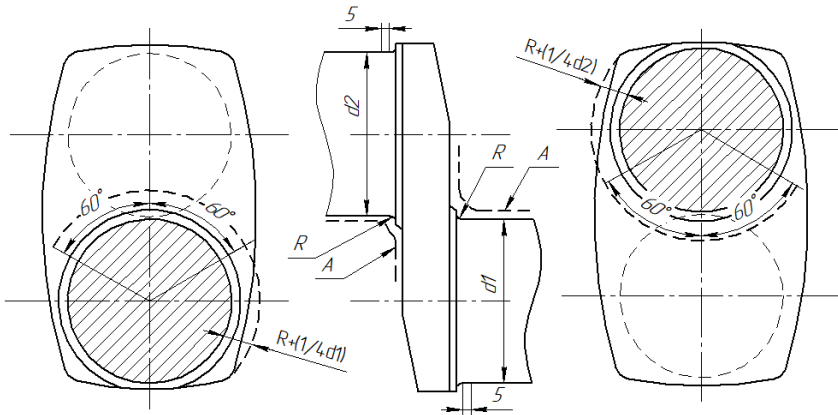


Рис. 3. Схема розташування ділянок виправлення окремих дефектів поверхні вала

1.4. Наявність дефектів на поверхні валів, призначених для роботи з номінальною частотою обертання 750 об/хв і більше, а також валів, що зазнають об'ємного або поверхневого загартування та хіміко-термічної обробки, має перевірятися методом магнітної дефектоскопії. Після магнітного контролю вали мають бути розмагнічені.

Допускається проводити контроль розмагнічування валів канцелярськими скріпками (масою до 0,3 г), які не повинні утримуватись на краях колін та кінцях вала.

1.5. Твердість має перевірятися: на кожному валу для валів одиничного та серійного виробництва; вибірково для валів масового виробництва (обсяг вибірки визначається підприємством-виробником).

1.5.1. Твердість має перевірятися на обох кінцях вала.

1.5.2. Різниця показань твердості на кінцях одного вала не повинна перевищувати 0,3 мм діаметром відбитка кульки 10 мм при навантаженні 29430 Н (3000 кгс).

1.5.3. Діаметр відбитка повинен вимірюватися у двох взаємно перпендикулярних напрямках і визначатися як середнє арифметичне із двох вимірювань. Різниця вимірів діаметрів одного відбитка не має перевищувати 2 % від меншого за них.

1.5.4. Твердість за Брінеллем (HB) визначається шляхом розподілу навантаження P (Н) на площу поверхні сферичного відбитка (мм^2):

$$HB = \frac{2P}{\pi D(D - \sqrt{D^2 - d^2})} \text{ Н/мм}^2 \text{ (кгс/мм}^2\text{)},$$

де D – діаметр кульки, мм;

d – діаметр відбитка, мм.

1.6. Параметр шорсткості Ra поверхні валів за ДСТУ 2413-94 повинен бути не більше:

- 0,32 мкм – для шийок, що піддаються поверхневому загартуванню або хіміко-термічній обробці;
- 0,63 мкм – для шийок, що не піддаються поверхневому загартуванню або хіміко-термічній обробці; для шийок, що не шліфуються після азотування, а також для галтелей, що не піддаються механічному зміцненню.

1.7. Граничні відхилення форми та розташування поверхонь і номінальних розмірів валів не повинні перевищувати значень, наведених у табл. 1.

1.8. Биття корінних шийок, центруючих поверхонь і торців фланців, а також непаралельність твірних поверхонь шатунних шийок повинні перевірятися відносно загальної осі вала.

Для валів із числом колін більше чотирьох допускається встановлення додаткових підтримуючих опор числом не більше: двох – при числі колін 5 та 6; трьох – 7 та 8; чотирьох – понад 8.

Таблиця 1 – Вимоги до геометричної точності поверхонь колінчастих валів

Найменування розмірів та відхилень	Граничні відхилення при діаметрі шийки вала, мм			
	до 100	100...180	180...260	понад 260
Діаметри корінних та шатунних шийок	h6 *			
Довжина шийок: - корінних та упорних - шатунних у разі фіксації по них шатунів від осевого переміщення	H10 *H11*			
Радіальне та відносне биття корінних шийок	0,03	0,04	0,05	0,06
Овальність, конусність та бочкоподібність корінних і шатунних шийок	За ДСТУ 2498-94			Поле допуску на розмір
	10 мкм	12 мкм	12 мкм	

* Поле допуску за ДСТУ ISO 286-1-2002; ДСТУ ISO 286-2-2002

Додаткові опори повинні бути рухомими у горизонтальній площині, що збігається з віссю вала.

1.9. Неплощинність торців фланців колінчастого вала повинна відповідати ДСТУ ГОСТ 2.308:2013; опуклість не допускається.

1.10. Контроль розташування загартованої зони по шийках колінчастого вала повинен проводитися легким травленням поверхні шийок 8...10 % розчином азотної кислоти.

1.11. Мікроструктуру валів слід перевіряти зняттям відбитка за методом Баумана згідно з п. 2.12 (див. нижче). Неоднорідність розподілу сірчистих та фосфористих сполук за відбитком Баумана не повинна перевищувати 3 бали для валів масою до 500 кг та 4 бали для валів масою понад 500 кг.

2. ПОРЯДОК ВИКОНАННЯ РОБОТИ

2.1. Перевіряється відповідність колінчастого вала за перерахованими вище вимогами. Колінчастий вал установлений на двох опорах згідно з п. 1.9. На фланці вала завдано градування через 30° . Точка початку відліку 0 розташована в площині, що проходить через вісь шатунної шийки першого кривошипа при положенні його у верхній мертвій точці (ВМТ) та вісь корінних шийок колінчастого вала. Нумерація точок на контрольованій шийці ведеться за годинниковою стрілкою, дивлячись на торець фланця. Перевіряється легкість обертання вала. Записується його заводське маркування.

2.2. Шляхом ретельного візуального огляду встановлюють дефекти, перелічені в п. 1.2, 1.3, 1.3.1. При цьому допускається застосовувати лупу з 2,5...4-кратним збільшенням, а також легке травлення 8...10 % розчином азотної кислоти. Складається опис дефектів, що спостерігаються.

2.3. Перевіряється величина залишкового магнетизму згідно з п. 1.4. Складається опис методу, фіксуються результати перевірки.

2.4. Відповідно до пп. 1.5–1.5.4 перевіряється твердість колінчастого вала, фіксуються дані вимірів та результати розрахунків.

2.5. Встановлюється шорсткість поверхні Ra корінних шатунних шийок шляхом порівняння з еталонними зразками в результаті огляду за допомогою лупи з 10-кратним збільшенням. Результати перевірки записати.

2.6. За вказівкою викладача, що веде заняття, у однієї шатунної та однієї корінної шийки проводяться вимірювання за допомогою мікрометричної скоби у трьох перерізах по довжині (на відстані 10 мм від галтелей і посередині) через кожні 30° (шість вимірювань за кожним перерізом) (рис. 4) та складається таблиця вимірювань з нумерацією згідно

з п. 2.1. Кожне вимірювання проводиться тричі, підраховується середнє значення.

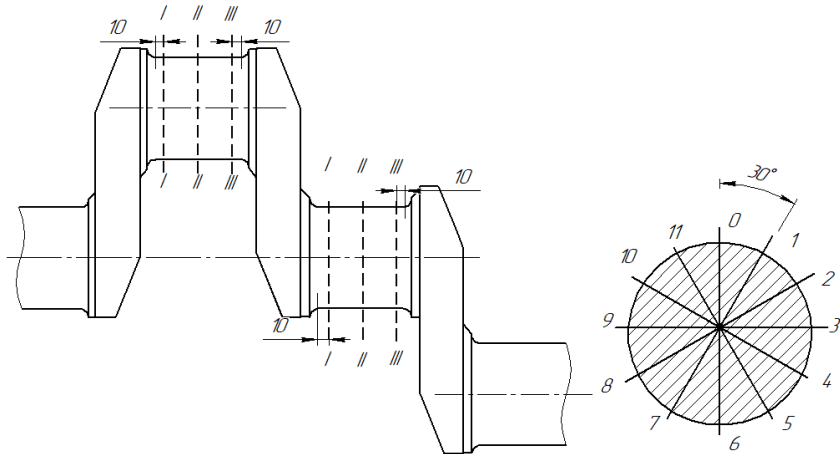


Рис. 4. Схема вимірювання корінної та шатунної шийок

2.7. На підставі вказівок п. 1.7.1 та обробки даних п. 2.6 робиться висновок про відповідність розмірів колінчастого вала величині поля допуску та технічним умовам шатунної та корінної шийок, а також висновок про придатність.

2.8. На підставі вказівок п. 1.7.4 та обробки даних п. 2.6 робиться висновок про наявність овальності, конусності, бочкоподібності та ступеня відповідності поверхонь технічним вимогам.

2.9. Перевіряється довжина однієї корінної та однієї шатунної шийок, відповідно до п. 1.7.2 порівнюється поле допуску й робиться висновок про придатність.

2.10. Перевіряється відносне биття однієї корінної шийки (за вказівкою викладача, що веде заняття) у наступній послідовності. Розташовують перший кривошип у верхній

мертвій точці (ВМТ). У горизонтальній площині до середини твірної поверхні контрольованої шийки підводять з натягом індикатор годинникового типу, шкалу якого встановлюють у нульове положення. Обертаючи вал за годинниковою стрілкою із зупинками через 30° , записати величину радіального биття з її знаком у кожній точці. Відносне биття корінної шийки визначають як абсолютне значення алгебраїчної різниці радіальних биттів, виміряних в одній площині.

Складається таблиця (див. форму звіту) і робиться висновок про придатність.

2.11. Проводиться контроль розташування загартованої зони по корінній шийці відповідно до п. 1.10.

2.12. Проводиться контроль макроструктури вала визначенням неоднорідності розподілу сірчаних та фосфористих сполук за методом Баумана. Матеріали: папір фотографічний, вата, папір фільтрувальний.

Реактиви: 1) 5%-ий водний розчин сірчаної кислоти; 2) фіксаж на 1 л води; 250 г тіосульфатнатрію (гіпосульфїту); 50 г сульфїту натрію кристалічного; 10 мл оцтової кислоти; 3) етиловий технічний спирт.

Поверхню торця вала ретельно зачищають великим, а потім дрібним наждачним полотном, промивають і знежирюють ватою або чистою ганчіркою, змоченою у спирті.

Лист фотопаперу замочують (на світлі) у 25%-ому водному розчині сірчаної кислоти на 5–8 хв, потім злегка промокають з двох сторін для видалення надлишків рідини і накладають світлочутливою емульсією на поверхню торця вала.

Притримуючи від зсувів, фотопапір протерти ватним тампоном для видалення бульбашок повітря та газів протягом 2–3 хв. Потім зняти папір, промити, обробити у фіксажному розчині протягом 2–5 хв, промити в проточній воді і висушити. У місцях скупчень сірки та фосфору на фотопапері

з'являться сульфіди та фосфіди срібла від темно-жовтого до темно-коричневого кольору. Ступінь потемніння та величина плям характеризують неоднорідність розподілу сполук сірки та фосфору по торцю вала. Проводиться порівняння відбитка зі шкалою відбитків за Бауманом, визначається бал (1–4) і робиться висновок про придатність.

3. ЗМІСТ ЗВІТУ

Кожен студент складає звіт з пп. 2.1–2.11, який оформлюється відповідно до вимог ЄСКД, за формою, що додається.

У звіті наводяться:

- рисунок колінчастого вала на двох опорах та схема контролю;
- опис виявлених дефектів;
- дані вимірів та результати розрахунків твердості;
- встановлена шорсткість поверхонь корінних та шатунних шийок;
- таблиця вимірювань та результати розрахунку згідно з п. 2.6;
- висновок про придатність за пп. 2.7–2.12.

**Таблиця результатів вимірювань шийок
колінчастого вала**

Переріз	Корінна шийка			Шатунна шийка		
0–6						
1–7						
2–8						
3–9						
4–10						
5–11						

КОНТРОЛЬНІ ПИТАННЯ

1. Роль та призначення колінвалів у двигуні внутрішнього згоряння.
2. Які матеріали використовують для виготовлення колінвалів? Способи одержання заготовок.
3. Охарактеризуйте умови роботи колінчастих валів.
4. Які дефекти виробництва можна проконтролювати зовнішнім оглядом?
5. Які методи використовуються для перевірки овальності та конусності шийок колінчастого вала?
6. Як впливають відхилення форми шийок колінчастого вала на якість його роботи?
7. Як визначити биття корінних та шатунних шийок колінчастого вала?
8. Для яких цілей проводиться балансування колінчастого вала?

Робота № 2. ПЕРЕВІРКА УМОВ СКЛАДАННЯ ШАТУНА І ПОРШНЯ ТРОНКОВОГО ДВИГУНА

Мета й задачі роботи:

- ознайомитись з конструкцією циліндро-поршневої групи двигуна внутрішнього згоряння;
- вивчити методи контролю деталей вузла перед складанням.

Поршень, поршневий палець і шатун – деталі рухомої частини кривошипно-шатунного механізму двигуна (рис. 1),

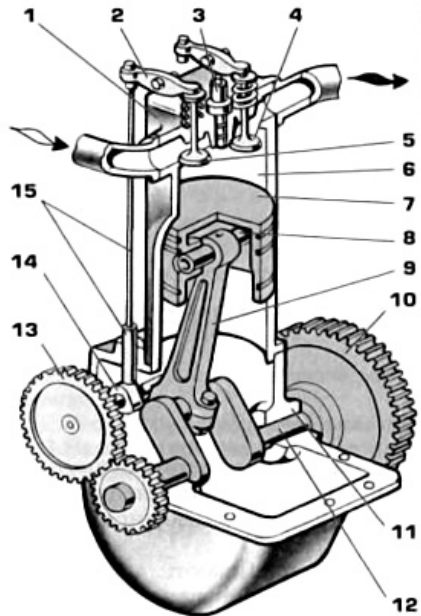


Рис. 1. Схема
одноциліндрового
чотиритактного ДВЗ:
1 – головка циліндра;
2 – коромисла;
3 – свічка запалювання;
4, 5 – випускний та впускний
клапани; 6 – втулка циліндра;
7 – поршень; 8 – поршневі
кільця; 9 – шатун;
10 – маховик; 11 – картер;
12 – колінчастий вал;
13 – приводні шестерні;
14 – кулачки розподільного
вала;
15 – передавальні механізми

що беруть участь у перетворенні поступального руху поршня під дією розширених газів в обертальний рух колінчастого вала.

Поршні – ключові деталі двигунів внутрішнього згоряння (ДВЗ), що передають енергію згоряння паливно-повітряної суміші на колінчастий вал. Поршень працює в умовах високих температур, тиску, тертя, тому його матеріал і конструкція є критично важливими.

Розміри поршнів залежать від типу і потужності двигуна. В автомобільних двигунах діаметр поршня може коливатися від 70 до 100 мм, висота – приблизно 50...80 мм. Діаметр поршнів у великих суднових дизельних двигунах може досягати 500...1000 мм і більше, а висота поршня – 1 м і більше. Це обумовлено великою потужністю та необхідністю витримувати значні навантаження протягом тривалого часу.

Постійні циклічні навантаження, пов'язані з роботою двигуна, викликають високі напруження, які поршень повинен витримувати без руйнування чи деформацій. Поршні виготовляють із матеріалів, що можуть витримувати високі температури і механічні навантаження:

- **алюмінієві сплави** використовуються в автомобільних двигунах завдяки легкості та теплопровідності. Легування кремнієм допомагає збільшити зносостійкість і міцність при високих температурах;

- **чавун та легована сталь** широко застосовуються в суднових і промислових двигунах для підвищеної міцності і здатності витримувати високі температури без деформацій;

- **керамічні матеріали** інколи використовуються в експериментальних або високотемпературних умовах завдяки їхній стійкості до зносу та теплового удару.

Поршні піддаються різним механічним і тепловим впливам.

Температура в зоні згоряння може сягати 2500...2800 °С. Проте завдяки охолодженню поршень нагрівається до приблизно 200...300 °С в автомобільних двигунах і до 400...500 °С у великих суднових дизелях.

На поршень діють значні тиски від згоряння палива, які можуть досягати 10...15 МПа в автомобільних двигунах і 20...25 МПа у суднових.

Поршні можуть мати різну конструкцію, залежно від вимог двигуна:

Багатокамерні – поршні мають конструкцію з додатковими камерами для кращого розподілу тепла і зниження навантажень.

З порожнистою головкою – для зниження ваги поршня, що допомагає зменшити інерційні навантаження в двигунах.

Посилені кільцеві канавки – додаткове зміцнення кільцевих канавок для продовження терміну служби і зниження зносу.

Поршневий палець розміщується в поршневому гнізді та у верхньому сегменті шатуна. У різних видах конструкції ДВЗ мають фіксоване або плаваюче кріплення. У першому випадку палець встановлюється з натягом, у другому для фіксації застосовуються стопорні кільця.

Розміри поршневих пальців залежать від типу двигуна та його потужності.

Так, в автомобільних двигунах діаметр поршневого пальця варіюється від 15 до 30 мм, а довжина може становити 50...70 мм. У великих суднових дизелях діаметр поршневих пальців може досягати 100...150 мм і більше при довжині до 300 мм. Це зумовлено значними навантаженнями та вимогами до високої міцності для роботи в умовах тривалої експлуатації.

Поршневі пальці повинні бути міцними, зносостійкими та стійкими до впливу високих температур. Основні матеріали, що використовуються для їх виготовлення:

- **легована сталь** (наприклад, сталь 40Х, 38ХНЗМФ), яка має високу міцність і зносостійкість, можлива додаткова термічна або хіміко-термічна обробка для створення поверхні з високою твердістю, стійкої до зносу;

- **титанові сплави** – іноді використовуються для легких високооборотних двигунів, проте через високу вартість зустрічаються рідше.

Для покращення трибологічних характеристик пальців їх часто додатково покривають спеціальними покриттями (наприклад, хромування), що підвищує стійкість до зносу та знижує тертя.

Поршневі пальці працюють в екстремальних умовах, піддаючись постійним циклічним навантаженням.

Температура поршневих пальців може досягати до 200...250 °С в автомобільних двигунах і до 350 °С – у суднових.

Поршневі пальці піддаються значним ударним та згинальним навантаженням. В автомобільних двигунах на них можуть діяти тиски до 70...80 МПа, а в суднових дизелях – до 100 МПа і вище.

У зоні контакту пальців із шатунними та поршневими втулками виникають високі контактні напруження, що потребує високої твердості поверхні для мінімізації зносу.

У суднових двигунах поршневі пальці можуть бути більш масивними та оснащені додатковими елементами для покращення змащування, що допомагає знизити знос при тривалій роботі на низьких обертах.

Шатун – це компонент ДВЗ, який з'єднує поршень із колінчастим валом, перетворюючи енергію від згоряння на обертальний рух. Він працює в умовах високих механічних

навантажень, тиску і теплових коливань, що потребує використання спеціальних матеріалів і конструкційних рішень для забезпечення надійності та тривалого терміну служби.

Розміри шатунів залежать від типу і розміру двигуна:

Довжина шатунів автомобільних двигунів зазвичай, становить 100...200 мм, а діаметр отворів для поршневого пальця і кривошипного підшипника варіюється від 20 до 50 мм.

Довжина шатунів у великих суднових дизелях може сягати від 1 до 2 метрів, а діаметр отворів – від 100 до 500 мм. Великі розміри обумовлені значними силами, які виникають у таких двигунах, і необхідністю зменшити навантаження на кожен елемент конструкції.

Матеріали для шатунів повинні бути міцними, зносостійкими і стійкими до впливу циклічних навантажень. Найчастіше використовують:

- **леговану сталь** (наприклад, сталь 40ХН2МА, 45ХН2МФА) – забезпечує високу міцність і стійкість до втомних навантажень;

- **титан та його сплави** – використовуються в гоночних двигунах завдяки легкості і високій міцності, але через високу вартість менш поширені;

- **високоміцний чавун** – інколи застосовується у великих суднових двигунах завдяки хорошим демпфуючим властивостям і високій зносостійкості.

Шатуни піддаються серйозним механічним і тепловим навантаженням протягом роботи двигуна.

В автомобільних двигунах температура шатунів може досягати 150...200 °С, тоді як у великих суднових двигунах – до 250 °С через тривалі цикли роботи при високих навантаженнях.

На шатун діє значна сила, створювана тиском згоряння паливно-повітряної суміші, що може досягати кількох сотень кілоньютонів у суднових дизелях.

Через постійні цикли стиску і розтягнення внаслідок обертів двигуна шатуни піддаються втомному руйнуванню. Це вимагає високої якості матеріалу і точного виконання для запобігання виникненню тріщин.

Конструкція шатунів залежить від вимог двигуна:

цілісні шатуни зазвичай використовуються в автомобільних двигунах і виготовляються з монолітного матеріалу;

роз'ємні шатуни зустрічаються у великих суднових і промислових двигунах, де шатун складається з кількох частин, що полегшує його обслуговування і монтаж;

шатуни зі змінною довжиною використовуються у високопродуктивних двигунах для оптимізації компресійного співвідношення і роботи двигуна на різних оборотах.

1. ТЕХНІЧНІ ВИМОГИ

1.1. Якість виготовлення шатуна, поршня та поршневого пальця встановлюється відповідними галузевими стандартами. Нижче наводяться основні вимоги ДСТУ для деталей, що входять у вузол перед збиранням.

1.1.1. Точність виготовлення отворів втулок у верхній головці шатуна повинна бути не нижчою за квалітет *H7* по ДСТУ 2498-94.

1.1.2. Параметр шорсткості *Ra* поверхні отворів запресованої втулки у верхній головці шатуна має бути в межах 1,25...0,63 мкм (ДСТУ 2413-94).

1.1.3. Овальність та конусоподібність отвору втулки, запресованої у верхню головку шатуна, не повинні перевищувати 2/3 допуску на діаметр.

1.2. Поршневі пальці виготовляють відповідно до вимог ISO 18669-1-2018.

1.2.1. Параметр шорсткості оброблених поверхонь пальців по ДСТУ 2413-94 повинен бути не грубішим:

$Ra = 0,16$ мкм – для зовнішніх циліндричних поверхонь; $Ra = 10$ мкм – для інших поверхонь.

- 1.2.2. На всіх поверхнях пальців не допускаються тріщини, волосинки; окалини, вибоїни, а на оброблених поверхнях, крім того, чорновини, вм'ятини та risks.
- 1.2.3. Гострі кромки на торцях пальців повинні бути заокруглені, а задирки зачищені.
- 1.2.4. Допуск зовнішньої циліндричної поверхні повинен бути виконаний за квалітетом *H7* ДСТУ 2498-94.
- 1.2.5. Граничні відхилення форми зовнішньої поверхні пальців (ISO 18669-1-2018, ISO 18669-2:2004) не повинні перевищувати 0,004...0,008 мм.
- 1.2.6. Граничні значення рознесення поршневих пальців із зовнішнім діаметром до 50 мм не повинні перевищувати 0,3 мм.
- 1.3. При виготовленні поршнів висуваються такі технічні вимоги:
 - 1.3.1. Точність виготовлення отворів під поршневий палець повинна бути не нижчою за квалітет *H7* (ДСТУ 2498-94).
 - 1.3.2. Параметр шорсткості Ra на поверхні отворів під поршневий палець повинен бути не грубішим за 0,63 мкм (ДСТУ 2413-94).
 - 1.3.3. Овальність отворів під поршневий палець не повинна перевищувати 2/3 допуску на діаметр.

2. ПОРЯДОК ВИКОНАННЯ РОБОТИ

2.1. Відповідність вимогам пп. 1.2.2 та 1.2.3 встановлюється візуальним оглядом.

2.2. Відповідність вимогам пп. 1.1.2, 1.2 та 1.3.2 встановлюється візуальним оглядом із застосуванням 10-кратної лупи шляхом порівняння з еталонами шорсткості.

2.3. Відповідність вимогам пп. 1.1.1, 1.2.4 та 1.3.1 встановлюється шляхом вимірювань, що виконуються за допомогою мікрометра та штангенциркуля.

2.4. Відповідність вимогам пп. 1.1.3 та 1.3.3 встановлюється шляхом обробки даних вимірювань, що виконуються за допомогою мікрометра та штангенциркуля.

2.5. Відповідність вимогам п. 1.2.5 встановлюється шляхом обробки даних вимірювань, що виконуються при встановленні пальця в центрах ортотесту.

2.6. Відповідність вимогам п. 1.2.6 встановлюється шляхом обробки даних вимірювань товщини стінок пальця по торцях двох взаємно перпендикулярних напрямків.

3. ЗМІСТ ЗВІТУ

Кожен студент подає звіт з обробленими результатами вимірювань та необхідними ескізами за формою, що додається.

3.1. Перелічити такі дані:

- найменування деталей, марка матеріалу;
- ескізи деталей, що перевіряються;
- короткий опис деталей, їх призначення та робота у вузлі.

3.2. Перевірка деталей зовнішнім оглядом:

- найменування деталі;
- наявність відхилень від норми.

Висновок про придатність.

3.3. Перевірка деталей зовнішнім оглядом (за пп. 1.1.2, 1.2 та 1.3.2):

- найменування деталей;
- застосовувані засоби контролю;
- наявність відхилень від норми.

Висновок про придатність.

3.4. Перевірка деталей на точність виконання геометричних розмірів (за пп. 1.1.1, 1.2.4, 1.3.1, 1.1.3 та 1.3.3):

- найменування деталей;
- застосовані засоби контролю, ціна поділки, межі вимірювання;
- ескіз перевірки;
- дані перевірки занести в табл. 1 (перевірка для кожної деталі проводиться у трьох перерізах, у двох взаємно перпендикулярних площинах).

Таблиця 1 – Точність виконання геометричних розмірів деталей

Найменування деталі	Розміри, мм					
	Площина І-І			Площина II-II		
	Переріз					
	1	2	3	1	2	3
...						
...						

Відхилення від норми, висновок про придатність: _____

3.5. Перевірка геометричної точності пальця (за пп. 1.2.5 та 1.2.6):

- засоби контролю, що застосовуються для перевірки, інвентарний номер, ціна поділки, межі вимірювання;
- ескіз перевірки;

- дані контролю занести в табл. 2 та 3 (перевірка деталі проводиться у двох взаємно перпендикулярних площинах і не менше ніж по три рази).

Таблиця 2 – Перевірка геометричної точності пальця.
Довжина

Найменування деталі	Відхилення по довжині, мм			
	1	2	3	4
...				
...				

Висновок про придатність: _____

Таблиця 3 – Перевірка геометричної точності пальця.
Різностінність

Найменування деталі	Товщина стінок пальця, мм							
	Торець I				Торець II			
	1	2	3	4	1	2	3	4

Висновок про придатність: _____

3.6. Розрахунок температури нагрівання поршня:

- необхідні вихідні дані та рівняння для розрахунку;
- розрахунок.

Температура нагріву поршня визначається з виразу:

$$T_{\text{наг}} = \frac{\delta + \Delta_{\text{ск}}}{\alpha d} + T_c,$$

де δ – натяг з'єднання, мм;

$\Delta_{\text{ск}}$ – тимчасовий складальний зазор, що визначається з виразу $\Delta_{\text{ск}} = 0,01d$, де d – діаметр посадки, мм;

α – коефіцієнт лінійного розширення, який для сталі знаходиться в межах $12,1...13,6 \times 10^{-6}, \text{K}^{-1}$; для алюмінію $17,5...18,5 \times 10^{-6}, \text{K}^{-1}$;

T_c – температура навколишнього середовища ($+ 20^\circ\text{C}$).

КОНТРОЛЬНІ ПИТАННЯ

1. Назвіть основні деталі кривошипно-шатунного механізму двигуна.
2. Охарактеризуйте умови роботи цих деталей.
3. Які конструктивні схеми з'єднання поршня з шатуном застосовуються практично?
4. Які дефекти виготовлення виробів, що перевіряються, можна виявити візуальним контролем?
5. Як можна з'єднати деталі при посадці з натягом?

Робота № 3. ПЕРЕВІРКА ПАРАЛЕЛЬНОСТІ ОТВОРІВ ВЕРХНЬОЇ ТА НИЖНЬОЇ ГОЛОВОК ШАТУНА ДВЗ ТА ВИМІРЮВАННЯ МІЖОСЬОВОЇ ВІДСТАНІ

Мета й задачі роботи:

— вивчити метод контролю паралельності осей отворів верхньої та нижньої головок шатуна ДВЗ та міжосьової відстані за допомогою універсальних вимірювальних інструментів і найпростіших пристроїв;

— опрацювати креслення конструкцій пристроїв для контролю, що застосовуються в умовах великосерійного виробництва.

Шатун – деталь, що з'єднує поршень (через поршневий палець) із шатунною шийкою колінчастого вала. Служить для передачі зусилля з поршня і перетворення його зворотно-поступального руху на обертальний рух колінчастого вала.

Шатун – одна з найбільш навантажених деталей ДВЗ. У процесі експлуатації піддається багаторазовим знакозмінним навантаженням (розтягування, стиск), згинальній деформації, ударам, вібраціям та зношуванню посадкових поверхонь в отворах верхньої та нижньої головок.

Умови роботи визначають такі основні вимоги:

- достатня втомна міцність, щоб уникнути руйнування;
- жорсткість для виключення втрати стійкості стрижня при стисканні (з огляду на можливі разові навантаження при аваріях);

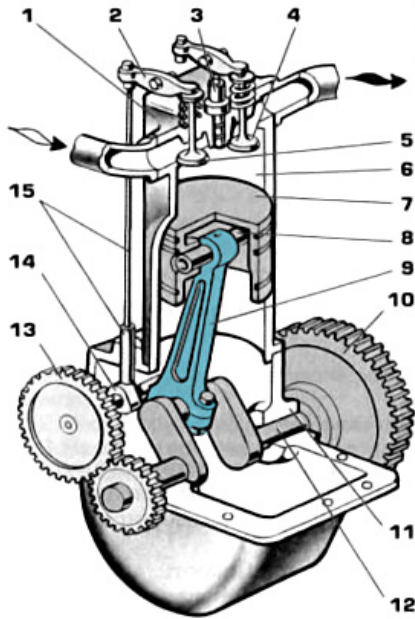


Рис. 1. Схема
одноциліндрового
чотиритактного ДВЗ:
1 – головка циліндра;
2 – коромисла;
3 – свічка запалювання;
4, 5 – випускний та впускний
клапани; 6 – втулка циліндра;
7 – поршень; 8 – поршневі
кільця; 9 – шатун;
10 – маховик; 11 – картер;
12 – колінчастий вал;
13 – приводні шестерні;
14 – кулачки розподільного
вала;
15 – передавальні механізми

- мінімальна маса, для зниження динамічних навантажень на шийки колінвала та зменшення маси противаг, а також і маховика;
- технологічність і простота конструкції, що визначаються також можливостями верстатної обробки.

Для виготовлення шатунів застосовують зазвичай леговану (40Г, 45Г2, 40ХН, 12ХН3А, 18ХНВА, 18Х2Н4А) або вуглецеву сталь достатньої прогартовуваності. Можуть застосовуватися алюмінієві та титанові сплави, а також композитні матеріали.

Заготовки шатунів отримують куванням або штампуванням, в окремих випадках для двигунів невеликої потужності можуть використовуватися литі заготовки.

1. ВИМОГИ ДО КООРДИНАЦІЇ ПОВЕРХНІ ШАТУНА

Технічні вимоги для шатунів дизелів та газових двигунів:

1.1. Допуск паралельності осей верхньої головки шатуна, втулки, запресованої у верхню головку, та отвори під палець причіпного шатуна відносно базової осі на довжині 100 мм:

- 0,03 мм – для шатунів із міжцентровою відстанню до 350 мм;
- 0,02 мм – для шатунів з міжцентровою відстанню понад 350 мм.

1.2. Допуск перекосу осей верхньої головки шатуна, втулки, запресованої у верхній головці, й отворів під палець причіпного шатуна відносно базової осі на довжині 200 мм:

- 0,05 мм – для шатуна з міжцентровою відстанню до 350 мм;
- 0,03 мм – для шатунів з міжцентровою відстанню понад 350 мм.

1.3. Допуск на відстань між осями отворів головок шатуна встановлюється за кресленням і для двигунів, що не мають компресійних прокладок, лежить у межах від $\pm 0,05$ до $\pm 0,1$ мм.

2. ПОРЯДОК ВИКОНАННЯ РОБОТИ

2.1. Для перевірки в готових деталях точності взаємного розташування осей отворів ці осі зазвичай матеріалізують, для чого встановлюють в отвори контрольні валики (КВ) з мінімальним зазором у з'єднанні.

Для зручності та підвищення точності вимірювань довжина КВ має перевищувати довжину отвору.

Один КВ (базовий) разом з деталлю встановлюють паралельно площині контрольної плити (див. рис. 2, 3). Фіксуючи по кінцях другого КВ відхилення його твірної від паралельності базовій площині контрольної плити, визначають відносну паралельність осей отворів на довжині КВ. Вимірювання проводять у двох взаємно перпендикулярних площинах, дотримуючись наступної послідовності.

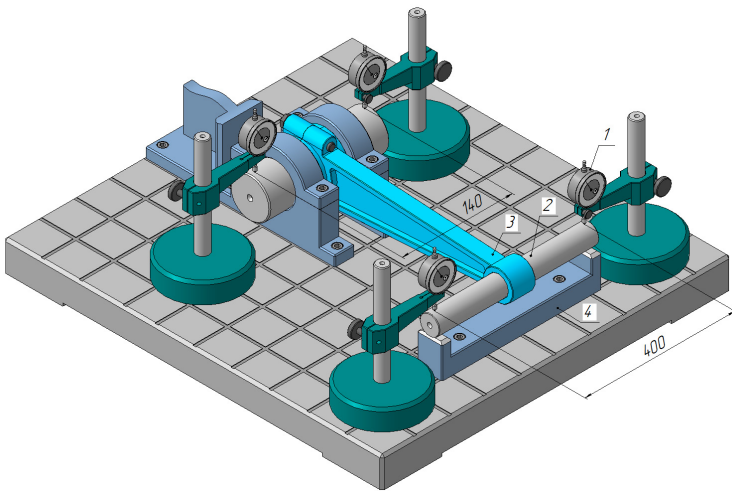


Рис. 2. Схема перевірки перекосу осі верхньої головки шатуна відносно осі нижньої головки шатуна:

- 1 – індикатори годинникового типу; 2 – контрольний валик;
3 – шатун; 4 – змінний елемент пристосування

2.2. Для перевірки перекосу осі верхньої головки шатуна відносно осі нижньої головки шатуна (рис. 2) необхідно:

2.2.1. Встановити шатун з КВ так, щоб осі верхньої та нижньої головок шатуна розташовувалися в площині, паралельній контрольній площині пристосування.

- 2.2.2. Затиснути у кришках цапф КВ нижньої головки шатуна.
- 2.2.3. Почати перевірку паралельності осі отвору нижньої головки шатуна базової осі контрольній площині пристосування, для чого:
- 2.2.4. Налаштувати індикатор на вимірювання по верхній твірній КВ нижньої головки шатуна, закріпивши його на стійці з натягом $2 \dots 3$ мм.
- 2.2.5. Зафіксувати середнє показання індикатора по верхній твірній КВ нижньої головки шатуна біля першого кінця $(a_0)_1$.
- 2.2.6. Зафіксувати середнє показання індикатора верхньої твірної КВ нижньої головки шатуна біля другого кінця $(a_0)_2$.

Примітка. Середнє показання вимірювання індикатором є результатом не менше трьох вимірювань.

- 2.2.7. Різниця середніх показань індикатора $(a_0)_1$, $(a_0)_2$ на протилежних кінцях КВ покаже величину похибки базування (непаралельності) осі отвору нижньої головки шатуна відносно контрольної поверхні плити на довжині між точками вимірювання (140 мм).
- 2.2.8. Перевірити паралельність осі отвору верхньої головки шатуна контрольної площини пристрою. Порядок вимірювань для КВ верхньої головки шатуна такий самий, як і для нижньої головки. Вимірювання робити, дотримуючись послідовності, викладеної в пп. 2.2.4–2.2.7. Результати вимірювань занести до табл. 1 та 2 звіту.
- 2.3. Для перевірки паралельності осей верхньої головки шатуна відносно осі нижньої головки шатуна (рис. 3) необхідно:
 - 2.3.1. Встановити шатун з КВ так, щоб осі верхньої та нижньої головок шатуна розташовувалися

в площині, перпендикулярній контрольній площині пристосування.

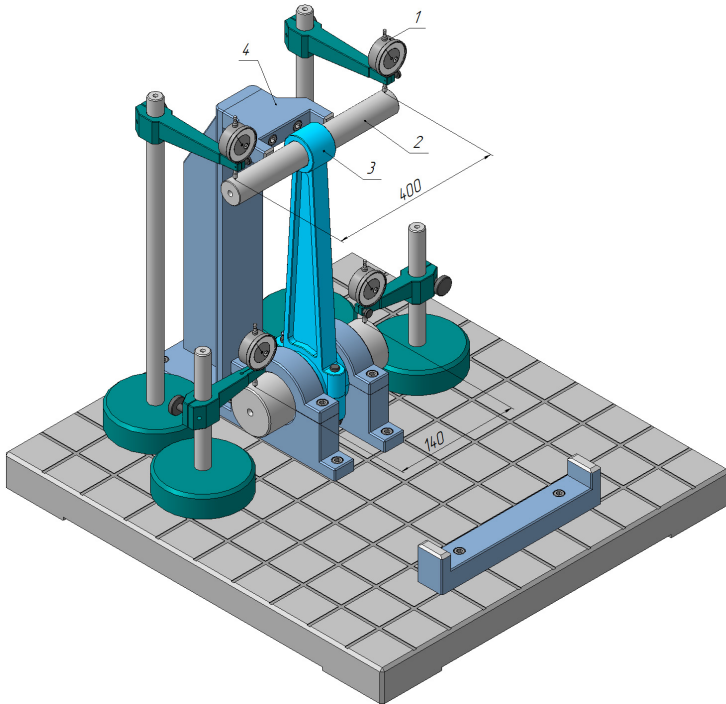


Рис. 3. Схема перевірки непаралельності осі верхньої головки шатуна відносно осі нижньої головки шатуна:

- 1 – індикатори годинникового типу; 2 – контрольний валик;
3 – шатун; 4 – змінний елемент пристосування

2.3.2. Виконати виміри, дотримуючись п. 2.2.2-2.2.4.

2.4. Вимірювання відстані між осями отворів шатуна роблять у наступній послідовності:

2.4.1. Виміряти діаметр КВ верхньої головки шатуна.

2.4.2. Виміряти діаметр КВ нижньої головки шатуна.

- 2.4.3. Визначити відстань між зовнішніми утворюючими КВ верхньої та нижньої головок шатуна.

Примітка. Кожен вимір робити не менше трьох разів.

Результати вимірювань занести до табл. 3 та 4 звіту.

- 2.5. Опрацювати схеми:

2.5.1. Вертикального пристрою для контролю положення осей отворів у шатуні.

2.5.2. Горизонтальні пристрої для контролю положення осей отворів у шатуні.

3. ЗМІСТ ЗВІТУ

Подати звіт (форма звіту вказана нижче) з результатами вимірювань, накреслити ескізи установки шатуна для перевірки, схему пристосування (за вказівкою викладача) для контролю за положенням осей отворів у шатуні, що застосовується в умовах великосерійного виробництва.

3.1. Перевірка перекосу осі отвору верхньої головки шатуна відносно нижньої головки шатуна.

(Ескіз установки деталі)

Результати вимірів

3.1.1. Перевірка паралельності осі отвору нижньої головки шатуна контрольній площині пристосування (табл. 1).

3.1.2. Перевірка паралельності осі отвору верхньої головки шатуна контрольній площині пристосування (табл. 2).

3.1.3. Середнє значення перекосу осі отвору верхньої головки шатуна відносно осі отвору нижньої головки шатуна на довжині 100 мм:

$$\Delta_{\text{пер}} = C_{\text{б}} - C_{\text{в}}.$$

Таблиця 1 – Дані перевірки паралельності осі отвору нижньої головки шатуна

Середнє показання індикатора, мм		Вимірювання паралельності осі базовій площині	
$(a_6)_1$	$(a_6)_2$	На довжині валика $l_6 = 140$ мм $i_6 = (a_6)_1 - (a_6)_2$	На довжині 100 мм $C_6 = 100 \frac{i_6}{l_6}$
...	...	...	...

Таблиця 2 – Дані перевірки паралельності осі отвору верхньої головки шатуна

Середнє показання індикатора, мм		Вимірювання паралельності осі базовій площині	
$(a_v)_1$	$(a_v)_2$	На довжині валика $l_6 = 400$ мм $i_6 = (a_v)_1 - (a_v)_2$	На довжині 100 мм $C_v = 100 \frac{i_6}{l_6}$
...	...	...	...

3.1.4. Допустиме значення _____.

Висновок про придатність: _____.

3.2. Перевірка паралельності осі верхньої головки шатуна відносно нижньої головки шатуна.

(Ескіз установки деталі)

Результати вимірювань

3.2.1. Перевірка паралельності осі отвору нижньої головки шатуна контрольній площині пристосування (табл. 3).

3.2.2. Перевірка паралельності осі отвору верхньої головки шатуна контрольній площині пристосування (табл. 4).

Таблиця 3 – Дані перевірки паралельності осі отвору нижньої головки шатуна

Середнє показання індикатора, мм		Виміряне відхилення паралельності осі базовій площині	
$(a_B)_1$	$(a_B)_2$	На довжині валика $l_B = 140 \text{ мм}$ $i_B = (a_B)_1 - (a_B)_2$	На довжині 100 мм $C_B = 100 \frac{i_B}{l_B}$
...	...	...	...

Таблиця 4 – Дані перевірки паралельності осі отвору верхньої головки шатуна

Середнє показання індикатора, мм		Виміряне відхилення від паралельності осі базовій площині	
$(a_B)_1$	$(a_B)_2$	На довжині валика $l_y = 400 \text{ мм}$ $i_y = (a_B)_1 - (a_B)_2$	На довжині 100 мм $C_B = 100 \frac{i_B}{l_B}$
...	...	...	...

3.2.3. Середнє значення вимірної непаралельності осі отвору головки шатуна відносно осі отвору нижньої головки шатуна на довжині 100 мм:

$$\Delta_{\text{непар}} = C_B - C_B.$$

3.2.4. Допуск _____.

Висновок про придатність: _____.

3.3. Вимірювання відстані між осями отворів головок шатуна (табл. 5).

(Ескіз установки деталі)

3.4. Принципова схема пристосування контролю координатних основних поверхонь шатуна.

Таблиця 5 – Дані вимірювання міжосьової відстані

Середнє значення вимірювань діаметра, мм		Середнє значення вимірювань відстані між зовнішніми твірними КВ верхньої та нижньої головок шатуна, мм	Міжосьова відстань, мм
Верхня головка шатуна	Нижня головка шатуна		
d_B	d_H	l_{TB}	$l_o = l_{TB} - \frac{d_B + d_H}{2}$
...	...	...	...

КОНТРОЛЬНІ ПИТАННЯ

1. Призначення деталі «шатун» у кривошипно-шатунному механізмі двигуна.
2. Охарактеризуйте умови роботи шатунів у двигуні.
3. Які матеріали використовуються для виготовлення шатунів, способи одержання заготовок.
4. З яких конструктивних елементів складається шатун?
5. Поясніть, що таке непаралельність та перекіс осей. Як ці відхилення можуть вплинути на роботу шатуна? Який з відхилень має більш жорсткі вимоги і чому?
6. Як визначається міжосьова відстань у шатуна? Як недотримання вимог щодо цього параметра позначиться на якості роботи?

Робота № 4. ПЕРЕВІРКА КООРДИНАЦІЇ ПОВЕРХОНЬ ПОРШНЯ ДВЗ

Мета й задачі роботи:

- вивчити методи перевірки координації поверхні поршня з використанням універсальних вимірювальних інструментів і найпростіших пристроїв;
- опрацювати схеми загального вигляду пристосування контролю, застосовуваного за умов великосерійного виробництва.

Поршень – одна з деталей циліндропоршневої групи двигуна внутрішнього згоряння. Торцева поверхня поршня спільно з кільцями, внутрішньою поверхнею втулки та кришкою утворюють камеру згоряння циліндра (рис. 1).

Функція поршня – передача енергії згоряння палива через палець та шатун колінчастому валу. Під час роботи він піддається впливу високих механічних та теплових навантажень. Максимальний тиск у циліндрі ДВЗ може досягати 80...160 бар, що відповідає приблизно навантаженню 10...20 т.

У процесі роботи двигуна поршень здійснює зворотно-поступальні рухи, з періодичними прискореннями від 0 до 100 км/год, з частотою до 200 Гц. Максимальне прискорення може досягати 15000...20000 м/с², що відповідає навантаженню 1500...2000 g.

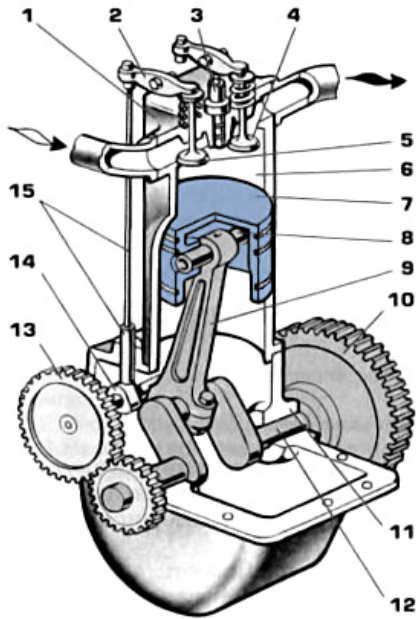


Рис. 1. Схема
одноциліндрового
чотиритактного ДВЗ:
1 – головка циліндра;
2 – коромисла;
3 – свічка запалювання;
4, 5 – випускний та впускний
клапани; 6 – втулка циліндра;
7 – поршень; 8 – поршневі
кільця; 9 – шатун;
10 – маховик; 11 – картер;
12 – колінчастий вал;
13 – приводні шестерні;
14 – кулачки розподільного
вала;
15 – передавальні механізми

Згоряння паливо-повітряної суміші відбувається при температурі $1800...2600^{\circ}\text{C}$, що значно перевищує температуру плавлення більшості матеріалів, які застосовуються для виготовлення поршнів. Для збереження працездатності поршні необхідно ефективно охолоджувати. Тепло від камери згоряння через кільця, спідницю, стінки циліндра, палець і внутрішню поверхню передається охолоджувальній рідині і маслу. При нагріванні поршня відбувається значне зниження межі міцності матеріалу, а також виникають термонапруження від перепадів температури по тілу, які накладаються на напруги від сил тиску газів та інерційних сил. Таким чином, умови роботи поршня можна визначити як дуже складні.

Для протистояння даним впливам поршень повинен мати низьку масу, високу міцність, зносостійкість, теплопровідність. Також важливу роль відіграє форма внутрішніх поверхонь і конструктивних елементів поршня. Вона забезпечує задану міцність та експлуатаційну зносостійкість за рахунок раціонального розподілу та застосування матеріалу.

Особливу увагу приділено формі зовнішньої поверхні. Зовнішній профіль бічної поверхні поршня формується з урахуванням деформацій від механічних навантажень (тиску газів та інерційних сил) та теплового впливу від згоряння паливоповітряної суміші таким чином, щоб ні за яких умов не відбулося заклинювання в циліндрі, прорив гарячих газів у картер, прогорання камери згоряння.

Варто зазначити, що температура на днищі (в зоні камери згоряння) вище, ніж на спідниці, отже, температурне розширення головки буде більшим. Саме тому поршень у холодному стані має бочкоподібний силует і звужується від спідниці до головки. При роботі двигуна сили, що діють на поршень, деформують його так, що спідниця набуває форми овалу. З цієї причини поршень спочатку виконується з протилежним, що компенсує дані зміни у формі.

Зазори між поршнем і циліндром зводяться до мінімуму для більш тихої роботи системи. Результат цього заходу особливо помітний у нерозігрітому двигуні. Але також зазори мають бути достатнього розміру для запобігання технічним неполадкам, наприклад, заклинювання під час роботи прогрітого двигуна. Бочкоподібна та овальна форма зовнішньої поверхні, крім компенсації відповідних деформацій від силового та теплового впливу, забезпечує утворення масляної плівки між поршнем і циліндром (гідродинамічне змащення).

1. ТЕХНІЧНІ ВИМОГИ ДО КООРДИНАЦІЇ ПОВЕРХОНЬ ПОРШНЯ

1.1. Технічні вимоги виготовлення поршнів дизелів регламентуються галузевими стандартами.

Вимоги, необхідні для виконання цієї роботи, наведені нижче.

1.1.1. Допуск перпендикулярності осі отвору під поршневий палець та осі бічної поверхні поршня на довжині 100 мм:

- 0,02 мм для чавунних;
- 0,025 мм для алюмінієвих поршнів.

1.1.2. Допуск перерізу осі отвору під поршневий палець та осі бічної поверхні чавунних поршнів:

- 0,15 % від зовнішнього діаметра поршня;

алюмінієвих поршнів:

- 0,10 мм для діаметра менше 200 мм;
- 0,20 мм для діаметра 200 мм і вище.

1.1.3. Допуск різностінності повністю оброблених алюмінієвих поршнів у діаметрально протилежних місцях для всіх перерізів, крім тих, де конструктивно передбачені неоднакові товщини стінок, повинен бути:

- для штампованих поршнів 0,6 мм;
- для литих поршнів 1,0 мм.

1.1.4. Допуск відстані від осі отвору під палець до торця днища для двигунів без прокладок, що регулюють ступінь стиснення, дорівнює 0,05 мм або 0,1 мм.

Точність розмірів готових поршнів регламентується документами підприємства-виробника. Для забезпечення масляного зазору в працюючому двигуні між напрямною частиною поршня і втулкою циліндра діаметр поршня повинен бути

менше діаметра втулки циліндрів на $\Delta = (0,0010...0,0013)$, D – для чавунних поршнів, та $\Delta = (0,0018...0,0025)$, D – для алюмінієвих поршнів.

Допуск на розмір діаметра під поршневий палець $H7$, ширина канавки під кільця $H8...H9$.

Допустимі відхилення форми поверхні камери згоряння в поршні – 0,3 мм (для діаметрів до 200 мм); 0,5 мм (для діаметрів більше 200 мм).

Овальність зовнішніх циліндричних поверхонь поршня – в межах допуску на діаметр.

Овальність поверхні отвору під поршневий палець – не більше 0,5...0,75 поля допуску на діаметр.

Допуск радіального биття зовнішньої поверхні головки поршня відносно базової осі 0,06...0,10 мм.

Відхилення від перпендикулярності осі отвору під поршневий палець відносно базової осі 0,02 мм на 100 мм довжини.

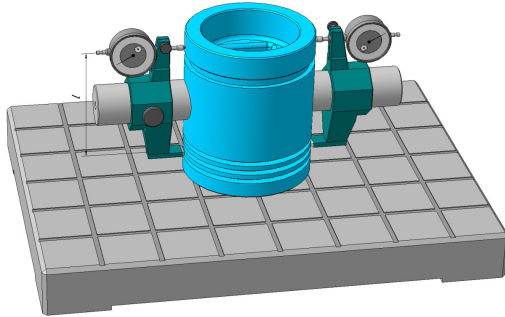
Шорсткість поверхонь: $Ra = 2,5$ мкм – для днища; $Ra = 1,25$ мкм для торців канавок під кільця; $Ra = 1,25...0,63$ мкм для отвору під поршневий палець.

Відхилення маси поршня: +1 % для дизелів з частотою обертання колінчастого вала 500 об/хв і більше; ± 2 % – для дизелів із частотою обертання колінчастого вала менше 500 об/хв.

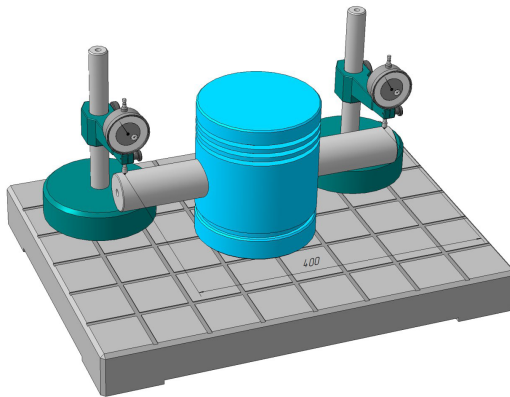
Вісь отвору під поршневий палець має бути перпендикулярна до утворюючої. Допуск відхилення 0,10...0,15 мм на 1 м довжини.

Метод (рис. 2, а, б) передбачає наявність точної перпендикулярності між торцем та зовнішньою поверхнею. Допустиме відхилення при обох методах має бути перераховане на довжину 1.

Вісь отвору під поршневий палець має перетинати вісь поршня. Зміщення не більше 0,2...0,3 мм.



a



б

Рис. 2. Перевірка перпендикулярності осі отвору
під поршневий палець до утворюючої:
a – «пряма» перевірка; *б* – «непряма» перевірка

Схема перевірки контрольним валиком 1, штихмасом та косинцем 2 показані на рис. 3; a_1 повинен дорівнювати a .

Бічні площини канавок для кілець перпендикулярні до твірної поршня. Відхилення 0,02...0,03 мм (поршень ставлять торцем на плиту і заміряють показання індикатором у різних точках канавки).

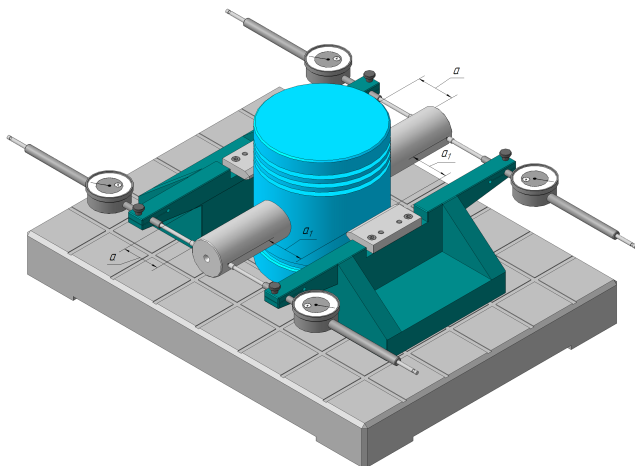


Рис. 3. Схема перевірки перерізу осі отвору під поршневий палець та осі поршня

Контур днища поршня витримують із точністю 0,2...0,5 мм. Перевірка шаблоном.

2. ПОРЯДОК ВИКОНАННЯ РОБОТИ

2.1. Перевірка наведених технічних вимог щодо координатії поверхонь поршня проводиться на поршні легкого швидкохідного дизеля у наступній послідовності:

2.1.1. Перевірка допуску перпендикулярності бічної поверхні поршня до площини торця з боку спідниці.

Встановити поршень торцем спідниці на контрольну плиту. Підвести до твірної поршня контрольний косинець. У чотирьох різних положеннях по колу визначити за допомогою щупа зазор між полицею контрольного косинця і твірної поршня в районі між маслосніжним і першим від поршневого пальця компресійним кільцями.

2.1.2. Перевірка допуску перпендикулярності твірної бічної поверхні до площини денця поршня.

Вимірювання вести у послідовності, зазначеній у п. 2.1.1. Поверхня торця поршня, що дала мінімальні відхилення, надалі приймається як базова для вимірювань.

2.1.3. Перевірка допуску перпендикулярності осі отвору під поршневий палець і поршня.

Вісь отвору під поршневий палець матеріалізується установкою в отвір контрольного валика завдовжки 400 мм.

Поршень встановити на контрольну плиту базовим торцем за п. 2.1.2, налаштувати індикатор для вимірювання, закріпивши його на стійці по верхній твірній контрольного валика з натягом 1,5–2 обороти. Зафіксувати показники індикатора $(a_1)'$, зареєструвати положення верхньої твірної одного кінця контрольного валика відносно площини контрольної плити, не порушуючи налаштування індикатора і зберігаючи незмінним положення поршня з контрольним валиком. Здійснити фіксацію показання індикатора $(a_2)'$ по верхній твірній контрольного валика біля другого кінця.

Кожен вимір повторити не менше трьох разів у тих самих точках. Виміряти відстань між точками вимірювань по верхній твірній контрольного валика H . Середня величина вимірюваного допуску перпендикулярності осі отвору під поршневий палець осі твірної зовнішньої поверхні поршня (у міліметрах на 100 мм довжини) визначається за формулою:

$$b = 100 \frac{(a_1)_{\text{cp}} - (a_2)_{\text{cp}}}{H},$$

де $(a_1)_{\text{cp}}$ – середній показник індикатора по верхній твірній контрольного валика з одного його кінця, мм;

$(a_2)_{\text{cp}}$ – середній показник індикатора по верхній твірній контрольного валика з протилежного його кінця, мм;

H – відстань між точками вимірювань, мм.

2.1.4. Перевірити зміщення осі отвору під палець та осі бічної поверхні поршня.

Встановити поршень так, щоб твірна бічної поверхні була сумісна з контрольною плитою, а верхня твірна контрольного валика, встановленого в отвір під поршневий палець, була паралельна площині контрольної плити. Зафіксувати положення поршня за допомогою притискної планки. Налаштувати індикатор для вимірювання, закріпивши його на стійці по верхній твірній контрольного валика з натягом 1,5...2 обороту.

Зафіксувати індикатором положення верхньої твірної одного кінця контрольного валика відносно площини контрольної плити (b_1)'.

Не порушуючи налаштування індикатора і зберігаючи незмінним положення поршня з контрольним валиком, зробити фіксацію показання індикатора по верхній твірній контрольного валика біля другого кінця (b_2)'. Кожен вимір повторити не менше трьох разів в одній точці. Визначити середню виміряну величину $b_{\text{ср}}$ показань індикатора при першому положенні поршня:

$$b_{\text{ср}} = \frac{(b_1 + b_2)}{n}, \text{ мм},$$

де n – кількість вимірів.

Розвернемо поршень на 180° , не порушуючи установки індикатора. Аналогічно викладеному визначимо середню виміряну величину $(c)_{\text{ср}}$ показань індикатора у другому положенні поршня.

Виміряна середня величина зміщення осі отвору під палець та осі бічної поверхні поршня визначиться за формулою:

$$d_{\text{ср}} = \frac{(b)_{\text{ср}} - (c)_{\text{ср}}}{2}, \text{ мм}.$$

- 2.1.5. Провести визначення товщини стінок поршня в точках, розташованих у площинах симетрії, що проходять через вісь зовнішньої твірної поверхні, й обчислити абсолютну величину середньої рознесеності на підставі десяти вимірювань.
- 2.1.6. За допомогою штангенциркуля виміряти відстань між віссю отвору під поршневий палець і поверхнею торця денця поршня. За остаточну величину вимірюваної відстані прийняти середнє значення трьох або більше вимірів.

3. ЗМІСТ ЗВІТУ

Звіт містить результати вимірювань, викреслені ескізи установки деталі під час перевірки, а також схему пристосування, що використовується при контролі в умовах великосерійного виробництва, у наведеній нижче формі, та повинен відповідати вимогам ЄСКД.

3.1. Перевірка допуску перпендикулярності бічної поверхні поршня і площини торця з боку спідниці:

- ескіз установки;
- величина зазорів;
- середнє вимірюване значення зазору.

3.1.1. Перевірка допуску перпендикулярності бічної поверхні поршня і площини денця поршня:

- ескіз установки;
- величина зазорів.

3.1.2. Висновок про вибір бази для подальших вимірів.

3.2. Перевірка допуску перпендикулярності осі отвору під поршневий палець твірній поршня:

- ескіз установки.

3.2.1. Покази індикатора по верхній твірній контрольного валика біля одного кінця $(a_1)_1, (a_1)_2, (a_1)_3, \dots$, мм.

3.2.2. Середня виміряна величина $(a_1)_{\text{ср}}$:

$$(a_1)_{\text{ср}} = \frac{\sum (a_1)}{n}.$$

3.2.3. Покази індикатора по верхній твірній контрольного валика з протилежного боку $(a_2)_1, (a_2)_2, (a_2)_3, \dots$, мм.

3.2.4. Середня виміряна величина $(a_2)_{\text{ср}}$:

$$(a_2)_{\text{ср}} = \frac{\sum (a_2)}{n}.$$

3.2.5. Середня виміряна різниця показань індикатора:

$$i_{\text{ср}} = (a_1)_{\text{ср}} - (a_2)_{\text{ср}}.$$

3.2.6. Відстань між точками вимірювань по верхній твірній пальця

$$H = \dots \text{ мм.}$$

3.2.7. Середня виміряна величина допуску перпендикулярності на 100 мм довжини:

$$b_{\text{ср}} = 100 \frac{i_{\text{ср}}}{H}.$$

3.2.8. Висновок.

3.3. Перевірка зміщення осі отвору під палець та осі бічної поверхні поршня (ескіз установки).

3.3.1. Показ індикатора по верхній твірній контрольного валика з одного кінця при першій установці поршня $(b_1)'_1, (b_1)'_2, (b_1)'_3, \dots$, мм.

3.3.2. Показ індикатора по верхній твірній контрольного валика з протилежного його кінця при першій установці поршня $(b_2)'_1, (b_2)'_2, (b_2)'_3, \dots$, мм.

3.3.3. Середня виміряна величина показання індикаторів при першій установці поршня:

$$(b)'_{\text{cp}} = \frac{\sum (b_1)'_1 + (b_1)'_2 + \dots + (b_2)'_1 + (b_2)'_2}{n}, \text{ мм.}$$

3.3.4. Покази індикатора по верхній твірній контрольного валика з одного кінця при другій установці поршня $(c_1)''_1, (c_1)''_2, (c_1)''_3, (c_1)''_4$, мм.

3.3.5. Покази індикатора по верхній твірній контрольного валика з протилежного його кінця при другій установці поршня: $(c_2)''_1, (c_2)''_2, (c_2)''_3, (c_2)''_4$, мм.

3.3.6. Середня вимірювана величина показання індикатора при другій установці поршня:

$$(c)''_{\text{cp}} = \frac{\sum (c_1)''_1 + (c_1)''_2 + \dots + (c_2)''_1 + (c_2)''_2}{n}, \text{ мм.}$$

3.3.7. Середня вимірювана величина зміщення осі отвору під палець та осі бічної поверхні поршня:

$$d = \frac{(b)'_{\text{cp}} - (c)''_{\text{cp}}}{2}.$$

3.4. Перевірка різностінності (результати вимірювань звести в таблицю).

Таблиця 1 – Результати вимірювання різностінності поршня

Товщина стінок поршня в точках, мм	t_1	t_2	t_3	t_4	t_5	t_6	t_7	t_8	t_9	t_{10}
Товщина стінок поршня в симетричних точках, мм	t'_1	t'_2	t'_3	t'_4	t'_5	t'_6	t'_7	t'_8	t'_9	t'_{10}
Абсолютна величина різниці товщин $\Delta i = t_i - t'_i$										

Середня виміряна різностінності поршня:

$$\Delta_{\text{ср}} = \frac{\sum_{i=1}^n \Delta_i}{n}, \text{ мм.}$$

3.5. Визначення величини середньої виміряної відстані між віссю отвору під поршневий палець і поверхнею торця денця поршня.

3.5.1. Вимірювання виконувати за аналогією з попереднім.

3.5.2. Висновок про відповідність деталі технічним вимогам.

КОНТРОЛЬНІ ПИТАННЯ

1. Яке значення має точність координації поверхні поршня дизеля щодо його працездатності? Які наслідки можуть виникнути за порушення координації?
2. Які основні методи перевірки координації поверхонь поршня ви знаєте? У чому їх переваги та недоліки?
3. Опишіть послідовність дій під час перевірки координації поршня за допомогою універсальних вимірювальних інструментів. Які інструменти ви використовували та чому?
4. Який пристрій для контролю координації поршня ви б запропонували? Опишіть його конструкцію та принцип роботи.
5. Які відхилення від номінальних розмірів ви виявили під час перевірки координації поршня? Як ви оцінили отримані результати?
6. Як одержані дані можуть бути використані для коригування технологічного процесу виготовлення поршнів?

7. Порівняйте переваги та недоліки використання універсальних вимірювальних інструментів та спеціальних пристроїв для контролю координації поршня. У яких випадках доцільно застосовувати той чи інший метод?
8. Які сучасні методи контролю координації поверхонь поршня ви могли б запропонувати для підвищення точності та ефективності процесу?

Робота № 5. ПЕРЕВІРКА ВТУЛКИ БЛОКА ЦИЛІНДРІВ ДВИГУНА ВНУТРІШНЬОГО ЗГОРЯННЯ

Мета й задачі роботи:

- вивчити методи контролю втулки із застосуванням універсальних вимірювальних інструментів;
- набути навичок в оцінці шорсткості обробки поверхонь шляхом порівняння їх із еталонними зразками, у виявленні зовнішніх дефектів візуальним оглядом.

Втулка блока циліндрів є найбільш відповідальною деталлю циліндропоршневої групи двигуна внутрішнього згоряння. Внутрішня поверхня втулки (гільзи) спільно з головкою поршня і кришкою утворює камеру згоряння, а також служить направляючою при русі поршня.

Гільза займає особливе положення серед теплонапружених деталей двигуна, як за своїми функціональними характеристиками, так і за вимогами, що висуваються до неї. Забезпечення лише однієї міцності втулки, незважаючи на всю важливість цієї вимоги, недостатньо для тривалої та надійної роботи двигуна.

Для втулок циліндрів двигунів легкових автомобілів діаметр може варіюватися від 60 до 120 мм, а для великих дизельних двигунів – до 500 мм і більше. Довжина втулок зазвичай відповідає висоті циліндра і може досягати 200...300 мм і вище у великих ДВЗ. Вага втулок залежить від матеріалу та розмірів, але для потужних промислових двигунів вона може становити кілька десятків кілограмів.

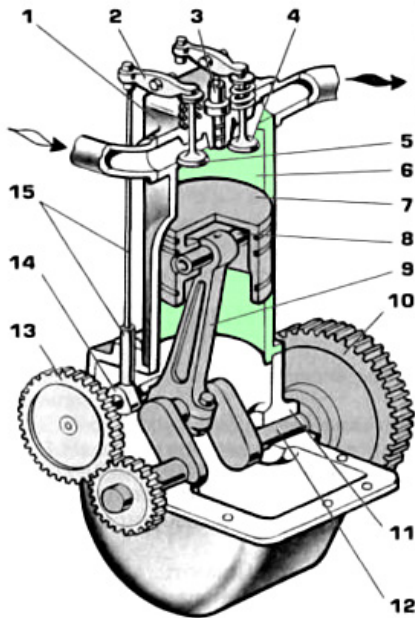


Рис. 1. Схема
одноциліндрового
чотиритактного ДВЗ:
1 – головка циліндра;
2 – коромисла;
3 – свічка запалювання;
4, 5 – випускний та впускний
клапани; 6 – втулка циліндра;
7 – поршень; 8 – поршневі
кільця; 9 – шатун;
10 – маховик; 11 – картер;
12 – колінчастий вал;
13 – приводні шестерні;
14 – кулачки розподільного
вала;
15 – передавальні механізми

Суднові двигуни, особливо великі двотактні дизельні, вимагають спеціальних втулок, здатних витримувати ще більш екстремальні умови. Їхні втулки відрізняються від тих, що використовуються в автомобільних двигунах, через потребу у тривалій роботі під високими навантаженнями та у складних морських умовах.

Суднові дизельні двигуни можуть мати дуже великі розміри втулок. Наприклад, діаметр втулок коливається від 500 до 980 мм у великих суднових двигунах, довжина втулки може досягати 2–3 метрів і більше, втулка великих двигунів може важити кілька сотень кілограмів, а іноді й більше тонни, оскільки використовується масивний матеріал для забезпечення стійкості.

Втулки циліндрів піддаються екстремальним навантаженням. Ось деякі основні параметри:

- максимальна температура може досягати до 300...400 °С біля стінок циліндра при високій теплопровідності матеріалу, що дозволяє втулці охолоджуватись і запобігає перегріву;

- тиск може досягати 100...150 бар (10...15 МПа) залежно від типу пального і конструкції двигуна;

- контактна швидкість між поршнем і стінками циліндра може досягати до 20 м/с, особливо в двигунах високої потужності.

Піковий тиск у судових циліндрах може досягати 150...200 бар, що є значно вищим, ніж у більшості автомобільних двигунів, через великий розмір і потужність.

У великих судових двигунах контактна швидкість між поршнем і втулкою може бути меншою, ніж у швидкохідних двигунах, і становить близько 10...15 м/с, однак зі збільшеним тиском.

Сучасні втулки створюються з урахуванням покращення теплопровідності, зносостійкості та корозійної стійкості. Для цього застосовуються матеріали і покриття, такі як:

- **леговані чавуни** (наприклад, із молібденом або нікелем);

- **алюмінієві сплави** з керамічним покриттям для покращення зносостійкості;

- **композитні матеріали** (наприклад, металеві матриці з керамічними волокнами).

Такі деталі потребують точного розрахунку для забезпечення довговічності та високої продуктивності, оскільки знос або пошкодження втулок можуть призвести до швидкого виходу двигуна з ладу.

За способом охолодження гільзи поділяються на:

- «мокрі» гільзи – зовнішня поверхня гільзи має безпосередній контакт з охолоджувальною рідиною;
- «сухі» гільзи – зовнішня поверхня гільзи не має контакту з охолоджувальною рідиною.

Мокры гільзи набули найбільшого поширення у сучасних двигунах. Вони забезпечують більш ефективне тепловідведення від циліндрів, ніж сухі гільзи, і легко замінюються у разі зношування. Сухі гільзи застосовуються в двигунах малої та середньої потужності. Вони мають нижчу вартість, ніж мокры гільзи, але гірше відводять тепло і вимагають ретельнішої обробки поверхонь для забезпечення герметичності.

Для правильної установки в блоці та збереження форми, гільзи центрують по двох напрямних поясах. Діаметр верхнього пояса дещо більший, ніж нижнього, в якому для забезпечення подовження втулки під час роботи передбачається зазор 0,05...0,13 мм. Порожнини охолодження ущільнюють спеціальними гумовими кільцями, які встановлюються в канавки блока циліндрів або канавки гільзи на нижньому напрямному пояску.

Хімічний склад, структура матеріалу, точність виготовлення гільз, мікрорельєф робочої поверхні є базовими критеріями, які визначають загальну надійність двигуна, триботехнічні показники пари тертя «поршневе кільце-гільза», а також дозволяють створити умови для повного згоряння палива, підвищення ефективності теплових циклів та збільшення ККД двигуна.

Виходячи з цього, точність розмірів окремих елементів гільзи становить не більше 5 мкм, що є характерним для деталей точного машино- та приладобудування.

Деякі параметри гільз виготовляються за спеціальними технологіями і, відповідно, для оцінки їхньої специфічної

якості потрібні спеціальні високоточні засоби контролю та серйозна інженерна підготовка.

Для виробництва гільз потрібна організація високотехнологічних видів виробництва, зокрема ливарного, механічного та термічного.

Втулки циліндрів повинні виготовлятися відповідно до вимог робочих креслень, розроблених за чинною ЄСКД. Нижче наведено деякі з цих вимог.

1. ТЕХНІЧНІ ВИМОГИ

1.1. На втулках не допускаються тріщини, рихлоти, чорновини, задирки та забоїни.

1.2. Не допускаються дефекти на поверхнях канавок під кільця ущільнювачів, на кромках канавок і торцевих поверхнях опорного бурта.

1.3. На поверхні роботи поршневих кілець не допускаються раковини.

1.4. Раковини на поверхнях втулки, що омиваються охолоджувальною рідиною, не повинні перевищувати по глибині $0,008 D$, мм.

1.5. Параметри шорсткості поверхонь за ДСТУ 2413-94 повинні бути:

- для внутрішньої поверхні:

$Ra \leq 0,32$ мкм – для втулок з внутрішнім діаметром до 160 мм;

$Ra \leq 0,63$ мкм – 160...450 мм;

$Ra \leq 2,5$ мкм – понад 450 мм;

- для зовнішніх поверхонь:

$Ra \leq 2,5$ мкм – для посадкових поверхонь поясків та нижньої поверхні опорного бурта;

$Ra \leq 20$ мкм – для оброблених поверхонь продувних та вихлопних вікон;

$Ra \leq 40$ мкм – для оброблених поверхонь, що змащуються охолоджувальною рідиною.

Для втулок циліндрів, що мають на внутрішній поверхні спеціальний маслоутримуючий мікрорельєф, параметри її шорсткості повинні бути зазначені в технічних умовах на втулки конкретного типу або на робочих кресленнях, затверджених у встановленому порядку.

1.6. Граничне відхилення діаметра внутрішньої поверхні втулки – *H7* за ДСТУ 2500-94.

1.7. Овальність, конусоподібність, бочкоподібність та сідлоподібність внутрішньої поверхні втулки не повинні перевищувати 0,8 допуску на діаметр.

1.8. Биття посадкових поясків, що сполучаються з блоком циліндрів, відносно внутрішньої поверхні або її осі не повинно перевищувати $0,03...0,00012 D$, мм.

Для втулок двотактних двигунів з поршнями, що протилежно рухаються, биття не повинно перевищувати $0,03...0,00035 D$, мм.

1.9. Торцеве биття нижньої поверхні опорного бурта щодо посадкових поясів не має перевищувати $0,028...0,00006 D$, мм.

1.10. Биття посадкових поясків щодо внутрішньої поверхні або її осі не повинно перевищувати:

0,05 мм – для втулки із внутрішнім діаметром до 150 мм;

0,08 мм – для втулки із внутрішнім діаметром 150...450 мм;

0,10 мм – для втулки із внутрішнім діаметром понад 450 мм.

1.11. Биття торця нижньої поверхні опорного бурта щодо внутрішньої поверхні втулки не повинно перевищувати:

0,03 мм – для втулки із внутрішнім діаметром до 200 мм;

0,05 мм – для втулки із внутрішнім діаметром понад 200 мм.

Вид покриття, мікрорельєфу або хімічної обробки, а також вимоги до них мають бути зазначені на робочих кресленнях, затверджених у встановленому порядку.

2. ПОРЯДОК ВИКОНАННЯ РОБОТИ

Перевірка цих вимог виконується для втулки швидкохідного дизеля. Відповідність втулки наведеним технічним вимогам встановлюється таким чином:

2.1. Для пп. 1.2–1.4 – візуальним оглядом.

2.2. Для пп. 1.5 – шляхом порівняння контрольованих поверхонь втулки з еталонними зразками, що розглядаються за допомогою лупи десятикратного збільшення.

2.3. Для пп. 1.6 та 1.7 – обробкою даних вимірювань внутрішнього діаметра втулки. Вимірювання виробляються через 30° по всьому колу у верхній, середній та нижній частинах за допомогою мікрометричного нутроміра не менше трьох разів і усереднюються.

2.4. Для п. 1.3 – обробкою даних вимірювань відстаней між твірними внутрішньої поверхні втулки та зовнішньої поверхні верхнього посадкового пояса за допомогою мікрометра через 30° .

2.5. Для п. 1.9 – обробкою даних вимірювань биття нижньої поверхні опорного бурта відносно верхньої поверхні. Вимірювання виконуються індикатором під час встановлення втулки на плиту.

Фіксуються дані вимірювань через 30° (рис. 2).

Обміри втулки циліндра індикаторним нутроміром виконують у наступній послідовності:

– підбирають змінний стрижень під більший діаметр втулки, щоб вимірювальний стрижень індикатора був під явним натягом;

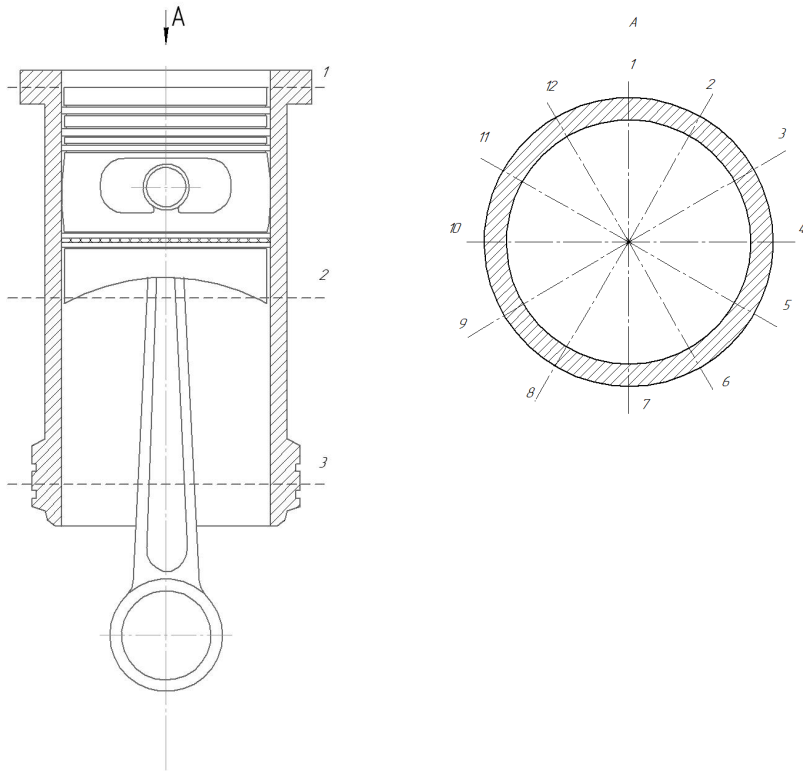


Рис. 2. Схема вимірювання

— виставляють установчий розмір індикаторного нутроміра (рис. 3): вгвинчують змінний стрижень у державку (корпус) нутроміра (а); поміщають його між вимірювальними поверхнями мікрометричної скоби, встановленої на номінальний діаметр втулки вимірюваного циліндра і регулюють його довжину (б); нульову поділку циферблата індикатора поєднують зі стрілкою і відзначають цілі міліметри (в); стопорять змінний стрижень контргайкою (г);

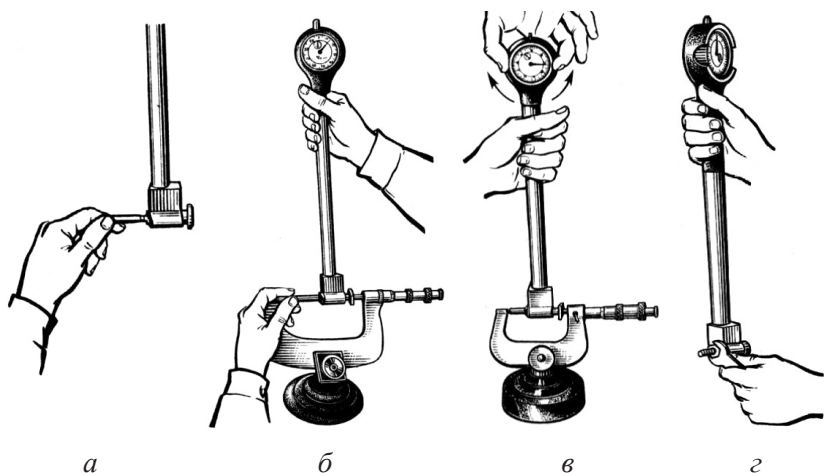


Рис. 3. Підготовка до вимірювання індикаторним нутроміром

- обережно, без ударів вимірювальних стрижнів об стінки втулки, вводять нутромір в отвір у відповідний переріз та пояс по висоті. Він самоустановиться в площині осі втулки циліндра. Щоб встановити нутромір перпендикулярно до цієї осі, нерухомий вимірювальний стрижень упирають у стінку втулки, а рухомий вимірювальний стрижень злегка переміщують уздовж твірної втулки, відшукуючи найменший розмір (або похитують його, як показано на рис. 4);
- зчитують показання індикатора. Так як фактичний діаметр втулки буде більше установочного розміру нутроміра, при вимірюванні стрілка індикатора відхилятиметься вліво (у бік збільшення розміру). Фактичний діаметр втулки циліндра дорівнюватиме сумі настановного розміру нутроміра й отриманого значення на індикаторі.

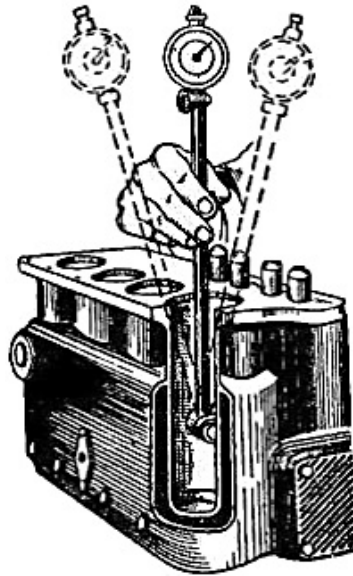


Рис. 4. Схема установки індикаторного нутроміра в площині осі втулки циліндра та перпендикулярно до неї

3. ЗМІСТ ЗВІТУ

Звіт оформлюється за запропонованою схемою та має відповідати вимогам ЄСКД.

3.1. Назва та мета роботи.

Найменування деталі, що перевіряється, ескіз, схема вимірювань.

Марка матеріалу, ДСТУ.

3.2. Перевірка зовнішнім оглядом втулки циліндра:

- застосовувані засоби контролю, найменування, номер;
- встановлені дефекти (пп. 1.2, 1.3, 1.4).

Висновок про придатність.

3.3. Встановити параметр шорсткості, керуючись пп. 1.5, 1.6 та 2.2. Дані перенести на ескіз.

3.4. Перевірка розмірів внутрішньої поверхні втулки:

- застосовувані засоби контролю, ціна поділки, межі вимірювання, номер;
- перевірка точності обробки внутрішнього діаметра, керуючись пп. 1.6, 1.7 та 2.3. Дані перевірки занести до табл. 1.

Таблиця 1 – Перевірка точності обробки внутрішнього діаметра

Найменування перерізів	Переріз верхній				Переріз середній				Переріз нижній			
	Виміри											
	1	2	3	сер.	1	2	3	сер.	1	2	3	сер.
Площина 1–7												
Площина 2–8												
Площина 3–9												
Площина 4–10												
Площина 5–11												
Площина 6–12												

Висновок про придатність.

3.5. Перевірка биття посадкових поясків:

- засоби контролю, ціна поділки, межі вимірювання, ескіз установки.

Дані перевірки занести до табл. 2.

Таблиця 2 – Перевірка биття посадкових поясків

Найменування перерізів	Номер точки вимірювань											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Верхній поясок												
Нижній поясок												

Висновок про придатність.

3.6. Перевірка биття нижньої поверхні опорного бурта відносно внутрішньої поверхні втулки (п. 1.7):

- засоби контролю, ціна поділки, межі вимірювань, ескіз установки.

Дані перевірки занести до табл. 3.

Таблиця 3 – Перевірка биття нижньої поверхні опорного бурта

Номери вимірів	Номер точки вимірів											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1												

Висновок про придатність.

КОНТРОЛЬНІ ПИТАННЯ

1. Які основні дефекти втулок блока циліндрів можуть бути виявлені під час лабораторної роботи?
2. Як визначити овальність та конусність отвору втулки?
3. Як перевірити наявність тріщин та інших дефектів на поверхні втулки?

4. Які виміри необхідно виконати для контролю геометричних параметрів втулки?
5. Які інструменти та пристрої використовуються для перевірки втулки?
6. Перерахуйте основні пояси обмірів за висотою втулки чотирициліндрового циліндра двигуна.
7. Чим вимірюють внутрішні діаметри втулок циліндрів?
8. Як перевірити правильність налаштування мікрометричного нутроміра?
9. Як відрегулювати нульове положення мікрометричного нутроміра?
10. В якій послідовності обмірюють втулку циліндра за допомогою мікрометричного нутроміра?
11. Чому дорівнює ціна поділки індикаторного нутроміра?
12. Як налаштувати індикаторний нутромір на розмір установки?

Робота № 6. МЕТОДИ ПЕРЕВІРКИ ПОРШНЕВИХ КІЛЕЦЬ ДВЗ

Мета й задачі роботи:

- ознайомитись з конструкцією та видами поршневих кілець, їх службовим призначенням, технічними вимогами на виготовлення;
- вивчити деякі методи контролю поршневих кілець для встановлення придатності їх за низкою параметрів.

Поршнєві кільця призначені для забезпечення герметичності внутрішньоциліндрового простору, тобто, для запобігання прориву газів із цього простору в картер двигуна. Також поршнєві кільця відводять теплоту від днища поршня до стінок циліндра та перешкоджають проникненню масла з картера в камеру згоряння (рис. 1).

Конструктивно поршнєві кільця застосовують двох типів: компресійні та маслознімні (рис. 2).

Компресійні (загальна кількість від 3 до 7):

- *верхні*, їх основне призначення – попереднє забезпечення герметичності системи;
- *нижні*, вони забезпечують фінішну герметизацію працюючого двигуна після проходження відпрацьованого газу через верхні та проміжні компресійні кільця.

Маслознімні: повинні видаляти надлишки моторного масла з поверхні циліндра, поршня та кілець-ущільнювачів при залишенні мінімально необхідної плівки масла на стінках циліндрів і поршнів.

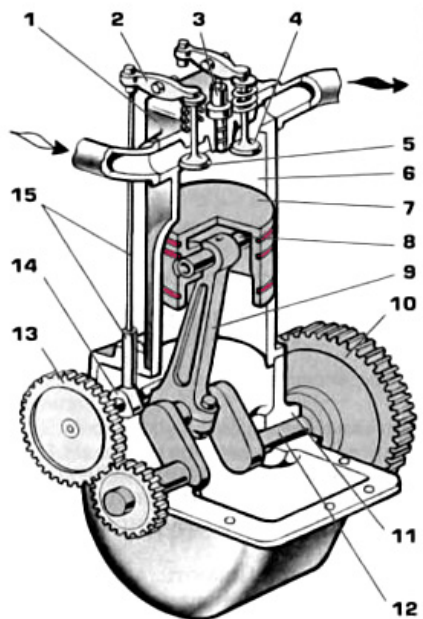


Рис. 1. Схема
одноциліндрового
чотиритактного ДВЗ:
1 – головка циліндра;
2 – коромисла;
3 – свічка запалювання;
4, 5 – випускний та впускний
клапани; 6 – втулка циліндра;
7 – поршень; 8 – поршневі
кільця; 9 – шатун;
10 – маховик; 11 – картер;
12 – колінчастий вал;
13 – приводні шестерні;
14 – кулачки розподільного
вала;
15 – передавальні механізми

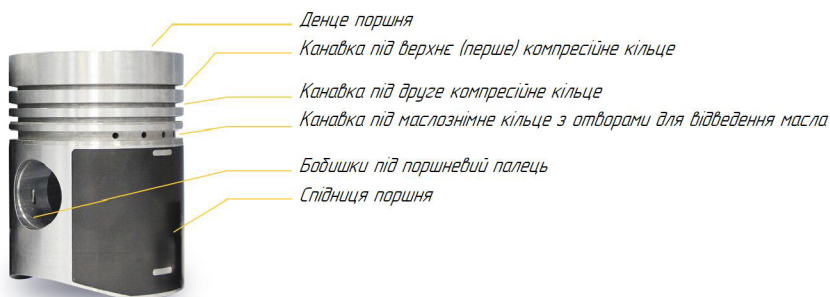


Рис. 2. Схема розташування поршневих кілець
у канавках поршня

Поршневі кільця виготовляють із високоякісного чавуну або легованої сталі. Чавунні мають меншу вагу і швидше приробляються, завдяки пористій структурі добре утримують мастильний матеріал і зменшують зношування циліндрів. Сталеві мають кращу термостійкість і вищу межу міцності. Сталеві кільця потребують нанесення антифрикційного покриття. Найчастіше верхні сталеві кільця мають олов'яне чи хромове покриття, нижні – молібденове напilenня.

Для високооборотних дизелів (ВОД), що мають сталеві циліндрові втулки, частіше використовують кільця з легового чавуну або сталей марок 65Г, 50М, твердість яких після термообробки значно перевищує твердість втулок. Ущільнюючий ефект поршневі кільця забезпечують приляганням зовнішніх поверхонь до циліндрової втулки й опорних нижніх поверхонь до канавок головки поршня.

На етапі розвитку суднових двигунів з'явилася тенденція до збільшення висоти кілець зі зміною форми їх внутрішньої частини (рис. 3, а, б, в).

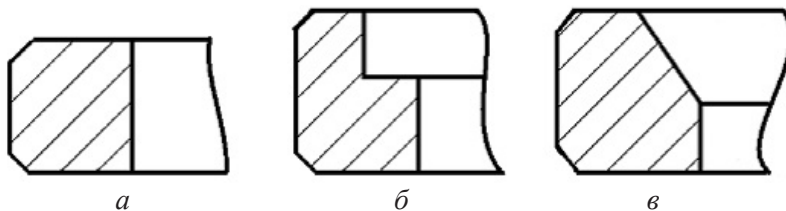


Рис. 3. Варіанти форми поршневих кілець

Збільшення висоти кільця підвищує його газощільність, а збільшення об'єму його тильної сторони знижує ймовірність коксоутворення в канавках, при якому кільце може втратити рухливість і пружність, що особливо актуально для верхніх кілець.

Пружний ефект кільця створюється збільшенням його габариту відносно діаметра втулки і видаленням деякої його частини по довжині кола, що забезпечує можливість стиснення при введенні кільця у втулку. Місце вирізу називається замком, який характеризується величинами зазорів у вільному S_b і в стиснутому в циліндровій втулці стані S_{ct} , а також формою, яка визначається конфігурацією країв вирізаної частини. Варіанти форми замка представлені на рис. 4.

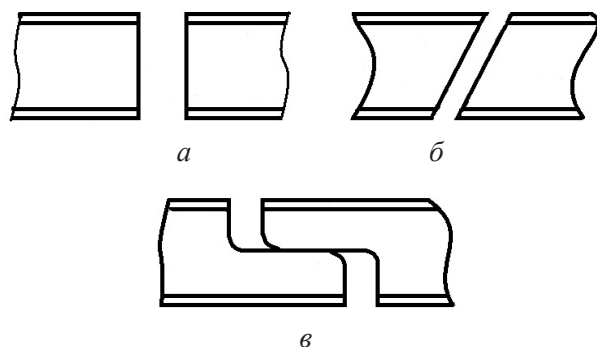


Рис. 4. Варіанти форми замка поршневих кілець

Прямий і косий замки (рис. 4, а, б) найчастіше зустрічаються через простоту їх виготовлення. При однаковому просвіті по довжині кола S_{ct} прохідний переріз косого замка виходить менше ніж у прямого, що створює підвищений опір перетіканню газів.

Нові поршневі кільця, встановлені у втулку, повинні мати гарантований зазор у замку, необхідний для вільного подовження кільця при нагріванні (тепловий зазор). По мірі зносу кільце розпрямляється у втулці і величина зазору зростає, а опір руху газів та ущільнююча здатність знижуються. Такого недоліку немає у «газонепроникних» замків, в яких у стиснутому стані немає просвіту для витоку газів (рис. 4, в).

1. КОНТРОЛЬОВАНІ ПАРАМЕТРИ ТЕХНІЧНИХ ВИМОГ

1.1. На виготовлення поршневих компресійних і маслосніжних кілець нормальних та ремонтних розмірів стаціонарних, суднових і тепловозних дизелів, а також дизелів, що використовуються для пересувних установок, для газових двигунів технічні вимоги визначаються відповідними нормативними документами.

1.2. На поверхнях готових кілець не допускаються тріщини, раковини, чорновини, рихлості, лиски, задирки та забоїни. Допускаються сколи на кутах замку по внутрішній поверхні кільця, розміри яких у зачищеному стані не повинні бути більшими за 0,5 мм.

1.3. Параметри шорсткості кільця діаметром до 360 мм повинні бути не більше:

- $Ra = 0,63$ мкм для торцевих поверхонь;
- $Ra = 2,5$ мкм для зовнішньої поверхні;
- $Ra = 20$ мкм для внутрішньої поверхні.

1.4. Допуск коливань радіальної товщини в одному кільці має бути для зовнішніх діаметрів:

- до 160 мм – 0,1 мм;
- понад 160 мм – 0,2 мм.

1.5. Допуск короблення торцевої поверхні кільця має бути:

- 0,03 мм – для кілець зовнішнім діаметром до 320 мм;
- 0,05 мм – для кілець зовнішнім діаметром понад 320 мм.

1.6. Кільце, вкладене в контрольний калібр, що відповідає номінальному діаметру циліндра нормального або ремонтного розміру, повинно прилягати до його поверхні не менше ніж на 90 % довжини кола. Контакт має бути безперервним або точковим. У місцях неприлягання допускається зазор $0,01...0,00008 D_{\text{зов}}$, де $D_{\text{зов}}$ – зовнішній діаметр кільця,

вкладеного в калібр, мм. Не допускається зазор у кільцях чотиритактних двигунів у зоні 15° у кожную сторону від замка.

1.7. Короблення торцевих поверхонь кільця має перевищувати зазначене в табл. 1.

Таблиця 1 – Припустимі значення короблення торцевих поверхонь кільця

Зовнішній діаметр кільця, мм	Короблення торцевих поверхонь, мм, при відношенні висоти до зовнішнього діаметра					
	1/30	1/30–1/40	1/40–1/50	1/50–1/60	1/60–1/70	>1/70
До 100 включно	0,020	0,030	0,040	0,050	0,060	0,070
100...175	0,025	0,040	0,050	0,060	0,070	0,080
175...250	0,030	0,045	0,060	0,070	0,080	0,085
250...325	0,040	0,055	0,065	0,075	0,080	0,090
325...360	0,050	0,060	0,070	0,080	0,085	0,090

Для маслоснімних кільць, що мають радіальні вибірки (пази), висоту кільця слід приймати за найменшим перерізом у місці вибірки.

1.8. Величина зазору в замку кільця, вкладеного в калібр, що відповідає номінальному діаметру циліндра (нормального або ремонтного розміру), повинна бути вказана у технічній документації та не перевищувати 30 % номінального значення зазору.

2. ПОРЯДОК ВИКОНАННЯ РОБОТИ

Перевірку відповідності перерахованим вимогам поршневих кільць ДВЗ виконують, дотримуючись наступних вказівок:

2.1. Перевірка відсутності неприпустимих зовнішніх дефектів проводиться шляхом ретельного візуального огляду щодо встановлення відповідності дефектів реально виконаних поверхонь поршневих кілець вимогам ДСТУ 2883-94; ДСТУ 3880-99; ДСТУ 3881-99; ДСТУ 3882-99; ДСТУ 3883-99; ДСТУ 3884-99; ДСТУ 621:2010.

Перевірці підлягають щонайменше три кільця. Робиться висновок про придатність.

2.2. Встановлення відповідності реальної шорсткості поверхонь поршневих кілець на вимогу ДСТУ 621:2010 та класифікації за ДСТУ 2413-94, ДСТУ 2409-94 виконується методом порівняння з еталонами шорсткості поверхонь візуальним спостереженням із застосуванням 10-кратної лупи. Дати висновок про придатність.

2.3. Перевірка коливань радіальної товщини кільця проводиться для трьох кілець шляхом вимірювання товщин у точках, рівномірно розташованих по колу кільця через 60°. Вимірювання кожної точки виконуються щонайменше три рази. Результати вимірювань зводяться до таблиці. Вимірювальний інструмент – мікрометр. На підставі отриманих даних вимірювань і технічних вимог ДСТУ 621:2010 робиться висновок про придатність.

2.4. Кільця на короблення перевіряють на пристосуванні, яке складається з двох полірованих плит, установлених вертикально на відстані, що дорівнює найбільшому розміру кільця по висоті, з урахуванням допуску на короблення (рис. 5). Розміри плит по висоті повинні бути не меншими за номінальний діаметр циліндра, а по ширині – більшими за номінальний діаметр, для якого призначене кільце. Кільце повинне провалюватися між плитами під дією власної ваги. Перед перевіркою кільця слід попередньо ретельно протерти та оглянути, чи немає на них сторонніх частинок, які можуть вплинути на результат перевірки. Зробити висновок про придатність.

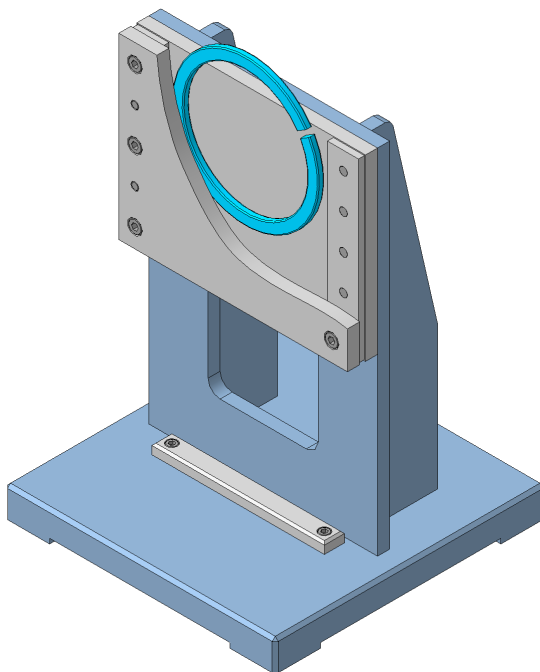


Рис. 5. Калібр для перевірки короблення кілець

2.5. Правильність прилягання зовнішньої поверхні кільця до калібру перевіряють на просвіт у спеціальному пристрої (рис. 6). Прилягання вважається безпросвітним, якщо по периметру кільця відсутні щілини, що пропускають світло ламп. Пристрій повинен забезпечувати освітленість стику між кільцем та калібром променями електричної лампи потужністю 25 Вт з матовим балоном, розташованим на відстані 100 мм від кільця. Нитка лампи, стик і око спостерігача повинні розташовуватися на одній прямій, перпендикулярній площині торців кільця.

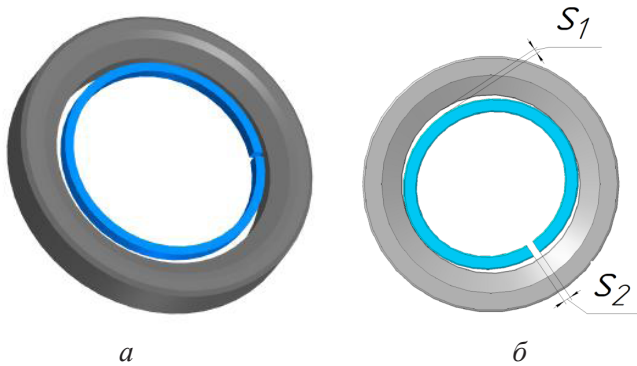


Рис. 6. Перевірка прилягання зовнішньої поверхні кільця S_1 та величини зазору в замку S_2 :

а – ескіз встановлення кільця у калібрі; *б* – схема виміру

Якщо при перевірці виникає необхідність виміру зазору та дуги просвіту, то вимір виробляють за допомогою щупа і гнучкої лінійки.

2.6. Визначення величини зазору в замку проводять при виконанні контролю прилягання зовнішньої поверхні кільця і калібру за допомогою набору пластинок щупа. Результати вимірювання для трьох поршневих кілець зводяться до таблиці.

3. ЗМІСТ ЗВІТУ

Звіт виконується за формою, що додається, і повинен відповідати вимогам ЄСКД.

3.1. Найменування деталі, що перевіряється; матеріал, ДСТУ на матеріал (див. додаток).

3.2. Огляд зовнішніх дефектів деталі (рихlostей, раковин, чорновин, задирок, вибоїн).

Висновок про придатність.

3.3. Встановлення шорсткості поверхні деталі, що перевіряється:

- найменування застосовуваних засобів;
- короткий опис процесу контролю.

Висновок про придатність.

3.4. Перевірка коливань радіальної товщини кільця:

- найменування застосовуваних засобів (для вимірних інструментів зазначаються ціна поділки та межі виміру);
- ескіз установки (див. звіт);
- дані контролю занести в табл. 1.

Висновок про придатність.

Таблиця 1. Перевірка коливань радіальної товщини кільця

№	Найменування деталі	Точки виміру																	
		1			2			3			4			5			6		
		Замір																	
		1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3

3.5. Перевірка кілець на короблення:

- найменування застосовуваних засобів;
- ескіз установки; короткий опис процесу контролю.

Висновок про придатність.

3.6. Перевірка прилягання зовнішніх поверхонь кільця:

- найменування застосовуваних засобів;
- схема установки;
- короткий опис процесу контролю.

Висновок про придатність.

3.7. Звіт має містити:

- найменування застосовуваних засобів;
- ескіз установки;
- короткий опис процесу перевірки;
- дані контролю занести в табл. 2.

Висновок про придатність.

Таблиця 2. Перевірка величини зазору в замку кільця

Номер	Найменування деталі	Номери вимірів		
		1	2	3

КОНТРОЛЬНІ ПИТАННЯ

1. Призначення поршневих кілець.
2. Класифікація поршневих кілець.
3. З яких матеріалів виготовляються поршневі кільця?
4. Які основні геометричні параметри поршневих кілець ДВЗ підлягають контролю?
5. Опишіть методи та засоби вимірювання кожного з цих параметрів.
6. Які дефекти геометричної форми та розмірів можуть бути виявлені при контролі поршневих кілець?
7. Як впливають на роботу ДВЗ дефекти геометричної форми та розмірів поршневих кілець?

Робота № 7. ВИЯВЛЕННЯ ЗАЛИШКОВИХ ТЕХНОЛОГІЧНИХ НАПРУГ У ДЕТАЛЯХ

Мета й задачі роботи:

- ознайомитись з існуючими методами визначення залишкових технологічних напруг;
- вивчити основні експериментальні методи визначення залишкових напруг;
- набути практичних навичок визначення величини залишкових напруг.

Технологічні залишкові напруги класифікуються за ознаками протяжності силового поля і за фізичною сутністю.

Напруги 1-го роду – макронапруги, що охоплюють області, порівнянні з розмірами деталі; ці напруги мають орієнтацію, пов'язану з формою деталі; *напруги 2-го роду* – мікронапруги, що поширюються на окремі зерна металу чи групу зерен; *напруги 3-го роду* – субмікроскопічні, що відносяться до перекручувань атомних ґраток кристала; їх орієнтація пов'язана зі структурою атомних ґраток.

Макронапруги в деталі виникають у результаті дії різних технологічних факторів при її виготовленні.

Технологічні фактори (методи і режими обробки, стан інструмента, ЗОР та ін., а також умови виконання заготівельних операцій і термообробки) дуже впливають на величину і знак залишкових напруг. Точіння зазвичай викликає появу розтягувальних напруг, що можуть досягати величини до 700 Н/мм^2 ; глибина їх поширення знаходиться в межах 50...200 мкм, залежно від умов обробки. При фрезеруванні

виникають як розтягувальні, так і стискальні напруги, залежно від умов фрезерування. При шліфуванні, за рідкісним винятком, виникають розтягувальні напруги. Величина і знак макронапруг після механічного полірування деталей залежать від попередньої обробки, але в більшості випадків полірування сприяє наведенню незначних стискальних напруг (до 30 Н/мм²).

Залишкові напруги впливають на метал так само, як і напруги, викликані робочим навантаженням.

Залишкові напруги впливають на опір пружній і пластичній деформації, утому матеріалів, зносостійкість і опір корозії.

Теоретичне прогнозування залишкових напруг доволі складне через велику кількість впливальних факторів, тому їхнє експериментальне визначення відіграє дуже важливу роль.

Основними методами визначення залишкових напруг є механічні і рентгенівські. Дуже перспективні для промислового застосування електрофізичні методи, при яких залишкові напруги визначаються по зміні електромагнітних властивостей поверхневого шару.

Механічні методи визначення залишкових напруг одержали найбільше поширення через свою простоту і внаслідок того, що в них використовуються такі ж представлення про напруги, як і при розрахунках деталей на міцність, твердість і стійкість.

Механічні методи засновані на припущенні, що розрізання чи видалення частини деталі з залишковими напругами еквівалентні додатку до основної деталі на знов утворених поверхнях, напруг, зворотних залишковим. Ці зворотні напруги викликають деформацію деталі чи зусилля в пристроях, що перешкоджають деформації. Вимірюючи виникаючі деформації (деформаційними методами) чи сили реакції (силовими методами), можна обчислити залишкові напруги.

Використання механічних методів визначення залишкових напруг пов'язане з вирізанням зразків з досліджуваних деталей. Методи вирізки не повинні вносити додаткових напруг на досліджувані поверхні. Найбільше поширення має електроерозійне й електрохімічне прошивання (рис. 1).

Для вирізання зразків з великих деталей чи деталей із пластмас застосовують механічне розрізання на чистових режимах обробки при рясному охолодженні. Після механічного вирізання металевих зразків рекомендується стравлювати зі знову утворених поверхонь шар товщиною 0,2 мм для видалення напруг, що виникають при вирізанні.

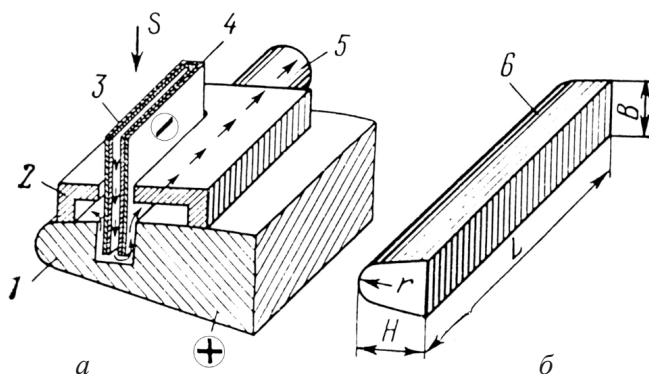


Рис. 1. Схема (а) електрохімічного вирізання зразка (б) для визначення залишкових напруг у вихідному нарізку лопатки:

- 1 – відрізуваний зразок; 2 – місцева електролізна ванночка;
- 3 – катод із лагуні ЛС 59-1; 4 – ізоляція неробочих ділянок катода;
- 5 – відвід електроліту; 6 – відрізаний зразок;
- S – напрямок подачі електрода; L , H , b , r – характерні розміри відрізаного зразка

Для визначення глибини залягання залишкових напруг та їхнього розподілу по глибині застосовують методики

поступового стравлювання шару з залишковими напругами і послідовним виміром зміни деформації зразка.

Для визначення величини залишкових напруг на поверхнях великогабаритних деталей довільної форми застосовують методику вирізаних стовпчиків.

Для цього на досліджувану поверхню наклеюють 3 тензодатчики відповідно до схеми рис. 2.

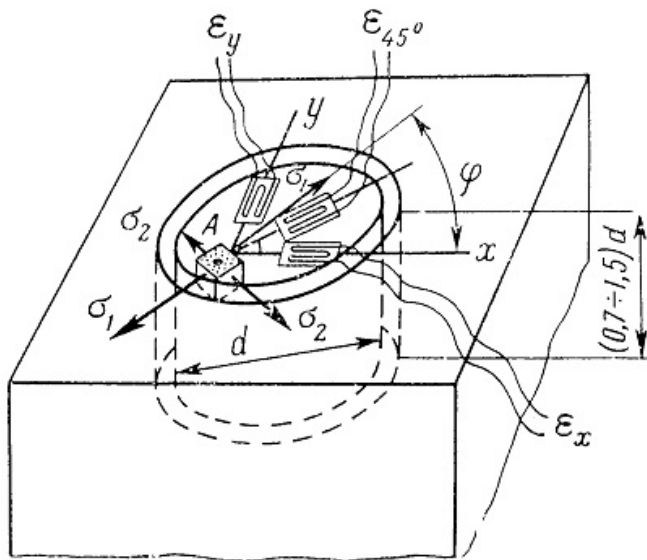


Рис. 2. Визначення головних залишкових напруг σ_1 та σ_2 на поверхні великогабаритних деталей методом вирізаних стовпчиків: d – діаметр стовпчика

Після цього ділянка з тензодатчиками вирізується повністю або біля неї утвориться порожнина у формі циліндра. При вирізці не повинні виникати додаткові напруги чи зона їхнього впливу не повинна сягати тензодатчиків. Вимірюють

деформації тензодатчиків і розраховують залишкові напруги за залежностями:

$$\sigma_{\tau} = -\frac{E}{1-\mu^2}(\varepsilon_{\tau} + \mu\varepsilon_{oc}); \quad \sigma_{oc} = -\frac{E}{1-\mu^2}(\varepsilon_{oc} + \mu\varepsilon_{\tau}),$$

де ε_{τ} і ε_{oc} – відносні деформації в тангенціальному й осьовому напрямках.

Наявність залишкових напруг у полікристалічних тілах, якими є метали, приводить до різних інтерференційних ефектів рентгенівських променів, відбитих від поверхні зразків, у залежності від розмірів зони, в якій ці напруги врівноважуються. Проводячи відповідні виміри, можна обчислити величину залишкових напруг.

Через особливості методу рентгенівського виміру залишкових напруг і складності його методик можуть бути розбіжності між величинами напруг, знайдених рентгенівським і механічним методом.

Оцінка залишкових напруг по зміні електромагнітних властивостей поверхневого шару завдяки своїй простоті, високій продуктивності, можливості визначати напруги в тонких шарах і відсутності необхідності руйнувати робочі поверхні може бути застосована у виробничому контролі.

Але через низьку точність методу, оскільки електромагнітні властивості залежать не тільки від залишкових напруг, він не може бути застосований у дослідницьких роботах.

1. ПОРЯДОК ВИКОНАННЯ РОБОТИ

- 1.1. Ознайомитись з метою та задачею роботи.
- 1.2. Зробити розмітку торців викуванця згідно з рис. 3.

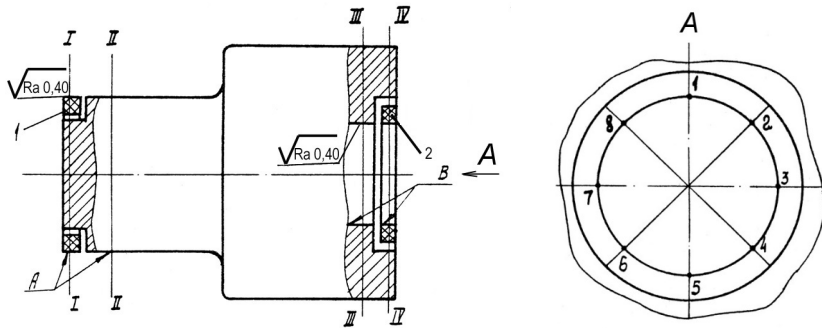


Рис. 3. Схема вимірювань

1.3. Зовнішню й внутрішню поверхні викування під вирізку кілець обробити до шорсткості $\sqrt{Ra0,63} \div \sqrt{Ra0,32}$.

1.4. Вирізати кільця розмірами 15×15 мм на мінімальних режимах різання ($v = 8 \dots 10$ м/хв, $S = 0,05 \dots 0,1$ мм/об) при рясному охолодженні. Відрізані кільця обережно відокремити від деталі й покласти на торець, щоб уникнути короблення від власної ваги.

1.5. Заміряти діаметри вирізаних кілець до і після вирізання (по відповідних перерізах).

1.6. Обчислити деформації в кожному перерізі і підрахувати середню деформацію кожного кільця.

1.7. Обчислити залишкові напруги на зовнішній і внутрішній поверхні викування по залежності: $\sigma_r = \frac{E \cdot \delta}{D_{\text{сеп}}}$,

де σ_r – тангенціальні залишкові напруги;

E – модуль Юнга ($E = 2,06 \cdot 10^6$ Н/мм²);

δ – середнє значення деформації кільця, мм;

$D_{\text{сеп}}$ – середнє значення вимірів діаметрів до відрізка кілець, яке визначається розрахунком середнього арифметичного з 4 замірів діаметра в перерізах, розташованих під кутом 45° .

Залишкові напруги для заготовок діаметром до 550 мм повинні бути не більше 30 Н/мм², заготовок діаметром 550...1000 мм – не більше 40 Н/мм², заготовок діаметром понад 1000 мм – не більше 50 Н/мм².

1.8. Зробити висновки про відповідність залишкових напруг припустимим.

2. ЗМІСТ ЗВІТУ

Звіт виконується за формою, що додається, і повинен відповідати вимогам ЄСКД.

2.1. Найменування деталі, що перевіряється; матеріал, ДСТУ на матеріал (див. додаток).

2.2. Використовуваний вимірювальний та контрольний інструмент, обладнання (назва, №).

2.3. Схема вимірювань.

2.4. Результати вимірювань занести в табл. 1.

Таблиця 1 – Результати вимірювань діаметрів кілець до і після вирізання (по відповідних перерізах)

Досліджувана поверхня	Результати вимірювання			
	Кільце 1		Кільце 2	
	до вирізання II–II	після вирізання I–I	до вирізання III–III	після вирізання IV–IV
Переріз 1–5				
Переріз 2–6				
Переріз 3–7				
Переріз 4–8				
Середня деформація				

2.5. Результат розрахунку залишкових напруг на зовнішній і внутрішній поверхні викуванця.

2.6. Висновки: _____

РЕКОМЕНДОВАНА ЛІТЕРАТУРА

1. **Технологічні основи машинобудування** [Електронний ресурс] : підручник для студ. спеціальностей 131 «Прикладна механіка», 133 «Галузеве машинобудування» / С. С. Добрянський, Ю. М. Малафєєв; КПІ ім. Ігоря Сікорського. – Електронні текстові дані (1 файл: 13,4 Мбайт). – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2020. – 379 с.

2. **Технологія машинобудівних підприємств** : підручник / В. Л. Дикань, Ю. Є. Калабухін, Н. Є. Каличева та ін., за заг. ред. В. Л. Диканя. – Харків : УкрДУЗТ, 2020. – 386 с.

3. **Яковенко І. Е.** Технологічні основи машинобудування : навч. посіб. для студ. спец. 131 – Прикладна механіка / І. Е. Яковенко, О. А. Пермьков, А. В. Фесенко. – Харків : НТУ «ХП», 2022. – 421 с.

4. **Горбатюк Є. О.** Технологія машинобудування : навч. посібник / Є. О. Горбатюк, М. П. Мазур, А. С. Зенкін, В. Д. Каразей. – Львів : Новий Світ-2000, 2012. – 358 с.

5. **Міренський І. Г.** Основи технології машинобудування. Навчальний посібник. – Харків : ХНАМГ, 2007. – 275 с.

6. **Черевко О. І.** Технологічні основи машинобудування : навч. посібник : у 2 ч. Ч. 1. Теоретичні основи технології машинобудування / О. І. Черевко, В. М. Михайлов, І. В. Бабкіна та ін. – Харків : ХДУХТ, 2005. – 82 с.

7. **Богуслаєв В. О.** Основи технології машинобудування : навчальний посібник для студ. вищ. навч. закладів / В. О. Богуслаєв, В. І. Ципак, В. К. Яценко. – Запоріжжя : Мотор Січ, 2003. – 336 с.

8. **Бондаренко С. Г.** Основи технології машинобудування : навчальний посібник / С. Г. Бондаренко. – Львів : Магнолія-2006, 2007. – 500 с.

9. **Тарельник В. Б.** Сучасні методи формоутворення поверхонь тертя деталей машин : монографія / В. Б. Тарельник, В. С. Марцинковський, Б. Антошевський. – Суми : Вид-во «МакДен», 2012. – 280 с.

Нормативи

- ДСТУ 2413-94 Основні норми взаємозамінності. Шорсткість поверхні. Терміни та визначення

- ДСТУ 2498-94 Основні норми взаємозамінності. Допуски форми та розташування поверхонь. Терміни та визначення. З Поправкою (ІПС №9-1995)

- ДСТУ 2500-94 Основні норми взаємозамінності. Єдина система допусків та посадок. Терміни та визначення. Позначення та загальні норми

- ISO 286-1:2002 Допуски та посадки за системою ISO. Частина 1. Основи допусків, відхилів та посадок (ISO 286-1:1988, IDT)

- ISO 286-2:2002 Допуски та посадки за системою ISO. Частина 2. Таблиці квалітетів стандартних допусків та граничних відхилів отворів та валів (ISO 286-2:1988, IDT)

Інформаційні ресурси

- Кафедра «Інженерна механіка та технології машинобудування» [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://imtm-nuk.com.ua>.

- Наукова бібліотека Національного університету кораблебудування імені адмірала Макарова [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://lib.nuos.edu.ua>.

- Каталог бібліотек України [Електронний ресурс]. – Режим доступу: http://izdn.ntu.edu.ua/_ua/lib/library_ua.html.

ДОДАТКИ

Таблиця 1 – Значення допусків для номінальних розмірів до 3150 мм

Номінальний розмір, мм		Значення стандартного допуску																		мм	
		мкм									для якості										
Від	До (вкл.)	01	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
–	3	0,3	0,5	0,8	1,2	2	3	4	6	10	14	25	40	60	0,1	0,14	0,25	0,4	0,6	1	1,4
3	6	0,4	0,6	1	1,5	2,5	4	5	8	12	18	30	48	75	0,12	0,18	0,3	0,48	0,75	1,2	1,8
6	10	0,4	0,6	1	1,5	2,5	4	6	9	15	22	36	58	90	0,15	0,22	0,36	0,58	0,9	1,5	2,2
10	18	0,5	0,8	1,2	2	3	5	8	11	18	27	43	70	110	0,18	0,27	0,43	0,7	1,1	1,8	2,7
18	30	0,6	1	1,5	2,5	4	6	9	13	21	33	52	84	130	0,21	0,33	0,52	0,84	1,3	2,1	3,3
30	50	0,6	1	1,5	2,5	4	7	11	16	25	39	62	100	160	0,25	0,39	0,62	1	1,6	2,5	3,9
50	80	0,8	1,2	2	3	5	8	13	19	30	46	74	120	190	0,3	0,46	0,74	1,2	1,9	3	4,6
80	120	1	1,5	2,5	4	6	10	15	22	35	54	87	140	220	0,35	0,54	0,87	1,4	2,2	3,5	5,4
120	180	1,2	2	3,5	5	8	12	18	25	40	63	100	160	250	0,4	0,63	1	1,6	2,5	4	6,3
180	250	2	3	4,5	7	10	14	20	29	46	72	115	185	290	0,46	0,72	1,15	1,85	2,9	4,6	7,2
250	315	2,5	4	6	8	12	16	23	32	52	81	130	210	320	0,52	0,81	1,3	2,1	3,2	5,2	8,1
315	400	3	5	7	9	13	18	25	36	57	89	140	230	360	0,57	0,89	1,4	2,3	3,6	5,7	8,9
400	500	4	6	6	10	15	20	27	40	63	97	155	250	400	0,63	0,97	1,55	2,5	4	6,3	9,7
500	630	4,5	6	9	11	16	22	32	44	70	110	175	280	440	0,7	1,1	1,75	2,8	4,4	7	11
630	800	5	7	10	13	18	25	36	50	80	125	200	320	500	0,8	1,25	2	3,2	5	8	12,5
800	1000	5,5	8	11	15	21	28	40	56	90	140	230	360	560	0,9	1,4	2,3	3,6	5,6	9	14
1000	1250	6,5	9	13	18	24	33	47	66	105	165	260	420	660	1,05	1,65	2,6	4,2	6,6	10,5	16,5
1250	1600	8	11	15	21	29	39	55	78	125	195	310	500	780	1,25	1,95	3,1	5	7,8	12,5	19,5
1600	2000	9	13	18	25	35	46	65	92	150	230	370	600	920	1,5	2,3	3,7	6	9,2	15	23
2000	2500	11	15	22	30	41	55	78	110	175	280	440	700	1100	1,75	2,8	4,4	7	11	17,5	28
2500	3150	13	18	26	36	50	68	96	135	210	330	540	860	1350	2,1	3,3	5,4	8,6	13,5	21	33

Таблиця 2 – Значення основних відхилень отворів від A до M

Номіналь- ний роз- мір, мм		Значення основного відхилення, мкм																			
		Нижнє граничне відхилення <i>EI</i>												Верхнє граничне відхилення <i>ES</i>							
Від	До (вкл.)	Для всіх квалітетів												<i>JS</i>	<i>IT6</i>	<i>IT7</i>	<i>IT8</i>	До <i>IT8</i> вкл.	Біл. <i>IT8</i>	До <i>IT8</i> вкл.	<i>M^{φ, c}</i>
		<i>A^φ</i>	<i>B^φ</i>	<i>C</i>	<i>CD</i>	<i>D</i>	<i>E</i>	<i>EF</i>	<i>F</i>	<i>FG</i>	<i>G</i>	<i>H</i>									
—	3	+270	+140	+60	+34	+20	+14	+10	+6	+4	+2	0	Відхи- лення $\pm IT n/2$, де <i>n</i> — номер квалітету	+2	+4	+6	0	0	-2	-2	
3	6	+270	+140	+70	+46	+30	+20	+14	+10	+6	+4	0		+5	+6	+10	-1+Δ		-4+Δ	-4	
6	10	+280	+150	+80	+56	+40	+25	+18	+13	+8	+5	0		+5	+6	+12	-1+Δ		-6+Δ	-6	
10	14	+290	+150	+95	+70	+50	+32	+23	+16	+10	+6	0		+6	+10	+15	-1+Δ		-7+Δ	-7	
14	18																				
18	24	+300	+160	+110	+85	+65	+40	+28	+20	+12	+7	0			+8	+12	+20	-2+Δ		-8+Δ	-8
24	30																				
30	40	+310	+170	+120	+100	+80	+50	+35	+25	+15	+9	0			+10	+14	+24	-2+Δ		-9+Δ	-9
40	50	+320	+180	+130																	
50	65	+340	+190	+140		+100	+60		+30		+10	0			+13	+18	+28	-2+Δ		-11+Δ	-11
65	80	+360	+200	+150																	
80	100	+380	+220	+170		+120	+72		+36		+12	0		+16	+22	+34	-3+Δ		-13+Δ	-13	
100	120	+410	+240	+180																	
120	140	+460	+260	+200																	
140	160	+520	+280	+210		+145	+85		+43		+14	0		+18	+26	+41	-3+Δ		-15+Δ	-15	
160	180	+580	+310	+230																	

Номіналь- ний роз- мір, мм		Значення основного відхилення, мкм															
		Нижче границі відхилення EI								Верхнє границі відхилення ES							
		Для всіх квалітетів															
Від	До (вкл.)	A ^(b)	B ^(b)	C	CD	D	E	EF	F	FG	G	H	JS				
		IT6	IT7	IT8	Діа- метр	IT6	IT7	IT8	Діа- метр	IT6	IT7	IT8	Діа- метр	IT6	IT7	IT8	Діа- метр
180	200	+660	+340	+240		+170	+100		+50		+15	0		+22	+30	+47	Біл. IT8
200	225	+740	+380	+260													Діа- метр
225	250	+820	+420	+280													Біл. IT8
250	280	+920	+480	+300		+190	+110		+56		+17	0		+25	+36	+55	Діа- метр
280	315	+1050	+540	+330													Біл. IT8
315	355	+1200	+600	+360		+210	+125		+62		+18	0		+29	+39	+60	Діа- метр
355	400	+1350	+680	+400													Біл. IT8
400	450	+1500	+760	+440		+230	+135		+68		+20	0		+33	+43	+66	Діа- метр
450	500	+1650	+840	+480													Біл. IT8
500	560					+260	+145		+76		+22	0				0	Діа- метр
560	630																Біл. IT8
630	710					+290	+160		+80		+24	0				0	Діа- метр
710	800																Біл. IT8
800	900					+320	+170		+86		+26	0				0	Діа- метр
900	1000																Біл. IT8
1000	1120					+350	+195		+98		+28	0				0	Діа- метр
1120	1250																Біл. IT8

Номіналь- ний роз- мір, мм		Значення основного відхилення, мкм																	
		Нижнє граничне відхилення EI										Верхнє граничне відхилення ES							
Від	До (вкл.)	Для всіх квалітетів																	
		A ^{a)}	B ^{a)}	C	CD	D	E	EF	F	FG	G	H	JS	J	IT7	IT8	До IT8 вкл.	Біл. IT8	Біл. IT8 вкл.
1250	1400					+390	+220		+110		+30	0					0	-48	
1400	1600																		
1600	1800					+430	+240		+120		+32	0					0	-58	
1800	2000																		
2000	2240					+480	+260		+130		+34	0					0	-68	
2240	2500																		
2500	2800					+520	+290		+145		+38	0					0	-76	
2800	3150																		

^{a)} – основні відхилення A та B не застосовують для номінальних розмірів до 1 мм включно;

^{b)} – спеціальний випадок: для класу допуску M6 в інтервалі розмірів понад 250 до 315 мм включно ES = -9 мкм (а не -11 мкм згідно з обчисленням);

^{c)} – значення поправок Δ наведено у табл. 3.

Таблиця 3 – Значення основних відхилень отворів від N до ZC та значення Δ

Номиналь- ний розмір, мм		Значення основного відхилення, мкм Верхнє граничне відхилення <i>ES</i>										Значення Δ, мкм, для квалітетів											
Від	До (вкл.)	До <i>IT8</i> вкл.	Пон. <i>IT8</i> вкл.	<i>N</i>	До <i>IT7</i> вкл. від <i>P</i> до <i>ZC</i>	Для квалітетів понад <i>IT7</i>										<i>IT3</i>	<i>IT4</i>	<i>IT5</i>	<i>IT6</i>	<i>IT7</i>	<i>IT8</i>		
						<i>P</i>	<i>R</i>	<i>S</i>	<i>T</i>	<i>U</i>	<i>V</i>	<i>X</i>	<i>Y</i>	<i>Z</i>	<i>ZA</i>							<i>ZB</i>	<i>ZC</i>
–	3	–4	–4			–6	–10	–14		–18		–20		–26	–32	–40	–60	0	0	0	0	0	
3	6	–8+Δ	0			–12	–15	–19		–23		–28		–35	–42	–50	–80	1	1,5	1	3	4	6
6	10	–10+Δ	0			–15	–19	–23		–28		–34		–42	–52	–67	–97	1	1,5	2	3	6	7
10	14	–12+Δ	0			–18	–23	–28		–33		–40		–50	–64	–90	–130		1	2	3	7	9
14	18											–39	–45	–60	–77	–108	–150						
18	24	–15+Δ	0			–22	–28	–35		–41	–47	–54	–63	–73	–98	–136	–188	1,5	2	3	4	8	12
24	30								–48	–60	–68	–80	–94	–112	–148	–200	–274						
30	40	–17+Δ	0		Значення, як для квалітетів понад <i>IT7</i> , збільшені на Δ	–26	–34	–43	–54	–70	–81	–97	–114	–136	–180	–242	–325	1,5	3	4	5	9	14
40	50					–41	–53	–66	–87	–102	–122	–144	–172	–226	–300	–405		2	3	5	6	11	16
50	65	–20+Δ	0			–43	–59	–75	–102	–120	–146	–174	–210	–274	–360	–480		2	4	5	7	13	19
65	80					–37	–54	–79	–104	–144	–172	–210	–254	–310	–400	–525	–690						
80	100	–23+Δ	0				–63	–92	–122	–170	–202	–248	–300	–365	–470	–620	–800						
100	120					–43	–65	–100	–134	–190	–228	–280	–340	–415	–535	–700	–900	3	4	6	7	15	23
140	160	–27+Δ	0				–68	–108	–146	–210	–252	–310	–380	–465	–600	–780	–1000						
160	180						–77	–122	–166	–236	–284	–350	–425	–520	–670	–880	–1150						
180	200					–50	–80	–130	–180	–258	–310	–385	–470	–575	–740	–960	–1250	3	4	6	9	17	26
200	225	–31+Δ	0				–84	–140	–196	–284	–340	–425	–520	–640	–820	–1050	–1350						
225	250																						

Номіналь- ний розмір, мм			Значення основного відхилення, мкм Верхнє границіє відхилення <i>E_S</i>															Значення Δ, мкм, для квалітетів						
Від	До (вкл.)	До <i>IT8</i> вкл.	Пон. <i>IT8</i>	Для квалітетів понад <i>IT7</i>															<i>IT3</i>	<i>IT4</i>	<i>IT5</i>	<i>IT6</i>	<i>IT7</i>	<i>IT8</i>
				<i>N</i>	від <i>P</i> до <i>ZC</i>	<i>P</i>	<i>R</i>	<i>S</i>	<i>T</i>	<i>U</i>	<i>V</i>	<i>X</i>	<i>Y</i>	<i>Z</i>	<i>ZA</i>	<i>ZB</i>	<i>ZC</i>							
250	280	-34+Δ	0		-56	-94	-158	-218	-315	-385	-475	-580	-710	-920	-1200	-1550	4	4	7	9	20	29		
280	315					-98	-170	-240	-350	-425	-525	-650	-790	-1000	-1300	-1700								
315	355	-37+Δ	0		-62	-108	-190	-268	-390	-475	-590	-730	-900	-1150	-1500	-1900	4	5	7	11	21	32		
355	400					-114	-208	-294	-435	-530	-660	-820	-1000	-1300	-1650	-2100								
400	450	-40+Δ	0		-68	-126	-232	-330	-490	-595	-740	-920	-1100	-1450	-1850	-2400	5	5	7	13	23	34		
450	500					-132	-252	-360	-540	-660	-820	-1000	-1250	-1600	-2100	-2600								
500	560		-44		-78	-150	-280	-400	-600															
560	630					-155	-310	-450	-660															
630	710		-50		-88	-175	-340	-500	-740															
710	800					-185	-380	-560	-840															
800	900		-56		-100	-210	-430	-620	-940															
900	1000					-220	-470	-680	-1050															
1000	1120		-66		-120	-250	-520	-780	-1150															
1120	1250					-260	-580	-840	-1300															
1250	1400		-78		-140	-300	-640	-960	-1450															
1400	1600					-330	-720	-1050	-1600															
1600	1800		-92		-170	-370	-820	-1200	-1850															
1800	2000					-400	-920	-1350	-2000															
2000	2240		-110		-195	-440	-1000	-1500	-2300															
2240	2500					-460	-1100	-1650	-2500															
2500	2800		-135		-240	-550	-1250	-1900	-2900															
2800	3150					-580	-1400	-2100	-3200															

Таблиця 4 – Значення основних відхилень валів від a до j

Номиналь- ний розмір, мм		Значення основного відхилення, мкм															Нижнє граничне відхилення ei		
		Верхнє граничне відхилення es																	
Від	До (вкл.)	Для всіх квалітетів															$IT5$ та $IT6$	$IT7$	$IT8$
		$a^{(n)}$	$b^{(n)}$	c	cd	d	e	ef	f	fg	g	h	js	j					
—	3	-270	-140	-60	-34	-20	-14	-10	-6	-4	-2	0	Відхи- лення $-\pm$ IT $n/2$, де n — номер квалітету			-2	-4	-6	
3	6	-270	-140	-70	-46	-30	-20	-14	-10	-6	-4	0				-2	-4		
6	10	-280	-150	-80	-56	-40	-25	-18	-13	-8	-5	0				-2	-5		
10	14	-290	-150	-95	-70	-50	-32	-23	-16	-10	-6	0				-3	-6		
14	18												Відхи- лення $-\pm$ IT $n/2$, де n — номер квалітету			-4	-8		
18	24	-300	-160	-110	-85	-65	-40	-28	-20	-12	-7	0				-5	-10		
24	30															-7	-12		
30	40	-310	-170	-120	-100	-80	-50	-35	-25	-15	-9	0				-9	-15		
40	50	-320	-180	-130									Відхи- лення $-\pm$ IT $n/2$, де n — номер квалітету			-7	-12		
50	65	-340	-190	-140												-7	-12		
65	80	-360	-200	-150												-9	-15		
80	100	-380	-220	-170												-11	-18		
100	120	-410	-240	-180									Відхи- лення $-\pm$ IT $n/2$, де n — номер квалітету			-7	-12		
120	140	-460	-260	-200												-9	-15		
140	160	-520	-280	-210												-11	-18		
160	180	-580	-310	-230												-11	-18		

Номіналь- ний розмір, мм		Значення основного відхилення, мкм														Нижнє граничне відхилення ei		
		Верхнє граничне відхилення es														$IT5$ та $IT6$	$IT7$	$IT8$
		Для всіх квалітетів																
Від	До (вкл.)	$a^{(1)}$	$b^{(1)}$	c	cd	d	e	ef	f	fg	g	h	js	j				
180	200	-660	-340	-240											-13	-21		
200	225	-740	-380	-260		-170	-100		-50		-15	0						
225	250	-820	-420	-280														
250	280	-920	-480	-300														
280	315	-1050	-540	-330		-190	-110		-56		-17	0			-16	-26		
315	355	-1200	-600	-360														
355	400	-1350	-680	-400		-210	-125		-62		-18	0			-18	-28		
400	450	-1500	-760	-440														
450	500	-1650	-840	-480		-230	-135		-68		-20	0			-20	-32		
500	560																	
560	630					-260	-145		-76		-22	0						
630	710																	
710	800					-290	-160		-80		-24	0						
800	900																	
900	1000					-320	-170		-86		-26	0						
1000	1120																	
1120	1250					-350	-195		-98		-28	0						

Номіналь- ний розмір, мм		Значення основного відхилення, мкм														
		Верхнє граничне відхилення <i>es</i>												Нижнє граничне відхилення <i>ei</i>		
Від	До (вкл.)	Для всіх квалітетів														
		<i>a</i> ^{a)}	<i>b</i> ^{a)}	<i>c</i>	<i>cd</i>	<i>d</i>	<i>e</i>	<i>ef</i>	<i>f</i>	<i>fg</i>	<i>g</i>	<i>h</i>	<i>js</i>	<i>IT5</i> та <i>IT6</i>	<i>IT7</i>	<i>IT8</i>
1250	1400					-390	-220		-110		-30	0				
1400	1600															
1600	1800					-430	-240		-120		-32	0				
1800	2000															
2000	2240					-480	-260		-130		-34	0				
2240	2500															
2500	2800					-520	-290		-145		-38	0				
2800	3150															

а) основні відхилення a та b не застосовують для номінальних розмірів до 1 мм включно.

Таблиця 5 – Значення основних відхилень валів від k до zc

Номіналь- ний розмір, мм		Значення основного відхилення, мкм Нижнє граничне відхилення ei																
		Від До (вкл.)	Від $IT4$ до $IT7$ вкл.	До $IT3$ вкл. та понад $IT7$	Для всіх квалітетів													
					k	m	n	p	r	s	t	u	v	x	y	z	za	zb
-	3	0	0	0	+2	+4	+6	+10	+14		+18		+20		+26	+32	+40	+60
3	6	+1	0	0	+4	+8	+12	+15	+19		+23		+28		+35	+42	+50	+80
6	10	+1	0	0	+6	+10	+15	+19	+23		+28		+34		+42	+52	+67	+97
10	14																	
14	18	+1	0	0	+7	+12	+18	+23	+28		+33		+40		+50	+64	+90	+130
18	24												+39	+45	+60	+77	+108	+150
24	30	+2	0	0	+8	+15	+22	+28	+35		+41	+47	+54	+63	+73	+98	+136	+188
30	40												+55	+64	+75	+88	+118	+160
40	50	+2	0	0	+9	+17	+26	+34	+43		+48	+60	+68	+80	+94	+112	+148	+200
50	65												+81	+97	+114	+136	+180	+242
65	80	+2	0	0	+11	+20	+32	+41	+53	+66	+87	+102	+120	+145	+172	+226	+300	+405
80	100												+120	+146	+174	+210	+274	+360
100	120	+3	0	0	+13	+23	+37	+51	+71	+91	+124	+146	+178	+214	+258	+335	+445	+585
120	140							+54	+79	+104	+144	+172	+210	+254	+310	+400	+525	+690
140	160							+63	+92	+122	+170	+202	+248	+300	+365	+470	+620	+800
160	180	+3	0	0	+15	+27	+43	+65	+100	+134	+190	+228	+280	+340	+415	+535	+700	+900
180								+68	+108	+146	+210	+252	+310	+380	+465	+600	+780	+1000

Номіналь- ний розмір, мм		Значення основного відхилення, мкм Нижнє граничне відхилення <i>e_i</i>																		
		Від	До ІТ4 (вкл.)	Від ІТ4 до ІТ7 вкл.	До ІТ3 вкл. та понад ІТ7	Для всіх квалітетів														
						<i>k</i>	<i>m</i>	<i>n</i>	<i>p</i>	<i>r</i>	<i>s</i>	<i>t</i>	<i>u</i>	<i>v</i>	<i>x</i>	<i>y</i>	<i>z</i>	<i>z_a</i>	<i>z_b</i>	<i>z_c</i>
180	200									+77	+122	+166	+236	+284	+350	+425	+520	+670	+880	+1150
200	225			+4	0		+17	+31	+50	+80	+130	+180	+258	+310	+385	+470	+575	+740	+960	+1250
225	250									+84	+140	+196	+284	+340	+425	+520	+640	+820	+1050	+1350
250	280									+94	+158	+218	+315	+385	+475	+580	+710	+920	+1200	+1550
280	315			+4	0		+20	+34	+56	+98	+170	+240	+350	+425	+525	+650	+790	+1000	+1300	+1700
315	355									+108	+190	+268	+390	+475	+590	+730	+900	+1150	+1500	1900
355	400			+4	0		+21	+37	+62	+114	+208	+294	+435	+530	+660	+820	+1000	+1300	+1650	+2100
400	450									+126	+232	+330	+490	+595	+740	+920	+1100	+1450	1850	+2400
450	500			+5	0		+23	+40	+68	+132	+252	+360	+540	+660	+820	+1000	+1250	+1600	+2100	+2600
500	560			0	0		+26	+44	+78	+150	+280	+400	+600							
560	630									+155	+310	+450	+660							
630	710			0	0		+30	+50	+88	+175	+340	+500	+740							
710	800									+185	+380	+560	+840							
800	900			0	0		+34	+56	+100	+210	+430	+620	+940							
900	1000									+220	+470	+680	+1050							
1000	1120			0	0		+40	+66	+120	+250	+520	+780	+1150							
1120	1250									+260	+580	+840	+1300							

Номиналь- ний розмір, мм		Значення основного відхилення, мкм Нижнє граничне відхилення e_i'															
Від	До (вкл.)	Від IT_4 до IT_7 вкл.	До IT_3 вкл. та понад IT_7	Для всіх квалітетів												z	zc
				k	m	n	p	r	s	t	u	v	x	y	z		
1250	1400	0	0		+48	+78	+140	+300	+640	+960	+1450						
1400	1600							+330	+720	+1050	+1600						
1600	1800							+370	+820	+1200	1850						
1800	2000	0	0		+58	+92	+170	+400	+920	+1350	+2000						
2000	2240							+440	+1000	+1500	+2300						
2240	2500	0	0		+68	+110	+195	+460	+1100	+1650	+2500						
2500	2800							+550	+1250	1900	+2900						
2800	3150	0	0		+76	+135	+240	+580	+1400	+2100	+3200						

Таблиця 6 – Твердість гарячекатаної та кованої сталі вуглецевої якісної конструкційної діаметром або товщиною понад 5 мм, призначеної для холодної механічної обробки та холодного волочіння (ДСТУ 7809:2015)

Марка сталі	Діаметр відбитка, мм, не менше	Твердість, <i>НВ</i> , не більше	Діаметр відбитка, мм, не менше	Твердість, <i>НВ</i> , не більше
	без термічної обробки		після відпалу або високого відпускання	
08	5,2	131	–	–
10	5,0	143	–	–
15	4,9	149	–	–
20	4,7	163	–	–
25	4,6	170	–	–
30	4,5	179	–	–
35	4,2	207	–	–
40	4,1	217	4,4	187
45	4,0	229	4,3	197
50	3,9	241	4,2	207
55	3,8	255	4,1	217
58	3,8	255	4,1	217
60	3,8	255	4,0	229
65	3,8	255	4,0	229
70	3,7	269	4,0	229
75	3,6	285	3,9	241
80	3,6	285	3,9	241
85	3,5	302	3,8	255
60Г	3,7	269	4,0	229
65Г	3,6	285	4,0	229
70Г	3,6	285	4,0	229

Таблиця 7 – Твердість каліброваної відпаленої та нагартованої сталі вуглецевої якісної конструкційної діаметром або товщиною більше 5 мм (ДСТУ 7809:2015)

Марка сталі	Діаметр відбитка, мм, не менше	Твердість <i>HV</i> , не більше	Діаметр відбитка, мм, не менше	Твердість <i>HV</i> , не більше
	нагартована		після відпалу або високого відпускання	
08	4,5	179	5,2	131
10	4,4	187	5,0	143
15	4,3	197	4,9	149
20	4,2	207	4,7	163
25	4,1	217	4,6	170
30	4,0	229	4,5	179
35	4,0	229	4,4	187
40	3,9	241	4,3	197
45	3,9	241	4,2	207
50	3,8	255	4,1	217
55	3,7	269	4,0	229
60	3,7	269	4,0	229
65Г	—	—	4,0	229

Таблиця 8 – Механічні властивості сталі вуглецевої якісної конструкційної 2-ї категорії (ДСТУ 7809:2015)

Марка сталі	Термічна обробка заготовок	Границя текучості σ_s , кгс/мм ²	Тимчасовий опір розриву σ_b , кгс/мм ²	Відносне подовження δ_5 , %	Відносне звуження ψ , %	Ударна в'язкість, a , кгс·м/см ²
	не менше					
08	Нормалізація	20	33	33	60	–
10	Те ж	21	34	31	55	–
15	»	23	38	27	55	–
20	»	25	42	25	55	–
25	»	28	46	23	50	9
30	»	30	50	21	50	8
35	»	32	54	20	45	7
40	»	34	58	19	45	6
45	»	36	61	16	40	5
50	»	38	64	14	40	4
55	»	39	66	13	35	–
60	»	41	69	12	35	–
65	»	42	71	10	30	–
70	»	43	73	9	30	–
75	Гартування + відпускання	90	110	7	30	–
80	Те ж	95	110	6	30	–
85	»	100	115	6	30	–
60Г	Нормалізація	42	71	11	35	–
65Г	Те ж	44	75	9	–	–
70Г	»	46	80	8	–	–

Таблиця 9 – Механічні властивості сталі низьколегованої конструкційної (ДСТУ 7809:2015)

Марка сталі	Товщина прокату, мм	Механічні властивості						Випробування на вигин у холодному стані (с – товщина оправлення, а – товщина прокату, d – діаметр стрижня)
		при розтягуванні			ударна в'язкість, а, кгс·м/см²			
		Тимчасовий опір розриву σ _в , кгс/мм²	Границя текучості σ _т , кгс/мм²	Відносне подовження δ ₅ , %	при температурі, °С			
					+20	-40	-70	
					не менше			
А. Сталь для металевих конструкцій								
14Г	4...10	46	29	21	–	3,5	–	180°, с = 2а
19Г	4...10	48	32	22	–	3,5	–	180°, с = 2а
09Г2	4...20	45	31	21	–	3,0	–	180°, с = 2а
	21...32	45	30	21	–	4,0	–	
14Г2	4...10	47	34	21	–	3,5	–	180°, с = 2а
	11...32	46	33	21	–	3,0	–	
18Г2	8...10	52	36	21	–	4,0	–	180°, с = 2а
12ГС	4...10	47	32	26	–	–	–	180°, с = а
16ГС	4...10	50	33	21	–	4	3	180°, с = 2а
	11...20	49	32	21	6	3	2,5	
	21...32	48	30	21	6	3	2,5	
	33...60	47	29	21	6	3	2,5	
	Від 60 до 160	46	28	21	6	3	2,5	
17ГС	4...10	52	35	21	–	4,5	–	
	11...20	50	34	23	–	3,5	–	180°, с = 2а
09Г2С	4...10	50	35	23	–	4,0	3,5	180°, с = 2а

Марка сталі	Товщина прокату, мм	Механічні властивості						Випробування на вигин у холодному стані (с – товщина оправлення, а – товщина прокату, d – діаметр стрижня)
		при розтягуванні			ударна в'язкість, а, кгс·м/см ²			
		Тимчасовий опір розриву σ _т , кгс/мм ²	Границя текучості σ _г , кгс/мм ²	Відносне подовження δ ₅ , %	при температурі, °С			
					+20	-40	-70	
	11...20	48	33	21	6	3,5	3,0	
	21...32	47	31	21	6	3,5	3,0	
	33...60	46	29	21	6	3,5	3,0	
	61...80	45	28	21	6	3,5	3,0	
	Від 80 до 160	44	27	21	6	3,5	3,0	
10Г2С1	4...10	52	38	21	–	4,0	3	180°, с = 2а
	11...20	51	36	21	6	3	2,5	
	21...32	50	35	21	6	3	2,5	
	33...60	48	34	21	6	3	2,5	
	Від 60 до 160	46	32	21	6	3	2,5	
15ГФ	4...10	52	38	21	–	4	–	180°, с = 2а
	11...20	52	36	21	–	3	–	
	21...32	48	34	21	–	3	–	
14ХГС	4...10	50	35	22	–	4	–	180°, с = 2а
15ХСНД	4...32	50	35	21	–	3	3	180°, с = 2а
10ХСНД	4...10	54	40	19	–	5	–	180°, с = 2а
	11...15	54	40	19	–	4	3	180°, с = 2а
	16...32	54	40	19	–	5	3	180°, с = 2а

Марка сталі	Товщина прокату, мм	Механічні властивості						Випробування на вигин у холодному стані (с – товщина оправлення, а – товщина прокату, d – діаметр стрижня)
		при розтягуванні			ударна в'язкість, а, кгс·м/см²			
		Тимчасовий опір розриву σ_b , кгс/мм²	Границя текучості σ_s , кгс/мм²	Відносне подовження δ_s , %	при температурі, °С			
					+20	-40	-70	
					не менше			
	33...40	52	40	19	–	5	3	–
Б. Сталь для армування залізобетонних конструкцій								
35ГС	6...40	60	40	14	–	–	–	90°, c = 3d
18Г2С	6...9	60	40	14	–	–	–	90°, c = 3d
	40...90	50	30	14	–	–	–	
25Г2С	6...40	60	40	14	–	–	–	90°, c = 3d
20ХГ2Ц	13...32	90	60	6	–	–	–	45°, c = 5d
80С	10...18	90	60	6	–	–	–	45°, c = 5d

Таблиця 10 – Механічні властивості сталі низьколегованої товстолистової та широкосмугової універсальної (ДСТУ 7809:2015)

Марка сталі	Товщина прокату, мм	Тимчасовий опір розриву σ_b , кгс/мм ²	Границя текучості σ_s , кгс/мм ²	Відносне збільшення δ_5 , %	Ударна в'язкість, a , кгс·м/см ² при температурі, °С		
					+20	-40	-70
					не менше		
09Г2, 09Г2Д	4	45	31	21	—	—	—
	5...9	45	31	21	—	3,5	—
	10...20	45	31	21	—	3	—
	21...32	45	30	21	—	4	—
14Г2	4	47	34	21	—	—	—
	5...9	47	34	21	—	3,5	—
	10...20	46	33	21	—	3	—
	21...32	46	33	21	—	3	—
12ГС	4	47	32	26	—	—	—
	5...9	47	32	26	—	—	—
	10	47	32	26	—	—	—
16ГС	4	50	33	21	—	—	—
	5...9	50	33	21	6	4	3
	10...20	49	32	21	6	3	2,5
	21...32	48	30	21	6	3	2,5
	33...60	47	29	21	6	3	2,5
	Понад 60 до 160	46	28	21	6	3	2,5
17ГС	4	52	35	23	—	—	—
	5...9	52	35	23	—	4,5	—
	10...20	50	34	23	—	3,5	—

Марка сталі	Товщина прокату, мм	Тимчасовий опір розриву σ_b , кгс/мм ²	Границя текучості σ_t , кгс/мм ²	Відносне збільшення δ_5 , %	Ударна в'язкість, а, кгс·м/см ² при температурі, °С		
					+20	-40	-70
					не менше		
17Г1С	4	52	36	23	—		—
	5...9	52	36	23	—		—
	10...20	52	35	23	—		—
09Г2С, 09Г2СД	4	50	35	21	—	—	
	5...9	50	35	21	6,5	4	3,5
	10...20	48	33	21	6	3,5	3
	21...32	47	31	21	6	3,5	3
	33...60	46	29	21	6	3,5	3
	61...80	45	28	21	6	3,5	3
	Понад 80 до 160	44	27	21	6	3,5	3
10Г2С1, 10Г2С1Д	4	50	36	21	—	—	—
	5...9	50	35	21	6,5	4	3
	10...20	49	34	21	6	3	2,5
	21...32	48	33	21	6	3	2,5
	33...60	46	33	21	6	3	2,5
	61...80	44	30	21	6	3	2,5
	80...100	44	30	21	6	3	2,5
15ГФ, 15ДФД	4	52	38	21	—	—	—
	5...9	52	38	21	—	4	—
	10...20	52	36	21	—	3	—
	21...32	48	34	21	—	3	—

Марка сталі	Товщина прокату, мм	Тимчасовий опір розриву σ_b , кгс/мм ²	Границя текучості σ_s , кгс/мм ²	Відносне збільшення δ_5 , %	Ударна в'язкість, a , кгс·м/см ² при температурі, °С		
					+20	-40	-70
					не менше		
15Г2СФ, 15Г2СФД	5...9	56	40	18	—	4	—
	10...20	56	40	18	—	3,5	—
	21...32	56	40	18	—	3,5	—
14Г2АФ, 14Г2АФД	4	55	40	20	—	—	—
	5...9	55	40	20	—	4,5	3,5
	10...32	55	40	20	—	4	3
	33...50	55	40	20	—	4	3
16Г2АФ, 16Г2АФД	4	60	45	20	—	—	—
	5...9	60	45	20	—	4,5	3,5
	10...32	60	45	20	—	4	3
	33...50	58	42	20	—	4	3
18Г2АФпс	4	60	45	19	—	—	—
18Г2АФДпс	5...9	60	45	19	—	4,5	3,5
	10...20	60	45	19	—	4	3
	21...32	60	45	19	—	4	3
10Г2Б	4	52	38	21	—	—	—
10Г2БД	5...9	52	38	21	—	4	—
	10	52	38	21	—	3	—
14ХГС	4	50	35	22	—	—	—
	5...9	50	35	22	—	4	—
	10	50	35	22	—	3,5	—

Марка сталі	Товщина прокату, мм	Тимчасовий опір розриву σ_b , кгс/мм ²	Границя текучості σ_t , кгс/мм ²	Відносне збільшення δ_5 , %	Ударна в'язкість, а, кгс·м/см ² при температурі, °С		
					+20	-40	-70
					не менше		
10ХСНД	4	54	40	19	—	—	—
	5...9	54	40	19	—	5	3,5
	10...15	54	40	19	—	4	3
	16...32	54	40	19	—	5	3
	33...40	52	40	19	—	5	3
15ХНДП	4	50	35	21	—	—	—
	5...9	50	35	21	—	4	3
	10...20	50	35	21	—	3	3
	21...32	50	35	21	—	3	3
15Г2АФДпс	4	55	40	19	—	—	—
	5...9	55	40	19	—	4,5	3,5
	10...20	55	40	19	—	4	3
	21...32	55	40	19	—	4	3
10ХНДП	4	48	35	20	—	—	—
	5...9	48	35	20	—	4	—

Таблиця 11 – Твердість по Брінеллю (*HB*) відпаленої або високовідпущеної сталі легованої конструкційної діаметром або товщиною понад 5 мм (ДСТУ 7809:2015; ДСТУ 7806:2015)

Група сталі	Марка сталі	Діаметр відбитка, мм, не менше	Твердість <i>HB</i> , не більше
Хромиста	15X	4,5	179
	15XA	4,5	179
	20X	4,5	179
	30X	4,4	187
	30XPA	3,9	241
	35X	4,3	197
	38XA	4,2	207
	40X	4,1	217
	45X	4,0	229
	50X	4,0	229
Марганцевиста	15Г	4,7	163
	20Г	4,5	179
	25Г	4,3	197
	30Г	4,3	197
	35Г	4,2	207
	40Г	4,2	207
	45Г	4,0	229
	50Г	4,0	229
	10Г2	4,3	197
	30Г2	4,2	207
	35Г2	4,2	207
	40Г2	4,1	217
	45Г2	4,0	229
	50Г2	4,0	229

Група сталі	Марка сталі	Діаметр відбитка, мм, не менше	Твердість <i>HB</i> , не більше
Хромомарганцева	18ХГ	4,4	187
	18ХГТ	4,1	217
	20ХГР	4,3	197
	27ХГР	4,1	217
	25ХГТ	4,1	217
	30ХГТ	4,0	229
	40ХГТР	4,0	229
	35ХГФ	4,2	207
Хромокремнієва	33ХС	3,9	241
	38ХС	3,8	255
	40ХС	3,8	255
Хромомолібденова і хромомолібденова- надієва	15ХМ	4,5	179
	20ХМ	4,5	179
	30ХМ	4,0	229
	30ХМА	4,0	229
	35ХМ	3,9	241
	38ХМ	3,9	241
	30Х3МФ	4,0	229
	40ХМФА	3,7	269
Хромованадієва	15ХФ	4,4	187
	40ХФА	3,9	241
Нікельмолібденова	15Н2М (15НМ)	4,3	197
Хромонікелева і хро- монікелева з бором	20ХН	4,3	197
	40ХН	4,0	229
	45ХН	4,2	207
	50ХН	4,2	207
	12ХН2	4,2	207
	12ХН3А	4,1	217

Група сталі	Марка сталі	Діаметр відбитка, мм, не менше	Твердість HB, не більше
	20XH3A	3,8	255
	12X2H4A	3,7	269
	20X2H4A	3,7	269
	30XH3A	3,9	241
Хромокремнісмарганцева та хромокремнісмарганцево-нікелева	20XДСА	4,2	207
	25ХГСА	4,1	217
	30ХГС	4,0	229
	30ХГСА	4,0	229
	30ХГСН2А (30ХГСНА)	3,8	255
	35ХГСА	3,9	241
Хромомарганцево-нікелева та хромо-марганцево-нікелева з титаном і бором	15ХГН2ТА	3,7	269
	(15ХГНТА)		
	20ХГНР	4,3	197
	30ХГН	4,0	229
Хромонікельмолібденова	14Х2Н3МА	3,7	269
	20ХН2М (20ХНМ)	4,0	229
	30ХН2МА (30ХНМА)	3,9	241
	38Х2Н2МА (38ХНМА)	3,7	269
	40ХН2МА (40ХНМА)	3,7	269
	40Х2Н2МА (40Х1НВА)	3,8	255
	38ХН3МА	3,7	269
	18Х2Н4МА (18Х2Н4ВА)	3,7	269
	25Х2Н4МА (25Х2Н4ВА)	3,7	269

Група сталі	Марка сталі	Діаметр відбитка, мм, не менше	Твердість <i>HB</i> , не більше
Хромонікельмоліб- денованадієва та хромонікельванадієва	30XH2MФА	3,7	269
	36X2H2MФА	3,7	269
	(36XH1MФА)		
	38XH3MФА	3,7	269
	45XH2MФА (45XHMФА)	3,7	269
	20XH4ФА	3,7	269
Хромоалюмінієва та хромоалюмінієва з молібденом	38X2Ю (38ХЮ)	4,0	229
	38X2МЮА (38ХМЮА)	4,0	229

Таблиця 12 – Механічні властивості сталі легованої конструкційної при нормальній температурі, що визначаються на термічно оброблених зразках або зразках, виготовлених з термічно оброблених заготовок (ДСТУ 7806:2015)

Марки сталі	Термообробка				Група сталі: Хромиста	12	45	7	15			
	Гартування		Відпускання									
	Температура, °С		середнє охолодження	температура, °С						середнє охолодження		
											1-то гартування/ нормалізації	2-то гартування
15X, 15XA	880	770-820	В/М	180	П/М	50	70					
20X	880	770-820	В/М	180	П/М	65	80	11	15			
30X	860	—	М	500	В/М	70	90	12	25			
30XPA	900 П	860	М	200	П	130	160	9	—			
35X	860	—	М	500	В/М	75	93	11	25			
38XA	860	—	М	550	В/М	80	95	12	25			
40X	860	—	М	500	В/М	80	100	10	25			
45X	840	—	М	520	В/М	85	105	9	25			

Група сталі: Хроміста

Марки сталі	Термообробка				Група сталі: Марганцевиста	90	110	Відносне збільшення δ , %	Відносне звуження поперечного перерізу ψ , %	Ударна в'язкість a_K , кгс·м/см ²	Розміри перерізу заготовок для термообробки, мм
	Гартування		Відпускання								
	Температура, °С		середнє охолодження	температура, °С							
	1-го гартування/нормалізації	2-го гартування									
50X	830	—	М	520	В/М	90	110	9	40	4	25
15Г	880	—	П	—	—	25	42	26	55	—	25
20Г	880	—	П	—	—	28	46	24	50	—	25
25Г	880	—	В/П	560	П	30	50	22	50	9	25
30Г	860	—	В/П	600	П	32	55	20	45	8	25
35Г	860	—	В/П	600	П	34	57	18	45	7	25
40Г	860	—	В/П	600	П	36	60	17	40	6	25
45Г	850	—	М/П	600	П	38	63	15	45	5	25
50Г	850	—	М/П	600	П	40	66	13	40	4	25
10Г2	920	—	П	—	—	25	43	22	50	—	25
30Г2	880	—	М/П	600	П	35	60	15	45	—	25

Марки сталі	Термообробка				Ліміт в'язкості σ_s , кгс/мм ²	Відносне збільшення δ , %	Відносне звуження ψ , %	Ударна в'язкість a_k , кгс·м/см ²	Розміри перерізу заготовок для термообробки, мм			
	Гартування		Відпускання									
	Температура, °С		середнє охолодження	температура, °С						середнє охолодження		
											1-го гартування/нормалізації	2-го гартування
35Г2	870	—	М/П	650	П	37	63	13	40	—	25	
40Г2	860	—	М/П	650	П	39	67	12	40	—	25	
45Г2	850	—	М/П	650	П	41	70	11	40	—	25	
50Г2	840	—	М/П	650	П	43	75	11	35	—	25	
Група сталі: Хромомагнєвиста												
18ХГ	880	—	М	200	П/М	75	90	10	40	—	15	
18ХГТ	880–950 П	870	М	200	П/В	90	100	9	50	8	—	
20ХГР	880	—	М	200	П/М	80	100	9	50	8	15	
27ХГР	870	—	М	200	П	120	140	8	45	6	15	
25ХГТ	880–950 П	850	М	200	В/М	100 110	130 150	9 10	45 50	6 7	— —	

Марки сталі	Термообробка				Група сталі: Хромокремнієва	Границя текучості σ_p , кгс/мм ²	Тимчасовий опір σ_b , кгс/мм ²	Відносне збільшення δ , %	Відносне звуження поперечного перерізу ψ , %	Ударна в'язкість a_H , кгс·м/см ²	Розміри перерізу заготовок для термообробки, мм
	Гартування		Відпускання								
	Температура, °С		середнє охолодження температура, °С	середнє охолодження							
	1-го гартування/ нормалізації	2-го гартування									
30ХГТ	880—950 П	850	М	200	В/М	130	150	9	40	6	—
40ХГТР	840	—	М	550	В/М	80	100	11	45	8	25
35ХГФ	870	—	М	630	В/М	80	93	14	55	8	25
25ХГМ	860	—	М	200	П	110	120	10	45	8	—
Група сталі: Хромокремнієва											
33ХС	920	—	В/М	630	В/М	70	90	13	50	8	25
38ХС	900	—	М	630	М	75	95	12	50	7	25
40ХС	900	—	М	540	М	110	125	12	40	3,5	25
Ізотермічне гартування при 900...910 °С, у селітрі при 330...350 °С, після — повітряне охолодження											
						110	125	12	40	5	25

Марки сталі	Термообробка				Лімітний опір σ_s , кгс/мм ²	Відносне збільшення δ , %	Відносне звуження ψ , %	Ударна в'язкість a_k , кгс·м/см ²	Розміри перерізу заготовок для термообробки, мм		
	Гартування		Відпускання								
	Температура, °С		середнє охолодження	температура, °С							
	1-го гартування/нормалізації	2-го гартування									
Група сталі: Хромомолібденова та хромомолібденованадієва											
15ХМ	880	–	П	650	П	28	45	21	55	12	30
20ХМ	880	–	В/М	500	П	60	80	12	50	9	15
30ХМ	880	–	М	540	В/М	75	95	11	45	8	15
30ХМА	880	–	М	540	В/М	75	95	12	50	9	15
35ХМ	850	–	М	560	В/М	85	95	12	45	8	25
38ХМ	850	–	М	580	П	90	100	11	45	7	25
30Х3МФ	870	–	М	620	В/М	85	100	12	55	10	25
40ХМФА	860	–	М	580	М	95	105	13	50	9	25
Група сталі: Хромованадієва											
15ХФ	880	760–810	В/М	180	П/М	55	75	13	50	8	15
40ХФА	880	–	М	650	В/М	75	90	10	50	9	25

Марки сталі	Термообробка				Група сталі: Нікельмолібденова	Група сталі: Хромонікелева та хромонікелева з бором	15	8	50	11	85	65	кгс/мм ²	Тимчасовий опір σ_b , кгс/мм ²	Відносне збільшення δ , %	Відносне звуження поперечного перерізу ψ , %	Ударна в'язкість A_K , кгс·м/см ²	Розміри перерізу заготовок для термообробки, мм		
	Гартування		Відпускання																	
	Температура, °С		середнє охолодження																середнє охолодження	
1-го гартування/ нормалізації	2-го гартування	середнє охолодження		температура, °С		середнє охолодження														
15Н2М (15НМ)	860	770–820	М	180	П	65	85	11	50	8	15									
20Н2М (20НМ)	860	–	М	180	П	70	90	10	50	8	15									
Група сталі: Хромонікелева та хромонікелева з бором																				
20ХН	860	760–810	В/М	180	В/М	60	80	14	50	8	15									
40ХН	820	–	В/М	500	В/М	80	100	11	45	7	25									
45ХН	820	–	В/М	530	В/М	85	105	10	45	7	25									
50ХН	820	–	В/М	530	В/М	90	110	9	40	5	25									
20ХНР	930–950 П	780–830	М	200	П/М	100	120	10	50	9	15									

Марки сталі	Термообробка				Ліміт текучості σ_s , кгс/мм ²	Ліміт твердості σ_H , кгс/мм ²	Відносне збільшення δ , %	Відносне звуження ψ , %	Ударна в'язкість a_k , кгс·м/см ²	Розміри перерізу заготовок для термообробки, мм	
	Гартування		Відпускання								
	Температура, °С		температура, °С								
	1-го гартування/нормалізації	2-го гартування	середнє охолодження								
12ХН2	860	760–810	В/М	180	П/М	60	80	12	50	9	15
12ХН3А	860	760–810	В/М	180	П/М	70	95	11	55	9	15
20ХН3А	820	–	М	500	В/М	75	95	12	55	11	15
12Х2Н4А	860	760–800	М	180	П/М	95	115	10	50	9	15
20Х2Н4А	860	780	М	180	П/М	110	130	9	45	8	15
30ХН3А	820	–	М	530	В/М	80	100	10	50	8	25
Група сталі: Хромокремніємартанцова і хромокремніємартанцовонікелева											
20ХДСА	880	–	М	500	В/М	65	80	12	45	7	15
25ХГСА	880	–	М	480	В/М	85	110	10	40	6	15
30ХГС	880	–	М	540	В/М	85	110	10	45	4,5	25
30ХГСА	880	–	М	540	В/М	85	110	10	45	5	25

Марки сталі	Термообробка					Границя текучості σ_p , кгс/мм ²	Тимчасовий опір σ_b , кгс/мм ²	Відносне збільшення δ , %	Відносне звуження поперечного перерізу ψ , %	Ударна в'язкість a_K , кгс·м/см ²	Розміри перерізу заготовок для термообробки, мм
	Гартування		Відпускання								
	Температура, °С		середнє охолодження								
	1-то гартування/ нормалізації	2-то гартування	температура, °С		середнє охолодження						
35ХГСА	Ізотермічне гартування при 880 °С у суміші калієвої та натрієвої селітри, що має температуру 280...310 °С. Пові- тряне охолодження					130	165	9	40	4	—
	950 М 700 П	890	М	230	П/М						
30ХГСН2А (30ХГДСНА)	900	—	М	260	П/М	140	165	9	45	6	—
Група сталі: Хромомагнцовонікелева та хромомагнцовонікелева з титаном та бором											
15ГН2ТА (15ХГНТА)	960 П	840	М	180	П/М	75	95	11	55	10	15
20ХГНР	930–950	780–830	М	200	П/М	110	130	10	50	9	15
20ХДНТР	—	850	М	200	М	100	120	9	50	8	15

Марки сталі	Термообробка				Ліміт текучості σ_s , кгс/мм ²	Ліміт збільшення δ , %	Відносне звуження ψ , %	Ударна в'язкість a_k , кгс·м/см ²	Розміри перерізу заготовок для термообробки, мм		
	Гартування		Відпускання								
	Температура, °С		середнє охолодження	температура, °С							
	1-го гартування/ нормалізації	2-го гартування									
38ХГН	850	–	М	570	В/М	70	80	12	45	10	25
Група сталі: Хромонікельмолібденова											
14Х2Н3МА	880	770	М	180	П	90	100	10	45	8	15
20ХН2М (20ХНМ)	860	780	М	200	В/М	70	90	11	50	8	15
30ХН2МА (30ХНМА)	860	–	М	530	П	80	100	10	45	8	15
38Х2Н2МА (38ХНМА)	870	–	М	580	П/М	95	110	12	50	8	25
40ХН2МА (40ХНМА)	850	–	М	620	В/М	95 85	110 100	12 12	50 55	8 10	25 25
40Х2Н2МА (40Х1НВА)	870	–	М	600	В/М	95	110	10	45	8	25

Марки сталі	Термообробка				Границя текучості σ_p , кгс/мм ²	Тимчасовий опір σ_b , кгс/мм ²	Відносне збільшення δ , %	Відносне звуження поперечного перерізу ψ , %	Ударна в'язкість a_{H_2} , кгс·м/см ²	Розміри перерізу заготовок для термообробки, мм	
	Гартування		Відпускання								
	Температура, °С		середнє охолодження	температура, °С							
	1-го гартування/ нормалізації	2-го гартування									
											середнє охолодження
38ХН3МА	850	—	М	590	П	100	110	12	50	8	25
18Х2Н4МА (18Х2Н4ВА)	950 950 П	860 860	П М	200 550	П/М	85 80	115 105	12 12	50 50	10 12	15 15
25Х2Н4МА (25Х2Н4ВА)	850	—	М	560	М	95	110	11	45	9	25
Група сталі: Хромопелітенованадієва та хромопелітенованадієва											
30ХН2МФА	860	—	М	680	П	80	90	10	40	9	25
36Х2Н2МФА (36ХН1МФА)	850	—	М	600	П	110	120	12	50	8	25
38ХН3МФА	850	—	М	600	П	110	120	12	50	8	25
45ХН2МФА (45ХНМФА)	860	—	М	460	М	130	145	7	35	4	—
20ХН4ФА	850	—	М	630	У	70	90	12	50	10	25

Марки сталі	Термообробка				Границя текучості σ_s , кгс/мм ²	Тимчасовий опір σ_b , кгс/мм ²	Відносне збільшення δ , %	Відносне звуження поперечного перерізу ψ , %	Ударна в'язкість a_k , кгс·м/см ²	Розміри перерізу заготовок для термообробки, мм				
	Гартування		Відпускання											
	Температура, °С		середнє охолодження								температура, °С		середнє охолодження	
38Х2Ю (38ХЮ)	930	—	В/М	В/М	75	90	10	45	8	30				
38Х2МЮА (38ХМЮА)	940	—	В/М	В/М	85	100	14	50	9	30				

В – вода, М – масло, П – повітря

Таблиця 13 – Механічні властивості деяких марок чавунів

Чавун	σ_b , МПа	δ , %	HB, МПа	Структура металевої основи
СЧ 15	150	—	1630...2290	Ферит
СЧ 25	250	—	1800...2500	Ферит + перліт
СЧ 40	400	—	2070...2850	Перліт
СЧ 45	450	—	2290...2890	Перліт
ВЧ 38-17	380	17	1400...1700	Ферит
ВЧ 42-12	420	12	1400...2000	Ферит + перліт
ВЧ 50-7	500	7	1710...2410	Ферит + перліт
ВЧ 60-2	600	2	2000...2800	Ферит + перліт
ВЧ 80-2	800	2	2500...3300	Перліт + ферит
ВЧ 120-2	1200	2	3020...3800	Перліт
КЧ 30-6	300	6	1000...1630	Ферит + (10 ... 3 %) перліту
КЧ 35-10	350	10	1000...1630	
КЧ 37-12	370	12	1100...1630	Перліт + (20 ... 0 %) фериту
КЧ 45-7	450	7	1500...2070	
КЧ 60-3	600	3	2000...2690	
КЧ 80-1,5	800	1,5	2700...3200	

Таблиця 14 – Механічні властивості алюмінієвих сплавів ДСТУ 2839–94

Марка сплаву	Спосіб лиття	Вид термічної обробки	Тимчасовий опір розриву, МПа (кгс/мм ²)	Відносне подовження, %	Твердість за Брінеллем, НВ
					не менше
АК12(АЛ2)	ЗМ, ВМ, КМ К	–	147(15,0)	4,0	50,0
			157(16,0)	2,0	50,0
	Т	–	157(16,0)	1,0	50,0
	ЗМ, ВМ, КМ	Т2	137(14,0)	4,0	50,0
	К	Т2	147(15,0)	3,0	50,0
АК13(АК13)	Т	Т2	147(15,0)	2,0	50,0
	Т	–	176(18,0)	М	60,0
	З, В, К, Т, ПТ	–	157(16,0)	1,0	60,0
АК9(АК9)	К, Т, ПТ	Т1	196(20,0)	0,5	70,0
	ЗМ, ВМ	Т6	235(24,0)	1,0	80,0
	К, КМ	Т6	245(25,0)	1,0	90,0
	К, Т	–	147(15,0)	2,0	50,0
АК9с(АК9с)	К	Т1	196(20,0)	1,5	70,0
	К	Т6	235(24,0)	3,5	70,0
	З, В, К, Т К, Т, ПТ	–	147(15,0)	2,0	50,0
АК9ч(АЛ4)	КМ, ЗМ	Т1	196(20,0)	1,5	60,0

Марка сплаву	Спосіб лиття	Вид термічної обробки	Тимчасовий опір розриву, МПа (кгс/мм ²)	Відносне подовження, %	Твердість за Брінеллем, <i>HB</i>
	ЗМ, ВМ	Т6	225(23,0)	3,0	70,0
	К, КМ	Т6	235(24,0)	3,0	70,0
	З	Т6	225(23,0)	2,0	70,0
	З, В, К, Т	–	157(16,0)	3,0	50,0
АК9пч (АЛ4-1)	К, Т, ПТ	Т1	196(20,0)	2,0	70,0
	ЗМ, ВМ	Т6	245(25,0)	3,5	70,0
	К, КМ	Т6	265(27,0)	4,0	70,0
	З	Т5	294(30,0)	2,0	85,0
АК8Л(АЛ34)	З	Т4	255(26,0)	4,0	70,0
	К	Т5	333(34,0)	4,0	90,0
	К	Т4	274(28,0)	6,0	80,0
	Т	–	206(21,0)	2,0	70,0
	Т	Т1	225(23,0)	1,0	80,0
	Т	Т2	176(18,0)	2,5	60,0
АК7(АК7)	З	–	127(13,0)	0,5	60,0
	К	–	157(16,0)	1,0	60,0
	З	Т5	176(18,0)	0,5	75,0

Марка сплаву	Спосіб лиття	Вид термічної обробки	Тимчасовий опір розриву, МПа (кгс/мм ²)	Відносне подовження, %	Твердість за Брінеллем, <i>НВ</i>
	К	T5	196(20,0)	0,5	75,0
	Т	–	167(17,0)	1,0	50,0
	ПТ	–	147(15,0)	0,5	65,0
	З, В, К	–	157(16,0)	2,0	50,0
	Т	–	167(17,0)	1,0	50,0
АК7ч(АЛ9)	З, В, К, Т	T2	137(14,0)	2,0	45,0
	КМ	T4	186(19,0)	4,0	50,0
	З, В	T4	176(18,0)	4,0	50,0
	К, КМ	T5	206(21,0)	2,0	60,0
	З, В	T5	196(20,0)	2,0	60,0
АК7ч(АЛ9)	ЗМ, ВМ	T5	196(20,0)	2,0	60,0
	ЗМ, ВМ	T6	225(23,0)	1,0	70,0
	ЗМ, ВМ	T7	196(20,0)	2,0	60,0
	ЗМ, ВМ	T6	157(16,0)	3,0	55,0
	К	T6	235(24,0)	1,0	70,0
	К	T7	196(20,0)	2,0	60,0
	К	T8	157(16,0)	3,0	55,0

Марка сплаву	Спосіб лиття	Вид термічної обробки	Тимчасовий опір розриву, МПа (кгс/мм ²)	Відносне подовження, %	Твердість за Брінеллем, <i>HB</i>
			не менше		
АК7пч(АЛ9-1)	З, В	Т4	196(20,0)	5,0	50,0
	К, КМ	Т4	225(23,0)	5,0	50,0
	З, В	Т5	235(24,0)	4,0	60,0
	ЗМ, ВМ	Т5	235(24,0)	4,0	60,0
	К, КМ	Т5	265(27,0)	4,0	60,0
	ЗМ, ВМ	Т6	274(28,0)	2,0	70,0
	К, ВМ	Т6	294(30,0)	3,0	70,0
	Д	–	196(20,0)	1,0	50,0
	Д	Т2	167(17,0)	2,0	45,0
	ЗМ, ВМ	Т7	206(21,0)	2,5	60,0
АК10Су(АК10Су)	ЗМ, ВМ	Т8	167(17,0)	3,5	55,0
	К	–	167(17,0)	1,0	70,0
АК5М2(АК5М2)	З	–	118(12,0)	–	65,0
	К	–	157(16,0)	0,5	65,0
	З	Т5	196(20,0)	–	75,0
	К	Т5	206(21,0)	0,5	75,0
	З	Т8	147(15,0)	1,0	65,0

Марка сплаву	Спосіб лиття	Вид термічної обробки	Тимчасовий опір розриву, МПа (кгс/мм ²)	Відносне подовження, %	Твердість за Брінеллем, НВ
АК5М(АЛ5)	К	Т8	176(18,0)	2,0	65,0
	Т	–	147(15,0)	0,5	65,0
	3, В, К	Т1	157(16,0)	0,5	65,0
	3, В	Т5	196(20,0)	0,5	70,0
	К	Т5	216(22,0)	0,5	70,0
	3, В	Т6	225(23,0)	0,5	70,0
	3, В, К	Т7	176(18,0)	1,0	65,0
АК5Мч(АЛ5-1)	К	Т6	235(24,0)	1,0	70,0
	3, В, К	Т1	176(18,0)	1,0	65,0
	3, В	Т5	274(28,0)	1,0	70,0
	К, КМ	Т5	294(30,0)	1,5	70,0
	3, В, К	Т7	206(21,0)	1,5	65,0
АК6М2(АК6М2)	К	Т1	196(20,0)	1,0	70,0
	К	–	230(23,5)	2,0	78,4
	К	Т5	294(30,0)	1,0	75,0
АК8М(АЛ32)	3	Т6	245(25,0)	1,5	60,0
	К	Т1	196(20,0)	1,5	70,0

Марка сплаву	Спосіб лиття	Вид термічної обробки	Тимчасовий опір розриву, МПа (кгс/мм ²)	Відносне подовження, %	Твердість за Брінеллем, <i>НВ</i>
	К	T6	265(27,0)	2,0	70,0
	Т	–	255(26,0)	2,0	70,0
	Т	T2-1	255(26,0)	1,7	70,0
	З	T5	235(24,0)	2,0	60,0
	К	T5	255(26,0)	2,0	70,0
	З	T7	225(23,0)	2,0	60,0
	К	T7	245(25,0)	2,0	60,0
	З	T1	176(18,0)	0,5	60,0
	Т	T1	284(29,0)	1,0	90,0
	Т	T2	235(24,0)	2,0	60,0
AK5M4(AK5M4)	З	–	118(12,0)	–	60,0
	К	–	157(16,0)	1,0	70,0
	К	T6	196(20,0)	0,3	90,0
AK5M7(AK5M7)	З	–	127(13,0)	–	70,0
	К	–	157(16,0)	–	70,0
	К	T1	167(17,0)	–	90,0
	З	T1	147(15,0)	–	80,0
	Д	–	118(12,0)	–	80,0

Марка сплаву	Спосіб лиття	Вид термічної обробки	Тимчасовий опір розриву, МПа (кгс/мм ²)	Відносне подовження, %	Твердість за Брінеллем, <i>HB</i>
			не менше		
AK8M3(AK8M3)	К	w	147(15,0)	1,0	70,0
	К	T6	216(22,0)	03	90,0
AK8M3ч(БАЛ8)	КТ ПД	T4	343(35,0)	5,0	90,0
	К, ПД	T5	392(40,0)	4,0	110,0
	Д	–	294(30,0)	2,0	75,0
	Д	15	343(35,0)	2,0	90,0
	Д	T2	215(22,0)	1,5	60,0
	З	T5	345(35,0)	1,0	90,0
	В	T5	345(35,0)	2,0	90,0
	З	T7	270(27,0)	1,0	80,0
	К	T7	295(30,0)	23	85,0
	К	–	186(19,0)	13	70,0
AK9M2(AK9M2)	Д		196(20,0)	13	75,0
	К	T6	274(28,0)	13	85,0
AK12M2(AK12M2)	К	T1	206(21,0)	1,4	80,0
	К	–	186(19,0}	1,0	70,0
	Д	T1	260(26,5)	13	83,4

Марка сплаву	Спосіб лиття	Вид термічної обробки	Тимчасовий опір розриву, МПа (кгс/мм ²)	Відносне подовження, %	Твердість за Брінеллем, <i>НВ</i>
			не менше		
АК12ММГН(АЛ30)	К	T1	196(20,0)	0,5	90,0
	К	T6	216(22,0)	0,7	100,0
АК12М2МГН(АЛ25)	К	T1	186(19,0)	–	90,0
АК12М23Н2.5	К	T2	157(16,0)		90,0
(ВКЖЛС-2)	К	T1	186(19,0)	–	100,0
АМ5(АЛ19)	3, В, К	T4	294(30,0)	8,0	70,0
	3, В, К	T5	333(34,0)	4,0	90,0
	3	T7	314(32,0)	2,0	80,0
	3, В	T4	294(30,0)	10,0	70,0
АМ4,5Кд(ВАЛ10)	К	T4	314(32,0)	12,0	80,0
	3, В	T5	392(40,0)	7,0	90,0
	К	T5	431(44,0)	8,0	100,0
	3, В	T6	421(43,0)	4,0	110,0
	К	T6	490(50,0)	4,0	120,0
	3	T7	323(33,0)	5,0	90,0
АМГК1,5	К	T2	211(21,5)	2,0	81,0
(АМГ4К1,5М1)	К	T6	265(27,0)	2,3	104,0

Марка сплаву	Спосіб лиття	Вид термічної обробки	Тимчасовий опір розриву, МПа (кгс/мм ²)	Відносне подовження, %	Твердість за Брінеллем, НВ
АМг5К(АЛ13)	3, В, К	–	147(15,0)	1,0	55,0
	Д	–	167(17,0)	0,5	55,0
АМг5Мц(АЛ28)	3, В	–	196(20,0)	4,0	55,0
	К	–	206(21,0)	5,0	55,0
	Д	–	206(21,0)	3,5	55,0
АМг6л(АЛ23)	3, В	–	186(19,0)	4,0	60,0
	К, Д	–	216(22,0)	6,0	60,0
	3, К, В	Т4	225(23,0)	6,0	60,0
АМг6лц(АЛ23-1)	3, В	–	196(20,0)	5,0	60,0
	К, Д	–	235(24,0)	10,0	60,0
	3, К, В	Т4	245(25,0)	10,0	60,0
АМг10(АЛ27)	3, К, Д	Т4	314(32,0)	12,0	50,0
АМг10ц(АЛ27-1)	3, О, К, Т	Т4	343(35,0)	15,0	75,0
АМг11(АЛ22)	3, В, К	–	176(18,0)	1,0	90,0
	3, В, К	Т4	225(23,0)	М	90,0
	Т	–	196(20,0)	1,0	90,0
АМг7(АЛ29)	Т	–	206(21,0)	3,0	60,0

Марка сплаву	Спосіб лиття	Вид термічної обробки	Тимчасовий опір розриву, МПа (кгс/мм ²)	Відносне подовження, %	Твердість за Брінеллем, <i>НВ</i>
АК7Ц9(АЛ11)	З, В	–	196(20,0)	2,0	80,0
	К	–	206(21,0)	1,0	80,0
	Т	–	176(18,0)	1,0	60,0
АК9Ц6(АК9Ц6р)	З, В, К	Т2	216(22,0)	2,0	80,0
	З	--	147(15,0)	0,8	70,0
	К, Т	–	167(17,0)	0,8	80,0
АЦМГ(АД24)	З, В	–	216(22,0)	2,0	60,0
	З, В	Т5	265(27,0)	2,0	70,0

Примітка 1. Умовні позначення способів лиття:

З – лиття у піщані форми («землю»);

В – лиття за виплавлюваними моделями;

К – лиття в кокіль;

Т – лиття під тиском;

ПГ – лиття з кристалізацією під тиском (рідка штамповка);

О – лиття в оболонкові форми;

М – сплав піддається модифікуванню.

Примітка 2. Умовні позначення видів термічної обробки:

Т1 – штуčné старіння без попереднього загартування;

Т2 – відпал;

Т4 – загартування;

Т5 – загартування та короткочасне (неповне) штуčné старіння;

Т6 – загартування і повне штуčné старіння;

Т7 – загартування і стабілізуючий відпуск;

Т8 – загартування і пом'якшуючий відпуск.

Примітка 3. Механічні властивості сплавів АК7Ц9 і АК9Ц6 визначаються не раніше ніж за добу при-родного старіння.

Примітка 4. Механічні властивості, вказані для способу лиття В, поширюються також на лиття в оболонкові форми.

НОТАТКИ

Навчальне видання

БОДУ Світлана Жаківна
ШУМІЛОВ Олександр Павлович
НОВОШИЦЬКИЙ Антон Володимирович
ПОЛІЩУК Майя Яківна

ТЕХНОЛОГІЯ МАШИНОБУДУВАННЯ

Навчальний посібник

У двох частинах

Частина 1

Комп'ютерне верстання *Н. М. Ковальчук*
Коректор *О. Є. Вакула*

Формат 60×84/16. Ум. друк. арк. 8,14. Вид. № 15. Зам. № 2004-31.
Видавець і виготівник Національний університет кораблебудування
імені адмірала Макарова
просп. Героїв України, 9, м. Миколаїв, 54007
E-mail : publishing@nuos.edu.ua
Свідцтво суб'єкта видавничої справи ДК № 6402 від 19.09.2018 р.