

## ТЕХНОЛОГІЯ ВИГОТОВЛЕННЯ ВЕЛИКОГАБАРИТНИХ КОЛІНЧАТИХ ВАЛІВ

Пуховський Євген Степанович

доктор технічних наук

Державний університет «Житомирська політехніка», м. Житомир, Україна

ORCID: 0000-0001-7843-0922

pukhovskije50@gmail.com

Громовий Олексій Андрійович

кандидат технічних наук, доцент

Державний університет «Житомирська політехніка», м. Житомир, Україна

ORCID: 0000-0002-2761-0736

agromovoy@ztu.edu.ua

Сучасне важке машинобудування характеризується значною часткою дрібносерійних і одиничних форм виробництва. Машини, вироблені для металургійної, енергетичної, гірничодобувної, хімічної промисловості, характеризуються високою металомісткістю і високою трудомісткістю їх виготовлення. Для виготовлення великогабаритних деталей використовується або універсальне обладнання та оснащення, або створюються технологічні комплекси, засновані на використанні унікального обладнання, великих приладів і провідників, а в деяких випадках – оригінальних інструментів. При складанні таких вузлів і верстатів широко використовується фітінговий спосіб. У зв'язку зі специфічними особливостями оброблення важких і великогабаритних деталей і низькою серійністю їх виробництва, при розробці технології неможливо механічно впроваджувати прогресивні методи і способи оброблення, а також організації роботи, широко застосовуються в великомасштабному і масовому виробництві галузей, не пов'язаних з важким машинобудуванням. При обробленні цих деталей часто виникає необхідність в оригінальних технічних рішеннях.

Основними завданнями при обробленні важких і великогабаритних деталей є: досягнення необхідної геометрії точності, шорсткості поверхні і фізико-механічних властивостей поверхневого шару. Чистові та оздоблювальні операції, в процесі яких формуються фізико-механічні властивості поверхневого шару масивних деталей, а отже, і їх експлуатаційні якості, засновані на різанні матеріалів. В процесі різання поверхневі шари мають незначне зміцнення, а іноді навіть роз зміцнюються. У разі такого способу оброблення неможливо за допомогою режиму різання регулювати шорсткість поверхні, особливо форму мікро нерівностей, а також фізико-механічні властивості поверхневого шару.

Оброблення великогабаритних деталей дуже трудомістке, пов'язане з великою витратою часу. Тому одним з основних питань, які доводиться вирішувати в важкому машинобудуванні, є підвищення продуктивності оброблення в результаті застосування передових технологічних рішень, подальше збільшення виробничого оснащення, його спеціалізації, механізації та часткової автоматизації, а також застосування сучасних великих верстатів з ЧПК.

Основним способом виготовлення заготовок великих валів в умовах одиничного та дрібносерійного виробництва є вільне кування. Якість поковок з вуглецевої та легированої сталей регламентується стандартами. Вали, отримані вільним куванням, мають набагато більш високі характеристики міцності в порівнянні з іншими способами отримання заготовок.

При виготовленні заготовок великих колінчастих валів широко застосовуються способи послідовного штампкування та згинання з висадкою. При цьому використовують звичайні гідравлічні кувальні преси зусиллям 98 МН. Застосування цих способів дозволяє різко підвищити коефіцієнт використання матеріалу, знизити витрати на механічне оброблення валів та покращити експлуатаційні властивості колінчастих валів.

Технологія обробки колінчастих валів для агрегатів великогабаритних машин у гірничо-рудній, металургійній, хімічній, автомобільній, енергетичній та інших галузях промисловості має специфічні особливості, що вимагає використання індивідуальних технологічних процесів, оснащення та інструментів (Vicash Butwal, (2023); Jean-Paul Assie, (1999)).

Великі колінчасті вали є відповідальними деталями потужних дизельних установок та різних енергетичних агрегатів. Вони виготовляються переважно зі сталі та високоміцного чавуну з кулястим графітом. При механічному обробленні великих колінчастих валів необхідно дотримуватися таких технічних умов: биття корінних шийок щодо осі не повинно перевищувати 0,03 мм; допустима овальність чи конусність корінних шийок – не більше 0,02 мм, а мотилевих – 0,03 мм; перекіс шатунних шийок щодо корінних не більше 0,02 мм; допустиме відхилення радіусу кривошипу не більше 0,01 мм на кожні 100 мм довжини; допустиме зміщення кутів між колінами кривошипу  $\pm 15'$ ; непаралельність мотилевих шийок щодо осі валу допускається  $\pm 0,15$  мм на 1000 мм довжини; не перпендикулярність торця фланця до осі валу допускається 0,01 мм на кожні 100 мм довжини; шорсткість оброблення шийок валу –  $Ra = 0,5$  мкм.

Технічні вимоги до якості обробки забезпечуються відповідними маршрутами обробки, обладнанням, інструментами та оснащенням (Pukhovsky E. S., (2021)).

**Ключові слова:** Колінчастий вал, великогабаритні деталі, корінна шийка, мотилева шийка, токарна та фрезерна обробка, термічна обробка, люнет, шліфування, верстат з ЧПК.

DOI <https://doi.org/10.32782/msnau.2024.4.6>

**Мета роботи.** Розробка ефективної технології обробки великогабаритних колінчатих валів, яка гарантує досягнення якісних показників виробів та довговічність їх роботи в силових агрегатах машин та механізмів.

**Викладення основного матеріалу.** На рис. 1 показаний схематично три колінчастий вал, виготовлений зі сталі 35. Маса валу 5850 кг. Колінчастий вал по осі корінних шийок має отвір діаметром 150 мм, отвори такого ж діаметра є в кожній мотилевій шийці.

Заготовка валу може бути отримана вільним куванням або способом штампування. Механічне оброблення валу починається з розмітки, при якій торці валу відмічаються з припуском 10 мм і перевіряються їх величина та розташування. На дисковій пилці або поздовжньо-фрезерному верстаті обробляються по розмітці торці валу. Після цієї операції довжина валу дорівнює 5580 мм. Після оброблення торців розмічаються центрові отвори з обох кінців по осі корінних шийок і щоки колін валу.

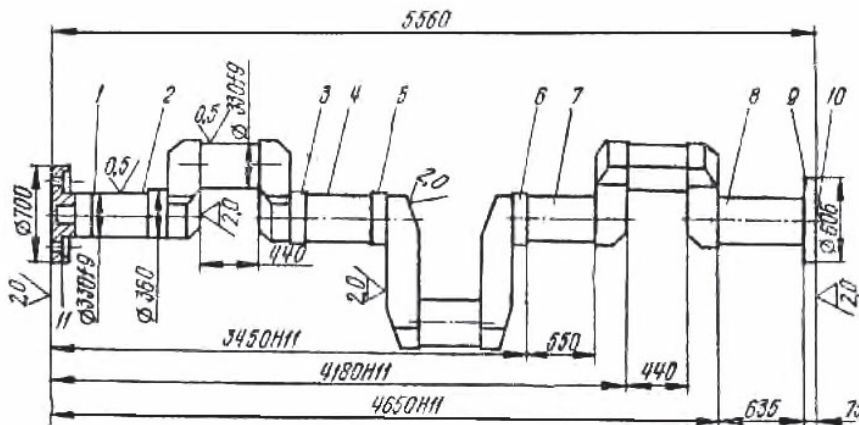


Рис. 1. Триколінчастий вал

Після виконання центрувальної операції вал встановлюють в центрах токарного верстата і головкою, що обертається, проточують одну з середніх корінних шийок 7 для установки люнета. Під цю шийку підводиться люнет, після чого проточують усі корінні шийки та підрізають торці з припуском 10 мм на сторону. На крайніх шийках 1 і 8 проточують пояски шириною 100 мм із шорсткістю  $Rz = 15$  мкм під люнети для установки на верстаті перед операцією глибокого свердління.

При глибокому свердлінні отвори засвердлюються попередньо з двох сторін діаметром 120 мм. На поздовжньо-фрезерному верстаті виконується чернове оброблення щік з припуском 10 мм на бік. Якщо заготовка валу виконана вільним куванням, то зайвий метал доводиться видаляти з кожного коліна шляхом висвердлювання з перекриттям отворів та вирізуванням на дисковій пилці. Мотильові шийки обробляються начорно з припуском 10 мм на сторону; одночасно заправляються радіуси (Bicash Burnwal, (2023)).

Для оброблення шийок та щік застосовується фрезерування за допомогою фрез діаметром 450...1000 мм із вставними твердосплавними ножами. Конструкція фрез передбачає заточування ножів поза корпусом; при цьому виключається необхідність їх вивірки після установки.

Фрезерування шийок (рис. 2) здійснюється з невеликими швидкостями обертання заготовки та з високими швидкостями обертання фрези. Оброблювана заготовка обертається зі швидкістю, що дорівнює швидкості кругової подачі. При фрезеруванні шийок колінчастих валів умови різання сприятливіші, ніж при точінні.

Швидкість різання не залежить від конфігурації, розмірів та врівноваженості заготовки.

Колінчастий вал, оброблений начорно, піддається термообробленню для зняття внутрішніх напружень, отриманих під час кування. Термооброблення полягає в повільному нагріванні валу до температури 500...520°C охолодженні разом з піччю. Після термооброблення вал повторно розмічається та перевіряється на короблення. Розмічаються торці для підрізування щік та розташування осьових отворів у мотилевих шийках. Потім розточують виточки під центрові пробки, які є базою для подальшого оброблення. Осьові отвори в мотилевих шийках свердлять розміром 150 мм.

На напівчистове оброблення вал надходить із припуском по всіх корінних шийках, рівним 10 мм. Після напівчистового оброблення залишається припуск 2 мм на остаточне оброблення. На шийках 1 і 8 робляться контрольні пояски одного діаметра шириною 30 мм, які служать для подальшого вивіряння валу перед чистовим обробленням корінних шийок.

Отвори в корінних шийках остаточо розточуються на верстаті для глибокого свердління. При розточуванні застосовуються різцеві головки одно- та двостороннього різання. Мотильові шийки та щоки розмічаються для напівчистового оброблення під остаточне фрезерування. Мотильові шийки обробляються з припуском 2 мм; щоки та торці кожної шийки обробляються у розмір. У підготовленні раніше отвори вставляються центрові корки, що служать базою для чистового оброблення корінних шийок валу. Тут особлива увага приділяється ретельному обробленню шийок для встановлення люнетів.

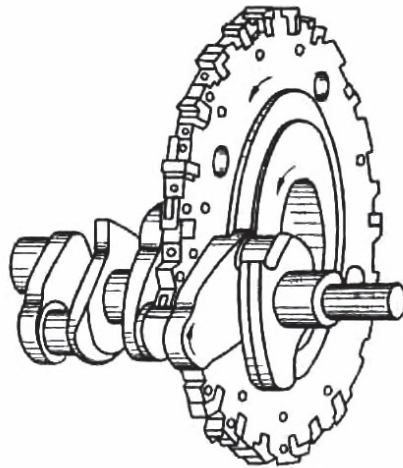


Рис. 2. Фрезерування шийки колінчастого вала

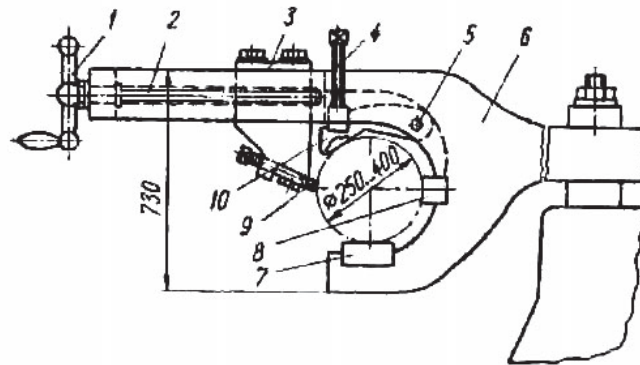


Рис. 3. Пристрій для проточування шийок колінчастого вала під люнет

Проточування шийок проводиться за допомогою спеціального пристрою (рис. 3). У корпусі оправки 6 закріплені під прямим кутом дві чавунні планки 7 і 8, які є нерухомими кулачками пристрою. Третій кулачок 10 виконаний рухомим. У прорізі верхньої частини оправки переміщується супорт 3. Подача різця 9 проводиться рукояткою 1, посадженою на гвинт 2. Кулачок 10, що гойдається навколо пальця 5 за допомогою болта 4 притискає шипу, що обточується, до нерухомих кулачків. Еліптичність усувають подачею супорта 3 з різцем 9 до шийки валу на 0,08...0,1 мм і одночасним підтиском рухомого кулачка 10 болтом 4 на величину зазору, що утворився в результаті зняття стружки. Оправка надівається на шийку валу вільно і закріплюється від повертання на супорті верстата. Закріплення в супорт оправки різця повинен мати ширину різальної кромки на 2...3 мм більше діаметра кулачка люнета для того, щоб знос кулачка не перевищував допустимий.

При закріпленні колінчастого вала під час підготовки шийок під люнет спостерігається прогин у центрах верстата. Прогин осі відбувається в місцях переходу від корінних шийок до мотилевих і за величиною він більш значний, ніж при обробленні гладких валів.

З метою зменшення деформації вала від прогину при затисканні в центрах застосовуються спеціальні розпірки, що встановлюються між щоками (рис. 4). Розпірки встановлюються лише при обробленні шийок під люнет; після встановлення люнета та відведення заднього центру розпірки не потрібні і їх зазвичай видаляють. При встановленні розпірок вал базується на призмах у горизонтальному положенні та вивіряється. В кожне коліно розпірки встановлюються з деяким натягом; остаточне встановлення розпірок проводиться під час вивіряння валу на верстаті.

Чистове оброблення вала починається з підготовки шийок під люнет. По проточенні під час напівчистового токарного оброблення пояском на шийці 1 і 8 (рис. 1) перевіряється встановлення вала з точністю до 0,1 мм. На шийці 8 проточується поясок шириною 60 мм під люнет зі зниженням решти шийки. Виведення еліптичності проводиться за допомогою описаного пристрою з точністю не менше 0,03 мм, оскільки овальність пояса під люнет копіюється на шийці, що обробляється. Поясок полірується до отримання шорсткості не нижче за  $Ra = 1,0$  мкм. При недостатній чистоті оброблення пояса відбувається швидке стирання опорних кулачків люнета, внаслідок чого виникають похибки установки вала. Люнет

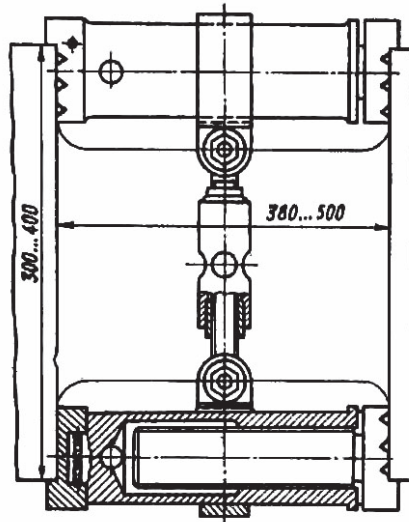


Рис. 4. Установка розпірок між щоками зменшення прогину колінчастого вала

встановлюється на доведений поясок шийки, після чого задній центр відводиться і вал залишається закріпленим у кулачках та люнеті (Mazin F., Bhaskaran G., Sabin V., (2023)).

Вал вивіряють у горизонтальній та вертикальній площинах. Установка валу щодо центрів верстата перевіряється за допомогою штихмасу в горизонтальній площині, паралельній напрямним станини верстата (рис. 5). Різниця відстаней від станини верстата до поясків 1 та 8 (див. рис. 1) не повинна перевищувати 0,2 мм. Установка валу у вертикальній площині перевіряється від супорта верстата. На шийці 7 проточуються пояски під люнет і для вивірення валу при встановленні. Вал, встановлений на двох люнетах у шийках 7 та 8, остаточно вивіряється щодо центрів верстата; точність установки не менше 0,03 мм. Після встановлення валу на двох люнетах проточуються контрольні пояски 1, 4, 7, 8 одного діаметра, які служать під час оброблення базами для перевірки установки валу. Послідовно розмір обробляються поверхні 2, 3, 5, 6, 8 і 9 та підрізається торець 10, який є базою для вимірювання лінійних розмірів.

У процесі тривалого оброблення точність установки валу порушується внаслідок зношування кулачків люнета; її слід постійно контролювати. Проточуються під шліфування або полірування шийки 1, 4, 7 та 8, які потім поліруються у розмір. Люнет пересувається на проточену шийку 8, після чого перевіряється установка валу; потім обточується під шліфування або полірування і обробляється остаточно та частина шийки 8, яка була в люнеті. Люнет пересувається на проточену ділянку шийки 7, потім перевіряється установка валу, і проточується під полірування решта шийки 7, яка полірується у розмір. Вал встановлюється і кріпиться кулачками на поверхні 9, а шийками 1, 7 спирається на люнети. Вивіряється установка валу, підрізається торець фланця 12 і оброблюється в розмір поверхня 11.

Чистове обточування мотилевих шийок проводиться при установці валу на люнети з опорою на дві корінні шийки. Якщо розміри верстата не дозволяють обробити мотилеві шийки валу з однієї установки, вона виконується з переустановкою. Після обточування шийок проводиться їх шліфування або полірування. На заключних

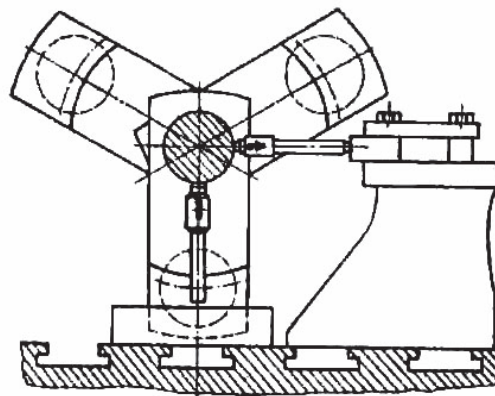


Рис. 5. Вивірення валу в горизонтальній та вертикальній площині

операціях обробляються отвори з торців фланців та шпонкові пази. Отвори обробляються на розточувальному верстаті. На цьому ж верстаті проводиться фрезерування шпонкових пазів з іншої установки.

Удосконалення технології виготовлення великогабаритних колінчастих валів відбувається шляхом покращення якості заготовок, створення високопродуктивного обладнання та механізації виробництва. Широкого застосування при виготовленні колінчастих валів знаходить високоміцний чавун із кулястим графітом. При виготовленні колінчастих валів тепловозних двигунів завдовжки до 4 м використовуються литі заготовки з чавуну (Torsional vibration analysis, (2008)).

У серійному виробництві валів використовують принципи поточного виробництва. Поточна лінія складається з універсальних та спеціальних верстатів, оснащених багато різцевими поворотними наладками, пристроями, швидко центруючими люнетами, контрольними пристроями. З метою підвищення точності оброблення застосовуються пристрої та інструменти жорсткої конструкції.

У потоковому виробництві колінчастих валів складні токарні операції ділять на кілька простих що виконуються послідовно окремих верстатах. У цьому випадку заготовка колінчастого валу довжиною близько 4 м і масою 1500 кг (рис. 6) перед механічним обробленням проходить шротоструминне очищення і розмічається.

Колінчастий вал встановлюється в люнетах, в яких центрується за допомогою роз'ємних кілець, що обертаються в люнеті разом з валом. Кінець з першою шийкою валу та середню корінну шийку обточують з припуском 5 мм та допуском під люнет для подальших операцій. На наступній операції обробляють базовий кінець, фланець та останню шийку з тим самим припуском 5 мм під чистове оброблення. На токарно-валових верстатах при установці валу по середній шийці в люнеті обробляють всі корінні шийки валу. Для одночасного обточування чотирьох корінних шийок на кожному з двох супортів верстата встановлені багаторізцеві крокові налагодження з двома спареними поворотними головками, які встановлюють по упорах щодо шийок. Шийки до певного діаметра обробляють методом врізання; остаточно шийки проточують прохідними різцями. Наладка для оброблення певного місця колінчастого валу забезпечені касетами з одним або декількома різцями, що дозволяє швидко змінювати касети з різцями, що затупилися в процесі оброблення.

Шатунні шийки валу обробляють на токарно-дискових верстатах з використанням спеціальних пневмогідравлічних затискачів, а також спеціальних, призначених для цієї мети верстатах. В цьому випадку колінчастий вал, що обробляється, не обертається, а закріплюється нерухомо в спеціальних центросумісних стійках (рис. 7). Стійки складаються з чавунних корпусів 1, кришок 2 і вкладишів 3, в які встановлюються корінні шийки валу; вони кріпляться до столу верстата болтами. Оброблений начорно вал перевіряють за допомогою дефектоскопа в спеціальній лабораторії. Чистове оброблення валу виконується у тій же технологічній послідовності із залишенням припуску під шліфування. При обробленні шатунних шийок для збільшення точності установки на верстаті попередньо шліфують корінні шийки валу, а потім шліфують начорно корінні і шатунні шийки.

Фрезерування двох скосів щік та свердління отворів у фланці виконують на агрегатному верстаті з напівавтоматичним циклом роботи, оснащеним силовими фрезерними головками та кондукторами для свердління. Перед остаточною шліфуванням проводять динамічне балансування валу; дисбаланс знімають на токарно-валовому верстаті. За допомогою пристрою для автоматичного контролю шийок шліфують остаточно шийки валу без зупинки для виконання контрольних вимірів. Свердління та розгортання похилих мастильних отворів та підрізування отворів у фланцях здійснюють на агрегатному верстаті. Після слюсарних операцій шийки валу полірують, а необроблені поверхні фарбують. Шийки валу полірують на великих токарних верстатах за допомогою спеціальних жимків (рис. 8), що складаються з двох дерев'яних колодок з чавунними вкладишами, з'єднаних за допомогою шкіряного паска, за допомогою абразивних і алмазних порошоків, а також спеціальних паст, після чого проводять остаточною контроль валу.

Впровадження принципів потокового виробництва під час виготовлення великогабаритних колінчастих валів дозволяє забезпечити високу організацію виробництва, значно скоротити цикл і знизити трудомісткість оброблення валів.

При виготовленні валів для дизелів великої потужності виникають проблеми збільшення їхньої міцності та довговічності в роботі. В цих умовах для отримання раціональної форми колін і зниження загальної нерівномірності розподілу напружень необхідно використовувати властиві литим деталям особливості. Для них можна проводити

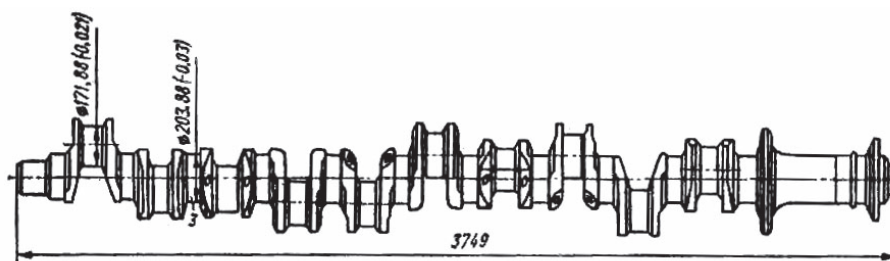


Рис. 6. Колінчастий вал тепловозного двигуна

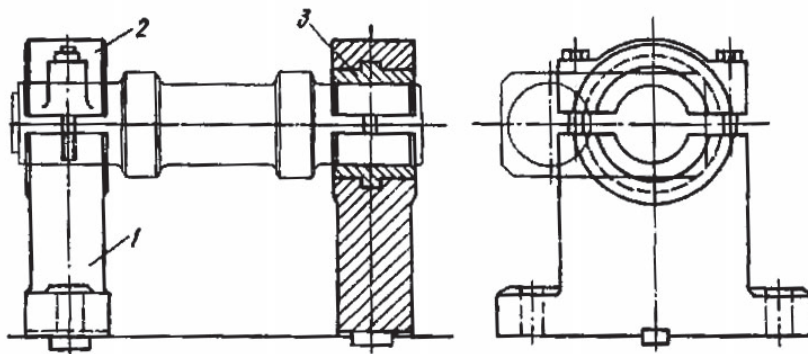


Рис. 7. Центросумісні стійки для оброблення великих колінчастих валів

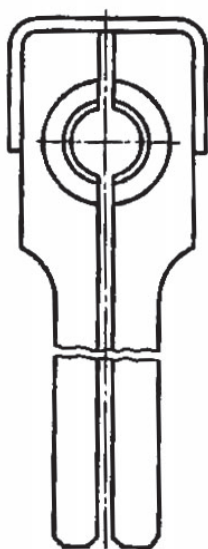


Рис. 8. Жимки для полірування шийок великих колінчастих валів

спрямоване підвищення опору руйнуванню в зонах концентрації напружень шляхом ефективного поверхневого зміцнення. Як засоби зміцнення поверхні шийок застосовують азотування та поверхнєве пластичне деформування галтельних переходів колінчастих валів.

Радіус галтелей колінчастих валів приймають рівним не менше 0,07 діаметра шийок; а при використанні методу поверхневого зміцнення галтелей немає потреби виконувати галтельні переходи колінчастих валів за таким великим радіусом. Зміцненням досягається практично повна нейтралізація концентраторів напружень у малих галтелях шийок колінчастих валів при змінному крученні. Зміцнення пластичним деформуванням дає змогу зменшити радіуси галтельних переходів до 0,02...0,03 від діаметра шийок.

У процесі механічного оброблення та термооброблення порушується необхідна геометрична форма колінчастих валів. Практика показала, що близько 80% колінчастих валів потребують правки, яка може виконуватися кількома способами. Правка валів карбуванням щік здійснюється шляхом ударів сферичним бойком у місця найменшої жорсткості щіки – між корінною та шатунною шийками. Необхідне зусилля правки досягається

варіюванням енергії удару бойка і площі поверхні, що обробляється. При цьому втомна міцність колінчастого валу не знижується; вона може навіть підвищитися при суцільному карбуванні щіки. Розроблено спосіб правки колінчастих валів будь-якої форми шляхом секторіального оброблення галтелей корінних шийок колінчастого валу за допомогою поверхневого пластичного деформування (Crankshaft Processing Technology. (2019)). При цьому в поверхневих шарах матеріалу галтелей формуються залишкові стискаючі напруження, під дією яких колінчастий вал згинається у зворотному напрямку. Режими оброблення сектора галтелі або секторів кількох галтелей вибираються таким чином, щоб зменшити биття колінчастого валу до допустимого. Необхідний напрям вектора правки досягається відповідним розташуванням секторів галтелей, що зміцнюються поверхневим пластичним деформуванням.

Для обробки великих валів використовується унікальне оснащення великогабаритні верстати з ЧПК. На рис. 9 в якості прикладу представлений токарний оброблюваний центр Mazak INTEGREX e-800HM. (Mazak INTEGREX e-1850V/12, (2021)).

Верстат є поєднанням токарного та обробляючого центра і використовується для обробки важких великогабаритних заготовок.

Група компаній Hwacheon Machine Tool (Півд. Корея) представила лінію великогабаритних токарних центрів, розроблених спеціально для точення компонентів великих діаметрів, які застосовуються в агрегатах нафтогазової галузі: Серія «Big Bore» (рис.10). Нове обладнання спроектоване на основі серійних горизонтальних токарних центрів з похилою станиною (<math>45^\circ</math>) моделей Hi-Tech 550, Hi-Tech 700 та

Hi-Tech 850. Кожен токарний обробний центр має найкращий, у своєму класі крутний момент на шпинделі (8500 Нм), що дозволяє виконувати високопродуктивну обробку деталей з великим зніманням матеріалу максимальними габаритами: до 920 мм у діаметрі та понад 5400 мм у довжину. Так, максимальний діаметр обробки на Hi-Tech 850BB становить 920 мм, і максимальний діаметр, що встановлюється над станиною 1050 мм, що дає вагомій підставі для присвоєння статусу: кращий у своєму класі CNC, (Hwacheon Hi-TECH 500BBL STD, (2021)).



Макс. Оброблювана довжина	8200 мм
Макс. Оброблюваний діаметр	1300 мм
Переміщення по осям (X, Y, Z, B)	1300 мм, 800 мм, 8600 мм, 240 градусів
Вмістимість магазину інструментів	40-120
Хвостовик інструменту	MAS CAT50, CAPTO C8, HSK-T100
Головний шпиндель (при 30-хв. циклі)	700 об/хв, 45 кВт (60 к.с)
Другий шпиндель (при 30-хв. циклі)	700 об/хв, 45 кВт (60 к.с)
Фрезерний шпиндель (при 15-хв. циклі)	12000 об/хв. 37кВт (50 к.с)

Рис. 9. Токарний оброблюваний центр Mazak INTEGREX e-800HM



Рис. 10. Горизонтальний токарний верстат з похилою станиною з ЧПУ для обробки труб та валів великого діаметру

Токарні обробні центри серії Hi-Tech BB та BB+ мають центральний технологічний отвір у шпинделі від 180 мм до 370 мм у діаметрі, для базування та кріплення труб великого діаметру. Великі пневматичні патрони можуть бути встановлені з двох торців шпиндельної бабки, що

значно збільшує жорсткість схем базування довгих заготовок типу вал, труба. Зокрема модельний ряд включає: Hi-Tech 550BB з отвором у шпинделі до 180 мм; Hi-Tech 700BB пропонується у двох модифікаціях з отвором 180 мм та серія BB + 295 мм; Hi-Tech 850BB - 295 мм та

ВВ + 370 мм. Шпindelний вузол передбачає встановлення в наскрізний отвір шпинделя заготовок великого діаметра

**Висновки.** Запропонована специфічна технологія обробки великогабаритних колінчатих валів. Показані

способи отримання та характеристики заготовок колінвалів, схеми базування, послідовність обробки, інструмент, оснащення та методи контролю якості, що забезпечує подальшу сталу роботу силових агрегатів великих машин.

#### **Бібліографічні посилання:**

1. Bicash Burnwal, (2023), The evolution of crankshaft manufacturing URL: <https://bikashstips.medium.com/the-evolution-of-crankshaft-manufacturing-from-traditional-methods-to-advanced-techniques-28b8ef60a5e6>
2. Jean-Paul Assie, (1999), Method of machining a crankshaft. United States Patent.
3. Crankshaft Processing Technology, (2019) Metal parts products manufacturing at China.
4. CNC (Hwacheon Hi-TECH 500BBL STD, (2021) URL: <https://www.hwacheon-europe.com/en/Horizontal-Turning-Centers/Hi-TECH-2306>
5. Mazak INTEGREX e-1850V/12, (2023) URL: <https://www.mazakusa.com/machines/integrex-e-1850v-12/>.
6. Mazin F., Bhaskaran G., Sabin V., (2023), Determination of cost-effective range in surface finish for single pass turning. DOI: 10.1504/UMR.2023.10052034
7. Pukhovskiy E.S., (2021), Progresivny protzesy obrobky materialiv [Progressive processes of processing materials]. (Electronniy resurs), K., NTUU (KPI) im. I. Sikorsky, -132 p., [in Ukrainian]
8. Torsional vibration analysis of crankshaft in heavy duty six cylinder inline engine. (2008) Institute of automobile and industrial combustion engines. Crakow.

**Pukhovskiy Ye. S.,** Doctor of Technical Sciences, State University "Zhytomyr Polytechnic", Zhytomyr, Ukraine

**Gromovoy O. A.,** Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, State University "Zhytomyr Polytechnic", Zhytomyr, Ukraine

#### **Technology for the manufacture of large-sized crankshafts**

Modern heavy engineering is characterized by a significant share of small-scale and single forms of production. Machines produced for the metallurgical, energy, mining, chemical industries are characterized by high metal consumption and high labor intensity of their manufacture. For the manufacture of large-sized parts, either universal equipment and equipment are used, or technological complexes are created based on the use of unique equipment, large devices and conductors, and in some cases original tools. When assembling such units and machines, the fitting method is widely used.

Due to the specific features of machining heavy and large-sized parts and the low serial production of them, during the development of the technology, it is impossible to mechanically introduce progressive methods and methods of machining, as well as the organization of work, which are widely used in large-scale and mass production of industries not related to heavy engineering. When processing these parts, there is often a need for original technical solutions.

The main tasks in machining heavy and bulky parts are: achieving the required geometry of accuracy, surface roughness and physical and mechanical properties of the surface layer. Finishing and finishing operations, during which the physical and mechanical properties of the surface layer of massive parts are formed, and therefore their performance, are based on cutting materials. In the process of cutting, the surface layers have a slight strengthening, and sometimes even strengthen. In the case of this method of processing, it is impossible to adjust the surface roughness, especially the shape of micro irregularities, as well as the physical and mechanical properties of the surface layer using the cutting mode. Machining large-sized parts is very laborious, associated with a lot of time. Therefore, one of the main issues that have to be solved in heavy engineering is an increase in machining productivity as a result of the use of advanced technological solutions, a further increase in production equipment, its specialization, mechanization and partial automation, as well as the use of modern large CNC machines.

The main method of manufacturing large shaft blanks in single and small-scale production is free forging. The quality of carbon and alloy steel forgings is regulated by standards. Shafts obtained by free forging have much higher strength characteristics compared to other methods of obtaining blanks. In the manufacture of large crankshaft blanks, methods of sequential stamping and bending with upsetting are widely used. In this case, ordinary hydraulic forging presses with a force of 98 MN are used. The use of these methods allows you to dramatically increase the material utilization rate, reduce the cost of machining shafts and improve the performance properties of crankshafts.

The technology of crankshaft processing for large-sized machine units in mining, metallurgical, chemical, automotive, energy and other industries has specific features, which requires the use of individual technological processes, equipment and tools (Bicash Burnwal, (2023); Jean-Paul Assie, (1999)).

Large crankshafts are critical parts of powerful diesel installations and various power units. They are made primarily of steel and high-strength cast iron with spherical graphite. When machining large crankshafts, the following technical conditions must be observed: the runout of the main journals relative to the axle should not exceed 0.03 mm; permissible ovality or taper of the main necks – no more than 0.02 mm, and bloodworms – 0.03 mm; skew of connecting rod necks relative to the main ones is not more than 0.02 mm; permissible deviation of the radius of the crank is not more than 0.01 mm for every 100 mm of length; permissible offset of angles between the crank elbows  $\pm 15^\circ$ ; non-parallelism of bloodworm necks relative to the axis of the shaft is allowed  $\pm 0.15$  mm per 1000 mm of length; non-perpendicularity of the end of the flange to the axis of the shaft is allowed 0.01 mm for every 100 mm of length; roughness of shaft journal machining –  $Ra = 0.5$  mm (Pukhovskiy E.S., (2021)). Technical tools are provided with high-quality processing routes, equipment, tools and equipment.

**Key words:** Diameter shaft, large-sized parts, corn shaft, winding, turning, milling, thermal machining, steady rest, drilling, workbench.