

Василь Скляр

аспірант кафедри автомобільного транспорту та галузевого машинобудування
Національний університет «Чернігівська політехніка» (Чернігів, Україна)

E-mail: uslhj@meta.ua. ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0563-6887>

ResearcherID: [J-1138-2016](https://orcid.org/0000-0003-0563-6887)

**АНАЛІЗ МЕТОДІВ ОБРОБКИ ШАТУННИХ ШИЙОК КОЛІНЧАСТИХ ВАЛІВ
ОРІЄНТОВАНИМ ІНСТРУМЕНТОМ**

Колінчасті вали виготовляються на автомобілебудівних, суднобудівних, машинобудівних та ін. підприємствах. До даних деталей висуваються високі вимоги точності та якості оброблених поверхонь. Розглянуто відомі методи шліфування та фрезерування колінчастих валів. Фрезерування може бути як інструментом, у якого різальні пластинки знаходяться на зовнішній стороні диска, так і на внутрішній. Багато фірм виготовляють верстати для обробки колінчастих валів. Обробка шатунних шийок колінчастих валів може проходити із застосуванням спеціальних пристроїв або по програмі на верстатах з ЧПК. Стаття є оглядовою.

Ключові слова: обробка колінчастого вала; шатунні шийки; шліфування; фрезерування.

Рис.: 23. Бібл.: 22.

Актуальність теми дослідження. Колінчасті вали є геометрично складними деталями, вони виготовляють на машинобудівних, суднобудівних та інших підприємствах. Шатунні шийки колінчастого вала розташовані не на осі самого вала, тому процес їх обробки є більш складним. Забезпечення високої точності та продуктивності обробки шатунних шийок є актуальним завданням.

Постановка проблеми. Для забезпечення конкурентоспроможності виробництв необхідно забезпечення високої продуктивності обробки, не втрачаючи при цьому точності оброблюваних робочих поверхонь деталей. Аналіз методів обробки шатунних шийок колінчастих валів допоможе визначити, які є труднощі при обробці, що в подальшому дозволить вдосконалити процес обробки.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. У статті [1] описано спосіб шліфування колінчастого вала орієнтованим інструментом, а також тривимірне моделювання процесу обробки.

У патентах [2; 3] описано способи шліфування колінчастих валів за один установ, а також верстати для здійснення цих способів. Обробку можна здійснювати як однієї шийки, так і декількох одночасно.

Верстат для обробки колінчастих валів описаний у [4], при шліфуванні шатунних шийок центр зміщують, щоб деталь оберталась відносно цих шийок, обробка проходить як звичайної циліндричної поверхні.

У патенті [5] наведено спосіб шліфування колінчастого вала чотирициліндрового двигуна, при якому спочатку одночасно шліфуються всі корінні шийки, потім – по дві шатунні.

Спосіб шліфування колінчастого вала за один установ із вимірюванням розмірів деталі під час обробки наведено в [5]. Спочатку здійснюють обробку корінних шийок, потім – шатунних.

У [7] описано процес фінішної обробки колінчастого вала фрезою, яку встановлено перпендикулярно до твірної поверхні, що оброблюється. Зміцнення поверхневого шару шийки вала відбувається за рахунок наклепу, що утворюється під час обробки.

У патенті [8] описано спосіб фрезерування колінчастих валів. За рахунок використання спеціальної фрези, а також забезпечення необхідного співвідношення частот обертання інструмента та деталі забезпечується підвищення точності обробки.

На ПАТ «Харківський верстатобудівний завод» [9] та на відокремленому підрозділі «Лубенський верстатобудівний завод» ПАТ «МОТОР СІЧ» [10] виготовляють спеціальні верстати для шліфування колінчастих валів.

Фірма Junker [11] виготовляє високоточні шліфувальні верстати JUCRANK з ЧПК для обробки колінчастих валів.

Компанії Sandvik [12] та Walter Tools [13] виготовляють фрези зі змінними пластинами для обробки колінчастих валів.

Фірма HELLER [14] виготовляє верстати для фрезерування колінчастих валів.

Компанія Hegenscheidt MFD [15] виготовляє верстати та інструменти для обробки колінчастих валів.

У публікації [16] розглянуто виробництво автоматичної лінії для обробки колінчастих валів. Аналізується та обирається обладнання для підвищення продуктивності обробки.

У статті [17] наведено осцилюючий верстат для шліфування колінчастих валів.

У [18] розглянуто фрезерування периферією, торцем фрези, а також обробку різцем.

У роботі [19] розглянуто внутрішнє фрезерування шийок колінчастих валів.

У публікації [20] описана обробка шатунної шийки колінчастого вала, наведена залежність зміни швидкості при обробці шатунної шийки від повороту колінчастого вала.

У статі [21] розглядається зміцнення поверхні колінчастого вала після механічної обробки.

У роботі [22] описується процес шліфування колінчастих валів. Їх обробку здійснюють на спеціально розроблених для цього верстатах.

Виділення недосліджених частин загальної проблеми. Відсутній аналіз відомих методів обробки шатунних шийок колінчастих валів.

Мета статті. Метою статті є аналіз методів обробки колінчастих валів, що дозволить виділити найбільш оптимальні, а також знайти їхні переваги та недоліки.

Виклад основного матеріалу. У статті [1] запропоноване модульне тривимірне моделювання процесу шліфування колінчастих валів. На рис. 1 зображено схему обробки колінчастого вала 1 орієнтованим на невеликий кут ψ вузьким шліфувальним кругом 2. Корінні та шатунні шийки 3 обробляються за один установ. Чорнове та чистове шліфування відбувається за один прохід за рахунок того, що чорновий припуск знімається торцевою поверхнею круга, а чистова обробка відбувається периферією інструмента.

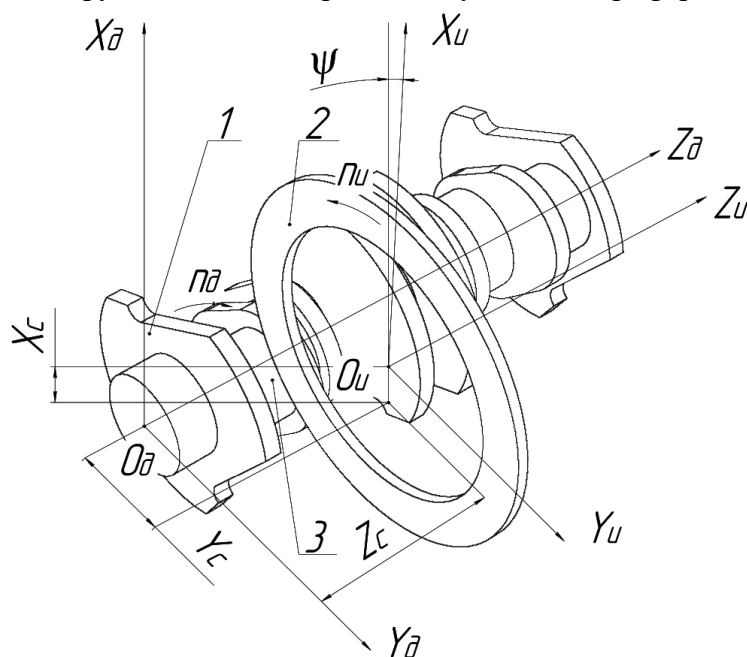


Рис. 1. Схема обробки колінчастого вала [1]

На рис. 2 зображено схему шліфування шатунної шийки 4 у початковому положенні (рис. 2, а), коли міжосьова відстань Y_c колінчастого вала 1 та шліфувального круга 2 найбільша та положення, коли шатунна шийка повернута на кут β (рис. 2, б), при цьому точка контакту 3' не збігається з точкою 3. Стабілізація зняття припуску та подачі по контуру відбувається за рахунок синхронних вертикального та поперечного рухів інструмента.

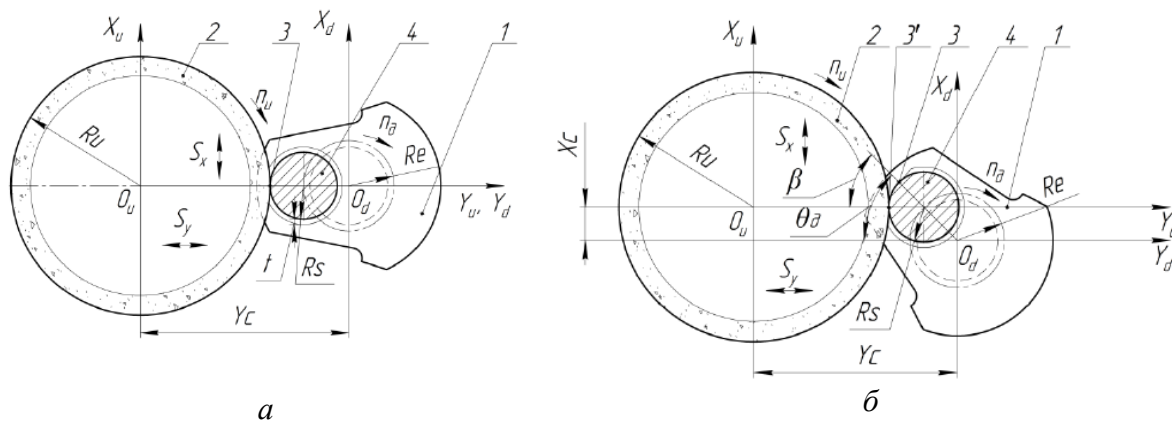


Рис. 2. Схема шліфування шатунних шийок [1]

У патенті [2] описано спосіб шліфування колінчастого вала за один установ та верстат для здійснення цього способу. Спочатку здійснюють чорнове шліфування корінних шийок (або і корінних, і шатунних шийок), а потім – чистове шліфування шатунних шийок. Оскільки деталь не потрібно знімати з одного верстата й закріплювати на іншому, зменшується час обробки, а також не виникає похибки від переустановки. З іншого боку, за рахунок наведеної послідовності обробки при шліфуванні досягається те, що напруження в матеріалі зменшується і не виникає зміни форми після обробки колінчастого вала.

Краще здійснювати шліфування кругами CBN зі швидкістю різання 80-120 м/с. При обробці довгих колінчастих валів використовують люнет.

Є варіант обробки одним шліфувальним кругом або двома. Два круги можуть розташовуватись із різних сторін, що додатково зменшує час обробки

На рис. 3, а зображено встановлений колінчастий вал 1. Він встановлений у затискному патроні 2, що встановлений у шпинделі 3. У центрі затискного патрона 2 знаходиться перший центр 4, на якому встановлений колінчастий вал 1.

Радіальний затиск колінчастого вала 1 здійснюється затискними кулачками 5 затискного патрона 2, які затискають по зовнішній периферії фланця 6 колінчастого вала 1. Другий кінець колінчастого вала 1 опирається на другий центр 7 задньої бабки 9. Другий центр 7 задньої бабки встановлений на пінолі 8, що рухається в осьовому напрямку. Задня бабка 9 може бути замість заднього центру 7 оснащена другим затискним патроном, як і бабка заготовки. У такому випадку затискні кулачки цього затискного патрона затискають циліндричний кінець 21 колінчастого вала 1. Привід колінчастого вала 1 виконується згідно з показаним на рис. 3, а варіантом виконання так, що колінчастий вал 1 приводиться в обертання навколо корінної шийки 11 шпинделем 3 заготовки із затискним патроном 2. Привід виконаний у вигляді ЧПК-осі (стрілка С1). В іншому варіанті виконання задня бабка 9 може бути виконана не з другим центром 7, а з приводною піноллю задньої бабки (ЧПК-вісь С2). Показано шліфувальний шпиндель 30 зі шліфувальним кругом 31. Шліфувальний шпиндель 30 встановлений у корпусі шліфувальної бабки, який може переміщатися в напрямку осі X за допомогою ЧПК-осі. Бабка заготовки із затискним патроном 2 і задня бабка 9 змонтовані на столі шліфувального верстата, який може переміщатися в напрямлення Z. Колінчастий вал установлений так, щоб його середня вісь 13 знаходилася точно на одній лінії із середніми осями шпинделя 3 і пінолі 8 задньої бабки. Люнет 10

закріплений на столі шліфувального верстата, його встановлюють на заданій корінній шийці 11. Шліфування колінчастого вала 1 можна виконувати при різних варіантах розташування шліфувального шпинделя (можливі різні варіанти виконання верстата).

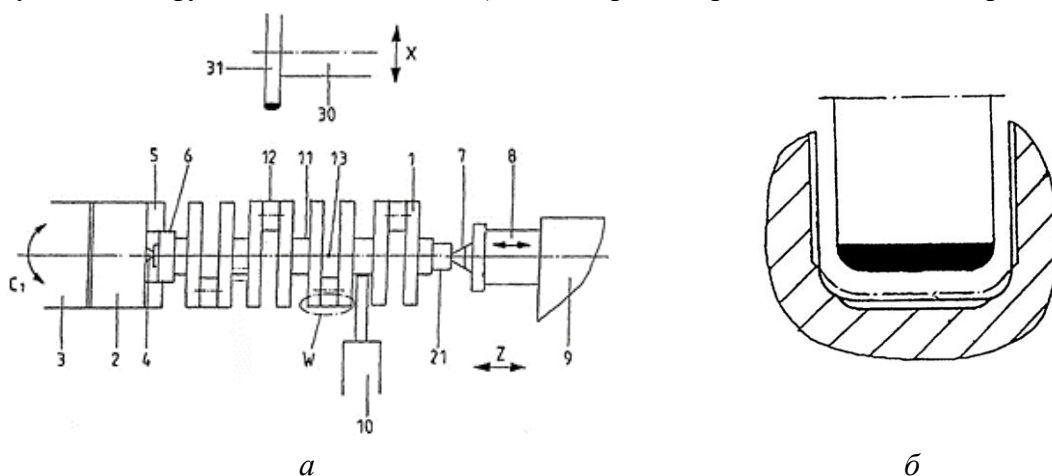


Рис. 3. Шліфування колінчастого вала [2]

Шліфувальний круг 31 врізається в колінчастий вал 1. Здійснюється чорнове та чистове шліфування. На рис. 3, б показано шатунну шийку з боковими радіусами і шліфованими боковими поверхнями. Шатунна шийка 12 має бокові радіуси, які також попередньо шліфуються, при кінцевій обробці радіус шліфується вже не повністю, оскільки він не прилягає до вкладиша підшипника в корпусі двигуна при встановленому колінчастому валу.

На рис. 4, а схематично показаний верстат 43 для шліфування колінчастих валів. На станині 41 встановлений стіл, на якому змонтована бабка 40 виробу і задня бабка 9. Шліфувальна бабка 42 служить для розміщення шліфувального шпинделя 30, вона виконана з можливістю переміщення по осі X.

На рис. 4, б показано другий верстат 44 для шліфування колінчастих валів, який має дві бабки. Кожна шліфувальна бабка має незалежні ЧПК-осі. Це означає, що кожний круг можна використовувати незалежно від іншого згідно з програмою ЧПК. Таке розташування при одночасному шліфуванні має переваги, що діють на колінчастий вал протилежно направлені сили взаємно урівноважити одна одну. Просторове розташування оброблюваного центра може бути також таким, що безпосередньо напроти однієї шліфувальної бабки з однієї сторони колінчастого вала знаходиться шліфувальна бабка з протилежної сторони колінчастого вала.

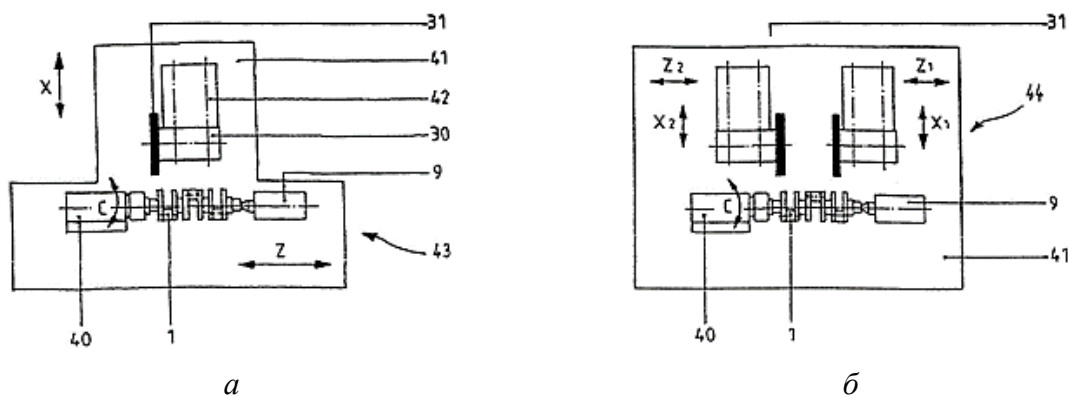


Рис. 4. Схема шліфування колінчастого вала [2]

У [3] описано пристрій та спосіб шліфування колінчастого вала. У цьому способі спочатку здійснюють обробку корінних шийок, після чого вал повертається до положення, коли вісь корінних шийок і вісь однієї із трьох шатунних шийок утворюють горизонтальну площину. Інструментальна головка переміщується в горизонтальній площині перпендикулярно осі колінчастого вала на величину ексцентриситету осі шатуна. Обертання колінчастого вала навколо осі групи шатунних шийок здійснюється за допомогою фіксаторного перемикача. здійснюється обробка групи шатунних шийок, після чого верстат знову налагоджують на обробку іншої групи шатунних шийок.

У [4] описано верстат (рис. 5) для шліфування шийок колінчастого вала. На відміну від звичайних круглошліфувальних верстатів, він включає патрони-центрозмішувачі, які урівноважують пристрій зі зміщеними відносно осі обертання вантажами, які призначені для шліфування шатунних шийок колінчастого вала.

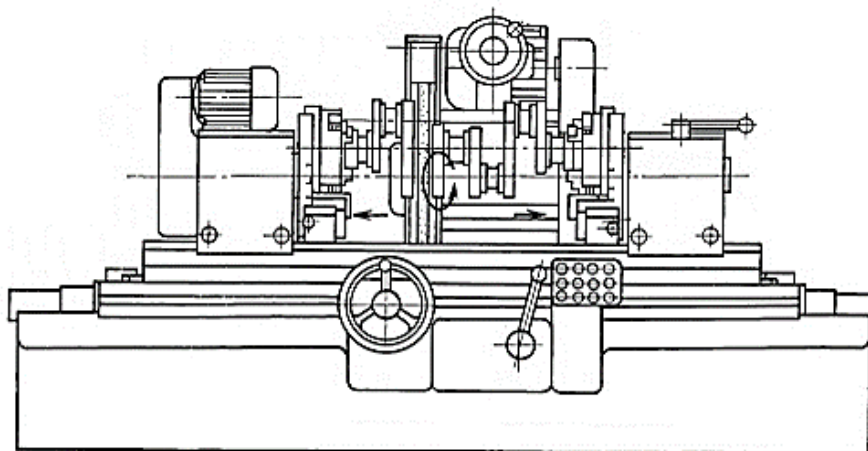


Рис. 5. Верстат для шліфування колінчастих валів [4]

У способі [5] описано процес обробки колінчастого вала чотирициліндрового двигуна, при якому одночасно оброблюють всі корінні шийки колінчастого вала. Також оброблюються фланці та плоскі сторони щік. Шатунні шийки оброблюються по дві одночасно одним із двох методів або здійснюється обертання відносно шатунних шийок і здійснюється обробка як при шліфуванні циліндричної поверхні або використовується поперечна подача для можливості обробки шатунної шийки, також відбувається поздовжня подача і контроль (корегування) зняття матеріалу й радіального биття оброблюваних шийок.

У патенті [6] описано спосіб, згідно з яким шліфування колінчастого вала здійснюється за один установ. Шліфування всіх корінних шийок відбувається одночасно (рис. 6), при обробці шатунних шийок одночасно шліфуються дві шатунні шийки. При цьому на відміну від обробки корінних шийок є можливість обробки двома методами або здійснюється обертання відносно шатунних шийок і здійснюється обробка як при шліфуванні циліндричної поверхні або використовується поперечна подача для можливості обробки шатунної шийки. Під час обробки постійно здійснюють вимірювання розмірів деталі, що дозволяє майже миттєво визначити і ввести корекцію процесу шліфування. Одночасно здійснюється обробка двох валів.

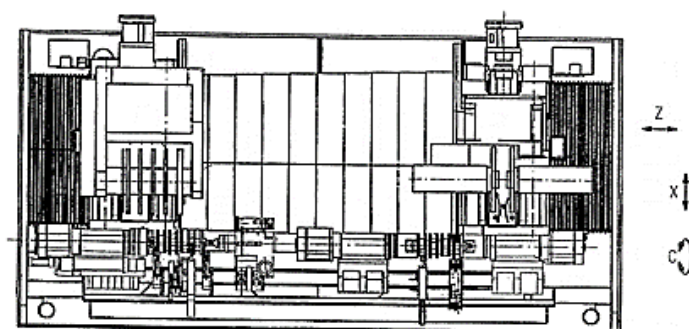


Рис. 6. Шліфування колінчастих валів [6]

У [7] описано процес фінішної обробки колінчастого вала, при якому заготовку колінчастого вала встановлюють на токарному верстаті, фрезу встановлюють перпендикулярно до твірної поверхні, що оброблюється. Зміцнення поверхневого шару шийки вала відбувається за рахунок наклепу при різанні при використанні торцевої шаберної фрези.

Колінчастий вал 1 (рис. 7, а) закріплюють в патроні 3 та центрі 4 задньої бабки токарного верстата 2. Шпиндельна головка 6 з торцево-шаберною фрезою 7 (рис. 7, б) встановлена на супорті 5. При встановленні потрібно зорієнтувати фрезу так, щоб її вісь обертання була перпендикулярна твірній циліндричній поверхні оброблюваної шийки колінчастого вала 1, а також необхідно забезпечити зміщення осі обертання відносно твірної на величину e (рис. 7, б). Величина зміщення визначається залежно від діаметра оброблюваної шийки. Після всіх налаштувань відбувається обробка, обертання колінчастому валу 1 надається шпинделем передньої бабки верстата 2, обертання фрези 7 надає привод голівки 6 шпинделя. Супортом 5 та кареткою 8 верстата 2 забезпечуються радіальна подача для забезпечення врізання фрези 7 і поздовжня подача вздовж твірної циліндричної поверхні шийки.

Обробка за методом зняття тонких шарів металу по переривчастій гвинтовій лінії здійснюється за рахунок зміщення осі обертання фрези в тангенційному напрямку. При поздовжній подачі інструмента у зворотному напрямку також формується переривчаста гвинтова лінія з подібним мікроперериванням (0,5...0,9 мкм). Це покращує змащування мастилом при експлуатації колінчастого вала. Фінішну обробку колінчастого вала виконують починаючи з корінних шийок. При обробці шатунних шийок здійснюють зміщення центрів, щоб обертання вала було відносно шатунних шийок, а не корінних.

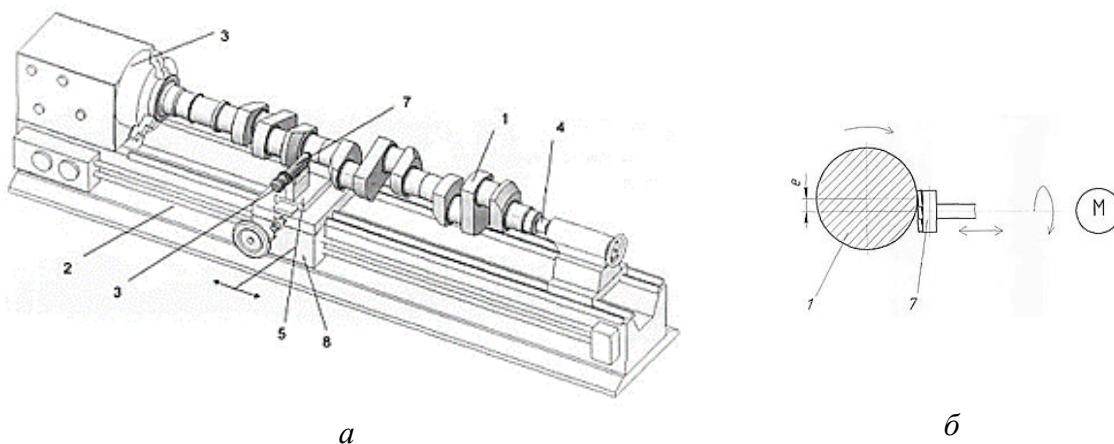


Рис. 7. Шліфування колінчастого вала [7]

У патенті [8] описано спосіб обробки деталей типу колінчастий вал. Колінчастий вал 2 (рис. 8) встановлюють на верстаті, надають обертання навколо оброблюваної шийки зі швидкістю ω_d , у шпинделі фрезерної головки встановлюють фрезу 1 з числом зубців Z , надають обертання зі швидкістю ω_n . Фреза виконана так, щоб висота різальної кромки завжди була менше попередньої, а кут між різальними кромками сусідніх зубців більше. Частота обертання деталі повинна бути більша, ніж частота обертання інструмента.

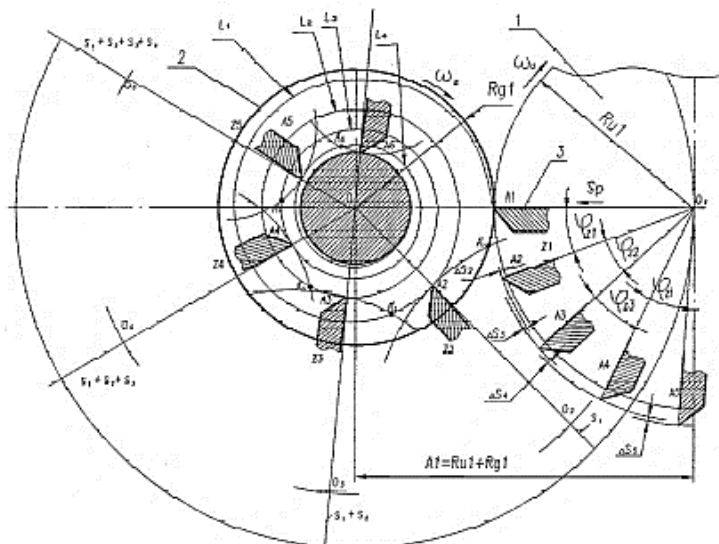


Рис. 8. Фрезерування колінчастого вала [8]

Для забезпечення безперервності і правильності протікання процесу повинно правильно виконуватися співвідношення параметрів ω_d , ω_n , S_p .

Кутову швидкість фрези та деталі потрібно обирати зі співвідношення

$$\frac{\omega_n}{\omega_d} = \frac{\varphi_{zi}}{2\pi \left(1 - \frac{\Delta S_i}{S_p}\right)} \quad (1)$$

де ω_n , ω_d – кутові швидкості інструмента та деталі, рад/с;

φ_{zi} – кут між різальними кромками інструмента, рад;

ΔS_i – радіальна зміна висоти установки i -тої різальної кромки щодо попередньої, мм;

S_p – швидкість радіальної подачі інструмента, мм/об.

На ПАТ «Харківський верстатобудівний завод» [9] виготовляють верстати з ЧПК для шліфування корінних та шатунних шийок колінчастих валів, а також для перешліфування (ремонт). Напівавтомати виготовляють налагодженими на обробку певного виробу і використовуються в умовах серійного та масового виробництва.

Обробка колінчастих валів здійснюється на верстатах (ХШ2-70МФ20, ХШ2-76МФ20, ХШ2-80Ф20, ХШ2-86Ф20) методом врізного шліфування з приладом активного контролю в напівавтоматичному циклі. Для обробки шатунних шийок використовують верстати моделей ХШ2-80Ф20 (рис. 9), ХШ2-86Ф20.



Рис. 9. Спеціальний верстат (а) для шліфування шатунних шийок колінчастого вала та схема їх обробки (б) [9]

При обробці шатунних шийок оброблюваний колінчастий вал базується крайніми корінними шийками у призмах патронів передньої і задньої бабок. Поворот колінчастого вала при переході з шийки на шийку й орієнтація наступної шатунної шийки вісь обертання здійснюється автоматично механізмом ділення. Для зменшення прогину колінчастих валів встановлюють рухомий люнет. Правка шліфувального круга здійснюється автоматично.

На відокремленому підрозділі «Лубенський верстатобудівний завод» ПАТ «МОТОР СІЧ» [10] виготовляють верстати для перешліфування колінчастих валів. Верстати спеціальні круглошліфувальні моделі 3411, 3Д4230, 3В423, 3Д4231, ЛТ-235 (рис. 10) призначені для перешліфовки корінних та шатунних шийок колінчастих валів і інших деталей типу кривошипа. При шліфуванні шатунних шийок здійснюють зміщення колінчастого вала так, щоб колінчастий вал обертався відносно шатунних шийок, балансування здійснюється рухомими вантажами, що розміщені ззаду бабок виробів у неробочій зоні. Разом із верстатом постачаються прилади для правки шліфувальних кругів, вимірювальні пристрої, люнет.



Рис. 10. Верстат для перешліфовки колінчастих валів моделі 3Д4231 (а) та 3411 (б) [10]

Фірма Junker [11] виготовляє високоточні шліфувальні верстати JUCRANK з ЧПК (рис. 11) для обробки колінчастих валів. Чорнове та чистове шліфування колінчастих валів відбувається за один установ. Для забезпечення високої точності обробки колінчастих валів встановлюють рухомий люнет. Під час обробки здійснюють контроль точності.



Рис. 11. Шліфування колінчастого вала на верстаті фірми Junker [11]

При обробці на верстаті маятниковим методом колінчастий вал обертається навколо центральної осі (осі корінних шийок), шліфувальний круг рухається за шатунною шийкою (рис. 12).

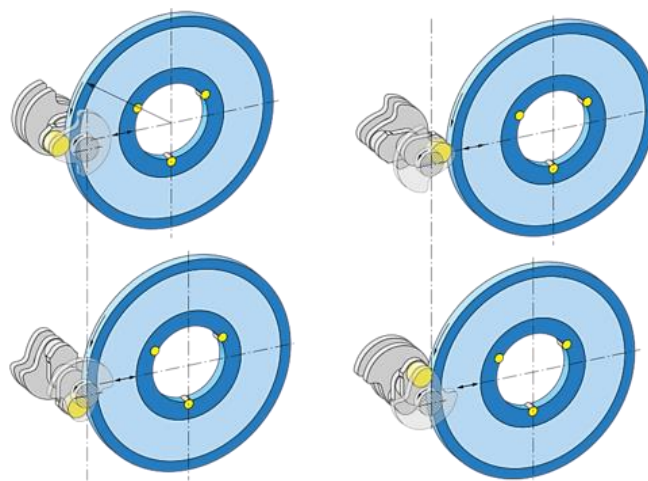


Рис. 12. Шліфування колінчастого вала маятниковим методом [11]

При обробці з паралельними осями заготовки і інструменти встановлені з паралельними осями, завдяки цьому шийки оброблюються врізним шліфуванням (рис. 13).

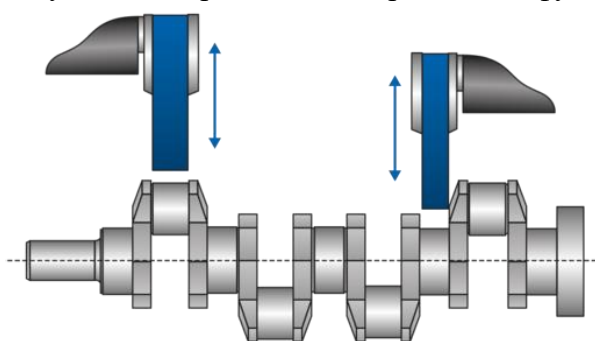


Рис. 13. Шліфування колінчастого вала з паралельними осями заготовки та інструмента [11]

Схему методу шліфування з орієнтованими шліфувальними кругами зображено на рис. 14. Вузькі шліфувальні круги повертаються на невеликий кут, при цьому кожна корінна та шатунна шийка отримує власну форму профілю з компенсацією конусності й без заміни кругів.

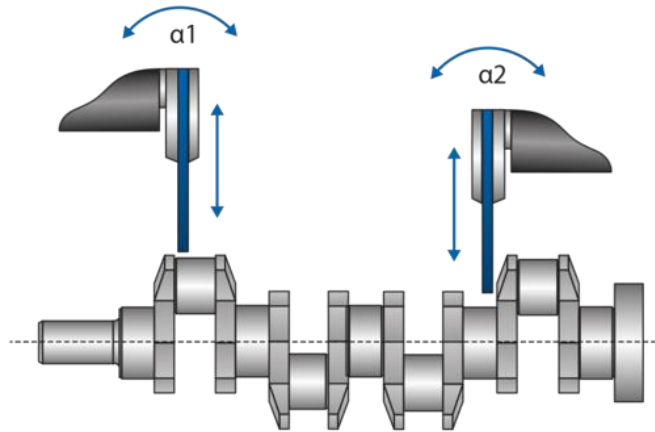


Рис. 14. Шліфування колінчастого вала орієнтованими кругами [11]

Компанія Sandvik [12] виготовляє фрези зі змінними пластинами (рис. 15, а) для обробки колінчастих валів. Фреза складається з диска, до якого кріпляться касети з пластинами різної форми. Є фрези з розташуванням пластин на зовнішній та внутрішній (рис. 15, б) поверхні диска.

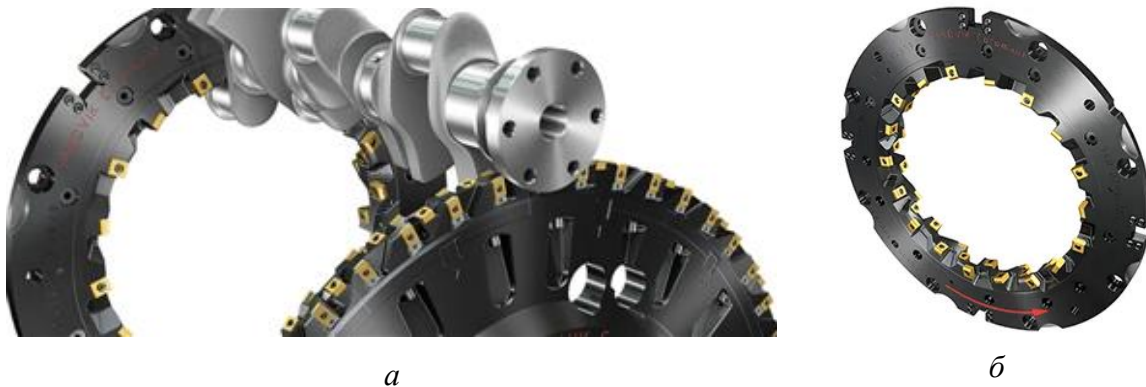


Рис. 15. Фрезерування колінчастих валів (а) та фреза (б) [12]

М641 і М642 – це дві дискові фрези для обробки колінчастих валів з тангенціально (М641) та радіально розташованими пластинами (М642). Розроблена фреза CoroMill 745, у якій з'явився новий спосіб розташування пластин на фрезах. На М642 це дозволило збільшити об'єм стружечної канавки і кількість ефективних зубців в порівнянні з традиційними фрезами з тангенційним розташуванням пластин. Ця нова заявлена на патент конструкція зменшила час обробки і покращила відвід стружки. Перевагами охоплюючого інструмента є висока стабільність та продуктивність, зменшення затрат завдяки меншій кількості пластин у різальному інструменті, система швидкої зміни і знижена вага інструмента.

Компанія Walter Tools [13] виготовляють фрези для обробки корінних та шатунних шийок колінчастих валів. Фрези виготовляють з розташуванням пластин із зовнішньої сторони диска (рис. 16, а, б) та внутрішньої (рис. 16, в). Перевагами використання цих фрез є тривалий термін служби інструменту, висока надійність та точність.

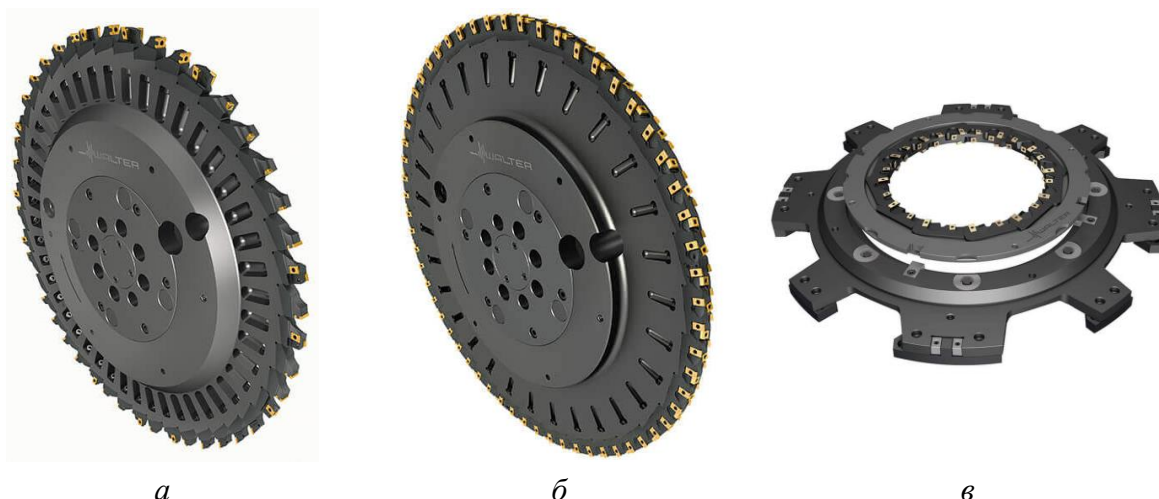


Рис. 16. Фрези для обробки колінчастих валів [13]

Фірма HELLER [14] виготовляє верстати для фрезерування колінчастих валів. Зовнішнє фрезерування (рис. 17, а) є гнучким і продуктивним методом. Системи виробництва валів RFK від HELLER призначені для високопродуктивної обробки корінних та шатунних шийок, поверхонь щік і зовнішніх діаметрів щік, а також спеціальних контурів за один установ. Можливе використання групових фрез, а також одночасне фрезерування корінних та шатунних шийок. Можливе встановлення лунету для обробки довгих колінчастих валів.

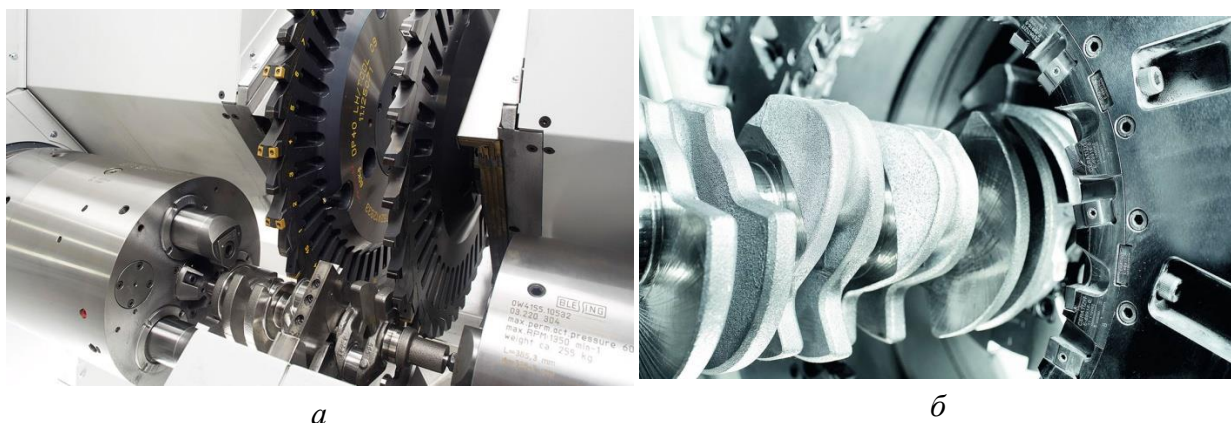


Рис. 17. Фрезерування колінчастих валів фрезою з розташуванням пластин ззовні (а) та всередині (б) [14]

Компанія Hegenscheidt MFD [15] виготовляє верстати та інструменти для обробки колінчастих валів. Є верстати як для масового виробництва, так і гнучкі системи для різних типорозмірів колінчастих валів. Чорнова та чистова обробка на фрезерних центрах NILES-SIMMONS N20 CM і N30 CM (рис. 18) здійснюється за один установ.



Рис. 18. Фрезерування колінчастих валів компанія Hegenscheidt MFD [15]

У публікації [16] обирається метод обробки колінчастого вала. Для розглянутого виробництва обираються верстати автоматичної лінії, забезпечуючи скорочення часу простою між операціями.

У статті [17] описаний розроблений осцилюючий шліфувальний верстат для обробки колінчастих валів. Ця технологія використовується фірмами Landis and Junker, вона є таємною.

Конструкція осцилюючого шліфувального верстата наведена на рис. 19. Всього 7 осей ЧПК X_1 , X_2 , Z_1 , Z_2 , C_1 , C_2 та W . Для високоефективного шліфування колінчастого вала необхідно забезпечити такі параметри: швидкість подачі шліфувального круга повинна бути 60 м/хв і більше, високу точність та жорсткість.

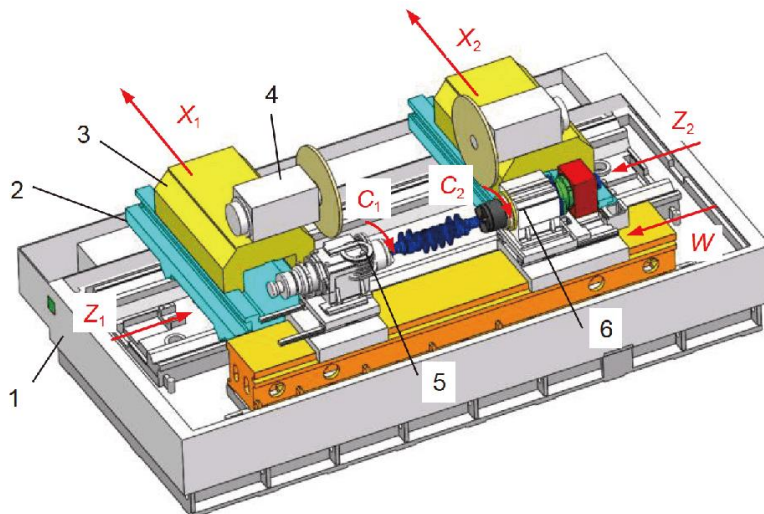


Рис. 19. Осцилюючий шліфувальний верстат:

1 – станина, 2 – супорт, 3 – каретка інструмента,
4 – шпindel шліфувального круга, 5 – передня бабка, 6 – задня бабка [17]

У роботі [18] описано різні методи обробки лезовим інструментом. Від якості обробки залежить термін служби колінчастого вала. Розглянуто обробку периферією фрези (рис. 20, а), її торцем (рис. 20, б), а також обробку різцем (рис. 20, в). Шатунні шийки та їхні галтелі складніше всього обробити. При обробці фрезою зуби фрези врізаються, при цьому процес обробки не є плавним, що негативно впливає на оброблену поверхню. При токарній обробці шатунної шийки можна використовувати ексцентриковий пристрій або програму, яка буде забезпечувати переміщення інструмента при обертанні колінчастого вала.

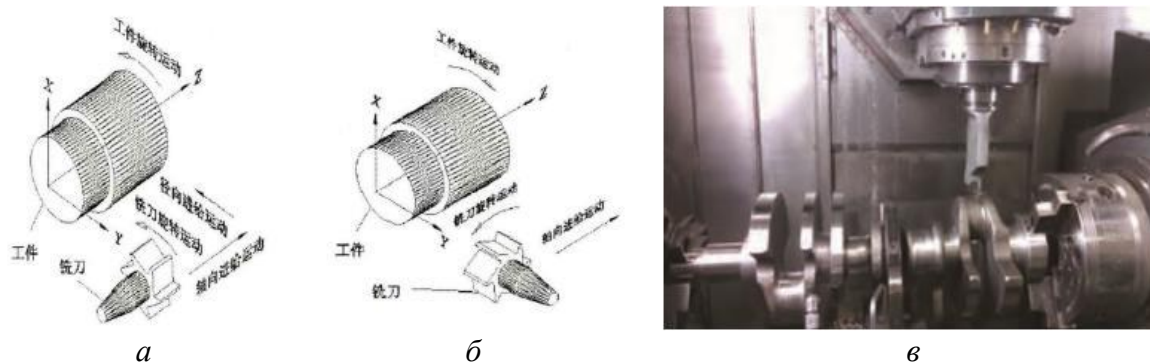


Рис. 20. Обробка колінчастого вала периферією фрези (а), її торцем (б) та різцем (в) [18]

Моделювання оброблюваної поверхні дозволяє отримати траєкторію руху інструмента при обробці шийки та галтелі. Після написання програми її перевіряють.

У [19] розглядається внутрішнє фрезерування корінних та шатунних шийок колінчастого вала. На рис. 21 наведена схема фрезерного верстата для шліфування чотирициліндрового колінчастого вала. У цій публікації наведена принципова схема обробки колінчастого вала на верстаті з ЧПК (рис. 21). У статі наведені графіки потужності при фрезеруванні колінчастого вала. Мета роботи – зменшення потужності обробки, її вдалося досягнути за рахунок оптимізації параметрів.

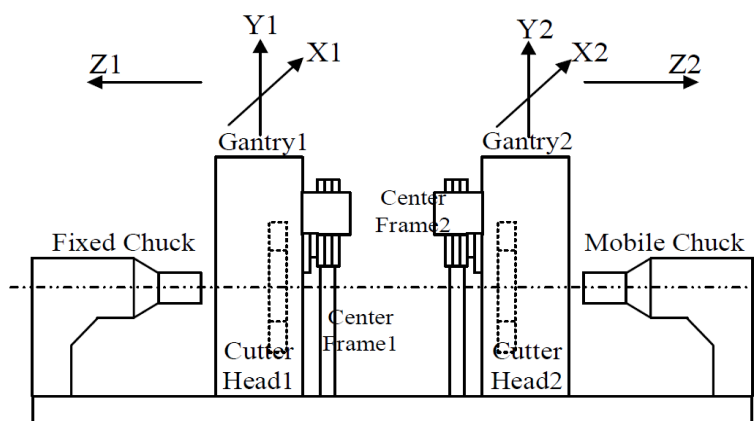


Рис. 21. Фрезерний верстат для шліфування колінчастого вала [19]

У публікації [20] описана обробка шатунної шийки колінчастого вала. Оскільки шатунна шийка знаходиться на певній відстані від осі колінчастого вала, то умови обробки змінюються. Колінчастий вал закріплений у центрах передньої та задньої бабки. Кут φ дорівнює 0 коли O_1, O_3, O_2 знаходяться на одній лінії (рис. 22).

$$\beta = \arcsin \frac{R_o \sin \varphi}{R_p + R_s}; \tag{2}$$

$$\delta = \arctan \frac{R_s \sin \beta}{R_o \cos \varphi + R_p \cos \beta}. \tag{3}$$

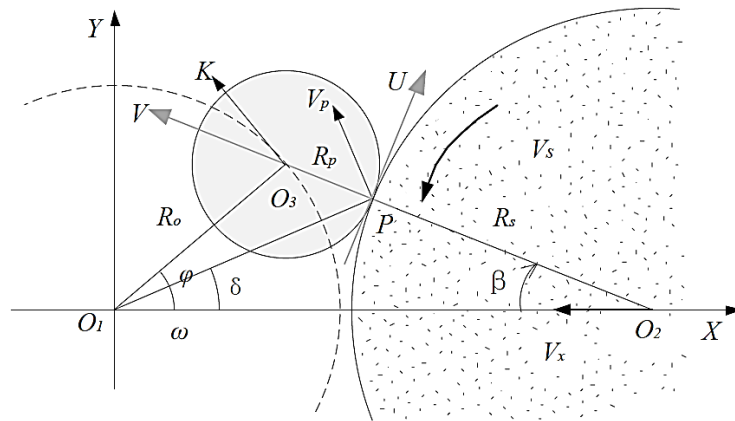


Рис. 22. Траєкторія руху шатунної шийки колінчастого вала та круга [20]

$$O_1P = \sqrt{(R_o \cos \varphi + R_p \cos \beta)^2 + (R_s \sin \beta)^2} \quad (4)$$

$$V_{wu}(\varphi) = \omega O_1P \cos(\delta + \beta) \quad (5)$$

$$V_{su}(\varphi) = V_x \sin \beta + V_s \quad (6)$$

де φ – кут повороту;

R_o – ексцентриситет шатунної шийки;

R_s – радіус шліфувального круга;

R_p – радіус шатунної шийки;

V_{wu} – тангенціальна швидкість по осі U;

V_{su} – тангенціальна швидкість шліфувального круга по осі U;

ω – кутова швидкість обертання колінчастого вала;

V_s – швидкість шліфувального круга.

Швидкість змінюється залежно від кута повороту шатунної шийки. Пропонується при обробці колінчастого вала зменшити його частоту обертання, зменшити глибину різання та збільшити частоту обертання шліфувального круга при обробці з керованою траєкторією.

У статі [21] розглядається зміцнення поверхні колінчастого вала після механічної обробки. При шліфуванні певних сталей перетворюється структура поверхневого шару певної глибини. Розроблена модель технологічного процесу шліфування кругом CBN для прогнозування температури як функції глибини. Існує оптимальна швидкість різання, що забезпечує необхідну твердість обробленої поверхні.

У роботі [22] описується процес шліфування колінчастих валів. Колінчасті вали обробляються на спеціально розроблених для цього верстатах, одними з основних виробників таких верстатів є Jtekt Corporation, Fives Landis Ltd. и Junker Group. При обробці шатунних шийок колінчастих валів є такі складності, як вісь корінних та шатунних шийок не збігаються, складна геометрична форма шатунної шийки, яка складається з опорної, бокової поверхонь і радіуса. Пропонується розглянути такі варіанти обробки як врізне шліфування під кутом (рис. 23, а), при цьому необхідно щоб подача і частоти обертання шліфувального круга і заготовки мали певні значення, а також потрібно використовувати охолоджуючу рідину; метод шліфування, при якому зменшується контакт між заготовкою та шліфувальним кругом, з метою покращення видалення стружки та зниження імовірності навантаження круга (рис. 23, б); метод, при якому шліфувальний круг переміщається між боковими стінками, що дозволяє охолоджувальній рідині досягати прошліфованих зон, коли шліфувальний круг уже не контактує із заготовкою.

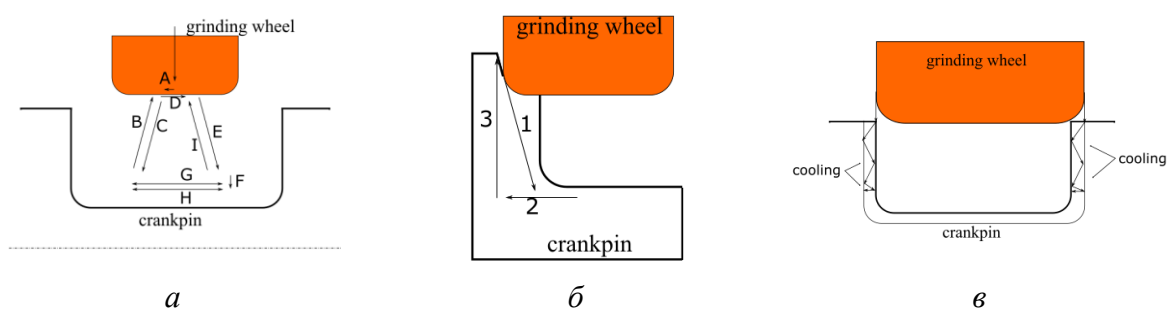


Рис. 23. Шліфування шийки колінчастого вала [22]

Висновки. Колінчасті вали є досить розповсюдженими деталями, тому вдосконаленню процесу їх обробки присвячено багато робіт. Також багато фірм, які виготовляють верстати та інструменти для обробки, постійно вдосконалюють свої конструкції для забезпечення високої точності та продуктивності обробки. У цій роботі був проведений аналіз методів обробки шатунних шийок колінчастих валів. В Україні частіше виконують шліфування колінчастих валів, закордонні фірми шліфують, фрезерують, а також використовують токарну обробку колінчастих валів. Фрезерування є точним та продуктивним способом обробки, багато закордонних фірм фрезерують колінчасті вали. Фрезерування може здійснюватись інструментом із зовнішнім і внутрішнім розташуванням пластин на диску.

Список використаних джерел

1. Кальченко В. І. Модульне 3D-моделювання інструментів, процесу зняття припуску та формоутворення при шліфуванні зі схрещеними осями колінчастого вала і круга / В. І. Кальченко, Д. В. Кальченко // Резание и инструмент в технологических системах. – 2014. – Вып. 84. – С. 107-114.
2. Предварительное и окончательное шлифование коленчатого вала за одно закрепление: пат. 2240218 Российская Федерация. – Заявл. 20.04.2002; опубл. 20.11.2004.
3. Устройство для обработки в центрах тел с параллельно смещенными осями вращения: пат. 2049597 Российская Федерация. Заявл. 18.01.1993; опубл. 10.12.1995.
4. Станок для шлифования шеек коленчатых валов: пат. 2050249 Российская Федерация. – Заявл. 24.12.1992; опубл. 20.12.1995.
5. Шлифовальный центр и способ одновременного шлифования нескольких подшипников и концевых поверхностей коленчатых валов: пат. 2467863 Российская Федерация. – Заявл. 24.12.1992; опубл. 20.12.1995.
6. Шлифовальный многоцелевой станок и способ для одновременного шлифования множества шеек коленчатого вала: пат. 2470758 Российская Федерация. – Заявл. 20.05.2008; опубл. 27.12.2012.
7. Спосіб фінішної обробки поверхонь обертання деталей: пат. 90648 Україна. – u200911969; заявл. 23.11.2009; опубл. 11.05.2010, Бюл. № 9.
8. Способ обработки деталей типа коленчатых валов: пат. 2198766 Российская Федерация. – 2000122400/02; заявл. 29.08.2000; опубл. 20.02.2003.
9. Полуавтоматы для обработки шеек валов [Электронный ресурс] / Харьковский станкостроительный завод – Режим доступа: <http://harverst.com.ua/products/special/Semi-automatic%20grinders%20for%20cams%20of%20crankshafts.php>.
10. Полуавтомат круглошлифовальный с ЧПУ Sinumerik-810 D модель 3В130Ф3 (для шлифования криволинейных продольных и поперечных профилей) [Электронный ресурс] / Обособленное подразделение «Лубенский станкостроительный завод» АО «МОТОР СИЧ». – Режим доступа: <http://lsz.motorsich.com/58-Poluavtomat-krugloshlifovalnyiy-s-CHPU-Sinumerik-810D-model-3V130F3-dlya-shlifovaniya-krivolineynyih-prodolnyih-i-poperechnyih-profiley.html>.
11. Grinding machines [Electronic resource] / JUCRANK: JUNKER. – Access mode: <https://www.junker-group.com/grinding-machines/products/jucrank/>.

12. Crankshaft [Electronic resource] / Sandvik. – Access mode: <https://www.sandvik.coromant.com/en-gb/industrysolutions/automotive/engine/pages/crankshafts.aspx>.
13. Crankshaft [Electronic resource] / Walter Tools. – Access mode: <https://www.walter-tools.com/bg-bg/industry-solutions-walter/industries-automotive/industries-automotive-crankshaft/pages/default.aspx>.
14. Crankshaft/camshaft production systems RFK/DRZ/MCC 15/RFN [Electronic resource] / HELLER. – Access mode: <https://www.heller.biz/en/machines-and-solutions/crankshaft-camshaft-production-systems/>.
15. Machines used in crankshaft production [Electronic resource] / Hegenscheidt MFD. – Access mode: <https://www.hegenscheidt-mfd.com/en/automotive-technology/machines-used-in-crankshaft-production/>.
16. A simulation based study on increasing production capacity in a crankshaft line considering limited budget and space / G. Wang, S. Song, Y. W. Shin, D. H. Moon // Journal of Korean / Institute of Industrial Engineers. – 2014. – № 40 (5). – P. 481–491.
17. Development of an oscillating grinding machine tool based on error analysis / L. Wang, D. Wang, B. Wang, W. Li // Science China Technological Sciences. – 2020. – Vol. 63(6). – Pp. 912-922.
18. Fu F. Large Crankshaft Connecting Rod Journal Fillet Multi-axis Linkage Machining Method Research and Finite Element Analysis / F. Fu, X. Y. Bao // Proceedings of the 3rd Annual International Conference on Mechanics and Mechanical Engineering (MME 2016). – 2017. – Vol. 105. – Pp. 975-980.
19. Analysis and Optimization of Milling Process for Crankshaft Pin Based on Energy Consumption. / H. L. Li, L. U. O. Min, Z. C. Chen, J. Y. Xu, L. Y. Liu // 2nd International Conference on Informatics, Control and Automation (ICA 2019). – 2019 – Pp. 355-361.
20. Zhang M. Optimization of roughness and residual stresses in path controlled grinding of crankpin / M. Zhang, Z. Yao, S. Xu // Procedia CIRP. – 2015. – 36. – Pp. 117-122.
21. Fricker D. C. Predicting the occurrence of grind hardening in cubic boron nitride grinding of crankshaft steel / D. C. Fricker, T. R. A. Pearce, A. J. L. Harrison // Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers. – Part B: Journal of Engineering Manufacture. – 2014. – № 218(10). – Pp. 1339-1356.
22. Macerol N. Development of Multi-grit cBN Grinding Wheel for Crankshaft Grinding [Electronic resource] / N. Macerol. – Gothenburg : Chalmers University of Technology (Sweden), 2019. – 52 p. – Access mode: https://research.chalmers.se/publication/512199/file/512199_Fulltext.pdf.

References

1. Kalchenko, V.I. & Kalchenko, D.V. (2014). 3D-modeliuvannia instrumentiv, protsesu zniattia pryprusku ta formoutvorenna pry shlifuvanni zi skhreshchenymy osiamy kolinchatoho vala i kruha [3D modeling of tools, the process of removing the allowance and shaping when grinding with crossed axes of the crankshaft and wheel]. *Rezaniye i instrument v tekhnologicheskikh sistemakh – Cutting and tooling in technological systems*, 3, 107–114.
2. IuNKER Ervin (2004). *Predvaritelnoe i okonchatelnoe shlifovanie kolenchatogo vala za odno zakreplenie [Preliminary and final grinding of the crankshaft in one fixing]* (Russian Federation № 2240218). <https://www.freepatent.ru/patents/2240218>.
3. Semenchenko, V.K., Kadykov, A.L., Burdyga, V.A., Ushanov, S.M., Nizev, S.G., Astakhov, V.V., Kirianov, V.P., Maksimov, N.E., & Vinogradov, A.P. (1995). *Ustroystvo dlia obrabotki v tcentrakh tel s parallelno smeshchennymi osiami vrashcheniia [A device for processing in the centers of bodies with parallel offset axes of rotation]* (Russian Federation № 2049597). <https://www.freepatent.ru/patents/2049597>.
4. Diatel, N.N., Ralf, G.K., Snisarenko, I.N., & Siniagovskii, I.I. (1995). *Stanok dlia shlifovaniia sheek kolenchatykh valov [Crankshaft Neck Grinding Machine]* (Russian Federation № 2050249). <https://www.freepatent.ru/patents/2050249>.
5. IuNKER Ervin (1995). *Shlifovalnyi tcentr i sposob odnovremennogo shlifovaniia neskolkikh podshipnikov i kontsevykh poverkhnostei kolenchatykh valov [Grinding center and method for simultaneous grinding of multiple bearings and end surfaces of crankshafts]* (Russian Federation № 2467863). <https://www.freepatent.ru/patents/2467863>.

6. IuNKER Ervin (2012). *Shlifovalnyi mnogotcelevoi stanok i sposob dlia odnovremennogo shlifovaniia mnozhestva sheek kolenchatogo vala [Grinding multipurpose machine and method for simultaneous grinding of multiple journals of a crankshaft]* (Russian Federation № 2467863). <https://www.free-patent.ru/patents/2470758>.
7. Usenko, V.V., & Kurylo, M.F. (2010). Sposib finishnoi obrobky poverkhon obertannia detalei [Method of finishing surfaces of parts rotation] (Ukraine № 90648). <https://uapatents.com/4-90648-sposib-finishno-obrobki-poverkhon-obertannya-detalej.html>.
8. Poletaev, V.A., & Volkov, D.I. (2003) Sposob obrabotki detalei tipa kolenchatykh valov [Method of processing parts such as crankshafts] (Russian Federation № 2198766). RUSSIAN PATENT AND TRADEMARK AGENCY <https://www.freepatent.ru/patents/2198766>.
9. Poluavtomaty dlia obrabotki sheek valov: Kharkovskii stankostroitelnyi zavod «Kharverst». Kharkov [Semiautomatic machines for processing shaft necks: Kharkov machine-tool plant "Harverst". Kharkov]. <http://harverst.com.ua/products/special/Semi-automatic%20grinders%20for%20cams%20of%20crankshafts.php>.
10. Poluavtomat krugloshlifovalnyi s ChPU Sinumerik-810 D model 3V130F3 (dlia shlifovaniia krivolineinykh prodolnykh i poperechnykh profilei): Obosoblennoe podrazdelenie «Lubenskii stankostroitelnyi zavod» AO «MOTOR SICH» [Semi-automatic circular grinding with CNC Sinumerik-810 D model 3V130F3 (for grinding curved longitudinal and transverse profiles): Separate subdivision "Lubensky machine-tool plant" JSC "MOTOR SICH"]. <http://lsz.motorsich.com/58-Poluavtomat-krugloshlifovalnyi-y-s-CHPU-Sinumerik-810D-model-3V130F3-dlya-shlifovaniya-krivolineinykh-prodolnykh-i-poperechnykh-profilei.html>.
11. Grinding machines. JUCRANK: JUNKER. <https://www.junker-group.com/grinding-machines/products/jucrank/>.
12. Crankshafts: Sandvik. <https://www.sandvik.coromant.com/en-gb/industrysolutions/automotive/engine/pages/crankshafts.aspx>.
13. Crankshaft: Walter Tools. <https://www.walter-tools.com/bg-bg/industry-solutions-walter/industries-automotive/industries-automotive-crankshaft/pages/default.aspx>.
14. Crankshaft/camshaft production systems RFK/DRZ/MCC 15/RFN: HELLER. <https://www.heller.biz/en/machines-and-solutions/crankshaft-camshaft-production-systems/>.
15. Machines used in crankshaft production: Hegenscheidt MFD. <https://www.hegenscheidt-mfd.com/en/automotive-technology/machines-used-in-crankshaft-production/>.
16. Wang, G., Song, S., Shin, Y. W., & Moon, D. H. (2014). A simulation based study on increasing production capacity in a crankshaft line considering limited budget and space. *Journal of Korean Institute of Industrial Engineers*, 40(5), 481–491.
17. Wang, L., Wang, D., Wang, B., & Li, W. (2020). Development of an oscillating grinding machine tool based on error analysis. *Science China Technological Sciences*, 63(6), 912–922.
18. Fu, F., & Bao, X. Y. (2017). Large Crankshaft Connecting Rod Journal Fillet Multi-axis Linkage Machining Method Research and Finite Element Analysis. 3rd Annual International Conference on Mechanics and Mechanical Engineering (MME 2016). *Advances in Engineering Research (AER)*, 105, 975–980.
19. Li, H. L., Min, L.U.O., Chen, Z.C., Xu, J.Y., & Liu, L.Y. (2019). Analysis and Optimization of Milling Process for Crankshaft Pin Based on Energy Consumption. 2019 2nd International Conference on Informatics, Control and Automation (ICA 2019) (pp. 355–361).
20. Zhang, M., Yao, Z. & Xu, S. (2015) Optimization of roughness and residual stresses in path controlled grinding of crankpin. *Procedia CIRP*, 36, 117-122.
21. Fricker, D.C., Pearce, T.R.A., & Harrison, A.J.L. (2014). Predicting the occurrence of grind hardening in cubic boron nitride grinding of crankshaft steel. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part B: Journal of Engineering Manufacture*, 218(10), 1339-1356.
22. Macerol, N. (2019). Development of Multi-grit cBN Grinding Wheel for Crankshaft Grinding. Doctoral dissertation, Chalmers University of Technology (Sweden).

Отримано 28.11.2021

UDC 621.9:62-233.1

Sklyar VasylPhD Student of Department Automobile Transport and Sectoral Machine Building
Chernihiv Polytechnic National University (Chernigiv, Ukraine)E-mail: uslhj@meta.ua. ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0563-6887>ResearcherID: [J-1138-2016](https://orcid.org/0000-0003-0563-6887)**ANALYSIS OF METHODS OF PROCESSING CRANKSHAFT
CONNECTING RODS ORIENTED TOOLS**

Crankshafts are quite common parts made in the automotive, shipbuilding, machine-building and other industries. They have a complex shape, also it is necessary to ensure high accuracy and productivity during processing. Analysis of crankshaft machining methods is an urgent task.

Analysis of known processing methods, identification of their advantages and disadvantages will pay more attention to unresolved issues and further improve of the processing process.

Known methods of processing connecting rod necks of crankshafts are considered. Nowadays grinding and milling are most often used. Milling can be a tool in which the cutting inserts are on the outside of the disk and on the inside. Many companies manufacture machines that are self-adjusting for processing, as well as flexible systems for processing various crankshafts. Most often, machines are designed to process the crankshaft for one institution.

Lack of analysis of known methods of processing connecting rod necks of crankshafts.

Analyze the known methods of processing connecting rod necks of crankshafts.

This article is a review. Methods of crankshaft processing are considered. Processing of connecting rod necks takes more time, and is also more difficult in comparison with processing of radical necks as axes of these necks are not on a shaft axis. Processing of a cranked shaft for one fastening is more productive than for several fastenings. Processing of connecting rod necks of cranked shafts can take place with use of special devices or according to the program on CNC machines.

The analysis of the known methods of grinding and milling of crankshaft necks was carried out in the article.

Keywords: crankshaft processing; connecting rod necks; grinding; milling.

Fig.: 23. References: 22.