

УДК 621.9.002.5:669

*В.П.Іващенко, Родион Петрович Погребняк*

### **Технологічні процеси механічної обробки залізничних коліс**

*Наведені та проаналізовані найбільш розповсюджені технологічні схеми механічної обробки різанням залізничних коліс. Представлені дані про обладнання з механічної обробки, яке використовується провідними європейськими виробниками залізничних коліс. Представлена принципова схема утворення динамічної похибки профілю колеса на копіювальному верстаті.*

*Приведены и проанализированы наиболее распространённые технологические схемы механической обработки резанием железнодорожных колес. Представлены данные об оборудовании механической обработки, которое используется ведущими европейскими производителями железнодорожных колес. Представлена принципиальная схема возникновения динамической ошибки при образовании профиля колеса на копировальном станке.*

*The most widespread technological schemes of machining are resulted and analysed by cutting of railway wheels. The data about the equipment of machining which is used by leading European manufacturers of railway wheels is presented. The schematic diagram of occurrence of a dynamic error is presented at formation of a profile of a wheel on the copy machine tool.*

**Вступ.** Механічній обробці прокатаної заготовки обов'язково піддається поверхня катання, гребінь, обід із внутрішньої й зовнішньої сторони колеса, розточується отвір у маточині. Операційна технологія механічної обробки на кожному підприємстві індивідуальна й ураховує можливості встановленого устаткування й технічні вимоги до одержуваної продукції. Крім того, технологія ця різна для обробки різних коліс у рамках одного підприємства. Зрозуміло, фінішна обробка термічно обробленого колеса дозволяє усунути геометричні похибки форми й розмірів, але скорочує продуктивність верстатів і значно збільшує витрату різального інструменту.

Твердість готового колеса постійно росте й досягає вже величини 400НВ, тому для чистової механічної обробки загартованих коліс необхідні спеціальні верстати й інструмент. Колеса швидкісного рухливого складу або колеса з особливими вимогами після термообробки начисто обточуються по всій поверхні. Найбільш сучасні ділянки цехів з обробки коліс містять у собі автоматизовані поточкові лінії (Німеччина, Чехія) або роботизовані комплекси (Італія, Франція, Японія).

Основу технологічного потоку механічної обробки становлять спеціальні колесотокарні верстати карусельного типу. В основному застосовують одне-або двохстоечні

карусельні верстати із двома-чотирма супортами, які оснащені електрокопіювальними пристроями або ПЧПК.

Механічну обробку коліс проводять до термічної обробки або після її. Застосовують також комбіновану схему, коли колеса механічно обробляються до й після термообробки. Наприклад, у Японії на заводах фірми "Sumitomo Kindzoku Kogjo" механічну обробку проводять двічі - до й після термічної обробки.

**Технологічні схеми обробки різанням залізничних коліс.** Міжнародним стандартом ISO1005-6 [1] передбачені три рівні механічної обробки поверхонь залізничних коліс: чорнова(груба), напівчистова й чистова. При грубій обробці колесо піддається чорновій механічній обробці повністю або по певних поверхнях. При напівчистовій обробці частина елементів колеса піддаються чистовій механічній обробці, а інша частина - грубій. При чистовій обробці відбувається остаточне обточування всіх елементів колеса крім остаточної обробки отвору маточини.

В Україні для основного сортаменту коліс Ø957 (ГОСТ 10791-2004 [2] і ТУ MOR – М - 2001-2 [3]) застосовують одностадійну механічну обробку коліс до їхньої термічної обробки, За вище наведеною класифікацією обробки по стандарту ISO 1005-6 більша частина коліс, вироблених в Україні, піддаються тільки чорновій механічній обробці, що задовольняє вимогам ГОСТ 9036 по точності й шорсткості поверхні: зазор між профілем колеса й шаблоном не повинен перевищувати 1мм, а шорсткість - не вище Rz80; контроль поверхні гребеня виробляється шаблоном - гребнеміром.

Загартуванню й відпустці піддається обід колеса, тому до термообробки всі поверхні обіду повинні бути оброблені. Ця обробка здійснюється на одному верстаті з нестационарним припуском і без його поділу на проходи, тому навантаженість його дуже висока. ***Жодна з відомих схем обробки не передбачає повне й остаточне обточування обіду колеса на одному агрегаті.*** Навпаки, має місце тенденція скорочення кількості переходів на одному верстаті зі збільшенням кількості верстатів в одній лінії.

На верстатах 1Б502 колесо встановлюється на планшайбі гребенем униз і затискається по внутрішній поверхні обіду. Обточуванню прокатаної заготовки піддаються наступні поверхні колеса(мал.1). Правим вертикальним супортом 1 підрізується торець і обточується зовнішня поверхня маточини із зовнішньої сторони колеса. По обробленому торцю колесо додатково притискається голівкою механізму притиску. Подальша обробка ведеться супортами 2, 3, 4 одночасно: правим бічним супортом 2 обробляється поверхня катання, лівим бічним супортом 3-торець обіду із внутрішньої сторони колеса й гребінь, лівим вертикальним супортом 4 підрізується торець і внутрішня поверхня обіду із зовнішньої сторони колеса.

На верстатах 1Б502С та 1В502 колесо встановлюють гребенем вверх (рис.2), затискають по внутрішній поверхні обіду, лівим вертикальним супортом 4 підрізають торець і обточують зовнішню поверхню маточини із внутрішньої сторони колеса. Після обробки

торцевої поверхні маточини колесо притискається до опорних платиків планшайби підкладною шайбою механізму притиску. Обробка інших поверхонь колеса відбувається одночасно чотирма супортами. Правий та лівий бічні супорти 2 і 3 обробляють поверхню катання й гребінь до його вершини, розбиваючи припуск на два проходи через значний ріст сил різання в жолобнику гребеня при обробці чашковими різцями. Правий вертикальний супорт 1 обточує торцеву поверхню обіду із внутрішньої сторони колеса й частину гребеня, що залишилася. Ці верстати можуть бути налагоджені на обробку з положенням колеса "гребенем вниз" (рис.1); можливі й інші схеми настроювання верстатів залежно від технологічної схеми виробництва й вимог споживача.

Після термічної й дробеметної обробки на верстатах моделі 1Д502 обточуються ті поверхні колеса, які не були оброблені на ділянці першої мехобробки. Ті викривлення форми колеса, які відбулися після термічної обробки повинні бути усунені на ділянці другої мехобробки, де за базову приймається зовнішня термічно та механічно оброблена поверхня колеса, а оброблюється маточина, яка не загартована та має значні припуски на обробку. Якщо на першому етапі, на верстаті 1Б502 були оброблені поверхні із зовнішньої сторони колеса, то на верстаті 1Д502 колесо встановлюється в положення "гребенем вверх" (рис.3) для обробки внутрішніх поверхонь колеса. Правим вертикальним супортом 1 підрізується торець і обточується зовнішня поверхня маточини із внутрішньої сторони колеса, а розточувальним супортом 2 розточується отвір у маточині. Розточення отвору маточини починається після того, як вертикальний супорт завершить обробку її торця.

Конструкції верстатів моделі 1Д502 і 1Б502 аналогічні, тільки у верстаті 1Д502 лівий вертикальний супорт замінений розточувальним. Бічні супорти верстата 1Д502 при одно стадійній обробці не використовуються.

Ленінградським інститутом інженерів залізничного транспорту (ЛІИЖТ) та Інститутом чорної металургії (ІЧМ) [4] розроблені й інші технології одностадійної обробки коліс із використанням устаткування Краснодарського верстатобудівного заводу "Седин". При обробці коліс на верстатах використовуються чашкові різці з твердого сплаву марки Т14К8, РТ20, МТ1.

Відомим виробником колесотокарних верстатів у Європі була польська компанія "Rafamet"[5], в основному встаткуванням якої оснащені підприємства залізниць країн Східної Європи й колишнього СРСР. Компанія випускає спеціальні карусельно-токарні напівавтомати для обробки коліс ККА125, ККВ125 (ККВ125Н з ЧПК) і карусельно-розточувальний напівавтомат Кквс125 для обробки маточин залізничних коліс. На верстатах ККА125 і ККВ125 можуть бути встановлені три або чотири супорти, на верстаті Кквс125 встановлені два супорти. У зв'язку із цим схеми обробки коліс можуть бути різні аж до обробки по всіх поверхнях. На рис.4,а представлена схема обробки на верстаті ККВ125 чотирма супортами[6]. Поверхня катання й гребінь колеса обробляють бічні супорти з розбивкою припуску на два проходи. Лівий вертикальний супорт начорно розточує отвір у маточині.

Правий вертикальний обробляє торець обіду, диск, торець і бічну поверхню маточини із зовнішньої сторони колеса. Для обробки цих поверхонь колесо встановлюють у положення "гребенем вниз". Для обробки внутрішньої сторони колеса його на другій операції встановлюють гребенем нагору. Повторно розточують отвір у маточині лівим вертикальним супортом і повністю обробляють колесо із внутрішньої сторони правим вертикальним супортом. Іншу схему обробки з використанням верстатів ККА125 і ККВ125 застосовують на заводі "Huta Maja" у Польщі (рис.4.б). На верстаті ККА 125 колесо базують по диску, установлюють гребенем нагору й закріплюють по неопрацьованій поверхні кочення колеса. Вертикальними супортами розточують спочатку отвір у маточині, обробляють диск і переходи до маточини й обіду із внутрішньої сторони колеса. Бічні супорти обробляють гребінь і торцеву поверхню обіду із внутрішньої сторони колеса. Для проведення другої операції колесо кантують і встановлюють на верстат ККВ125 у положення "гребенем вниз". Базують і закріплюють колесо по оброблених поверхнях обіду. Вертикальними супортами вдруге розточують отвір у маточині, обробляють диск і переходи до маточини й обіду із зовнішньої сторони колеса. Бічні супорти обробляють частину, що залишилася, гребеня й торцеву поверхню обіду із зовнішньої сторони колеса.

У Великобританії колеса обробляють на верстатах компанії "Kreven". Схема обробки коліс представлена на рис.5,а. Базують колесо по неопрацьованій поверхні торця обіду й закріплюють кулачками за гребінь у положенні "гребенем вниз". Обробляють торець і зовнішню поверхню маточини з переходом на диск, торець і внутрішню поверхню обіду з переходом на диск із зовнішньої сторони колеса; розточують циліндричний пасок по внутрішній поверхні обіду. На другій операції повернене колесо базують по торцевій поверхні обіду й закріплюють по обробленому технологічному паску. Подальшій обробці піддають неопрацьовані раніше поверхні за винятком диска.

На деяких заводах Німеччини обробка коліс виробляється на токарно-карусельних верстатах KE12 і KE14, оснащених супортом з револьверною голівкою. Верстати мають по два супорта, що працюють за принципом електричного копіювання. На першій операції колесо базується по неопрацьованій торцевій поверхні обіду й закріплюється по його внутрішній стороні в положенні "гребенем вниз" (рис.5,б). Відповідними різцями п'ятипозиційної револьверної голівки послідовно обробляються: різцем 1 - внутрішня поверхня й торець обіду із зовнішньої сторони колеса, різцем 4 - торець і зовнішня поверхня маточини з переходом на диск, різцем 5 попередньо розточують отвір маточини. Паралельно бічним супортом 2 обробляють поверхню катання й гребінь до його вершини. На другій операції на верстаті KE14 колесо базують по обробленій поверхні торця обіду й закріплюють по поверхні катання в положенні "гребенем вверх". Бічний супорт завершує обробку гребеня, а різці револьверної голівки послідовно обробляють торець і зовнішню поверхню маточини із внутрішньої сторони колеса, торець і внутрішню поверхню обіду із внутрішньої сторони колеса, розточують отвір маточини.

Спеціальні колесотокарні верстати усе ширше встановлюють у поточно - механізовані, автоматизовані потокові лінії або роботизовані комплекси, які знаходять все більше застосування на закордонних заводах.

У Японії колеса обробляють на поточно-автоматизованих лініях, оснащених карусельними верстатами фірми "Morando" (Італія). У лінії чотири електрокопіювальних верстати, настроєних на виконання однієї операції (рис.6). На першій операції колесо встановлюють гребенем нагору й двома вертикальними супортами обробляють торцеву поверхню обіду й частину гребеня із внутрішньої сторони колеса, торцеву поверхню маточини, внутрішню поверхню обіду. Бічний супорт обточує з, що залишилася, гребеня. На другій операції повернене колесо встановлюють і кріплять гребенем униз. Обробку ведуть одним супортом із двома різцями: спочатку розточують отвір маточини, потім обробляють половину поверхні катання. На третій операції колесо базується й закріплюється в положенні "гребенем вниз" на верстаті обладнаному двома вертикальними супортами. Правий супорт обробляє бічну поверхню обіду із зовнішньої сторони колеса й торець маточини, лівий- послідовно зовнішню поверхню маточини з переходом на диск і частину, що залишилася, поверхні катання. Далі колесо кантується й установлюється на четвертий верстат гребенем нагору, де двома вертикальними супортами здійснюється чистова обробка бічної поверхні обіду, поверхні катання й гребеня колеса.

У Чехії компанія "TOSHULIN" випускає спеціальні токарно-карусельні верстати SCI12CNC[7], включених в автоматичну лінію із двох верстатів, маніпуляторів, транспортних рольгангів. Обмер чорнових коліс, вибір параметрів обробки, операції завантаження, вивантаження та інше здійснюються автоматично по програмах, що задають спеціально. Верстат має два вертикальних супорти й може бути настроєний на обробку поверхонь колеса по рис.7. Колесо встановлюється гребенем униз і закріплюється кулачками за гребінь. Правий вертикальний супорт обробляє торець маточини й розточує отвір уній, іншим різцем обробляється внутрішня поверхня обіду й начорно обточується поверхня катання. Лівий супорт обробляє торець маточини й зовнішню її поверхню з переходом на диск, іншим різцем виробляється чистова обробка поверхні катання. Потім обробляється торець і внутрішня поверхня обіду із зовнішньої сторони колеса. Маніпулятором колесо знімають із верстата, кантують на 180° і транспортним рольгангом переміщають до іншого верстата, де проводиться подальша обробка внутрішньої сторони колеса. Базують колесо по обробленій поверхні обіду, а закріплюють по поверхні катання. Двома вертикальними супортами обробляють гребінь, торець обіду й внутрішню його поверхню з переходом на диск, торець і зовнішню поверхню маточини, розточують отвір маточини. Верстати оснащені УЧПК й можуть бути налагоджені на іншу схему обробки аж до обробки по всіх поверхнях колеса. Більше пізні моделі спеціальних карусельних верстатів SKAT у розмірах 12 і 16 призначені для комплексної обробки залізничних коліс. На верстаті можливо обточувати внутрішні й зовнішні циліндричні й конічні поверхні, поверхні обертання й виконувати нарізку різьблення.

Верстати укомплектовані двома поперечними супортами й двома магазинами для зміни інструмента.

Визнаним лідером виробництва спеціальних верстатів і автоматичних технологічних ліній з механічної обробки залізничних коліс є німецька фірма "W.Hegenscheidt KG"[8]. Лінії комплектуються токарно-карусельними електрокопіювальними напівавтоматичними верстатами RQQS і RQQ. На верстаті RQQS колесо встановлюється гребенем вниз (рис.8), двома вертикальними й одним бічним супортом обробляють зовнішню сторону колеса, розточують отвір маточини, обробляють поверхню катання різним інструментом, установленим у револьверних голівках супортів. Після завершення операції колесо кантують і встановлюють гребенем вверх на верстат RQQ. Верстат має два вертикальних супорти з револьверними голівками й обробляє колесо із внутрішньої його сторони. Обточуванню піддають поверхню катання, обід і маточину й повторно розточують отвір у маточині. Верстати можуть бути укомплектовані системою ЧПК й обробляти колесо по всіх його поверхнях. Сучасна лінія для повної чистової механічної обробки коліс по всіх поверхнях (обід, диск, маточина) в автоматичному режимі зі швидкістю 23 колеса на годину поставлена "W.Hegenscheidt KG" на Вискунський металургійний завод (Росія). До складу лінії входять шість токарно-карусельних верстатів оснащених пристроями автоматичної заміни різального інструменту, системами числового програмного керування німецької фірми "Siemens"; два порталні механізми автоматичного завантаження-вивантаження із системою ідентифікації колеса; дві системи стружковидалення; установка для фільтрації й подачі мастильно-охолодної рідини.

Також виробляють колесообробні верстати фірми "Sculfort" (Франція, модель TFS) [9], "Mario Carnaghi" (Італія), верстати моделі TCP 170 випускають у Румунії.

Як видно існуючі технологічні схеми обробки коліс досить різноманітні, що можна пояснити пошуками нових і застосуванням перевірених в експлуатації схемних рішень. Звичайно ж, операційні схеми розробляються під наявне або під нове устаткування з урахуванням геометричної якості й матеріалу колеса-заготовки, особливих вимог до готового колеса.

**Динамічна погрішність копіювання.** Одним з найважливіших показників динамічної якості верстатів є точність обробки, що визначається відносним зсувом інструмента й деталі по нормалі до обробленої поверхні. Точність переміщення супорта характеризується величиною помилки або відхиленням дійсної координати робочого органа верстата від заданої. У важконавантажених верстатах, до яких належить колесообробні, вирішальний вплив на точність обробки здійснюють динамічні й пружні погрішності. При обробці фасонних поверхонь змінної кривизни домінуюча складова динамічної погрішності копіювання викликається відносним зсувом щупа й інструмента в площині профілюючого руху. Обробка плоских і циліндричних поверхонь відрізняється від обробки фасонних поверхонь, тому необхідно урахування особливостей зміни силових параметрів навантаженості при обробці

фасонної поверхні гребеня залізничного колеса-заготовки[10]. В умовах суттєвої нестаціонарності динамічного навантаження при обробці окремих ділянок колеса на яких технологічні навантаження значні й змінні, глибина різання змінюється й досягає величини 15мм, спостерігаються значні відхилення геометрії отриманої поверхні від заданої, відзначені також врізи в поверхню гребеня, що приводить до відбраковування коліс і повторному переточуванню. Такого роду помилки копіювання обумовлені низькою динамічною точністю переміщення і позиціонування супорта й повзуна верстата, яка викликана виникненням зазорів в приводах подачі і напрямних ковзання супортів. Для копіювального верстата динамічна погрішність кількісно може бути оцінена як різниця між траєкторією руху щупа по копіру й траєкторією руху інструмента[11]. На рис.9 наведена схема копіювальної обробки колеса на верстаті мод.1Б502. Під дією сил різання змушені коливання роблять інструмент 1 і щуп 4, які закріплені на одному супорті. Взаємне розташування щупа й різця не залежать від пружної деформації супорта, тому динамічна погрішність копіювання дорівнює нулю, якщо не зважати на пружну деформацію елементів супорта. Однак пружна деформація супорта впливає на взаємне розташування щупа 4 і копіра 3: при досягненні величини більшої, чим зона нечутливості щупа (адаптера) подається помилковий сигнал на переміщення супорта, що й викликає погрішність. Тому абсолютна деформація супорта визначає динамічну погрішність копіювання.

#### Висновки

1. Існуючі технологічні схеми механічної обробки коліс різанням різноманітні й розробляються під наявне устаткування з урахуванням геометричної якості й матеріалу колеса-заготовки, особливих вимог до готового колеса. Технології ці різні для обробки різних коліс навидь у рамках одного підприємства.

2. Основу технологічного потоку механічної обробки коліс становлять спеціальні одне-або двохстоєчні колесотокарні верстати карусельного типу з електрокопіювальними пристроями або ПЧПК.

3. Під дією значних сил різання пружна деформація супорта та наявність зазорів в приводі впливає на взаємне розташування щупа і копіра, що приводить до виникнення динамічної похибки геометрії профілю колеса при копіюванні. Представлена принципова схема утворення динамічної погрішності на копіювальному верстаті.

#### **Бібліографічний список**

1. Материалы для изготовления железнодорожных колес. Часть 6. Цельные колеса для тягового подвижного состава. Технические требования (ISO 1005-6, IDT): ISO 1005-6.- [Введен 1994-01-08]. - Женева: Международная Организация Стандартов, 1994 - 32с.

2. ГОСТ 10791-2004. Международный стандарт. Колеса цельнокатаные. Технические условия. Введ.01.07.05.-М.:Издательство стандартов,2004.-55с.
3. MOR-M-2001-2. Технические условия на заказ цельнокатаных колес для железнодорожных пассажирских вагонов. Введ. 10.08.01.- Днепропетровск: ОАО НТЗ.-2001-23с.
4. Исследование обрабатываемости резанием сталей для цельнокатаных колес повышенной твердости. Исследование обрабатываемости цельнокатаных колес и выбор оптимальных режимов резания: Отчет о НИР (заключительный)/Ленинградский ин-т инж. ж/д тр-та. № ГР 79009342; Инв. № Б815237.- Л.,1979.-122 с.
5. Традиции, опыт, технический прогресс/ Рекламные материалы фирмы Rafamet // Fabryka Obrabiarec, Польша,1986.-16 с.
6. Производство железнодорожных колес / [Бибик Г.А., Иоффе А.М., Праздников А.В., Староселецкий М.И.]. - М.: Металлургия, 1982.-232с.
7. Specialni svisly soustruh SCIN 12 CNC/ Рекламные материалы фирмы TOSHULIN // Tovarny strojirenske tecniky koncernovy podnik TOS HULIN, Чехия,1987.- 16с.
8. Сафронович А.А. Карусельные станки/ Сафронович А.А.- М.: Машиностроение,1983.- 238с.
9. Maraite. K. T.G.V.:le tour est daus la fosse.R.P. / K.Maraite // Produire.- 1984.- 2, №11.- S.23-24.
10. Погребняк Р.П. Динамическая точность станков для обработки железнодорожных колес/ Р.П. Погребняк, В.А.Зданевич // Теория и практика металлургии. - 2006.- №1-2(50-51). - С.67-72.
11. Кулик В.К. Прогрессивные процессы обработки фасонных поверхностей/ В.К.Кулик, Ю.В.Петраков, В.В. Иотов. - К.: Техніка, 1987.- 176с.

#### Відомості про автора

Погребняк Родіон Петрович, 18.05.60р.н., к.т.н., доцент каф. прикладної механіки Національної металургійної академії України. Тел.сл. (056)3748387, тел.дом. (056)7433276, тел.моб. (068)4131757, домашня адреса: 49050, Дніпропетровськ, вул.Казакова,35А

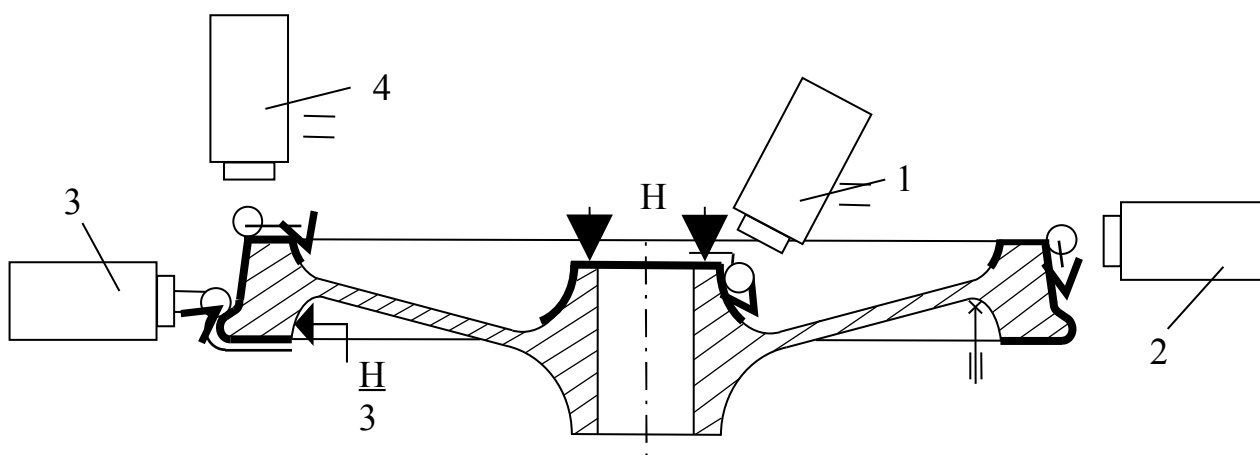


Рис.1. Схема обробки коліс на верстатах моделі 1Б502, 1Б502С, 1В502 при базуванні й закріпленні колеса "гребенем вниз"

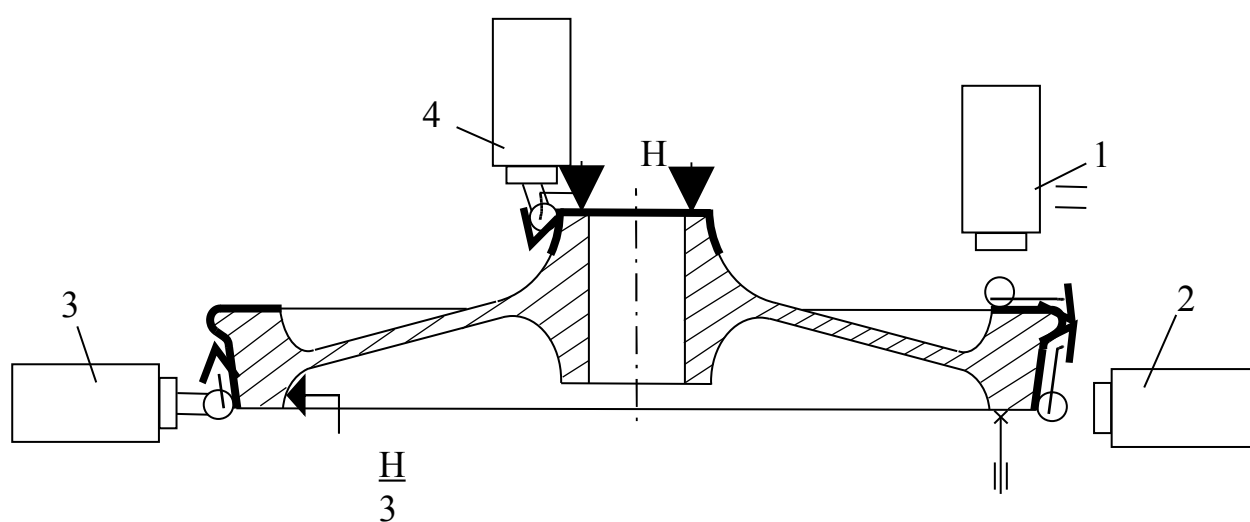


Рис.2. Схема обробки коліс на верстатах моделі 1Б502С и 1В502 при базуванні й закріпленні колеса "гребенем вверх"

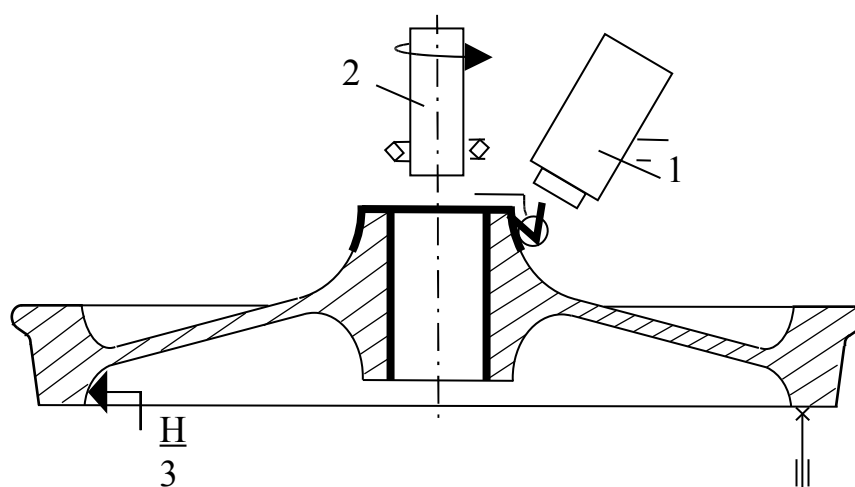


Рис.3. Схема обробки коліс на верстатах моделі 1Д502

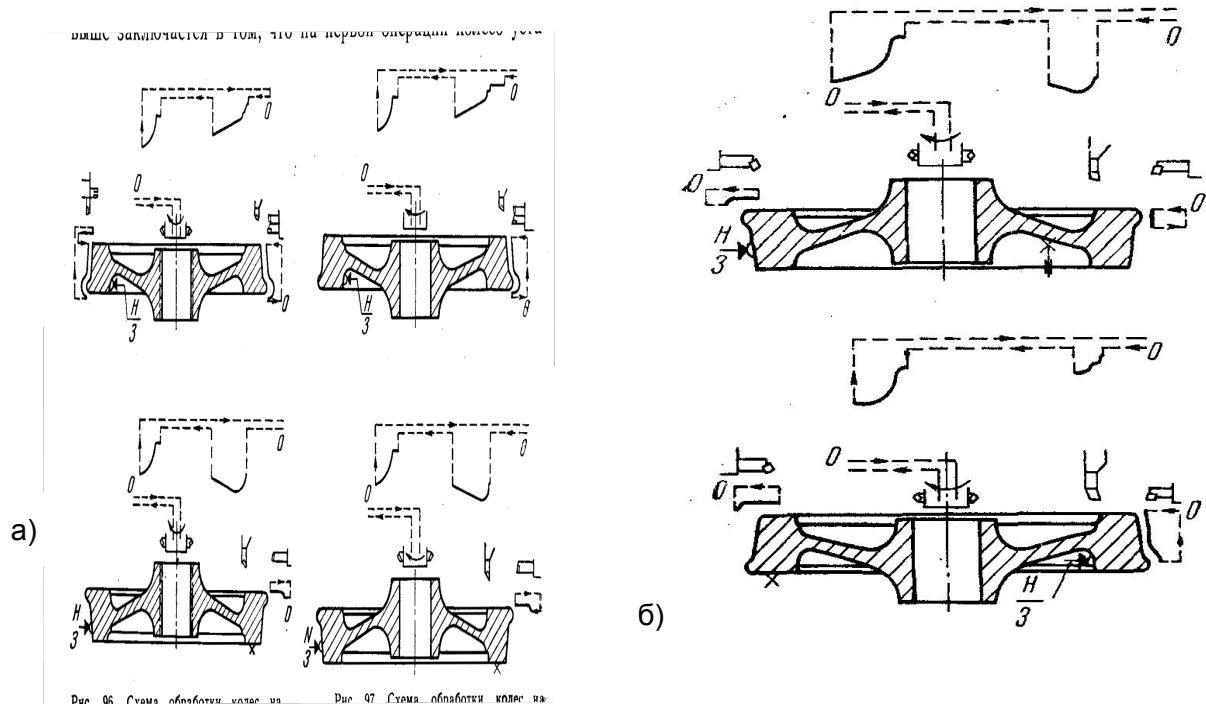


Рис.4. Схеми обробки колеса на верстатах: а) ККВ125 "Rafamet", б) ККА125 і ККВ125

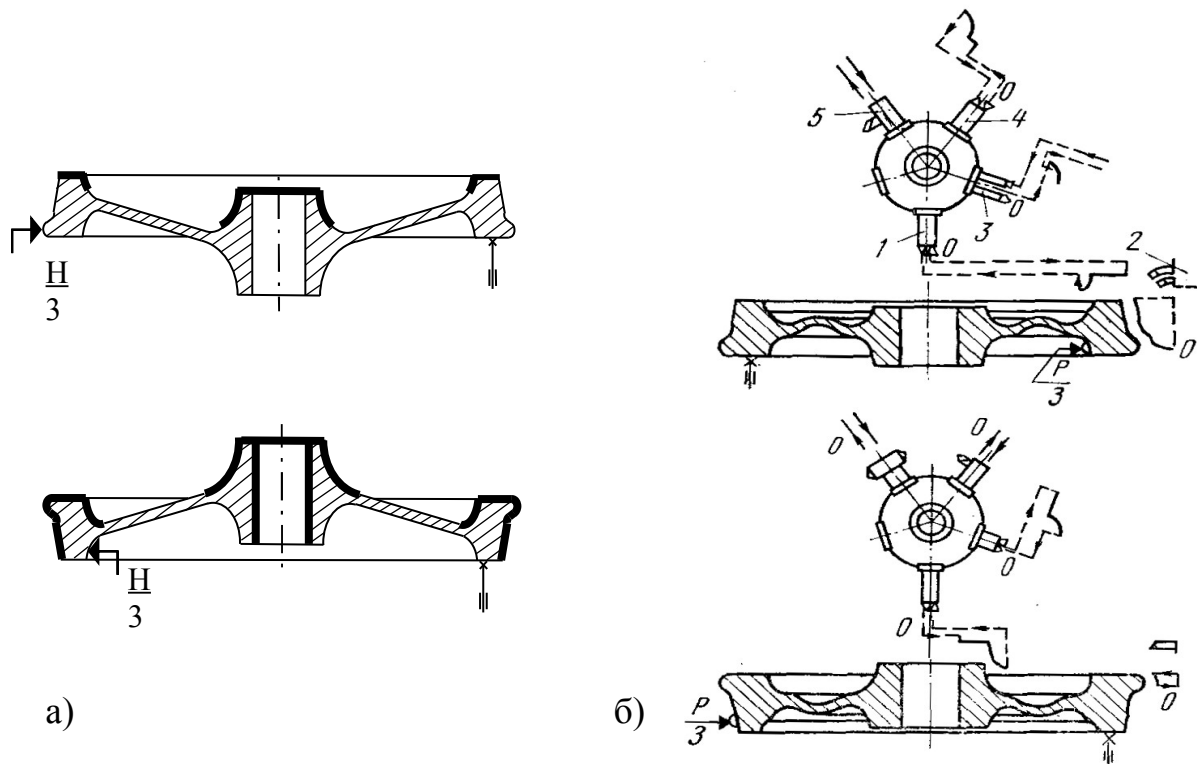


Рис.5. Схеми обробки колеса на верстатах: а) фірми "Kreven"(Великобританія), б) КЕ12 і КЕ14 у Німеччині

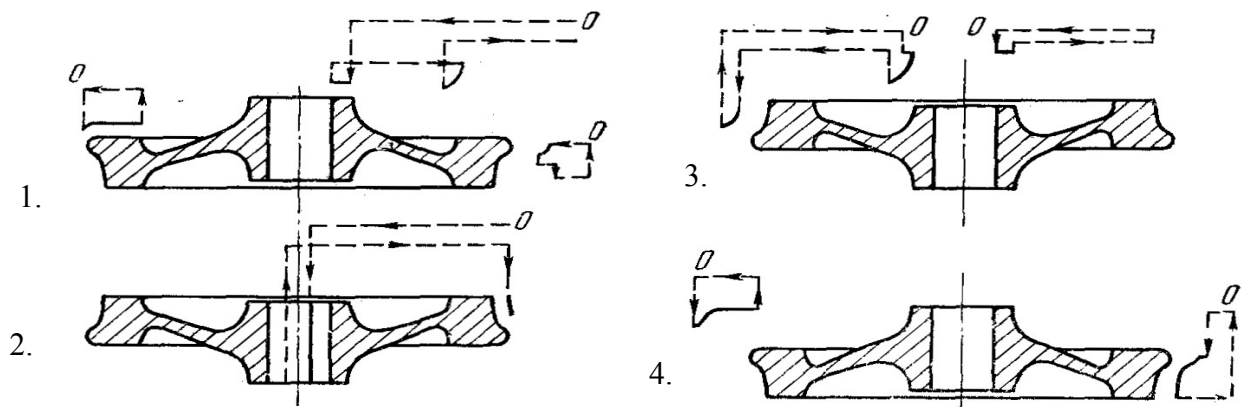


Рис.6. Схема обробки коліс на встаткуванні компанії "Morando"

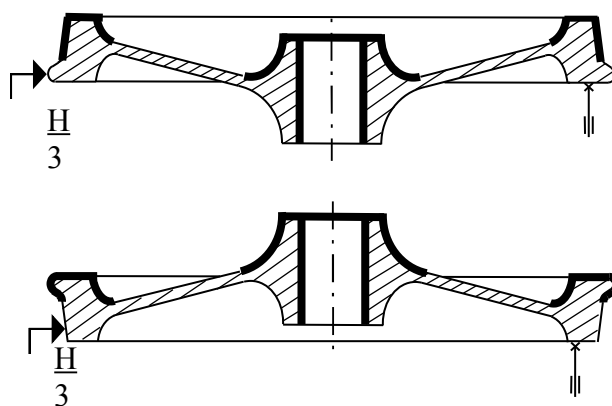


Рис.7. Схема обробки коліс на встаткуванні компанії "TOSHULIN"

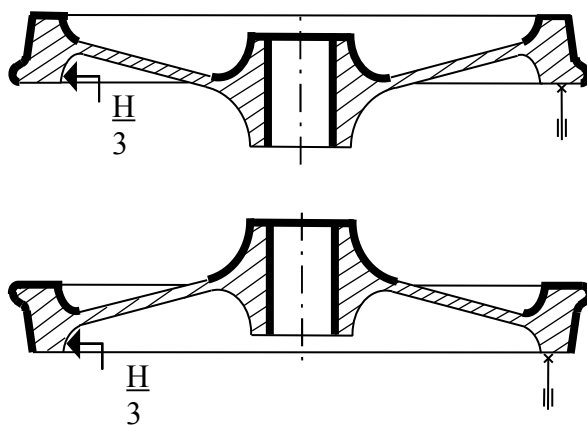


Рис.8. Схема обробки коліс на встаткуванні фірми "W.Hegenscheidt KG"

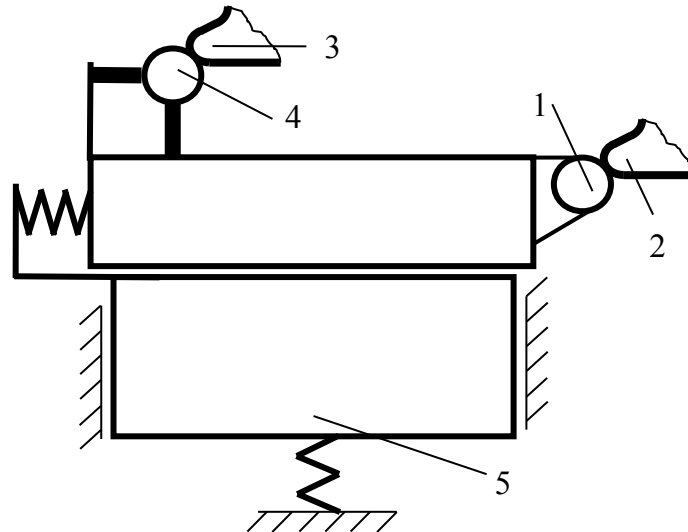


Рис.9. Схема утворення динамічної погрішності при обробці фасонної поверхні залізничного колеса по копіру: 1 - інструмент; 2 - оброблюване залізничне колесо; 3 - копір; 4 - електроконтактний щуп; 5 - копіювальний супорт