

УДК 621.771.294

Р.П. Погребняк

Форма прокатаної заготовки залізничного колеса

Представлені якісні й кількісні експериментальні характеристики форми суцільнокатаного залізничного колеса, отриманого на горизонтальному колесопрокатному стані. Проаналізовано можливі причини відхилення форми заготовки.

Представлены качественные и количественные экспериментальные характеристики формы цельнокатаного железнодорожного колеса, полученного на горизонтальном колесопрокатном стане. Проанализированы возможные причины искажения формы заготовки.

Qualitative and quantitative experimental characteristics of the form of the seamless-rolled railway wheel are presented. Wheel is received on horizontal railway wheel rolling mill. The possible reasons of distortion of the wheel-stock form are analyzed.

Проблема та її зв'язок з практичними задачами. Світове виробництво суцільнокатаних залізничних коліс постійно зростає, хоча число країн, що виробляють цю продукцію не велике - близько 30. В останні роки значно виросла якість коліс: вони стали легшими, зносостійкими, мають високу конструктивну й механічну міцність, у тому числі за рахунок вакуумування, легування й раціональної термічної обробки колісної сталі.

Прокатці піддають відштамповану заготовку для формування гребеня, обіду й переходу від обіду до диска колеса. Спосіб одержання суцільноштампованого (без застосування прокатного стану) колеса широкого поширення не отримав через необхідність використання пресів великого зусилля пресування. Крім того, механічні властивості прокатаної сталі вище, ніж пресованої або литої. Однак сучасні технології не дозволяють одержати штамповано-катане колесо необхідної точності й шорсткості без наступної механічної обробки. Тому суцільнокатані залізничні колеса піддають механічній обробці різанням на ділянках обробки прокату у всіх колесопрокатних цехах всіх країн, що виробляють дану продукцію. При цьому частина механічної обробки в загальній собівартості колеса досягає 67...75%. Масова високопродуктивна обробка фасонних поверхонь залізничного колеса в умовах металургійного заводу сполучена з технічними й технологічними труднощами у зв'язку з розширеною номенклатурою оброблюваних профілів,

різною твердістю матеріалу коліс і особливо зі значним розкидом геометричних розмірів прокатої заготовки. Прагнення зменшити такі значні витрати механічної обробки стимулює виробника одержувати виріб після обробки тиском з розмірами й формою близькими до розмірів готового залізничного колеса й тим самим зменшувати обсяг металу, що видаляється в стружку.

У світовій практиці застосовуються два види колесопрокатних станів: з горизонтальним і вертикальним розташуванням колеса під час прокатки[1,2]. Стани горизонтального типу поширені ширше, тому що мають більшу продуктивність; у вертикальних безоправляльних або оправляльних станах добре віддаляється окалина. І у вертикальних й у горизонтальних станах завершує формоутворення обіду колеса етап полірування, у якому колесо якийсь час прокатується при нерухомих валках. Полірування обов'язкове для додання обіду заданої геометричної форми та зменшення різновтовщиності, різношириності й овальності обіду. Однак ці міри не забезпечують необхідну точність геометричної форми коліс. Основним недоліком коліс, вироблених на лініях з таким складом устаткування, є їхня ексцентричність. Зсув маточини щодо обіду досягає величини 10 мм, значна овальність колеса та різновтовщиність обіду. Якщо ексцентричність зменшують на пресі, установленому після стану, то для компенсації відхилень форми призначають більші припуски на обробку й додаткові верстатні операції (колесо доводиться обробляти по всіх поверхнях), що забезпечує необхідну точність геометричної форми готових коліс. Значна частина коліс піддається ремонтному обточуванню (до 15-20 %), а додаткові припуски збільшують на 5-7 кг витрату металу для виробництва одного колеса[1].

Постановка задачі. Експериментально одержати якісні й кількісні характеристики відхилення від циліндричної форми обіду суцільнокатаних залізничних коліс, отриманих на промисловому горизонтальному колесопрокатному стані.

Горизонтальні стани (мал.1) мають натискні холості (неприводні) валки 1, похилі верхній і нижній валки 2(один або обоє приводні), приводний корінний валок 3(один або два); якщо корінний валок один, то для надійного втримання колеса встановлюють напрямні холості ролики. Заготовка R подається рольгангом або захватом на колесопрокатний стан і затискається між натискними 1 і корінними 3 валками. Наприкінці затиску опускається верхній похилий валок 2 і притискає колесо до нижнього похилого валка. У такому положенні валків викотують гребінь колеса без подачі корінних і натискних валків. Після викотування гребеня колесо викотують по діаметру на потрібний розмір, переміщаючи натискні валки; корінні валки також переміщуються.

В Україні експлуатується горизонтальний колесопрокатний стан конструкції УЗТМ, що має по два похилих (еджерних), натискних і корінних валка. Похилі валки 2 з індивідуальним приводом обертають колесо й формують обід по товщині. Два неприводних натискних валка 1 підтримують колесо й беруть участь у викатці гребеня. Вони змонтовані в одній обоймі й переміщуються потужними гідроциліндрами 4. Корінні валки 3, один із яких приводний,

підтримують колесо й викотують гребінь. Для переміщення корінних валків при збільшенні діаметра колеса, вони змонтовані на рухомій каретці. Цей стан не позбавлений недоліків властивих всім сучасним колесопрокатним станам: значні геометричні викривлення форми колеса, особливо великий ексцентриситет. Кількісні дані по зсуві маточини щодо обіду зустрічаються в літературі[1], а про характер і величину інших викривлень форми дані не приводяться. У припуск на зовнішній діаметр чорнового колеса входить викривлення геометричної форми колеса, зменшення діаметра в процесі термічної обробки й глибина розташування неметалічних включень.

Нестабільність припуску при обточуванні колеса визначає змінний, і навіть знакозмінний характер складові сили різання[3], викликає відмови верстатів, "врізи" у тіло колеса й повторне переточування. На мал.2, а і б представлені фрагменти осцилограм зміни головних складових сил різання P_z супортів 1 і 2 на різних ділянках обробки профілю колеса. Як видно, при обробці поверхні катання і гребеня, крім зміни сил різання з оборотною частотою ($\omega = 2,94 \text{ с}^{-1}$), зафіксоване коливання сил із частотою, що втричі перевищує оборотну. Це дозволяє зробити висновок, що припуск не стаціонарний, а на поверхні, прокатаної на стані заготовки, є хвилеутворення, довжина хвилі якого становить 1/3 довжини обіду по поверхні катання. Зняті профілограми на колесах основного сортаменту - Ø 957 мм (ГОСТ 9036) підтверджують наявність хвилеутворення на поверхні катання колеса-заготовки, таке відхилення форми також виявлено й на колесах іншого сортаменту. На осцилограмах добре помітний періодичний характер зміни сили різання P_1 при переході обробки з торця обіду колеса на поверхню гребеня. Вимірювання сил різання виконувалося методом тензометрії, профілограми отримані за допомогою індикатора годинного типу[4]. Огранювання зареєстроване тільки на поверхні катання колеса і гребені, тобто на тій частині заготовки, що безпосередньо деформуються натискними валками стану, при обточуванні й обмірюванні торців обіду хвилеутворення не виявлено. Після обробки осцилограм і профілограм був визначений діапазон варіації амплітуди хвилеутворення, що склав $E_2 = 1,3...1,6 \text{ мм}$. При подальшій механічній обробці на верстаті, хвилеутворення складається з ексцентриситетом установа й закріплення колеса на планшайбі ($E_1 = 0...2 \text{ мм}$), тому зміна припуску на обробку носить бігармонійний характер, фазовий зсув φ між гармоніками має випадковий характер. Одне несприятливе співвідношення зсуву фаз дає додаткове відхилення від номінального радіуса заготовки від 0,48 до 0,88 мм. Геометричне додавання цих двох гармонійних відхилень приводить до бігармонійної зміни подальшого припуску на механічну обробку

$$E = E_1 \cdot \sin(\omega \cdot t) + E_2 \cdot \sin(3\omega \cdot t + \varphi).$$

Амплітуда хвилеутворення на поверхні колеса практично лежить у досить вузьких межах, тому частка її впливу на силу різання P у робочому діапазоні зміни величини глибини різання $t = 4...15 \text{ мм}$ коливається відповідно від 37 до 10%.

Можливі причини відхилення форми прокатаного залізничного колеса.

Вивчення природи хвилеутворення на поверхнях, що обкатують [5,6] і наведені дані дозволяють заключити, що хвиля на поверхні катання колеса утворюється під час прокатки його на стані в умовах значного обтиснення, а можливі причини втрати стійкості форми колеса можуть бути розділені на технологічні й конструкторські.

Технологічні. За виключенням радіального биття прокатних валків значної величини, хвилеутворення можна пояснити дією робочих і залишкових стискаючих напруг після прокатки, наслідком чого є втрата стійкості гарячого тонкого поверхневого шару. Випробуваннями [5] встановлено, що стабільне хвилеутворення з'являється при обкатуванні під навантаженнями, що приводять до пластичного деформування поверхневого шару. Число циклів, необхідне для прояву нерівностей, залежить від ступеня пластичності матеріалу й тем нижче, ніж пластичніше матеріал. Час прокатки одного колеса становить 25...30с при середній швидкості заготовки 65 хв^{-1} , число циклів навантаження перебуває в межах 27...33, що цілком достатньо для утворення хвилі.

За даними роботи [4], причиною відхилення форми прокатаної заготовки може бути особливість пластичної деформації замкнутих заготовок, де зовнішні зони прокатки (до й після осередку деформації) з'єднані між собою, а в умовах деформації зі зміною площі перетину обіду колеса необхідна наявність додаткових пластичних зон по периметру колеса (пластичних шарнірів), на ділянках, між якими спотворюється форма. Таке відхилення виявлене в кільцевих заготовках, де переважає перша (ексцентриситет) і друга (овальність) форми відхилення. Радіальне стовщення кільцевих заготовок і утворення складки на циліндричній поверхні при прокатці вузьких профілів реєструється в роботах [6,7,8]. Там же відзначене осьове стовщення на торцевій стороні заготовки. У заготовці типу колеса, де зовнішні зони прокатки з'єднані між собою не тільки по периметрі, але й по радіусі, утворення перших двох форм відхилення утруднено, а виявитися можуть більше високі форми. Істотний вплив на утворення тієї або іншої форми відхилення, а також на амплітуду хвилеутворення здійснює швидкість деформації заготовки: чим вона вище, тим нижче форма й вище амплітуда. Значний вплив (у кільцевих заготівлях до 25%) на відхилення форми прокатаної заготовки здійснює форма вихідної заготовки (колісна заготовка, що надходить на прокат, має на поверхні 12 граней).

Конструкторські. Податливий гідравлічний привід подачі валків колесопрокатних станів не забезпечує необхідну й перспективну точність форми колісної заготовки. Низька осьова жорсткість гідроприводу подачі валків викликає істотні пружні віджимання інструменту при значному обтисненні заготовки. Змушені або вільні пружні коливання уздовж осі подачі валків на низькій власній частоті системи можуть викликати таке періодичне відхилення форми заготовки великої амплітуди. Вироби сортового прокатного виробництва високої точності форми й розмірів (коло, квадрат, швелер і т.п.) отримані на станах з подачею валків механічними приводами великої жорсткості.

Вплив відзначених причин втрати стійкості форми заготовки може бути зменшений або усунутий, якщо на останньому етапі пластичного деформування швидкість подачі валків буде мінімальною, такою ж вона повинна залишатися й на етапі полірування обіду при нульовій подачі, а утворена велика амплітуда відхилення форми на первісному етапі деформування, може бути зменшена на останньому. І, звичайно ж, етап полірування обіду на прокатному стані повинен здійснюватися обов'язково (у прагненні підвищити продуктивність стану тривалість цього етапу часто скорочують).

Основним фактором, що визначає припуск на обробку коліс, є їх відбракування по неметалічних включеннях, які головним чином зосереджені в поверхні чорного колеса [1]. Існуючий припуск, що гарантує зняття шару з неметалічними включеннями, містить у собі й амплітуду хвилеутворення, тому її зменшення або усунення дозволить зменшити припуск на обробку.

Висновки: 1. Виявлене регулярне відхилення форми прокатаної заготовки залізничного колеса по поверхні катання й гребеню у вигляді огранювання третього роду. Встановлено, що сформована натискними валками горизонтального колесопрокатного стану реальна зовнішня поверхня обіду і гребеня колеса-заготовки має відхилення від циліндричної форми хвилеподібного характеру з висотою хвилі 1,3...1,6 мм.

2. При подальшій механічній обробці коліс на спеціальних колесообробних верстатах сили різання мають бігармонійний характер, і в діапазоні середніх величин глибини різання 4...15 мм частка впливу хвилеутворення на величину сили різання становить відповідно 37...10%. Зі зменшенням амплітуди хвилеутворення може бути зменшений і припуск на механічну обробку.

3. При обробці коліс різанням вплив змушуючої бігармонійної сили підсилює динамічні навантаження в пружній системі супорта та знижує точність формоутворення профілю колеса.

Перспективи. Для встановлення дійсної причини відхилення форми колеса необхідні додаткові натурні дослідження явища й виконане на їхній основі математичне моделювання, у результаті якого можуть бути розроблені заходи щодо усунення або зменшення хвилеутворення.

Сортові вироби прокатного виробництва високої точності, які не потребують подальшої механічної обробки (коло, квадрат, швелер і т.п.), оснащені жорсткими механічними приводами подач, які можуть бути використані в приводах подач колесо- і кільцепрокатних станів.

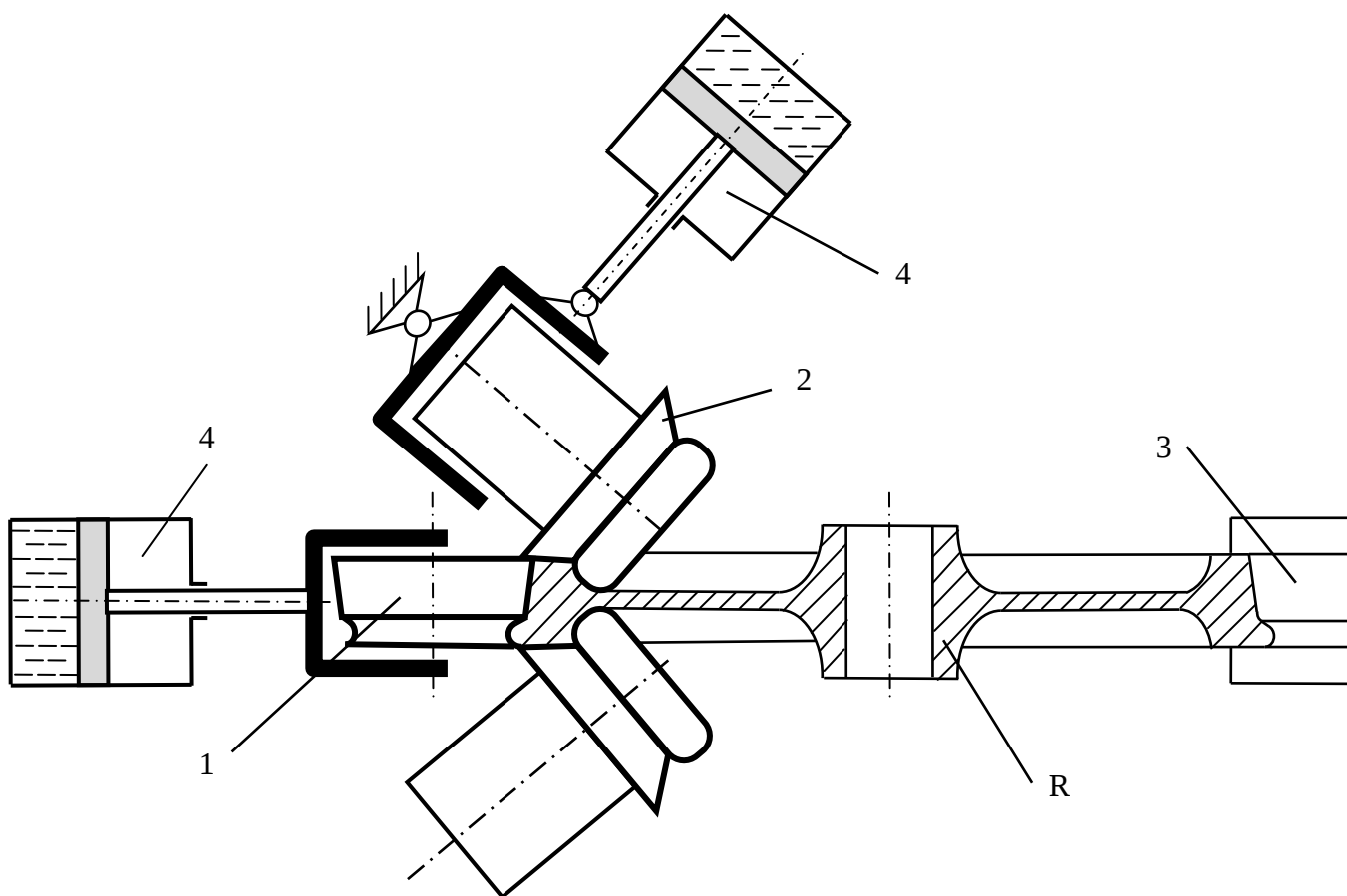
Бібліографічний перелік

1. Производство железнодорожных колес / [Бибик Г.А., Иоффе А.М., Праздников А.В., Староселецкий М.И.]. - М.: Металлургия, 1982.-232с.

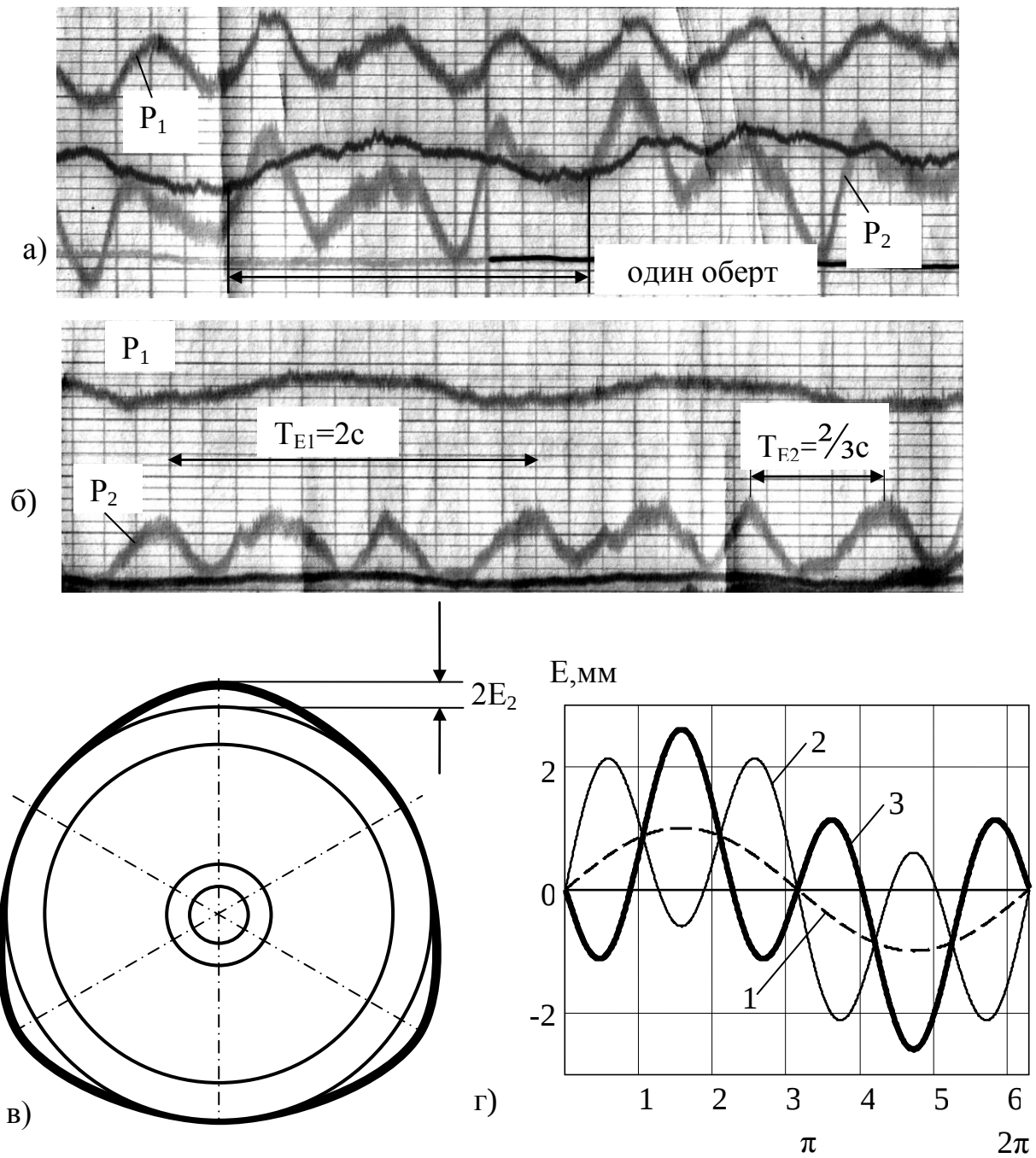
2. Koppers U.: Новый стан для прокатки железнодорожных колес// Stahl und Eisen 113 (1993) Nr.1,S.77/79.
3. Зданевич В.А., Погребняк Р.П. Нагруженность и особенности изменения силовых параметров резания при обточке фасонной поверхности гребня железнодорожного колеса-заготовки // Metallургическая и горнорудная промышленность.-1993.- №4.- С.64-67.
4. Погребняк Р.П., Смирнов Г.Ф. Экспериментальное исследование станков для отделки железнодорожных колес резанием // Подъемно-транспортная техника (Hebezeuge und Fördermittel). - 2008. - № 2. - С. 36-47.
5. Эрлих Л. В., Кособудский В. А., Вершин Л. И. Волнообразование на обкатываемых поверхностях.- М.: Наука, 1973.- 52 с.
6. Бровман М. Я, Белкин Л. М. Исследование точности прокатки колец // Вестник машиностроения.- 1989.- № 1.- С. 53-55.
7. Бёмер К., Вен Тонг, Копп Р. Новый гибкий способ одностороннего осевого профилирования колец прокаткой //Черные металлы(Stahl und Eisen).-2003.-№4.- С.34-39.
8. Koppers U., Kopp R. Geometrie der Umformzonen beim Ringwalzen//Steel research.- 1992.-Vol.63, №2.-P.74-77.

Відомості про автора

Погребняк Родіон Петрович, 18.05.60 р.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



Мал.1. Схема розташування валків на стані горизонтального виду



Мал. 2. Навантаженість колесообробного верстата та дійсна форма прокатаної колісної заготовки: а)- фрагмент осцилограми зміни сил різання при обробці торця обіду (P_1) і поверхні катання колеса (P_2); б)- гребені (P_1) і поверхні катання (P_2); в)- форма зовнішньої поверхні обіду після прокатки; г)- розгорнення можливих відхилень, викликаних ексцентриситетом (пунктирна лінія 1) і хвилеутворенням (лінія 2- $\varphi = 0$, лінія 3 - $\varphi = \pi$)