

УДК 621.771.294

Погребняк Р.П.

**Экспериментальное исследование формы прокатанной заготовки
железнодорожного колеса**

Проблема и ее связь с практическими задачами. Мировое производство цельнокатаных железнодорожных колес постоянно растет, хотя число стран, производящих эту продукцию не велико - около 20. В последние годы значительно выросло качество колес: они стали легче, износоустойчивей, обладают высокой конструктивной и механической прочностью, в том числе за счет вакуумирования, легирования и рациональной термической обработки колесной стали.

Прокатке подвергают отштампованную заготовку для формирования гребня, обода и перехода от обода к диску колеса. Способ получения цельноштампованного (без применения прокатного стана) колеса широкого распространения не получил из-за необходимости использования прессов большого усилия прессования. Кроме того, механические свойства прокатанной стали выше, чем прессованной или литой. Однако современные технологии не позволяют получить штамповано-катаное колесо необходимой точности и шероховатости без последующей механической обработки. Поэтому цельнокатаные железнодорожные колеса подвергают механической обработке резанием на участках отделки проката во всех колесопрокатных цехах всех стран, производящих данную продукцию. При этом часть механической обработки в общей себестоимости колеса достигает 70%. Массовая высокопроизводительная обработка фасонных поверхностей железнодорожного колеса в условиях металлургического завода сопряжена с техническими и технологическими трудностями в связи с расширенной номенклатурой обрабатываемых профилей, различной твердостью материала колес и особенно со значительным разбросом геометрических размеров прокатанной заготовки. Стремление уменьшить столь

значительные издержки механической обработки стимулирует производителя получать изделие после обработки давлением с размерами и формой близкими к размерам готового железнодорожного колеса и тем самым уменьшать объем дорогостоящего металла, удаляемого в стружку.

В мировой практике применяются два вида колесопрокатных станов: с горизонтальным и вертикальным расположением колеса во время прокатки[1,2]. Станы горизонтального типа распространены шире, так как имеют бóльшую производительность; в вертикальных безоправочных или оправочных станах хорошо удаляется окалина. И в вертикальных и в горизонтальных станах завершает формообразование обода колеса этап полировки, в котором колесо некоторое время прокатывается при неподвижных валках. Полировка обязательна для придания ободу заданной геометрической формы и уменьшения разнотолщинности, разноширинности и овальности обода. Однако эти меры не обеспечивают требуемую точность геометрической формы колес. Основным недостатком колес, производимых на линиях с таким составом оборудования, является их эксцентricность. Смещение ступицы относительно обода достигает величины 10 мм, значительна овальность колеса и разнотолщинность обода. Если эксцентricность уменьшают на прессе, установленном после стана, то для компенсации отклонений формы назначают большие припуски на обработку и дополнительные станочные операции (колесо приходится обрабатывать по всем поверхностям), что обеспечивает необходимую точность геометрической формы готовых колес. Значительная часть колес подвергается ремонтной обточке (до 15-20 %), а дополнительные припуски увеличивают на 5-7 кг расход металла для производства одного колеса[1].

Постановка задачи. Экспериментально получить качественные и количественные характеристики отклонения от цилиндрической формы обода цельнокатаных железнодорожных колес, полученных на промышленном горизонтальном колесопрокатном стане.

Горизонтальные станы (рис.1) имеют нажимные холостые (неприводные) валки 1, наклонные верхний и нижний валки 2(один или оба приводные),

приводной коренной валок 3 (один или два); если коренной валок один, то для надежного удержания колеса устанавливают направляющие холостые ролики. Заготовка R подается рольгангом или захватом на колесопрокатный стан и зажимается между нажимными 1 и коренными 3 валками. В конце зажима опускается верхний наклонный валок 2 и прижимает колесо к нижнему наклонному валку. В таком положении валков выкатывают гребень колеса без подачи коренных и нажимных валков. После выкатки гребня колесо раскатывают по диаметру на нужный размер, перемещая нажимные валки; коренные валки также перемещаются.

В Украине эксплуатируется горизонтальный колесопрокатный стан конструкции УЗТМ, который имеет по два наклонных (эджерных), нажимных и коренных валка. Наклонные валки 2 с индивидуальным приводом вращают колесо и формируют обод по толщине. Два неприводных нажимных валка 1 поддерживают колесо и участвуют в выкатке гребня. Они смонтированы в одной обойме и перемещаются мощными гидроцилиндрами 4. Коренные валки 3, один из которых приводной, поддерживают колесо и выкатывают гребень. Для перемещения коренных валков при увеличении диаметра колеса, они смонтированы на подвижной каретке. Этот стан не лишен недостатков свойственных всем современным колесопрокатным станам: значительные геометрические искажения формы колеса, особенно велик эксцентриситет. Количественные данные по смещению ступицы относительно обода встречаются в литературе [1], а о характере и величине других искажений формы данные не приводятся. В припуск на наружный диаметр черного колеса входит искажение геометрической формы колеса, уменьшение диаметра в процессе термической обработки и глубина расположения неметаллических включений.

Нестабильность припуска при обточке колеса определяет переменный, и даже знакопеременный характер изменения составляющих силы резания [3], вызывает отказы станков, «врезы» в тело колеса и повторную переточку. На рис. 2, а и б представлены фрагменты осциллограмм изменения главных составляющих сил резания P_z суппортов 1 и 2 на различных участках обработки профиля колеса.

Как видно, при обработке поверхности катания и гребня, кроме изменения сил резания с оборотной частотой ($\omega = 2,94\text{с}^{-1}$), зафиксировано колебание сил с частотой, втрое превышающей оборотную. Это позволяет заключить, что припуск не стационарен, а на поверхности, прокатанной на стане заготовки, есть волнообразование, длина волны которого составляет $1/3$ длины обода по поверхности катания. Снятые профилограммы на колесах основного сортамента - $\varnothing 957$ мм (ГОСТ 9036) подтверждают наличие волнообразования на поверхности катания колеса—заготовки, такое отклонение формы также обнаружено и на колёсах другого сортамента. На осциллограммах хорошо заметен периодический характер изменения силы резания P_1 при переходе обработки с торца обода колеса на поверхность гребня. Измерение сил резания выполнялось методом тензометрии, профилограммы (рис.2, в) получены с помощью индикатора часового типа [4]. Огранка зарегистрирована только на поверхности катания колеса и гребне, то есть на той части заготовки, которая непосредственно деформируется нажимными валками стана, при обточке и обмере торцов обода волнообразование не обнаружено. После обработки осциллограмм и профилограмм был определён диапазон вариации амплитуды волнообразования, который составил $E_2 = 1,3 \dots 1,6$ мм. При дальнейшей механической обработке на станке, волнообразование складывается с эксцентриситетом установки и закрепления колеса на планшайбе ($E_1 = 0 \dots 2$ мм), поэтому изменение припуска на обработку носит бигармонический характер, фазовый сдвиг φ между гармониками имеет случайный характер.

На рис.3,б представлены профилограммы с двумя крайними (с точки зрения отклонения от номинального диаметра) состояниями заготовки. Одно неблагоприятное соотношение сдвига фаз даёт дополнительное отклонение от номинального радиуса заготовки от 0,48 до 0,88 мм. Геометрическое сложение на плоскости этих двух гармонических отклонений

$$A_1 = E_1 \cdot \sin(\omega t) \text{ и } A_2 = E_2 \cdot \sin(3\omega t + \varphi)$$

позволяет получить плоские фигуры Лиссажу, по которым можно определить фазовый сдвиг между гармониками и эквивалентный размах $2E$ изменения

припуска. На рис.3 показаны траектории изображающей точки поверхности катания при различных φ ; изменение соотношений между амплитудами гармоник E_1 и E_2 не изменит общего характера форм кривых, а повлияет лишь на пропорции фигуры.

Амплитуда волнообразования на поверхности колеса практически лежит в довольно узких пределах, поэтому доля её влияния на силу резания P в рабочем диапазоне изменения величины глубины резания $t = 4...15$ мм колеблется соответственно от 37 до 10%.

Возможные причины искажения формы прокатанного железнодорожного колеса. Изучение природы волнообразования на обкатываемых поверхностях [5,6] и приведенные данные позволяют полагать, что волна на поверхности катания колеса образуется во время прокатки его на стане в условиях значительного обжатия, а возможные причины потери устойчивости формы колеса могут быть разделены на технологические и конструкторские.

Технологические. Исключая радиальное биение прокатных валков значительной величины, волнообразование можно объяснить действием рабочих и остаточных сжимающих напряжений после прокатки, следствием чего является потеря устойчивости горячего тонкого поверхностного слоя. Испытаниями [5] установлено, что стабильное волнообразование получается при обкатывании под нагрузками, приводящими к пластическому деформированию поверхностного слоя. Число циклов, необходимое для проявления неровностей, зависит от степени пластичности материала и тем ниже, чем пластичнее материал. Время прокатки одного колеса составляет 25 ... 30с при средней скорости заготовки 65 мин⁻¹, число циклов нагружения находится в пределах 27 ... 33, что вполне достаточно для образования волны.

По данным работы [4], причиной отклонения формы прокатанной заготовки может быть особенность пластической деформации замкнутых заготовок, где внешние зоны прокатки (до и после очага деформации) соединены между собой, а в условиях деформации с изменением площади сечения обода колеса необходимо наличие дополнительных пластических зон по периметру колеса (пластических

шарниров), на участках, между которыми искажается форма. Такое искажение обнаружено в кольцевых заготовках, где преобладает первая (эксцентриситет) и вторая (овальность) формы отклонения. Радиальное утолщение кольцевых заготовок и образование складки на цилиндрической поверхности при прокатке узких профилей регистрируется в работах[6,7,8]. Там же отмечено осевое утолщение на торцевой стороне заготовки. В заготовке типа колеса, где внешние зоны прокатки соединены между собой не только по периметру, но и по радиусу, образование первых двух форм отклонения затруднено, а проявиться могут более высокие формы. Существенное влияние на образование той или иной формы отклонения, а также на амплитуду волнообразования оказывает скорость деформации заготовки: чем она выше, тем ниже форма и выше амплитуда. Значительное влияние (в кольцевых заготовках до 25%) на отклонение формы прокатанной заготовки оказывает форма исходной заготовки (колесная заготовка, поступающая на прокат, имеет на поверхности 12 граней).

Конструкторские. Податливый гидравлический привод подачи валков колесопрокатных станов не обеспечивает необходимую и перспективную точность формы колесной заготовки. Низкая осевая жесткость гидропривода подачи валков вызывает существенные упругие отжатия инструмента при значительном обжатии заготовки. Вынужденные или свободные упругие колебания вдоль оси подачи валков на низкой собственной частоте системы могут вызывать такое периодическое искажение формы заготовки большой амплитуды. Изделия сортового прокатного производства высокой точности формы и размеров(круг, квадрат, швеллер и т.п.) получены на станах с подачей валков механическими приводами большой жесткости.

Влияние отмеченных причин потери устойчивости формы заготовки может быть уменьшено или устранено, если на последнем этапе пластического деформирования скорость подачи валков будет минимальной, такой она должна оставаться и на этапе полировки обода при нулевой подаче, а образованная большая амплитуда отклонения формы на первоначальном этапе деформирования, может быть уменьшена на последнем. И, конечно же, этап

полировки обода на прокатном стане должен производиться обязательно (в стремлении повысить производительность стана продолжительность этого этапа часто сокращают).

Основным фактором, определяющим припуск на обработку колес, является отсортировка их в брак по неметаллическим включениям, которые главным образом сосредоточены у поверхности чернового колеса [1]. Существующий припуск, гарантирующий снятие слоя с неметаллическими включениями, содержит в себе и амплитуду волнообразования, поэтому ее уменьшение или устранение позволит уменьшить припуск на обработку.

Выводы: 1. Обнаружено регулярное отклонение формы прокатанной заготовки железнодорожного колеса по поверхности катания и гребню в виде огранки третьего рода. Установлено, что формируемая нажимными валками горизонтального колесопрокатного стана реальная наружная поверхность обода и гребня колеса-заготовки имеет отклонение от цилиндрической формы волнообразного характера с высотой волны 1,3...1,6 мм.

2. При дальнейшей механической обработке колес на специальных колесообточных станках силы резания имеют бигармонический характер, и в диапазоне средних величин глубины резания 4...15 мм доля влияния волнообразования на величину силы резания составляет соответственно 37...10%. С уменьшением амплитуды волнообразования может быть уменьшен и припуск на механическую обработку.

3. При отделке колес резанием действие вынуждающей бигармонической нагрузки усиливает динамические нагружения в упругой системе суппорта и снижает точность формообразования профиля колеса.

4. Сортовые изделия высокой точности, полученные прокаткой и не требующие дальнейшей механической обработки (круг, квадрат, швеллер и т.п.), оснащены жесткими механическими приводами подач, которые могут быть использованы в приводах подач колесо- и кольцепрокатных станов.

1. Производство железнодорожных колес / [Бибик Г.А., Иоффе А.М., Праздников А.В., Староселецкий М.И.]. - М.: Metallurgiya, 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 (HebezeugeundFördermittel). - 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.

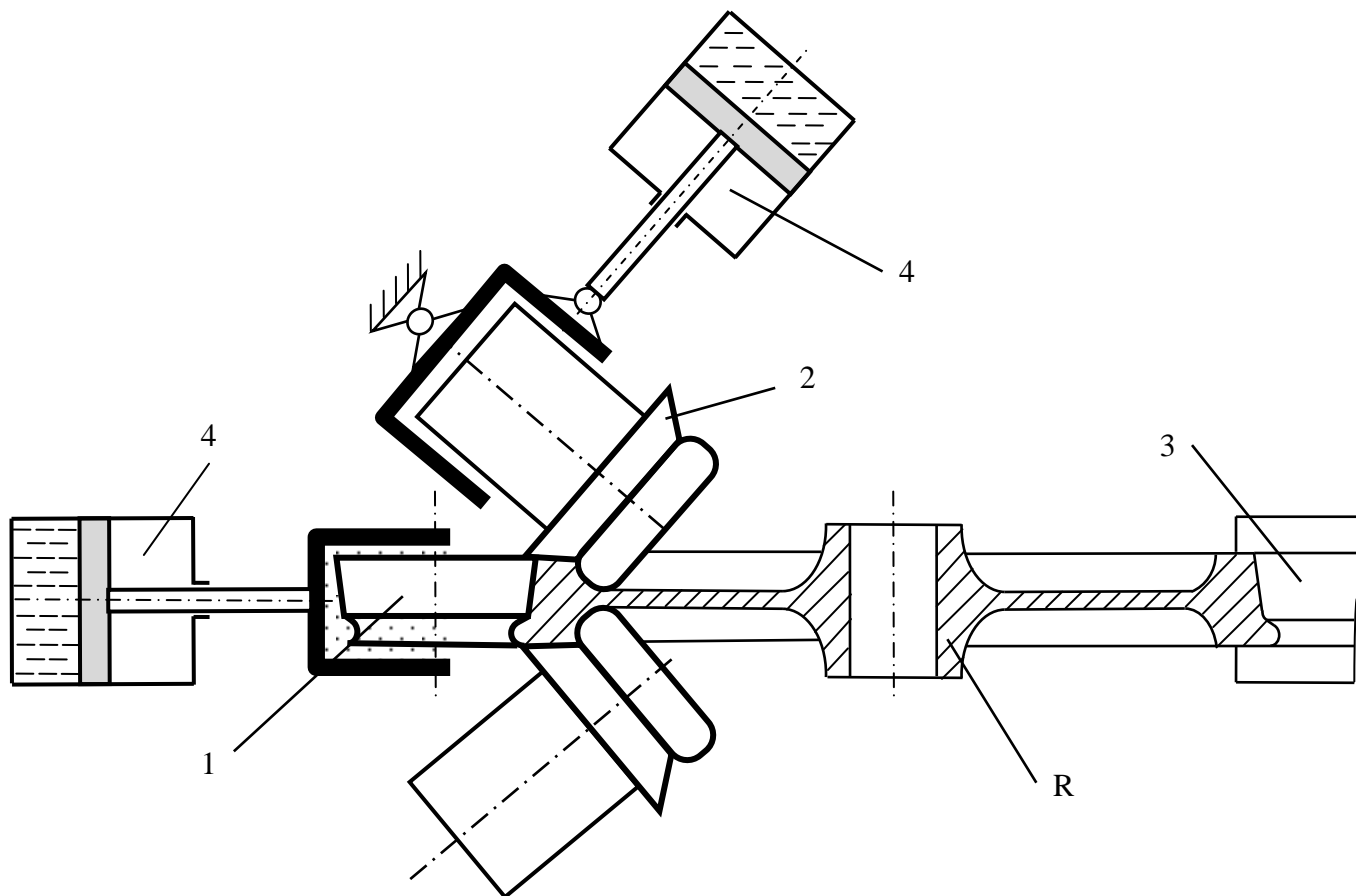


Рис.1. Схема расположения валков на стане горизонтального вида

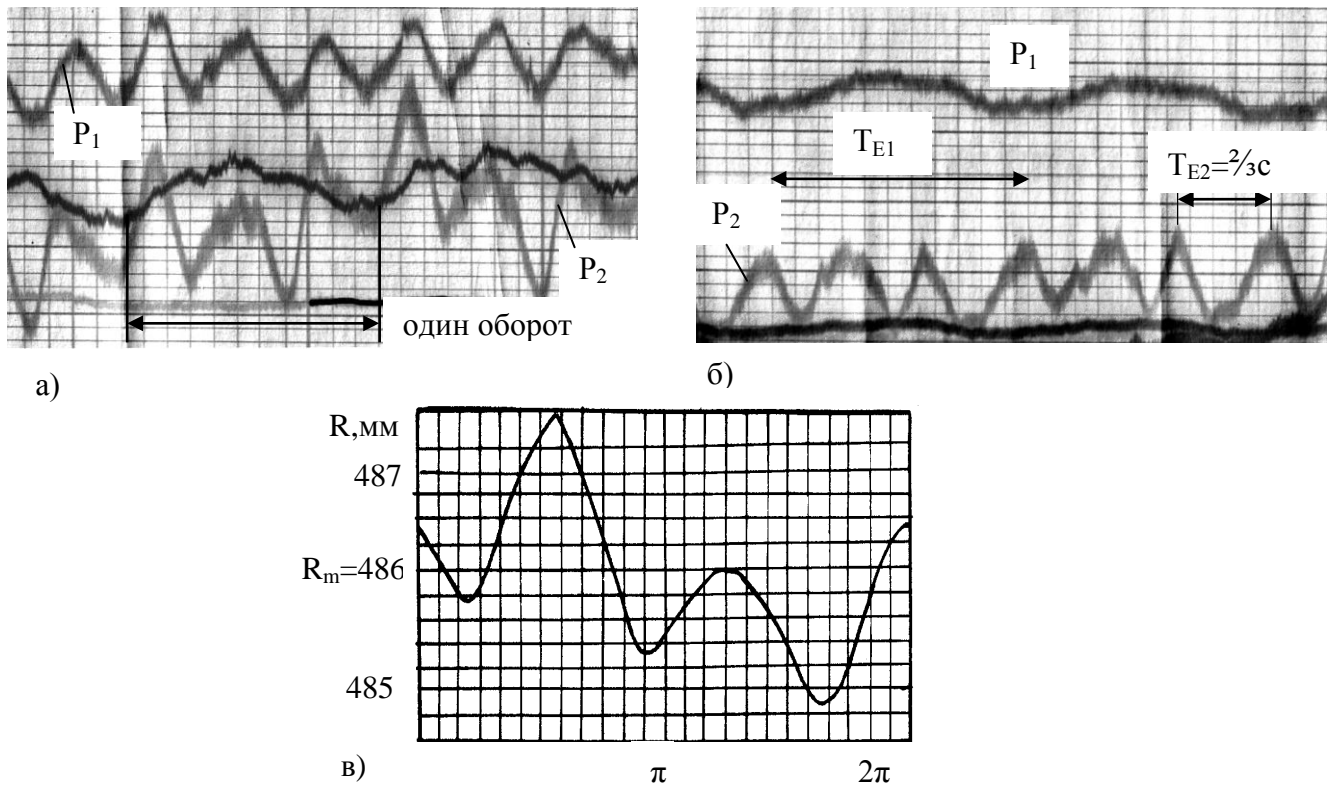


Рис. 2. Фрагмент осциллограммы изменения сил резания при обработке: а) торца обода колеса правым боковым (P_1) и поверхности катания колеса левым боковым суппортом станка (P_2); б) гребня суппортом 1 (P_1) и поверхности катания суппортом 2 (P_2). Профилограмма (в) поверхности катания колеса-заготовки (R_m - средний радиус колеса)

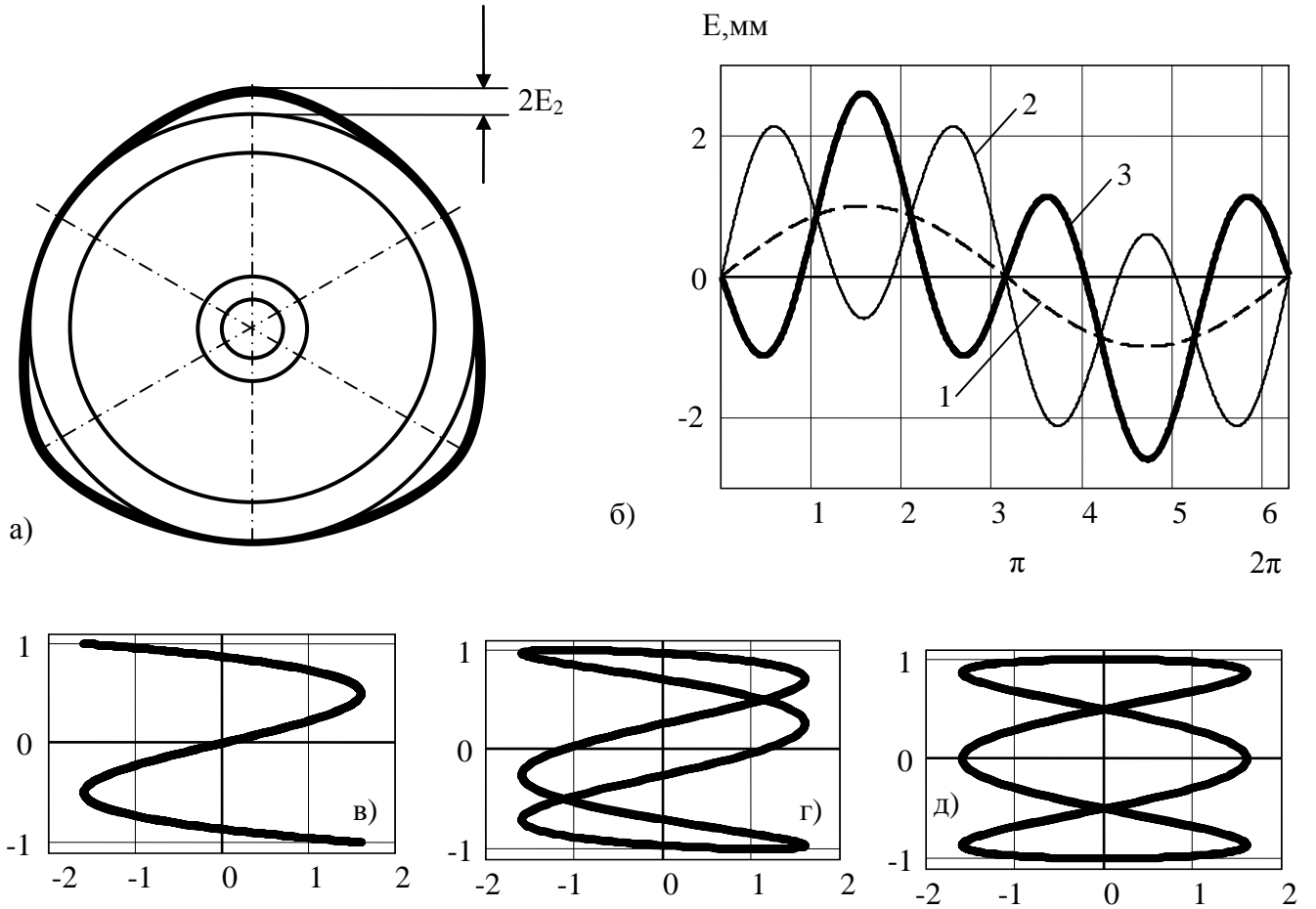


Рис. 3. Форма наружной поверхности обода колеса после прокатки(а); б)-развертка возможных отклонений, вызванных эксцентриситетом (пунктирная линия 1) и волнообразованием (линия 2- $\varphi=0$, линия 3- $\varphi=\pi$); фигуры Лиссажу (в-д) изображающей точки поверхности катания: $\varphi=0$ (в), $\varphi=\pi/4$ (г), $\varphi=\pi/2$ (д)

Анотация. Представлены качественные и количественные экспериментальные характеристики формы цельнокатаного железнодорожного колеса, полученного на горизонтальном колесопрокатном стане. Обнаружено регулярное отклонение формы прокатанной заготовки по поверхности катания и гребню в виде огранки третьего рода с отклонением от цилиндрической формы 1,3...1,6 мм. Силы резания при дальнейшей механической обработке такой заготовки на колесообточных станках носят бигармонический характер, усиливают динамические нагрузки в упругой системе суппорта и снижает точность формообразования профиля колеса. Проанализированы возможные причины такого искажения формы заготовки на колесопрокатном стане.

Ключевые слова: горизонтальный колесопрокатный стан, отклонение формы заготовки, валки, припуск, силы резания.

Анотація: Представлені якісні та кількісні експериментальні характеристики форми суцільнокатаного залізничного колеса, отриманого на горизонтальному колесопрокатне стані. Виявлено регулярне відхилення форми прокатої заготовки по поверхні катання і гребеню у вигляді огранювання третього роду з відхиленням від циліндричної форми 1,3 ... 1,6 мм. Сили різання при подальшій механічній обробці такої заготовки на колесообробних верстатах носять бігармонійний характер, підсилюють динамічні навантаження в пружній системі супорта і знижує точність формоутворення профілю колеса. Проаналізовано можливі причини такого спотворення форми заготовки на колесопрокатному стані.

Ключові слова: Горизонтальний колесопрокатний стан, відхилення форми заготовки, валки, припуск, сили різання.

Abstract. Presents the qualitative and quantitative characteristics of the experimental form of all-rolled railway wheels, resulting in a horizontal wheel-mill. The deviation of the observed regular rolled workpiece surface and riding the crest of a cut in the third kind with a deviation from the cylindrical 1.3 ... 1.6 mm. Cutting forces during further machining a workpiece on the machine are biharmonic nature, increase the dynamic load in an elastic system support and reduces the precision shaping of the wheel profile. The possible reasons for this distortion of the workpiece on the wheel-mill.

Keywords: Horizontal wheel-mill, the deviation of the workpiece, the rolls, seam allowance, cutting forces.

Сведения об авторе

Погребняк Родион Петрович, к.т.н., доцент каф. прикладной механики Национальной металлургической академии Украины. Тел.сл. (056)3748387, тел.дом. (056)7433276, тел.моб. (068)4131757, домашний адрес: Украина, 49050, г. Днепропетровск, ул. Казакова, 35А, e-mail: rogrebnyakrp@ukr.net.