

УДК 621.771.001.57

А. В. Яковченко, д-р техн. наук, проф., **В. В. Пилипенко**, аспирант,
Донецкий национальный технический университет, ДНР
Тел./Факс: +38 (071) 3348235; E-mail: mond1991@mail.ru

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ СИЛЫ ПРИ НЕСТАЦИОНАРНОМ ПРОЦЕССЕ ПРОКАТКИ ФЛАНЦА С НАРУЖНЫМ ГРЕБНЕМ НА КОЛЬЦЕПРОКАТНОМ СТАНЕ

В статье представлены результаты экспериментальных измерений текущих параметров фланца с наружным гребнем и процесса его прокатки на промышленном кольцепрокатном стане. Построены графические зависимости силы прокатки и толщины кольца от его текущего внутреннего диаметра, а также скорости движения вала-оправки и скорости роста внутреннего диаметра кольца от времени.

Ключевые слова: кольцепрокатный стан, фланец с наружным гребнем, нестационарный процесс прокатки, экспериментальные исследования, сила прокатки.

A. V. Yakovchenko, V. V. Pilipenko

EXPERIMENTAL STUDIES OF THE FORCE DURING THE NON-STATIONARY PROCESS OF ROLLING A FLANGE WITH AN EXTERNAL RIDGE ON A RING ROLLING MILL

The article presents the results of experimental measurements of the current parameters of a flange with an external ridge and the process of rolling it on an industrial ring rolling mill. The graphical dependences of the rolling force and thickness of the ring on its current inner diameter, as well as the speed of movement of the mandrel roll and the growth rate of the inner diameter of the ring on time are constructed.

Keywords: ring rolling mill, flange with an external ridge, non-stationary rolling process, experimental studies, rolling force.

1. Введение

Различные типы колец с наружным гребнем (локомотивные и трамвайные бандажи, а также фланцы) составляют значительную часть сортамента кольцевых изделий. Освоение их производства связано с моделированием процессов прокатки колец [1–3 и др.]. Нестационарный характер процесса прокатки колец в значительной мере определяет его сложность. Для проверки адекватности теоретических разработок необходима экспериментальная информация. В технической литературе имеются результаты экспериментальных исследований процессов прокатки колец из углеродистых сталей [4–6 и др.]. В работе [7] представлены экспериментальные данные, полученные в промышленных условиях при прокатке прямоугольных в сечении колец, а в работе [8] – бандажей. Работа направлена на получение аналогичной экспериментальной информации для условий прокатки кольца с наружным гребнем – фланца из стали 60.

Цель работы состоит в получении экспериментальных данных на промышленном кольцепрокатном стане при прокатке фланца с наружным гребнем. Поставлена задача построения на базе экспериментальных данных графических зависимостей силы прокатки и толщины кольца от его текущего внутреннего диаметра, а также скорости движения вала-оправки и скорости роста внутреннего диаметра кольца от времени.

2. Методика проведения эксперимента

Схема промышленного радиально-осевого кольцепрокатного стана при прокатке фланца с наружным гребнем представлена на (рис. 1).

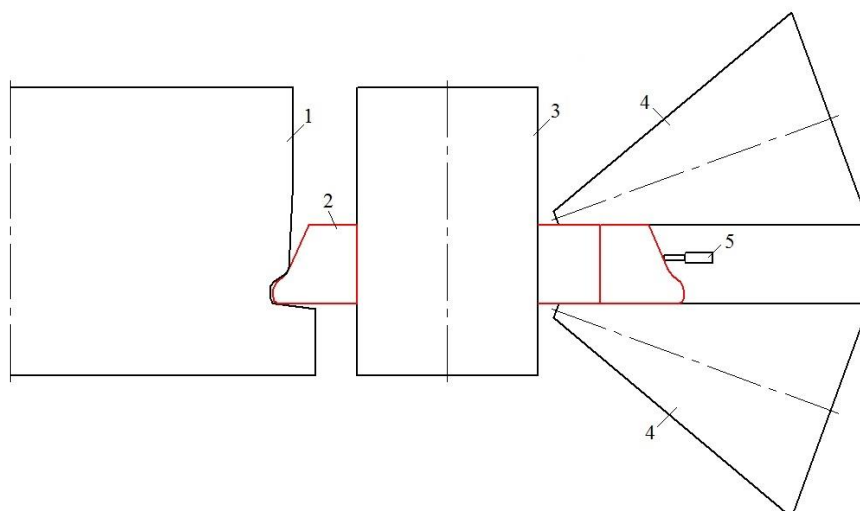


Рисунок 1. Схема радиально-осевого кольцепрокатного стана: 1 – главный приводной валок; 2 – прокатываемое кольцо с наружным гребнем; 3 – валок-оправка; 4 – наклонные (конические) валки; 5 – устройство для измерения наружного диаметра кольца

При прокатке кольцо формируется между главным приводным валком и неподвижным валком-оправкой, которые установлены вертикально. Обжатие стенки кольца и соответствующее увеличение его диаметра осуществляется перемещением валка-оправки в сторону главного валка с помощью гидравлического привода. Стан имеет два конических валка, выполняющих обжатие кольца по высоте, которые установлены диаметрально противоположно вертикальным валкам. Кольцо центрируется роликами, которые удерживают его на оси стана и обеспечивают минимальную овальность.

Значения диаметров вертикальных валков и скорости прокатки в эксперименте, а также максимально допустимые параметры, характеризующие работу стана, представлены в табл. 1.

Таблица 1. Техническая характеристика кольцепрокатного стана

| Параметры | Значения параметров |
|---|---------------------|
| Диаметр главного приводного валка (max), мм | 1100 |
| Диаметр валка-оправки, мм | 250 |
| Скорость прокатки, м/с | 1,5 |
| Мощность привода главного валка, кВт | 630 |
| Сила прокатки в вертикальных валках, МН | 1,5 |
| Сила прокатки в наклонных валках, МН | 1,25 |
| Скорость движения валка-оправки, мм/с | 15 |

Разработаны калибровка для кольцепрокатного стана и заготовочного пресса (рис. 2), на котором выполняется штамповка кольцевой заготовки с предварительно подготовленным гребнем. Температурный интервал прокатки 1145 – 1090 °С.

Значения толщины кольца и его внутреннего диаметра в процессе прокатки получили на базе показаний импульсных фотоэлектрических датчиков ПДФ-3, установленных стационарно на кольцепрокатном стане. Точность измерений толщины кольца –

0,01%, внутреннего диаметра – 0,1%. Значения сил прокатки в радиальном очаге деформации получили на базе показаний измерительных преобразователей давления в электрические сигналы, установленных стационарно на кольцепрокатном стане (погрешность измерений $\pm 0,1\%$) [8]. Температуру металла в начальный и конечный моменты прокатки измеряли оптическим пирометром.

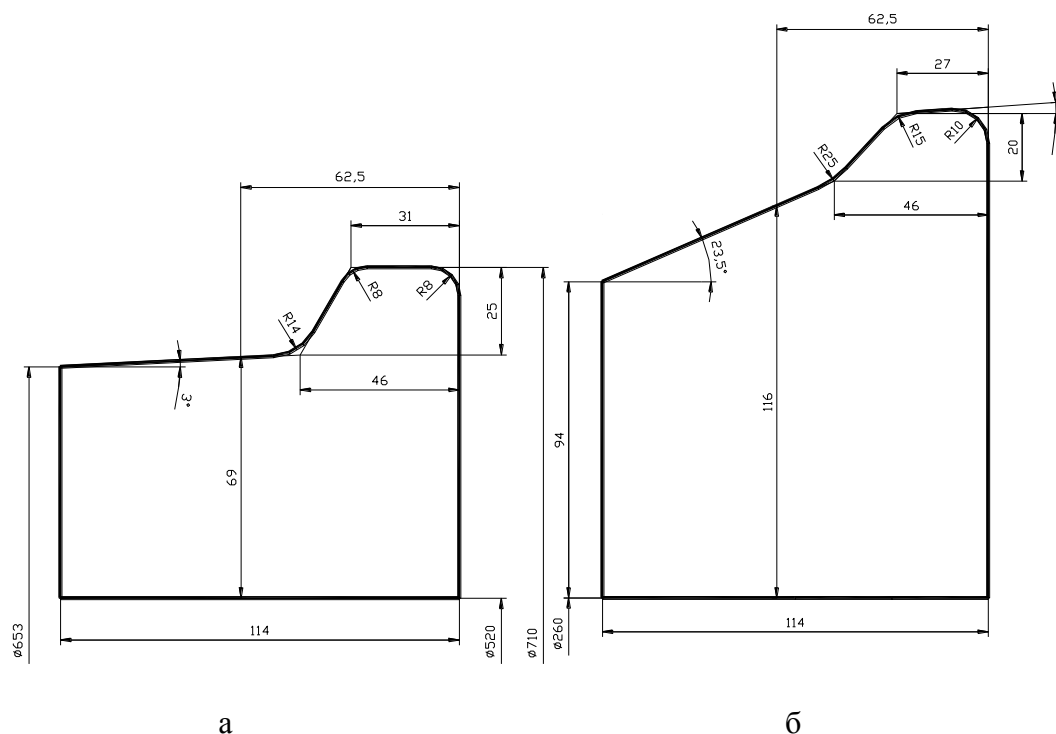


Рисунок 2. Контуры радиальных сечений фланца (а) и кольцевой заготовки (б)

3. Результаты экспериментальных исследований

Графические зависимости скорости роста внутреннего диаметра кольца, толщины кольца и силы прокатки в зависимости от времени представлены на рис. 3, 4.

На 1-ом этапе прокатки при изменении времени t от нуля до 3,3 с выполнено устранение разнотолщинности кольцевой заготовки, которая была получена при ее штамповке и прошивке центрального отверстия.

На 2-ом основном этапе прокатки, который характеризуется интенсивным радиальным обжатием металла, время t изменяется от 3,3 с до 21,1 с. Вначале при изменении времени t от 3,3 с до 9,9 с выполняется выкатка гребня фланца. При этом, несмотря на постоянный рост силы прокатки до 587,2 кН, скорость роста внутреннего диаметра кольца снижается до 3,2 мм/с, что связано с тем, что суммарное (от вертикальных валков) радиальное обжатие металла реализуется преимущественно главным валком.

На следующей стадии (t изменяется от 9,9 с до 14,5 с) при росте силы прокатки до максимального значения, равного 770,6 кН, скорость роста внутреннего диаметра кольца выросла вначале до 9 мм/с, а затем после небольшого её уменьшения выросла до 8,6 мм/с. При этом толщина кольца уменьшилась с 99,8 мм до 78,5 мм, что соответствует значительному радиальному обжатию, равному 21,3 мм (см. рис. 4, а). Следствием интенсивного радиального обжатия металла и увеличения скорости роста диаметра кольца является рост овальности кольца и его разнотолщинности, что проявляется в

«просаживании» на следующей стадии прокатки (при изменении t от 14,5 с до 16,6 с)) скорости роста внутреннего диаметра кольца с 8,6 мм/с до 5,4 мм/с.

На 3-ем этапе прокатки при изменении t от 21,1 с до 25 с обеспечивается переход от 2-го (основного) этапа, связанного с интенсивной деформацией металла, к последнему 4-му этапу, на котором получают требуемые размеры готового кольца.

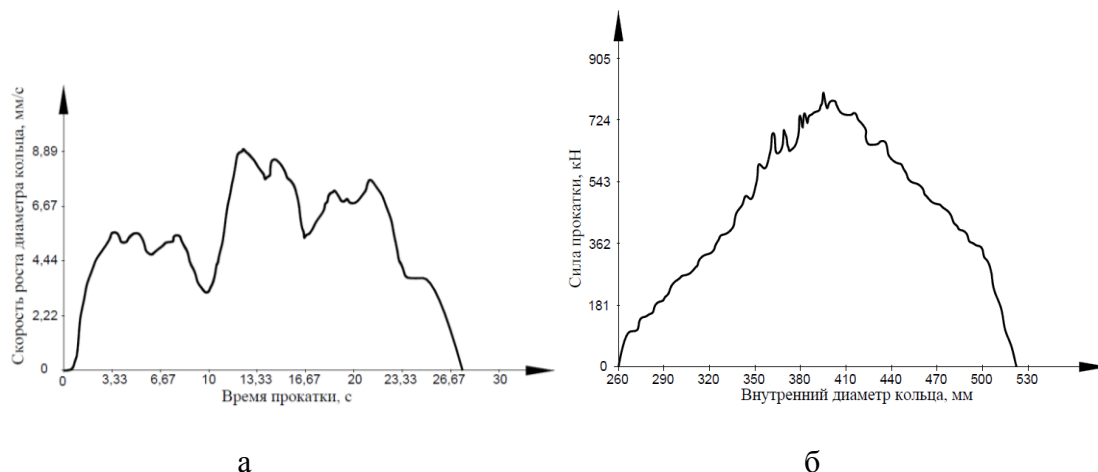


Рисунок 3. Зависимость скорости роста внутреннего диаметра кольца (а) от времени и силы прокатки (б) от текущего внутреннего диаметра кольца

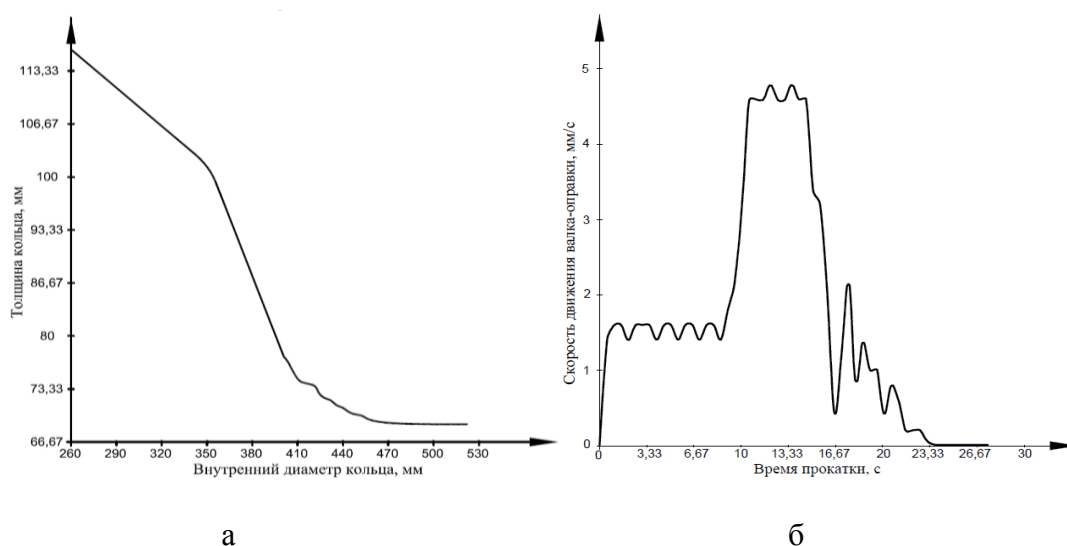


Рисунок 4. Зависимость толщины кольца (а) от его текущего внутреннего диаметра и скорости движения вала-оправки (б) от времени

На 4-ом, заключительном этапе прокатки, (при изменении t от 25 с до 27,4 с) сила прокатки и скорость роста внутреннего диаметра продолжили снижаться. При достижении внутреннего диаметра кольца ~ 515 мм был начат сброс давления рабочей жидкости в рабочих гидроцилиндрах стана, что привело к падению до нуля силы прокатки (см. рис. 3, б) и, соответственно, уменьшению до нуля скорости роста внутреннего диаметра кольца (см. рис. 3, а).

Наружный диаметр кольца в процессе его прокатки замерялся на расстоянии 62,5 мм от боковой (гребневой) поверхности кольца (см. рис. 1). На указанном расстоянии замерялась и толщина кольца в процессе прокатки. Высота исходной кольцевой

заготовки (рис. 2, б) равна высоте готового кольца (рис. 2, а). Поэтому в процессе прокатки зазор между наклонными валками выдерживался постоянным, равным 114 мм. При этом на каждом обороте кольца наклонными валками выполнялось обжатие уширения, которое получали от радиального обжатия металла вертикальными валками.

4. Выводы

Выполнены экспериментальные исследования силовых и геометрических параметров процесса прокатки фланца с наружным гребнем на радиально-осевом кольце-прокатном стане. Точность измерений толщины кольца – 0,01%, внутреннего диаметра – 0,1%. Значения сил прокатки в радиальном очаге деформации получены на базе показаний измерительных преобразователей давления в электрические сигналы с погрешностью измерений $\pm 0,1\%$. Построенные графические зависимости силы прокатки и толщины кольца от его текущего внутреннего диаметра, а также скорости движения валка-оправки и скорости роста внутреннего диаметра кольца от времени показали характер изменения параметров при нестационарном процессе прокатки.

ЛИТЕРАТУРА:

1. Яковченко, А. В. Распределение радиального и осевого обжатий в процессе прокатки кольцевых изделий / А. В. Яковченко, А. Ю. Лоскутов, Н. И. Ивлева // Совершенствование процессов и оборудования обработки давлением в металлургии и машиностроении. – 2000. – С. 292-297.
2. Процив, Ю. В. Расчет суммарных степеней деформации при многопереходной раскатке кольцевых заготовок / Ю. В. Процив // Производство проката. – 2012. – № 3. – С. 25 – 27.
3. Панин, В. Г. Изучение выкатываемости фланцевых колец и факторов интенсификации их формообразования / В. Г. Панин // Заготовительные производства в машиностроении. – 2012. – № 9. – С. 37-40.
4. Husmann, T. Online-analysis of process-data to avoid ovality in radial-axial ring rolling processes / T. Husmann, S. Husmann, B. Kuhlenkötter // Proceedings of the 20th International ESAFORM Conference on Material Forming, 26-28.04.2017, Dublin (Ireland). – Dublin: AIP Publishing, 2017. – 6 p.
5. Husmann, T. Determination of influencing factors on ring climbing in radial-axial ring rolling via design of experiments / T. Husmann, B. Kuhlenkötter // Advanced Materials Research. – 2016. – Vol. 1140. – P. 19–26.
6. Sun, B. Numerical and experimental investigations on the effect of mandrel feeding speed for high-speed rail bearing inner ring / B. Sun, J. Xu, C. Xing // The International Journal of Advanced Manufacturing Technology. – 2019. – № 100 (5-8). – P. 1993 – 2006.
7. Яковченко, А. В. Экспериментальные исследования энергосиловых и температурных параметров при нестационарном процессе прокатки колец / А.В. Яковченко // Металл и литье Украины. – 1997. – №1. – С. 44-45.
8. Яковченко, А. В. Экспериментальные исследования процесса прокатки локомотивных бандажей на одном стане / А. В. Яковченко, А. Ю. Лоскутов // Металл и литье Украины. – 2002. – №1-2. – С. 52-54.

Поступила в редколлегию 21.03.2020 г.