

Технология штамповки и прокатки главного валка колесопрокатного стана на
кольцепрокатном стане

С.А. Снитко¹, А.В. Яковченко¹, В.В. Пилипенко¹, Н.И. Ивлева²

¹ГОУВПО «ДОНЕЦКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ», г. Донецк, Украина

²Донецкий научно-исследовательский институт черной металлургии,
г. Донецк, Украина

Главный валок колесопрокатного стана рассмотрен в качестве нового экономичного профиля, контур радиального сечения которого представляет собой фланец с наружным гребнем, который можно изготовить прокаткой на кольцепрокатных станах. Выполнены автоматизированное проектирование соответствующих контуров чистового и чернового фланцев, калибровок для их штамповки и прокатки, а также проверка калибровки путем конечно-элементного моделирования процесса прокатки кольцевой заготовки с гребнем на кольцепрокатном стане. Получены графики сил для радиального и осевого очагов деформации, а также графики овальности и разнотолщинности прокатываемого фланца.

Ключевые слова: главный валок колесопрокатного стана, фланец с наружным гребнем, прокатка на кольцепрокатном стане, автоматизированное проектирование калибровок, конечно-элементное моделирование процесса прокатки.

Экономия металла определяется снижением металлоемкости проката и повышением его точности, что обуславливает необходимость создания новых экономичных профилей. Предложено рассмотреть главный валок колесопрокатного стана как новый экономичный профиль, который можно изготовить прокаткой на кольцепрокатных станах.

Целью работы является проектирование калибровки для прокатки на кольцепрокатном стане главных валков колесопрокатных станов, проверка калибровки путем конечно-элементного моделирования процесса прокатки кольцевой заготовки с гребнем, разработка на этой основе рациональных режимов деформации металла при производстве штампованно-катаных фланцев, необходимых для изготовления главных валков колесопрокатных станов.

Для проектирования чистовых и черновых фланцев с наружным гребнем, а также калибровок для их штамповки и прокатки рационально использовать методы и специализированные компьютерные программы, которые созданы в работах [1 - 3].

Используя контур сечения механически обработанного главного валка колесопрокатного стана, спроектирован контур соответствующего чистового технологического фланца (рис. 1).

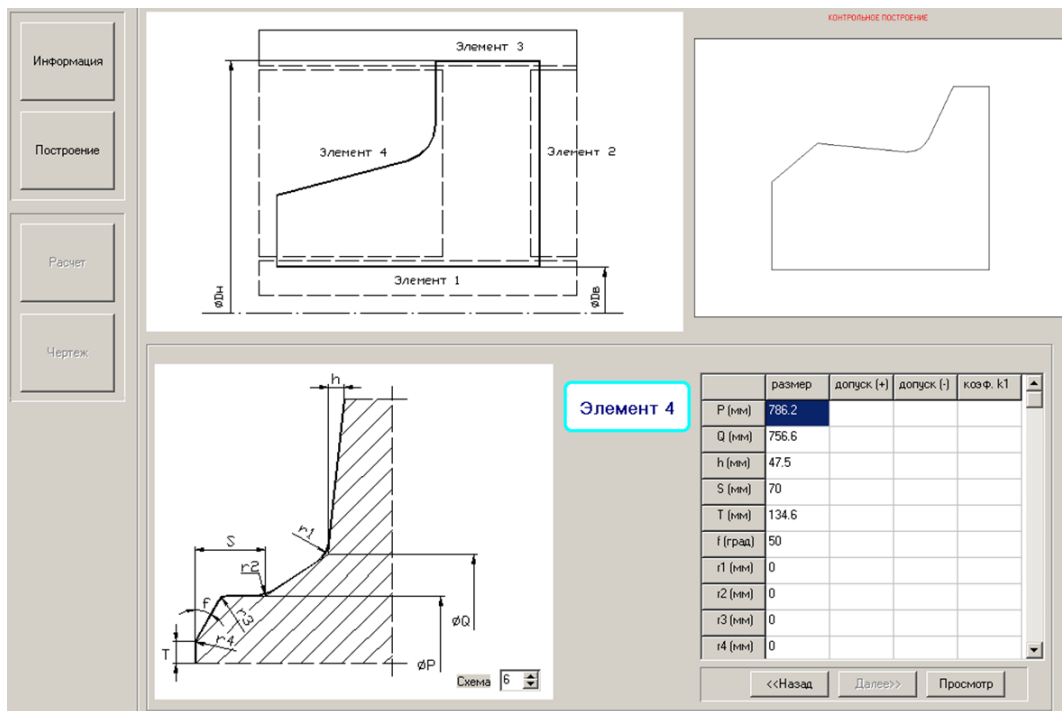


Рисунок 1 – Задание исходной информации для проектирования чистового технологического фланца и его контрольное построение

На его основе затем выполнено проектирование контура сечения чернового фланца с наружным гребнем, прокатанного на кольцепрокатном стане. Вначале по различным элементам профиля задаются номинальные припуски, определяемые припусками на механическую обработку и допускаемыми отклонениями (рис. 2). Припуски назначают с целью устранения дефектного слоя металла и обеспечения требуемых размеров.

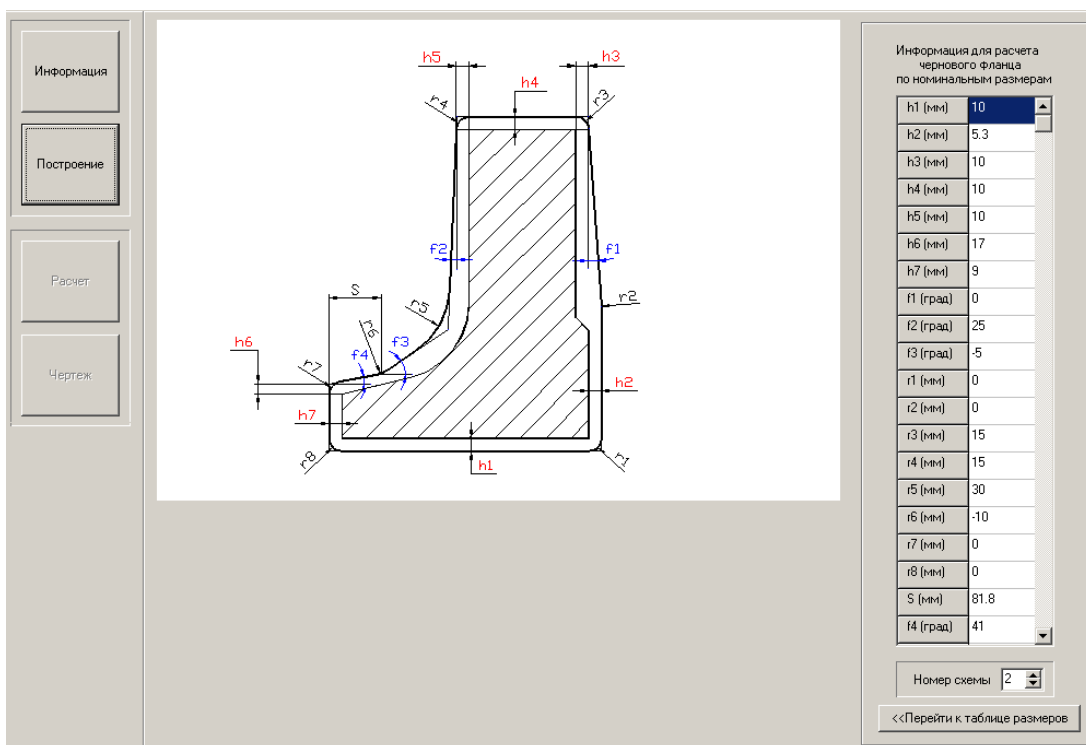


Рисунок 2 – Окно задания номинальных припусков для чернового фланца

После проектирования профиля черного фланца по номинальным размерам назначены допуски на прокатку для размеров, у которых они предусмотрены и выполнено контрольное построение профиля (рис. 3), являющегося калибровкой по металлу для вертикальных валков кольцепрокатного стана.

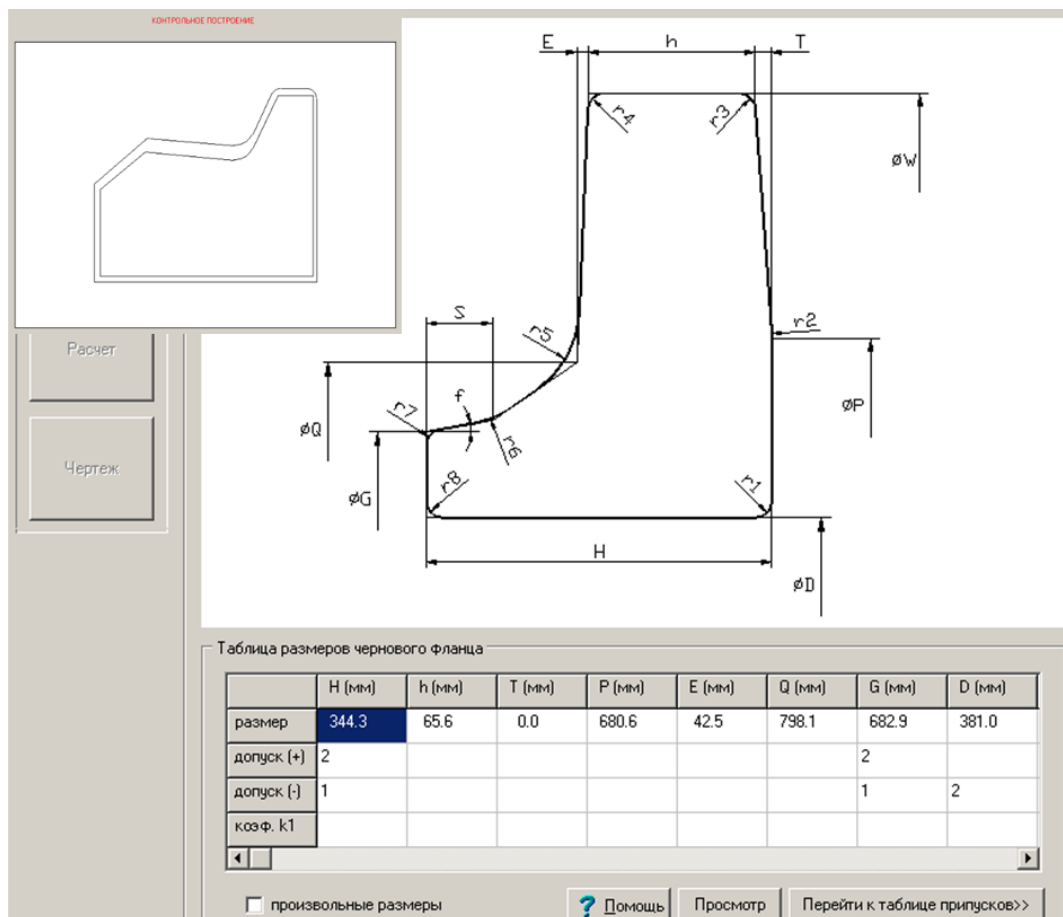


Рисунок 3 – Окно задания поля допусков на прокатку черного фланца

На базе калибровки по металлу для кольцепрокатного стана (на рис. 4 контур показан синим цветом) в автоматизированном режиме с использованием компьютерной программы [3] разработана калибровка по металлу для заготовочного пресса (на рис. 4 контур показан красным цветом).

Проектирование контура штампованной заготовки выполнено с учетом захода её гребневой части в соответствующую часть калибра вертикального приводного вала, что показано в окне контрольного построения на рис. 4. Выполнено также нормирование масс и вытяжек соответствующих частей (гребневых и кольцевых) заготовки и профиля относительно нейтральной сечения, показанного нейтральной линией, что обеспечивает, прежде всего, выполнение высоты гребня при его прокатке.

Определение параметров проектируемой заготовки, в том числе нормирующих заход гребня, выполнено на базе известного технического решения [4], разработанного для условий прокатки колец с наружным гребнем.

Проверка калибровки выполнена путем конечно-элементного моделирова-

ния процесса прокатки кольцевой заготовки (рис.5), реализованного в программной среде DEFORM 3D с использованием шаблона Ring Rolling, который является специализированным модулем, разработанным для моделирования процессов прокатки кольцевых изделий [5-8].

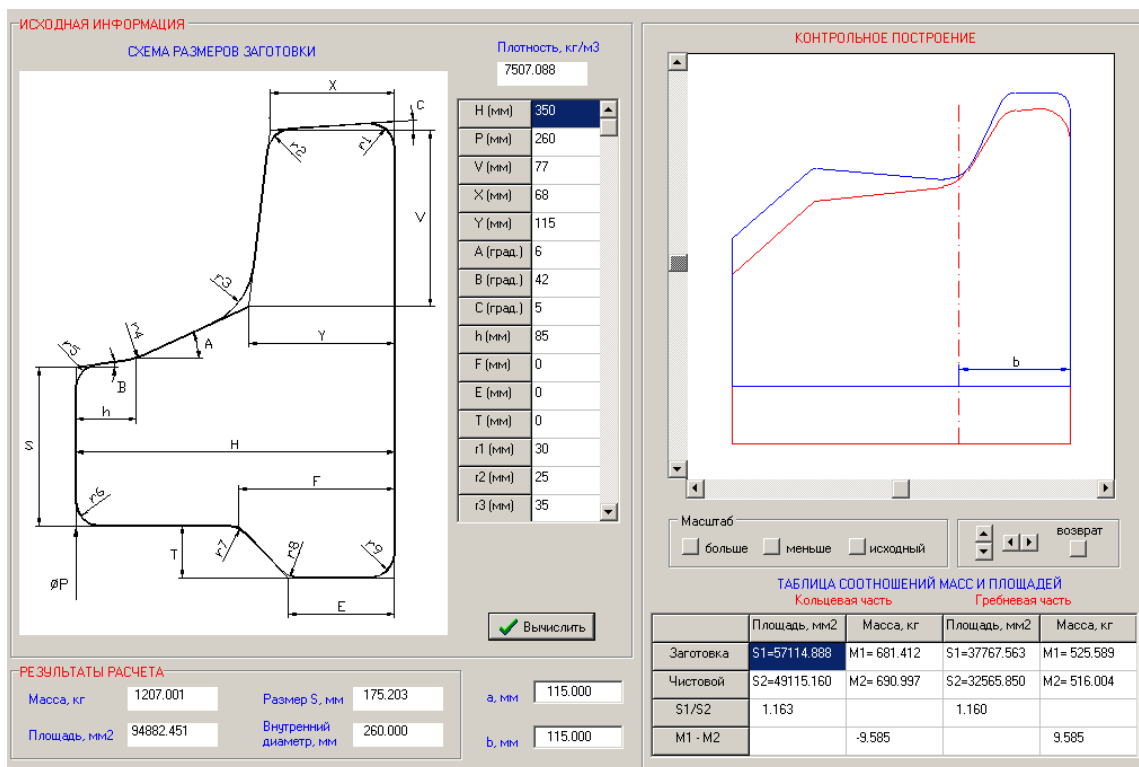


Рисунок 4 – Проектирование калибровки для штамповки заготовки с наружным гребнем на заготовочном прессе

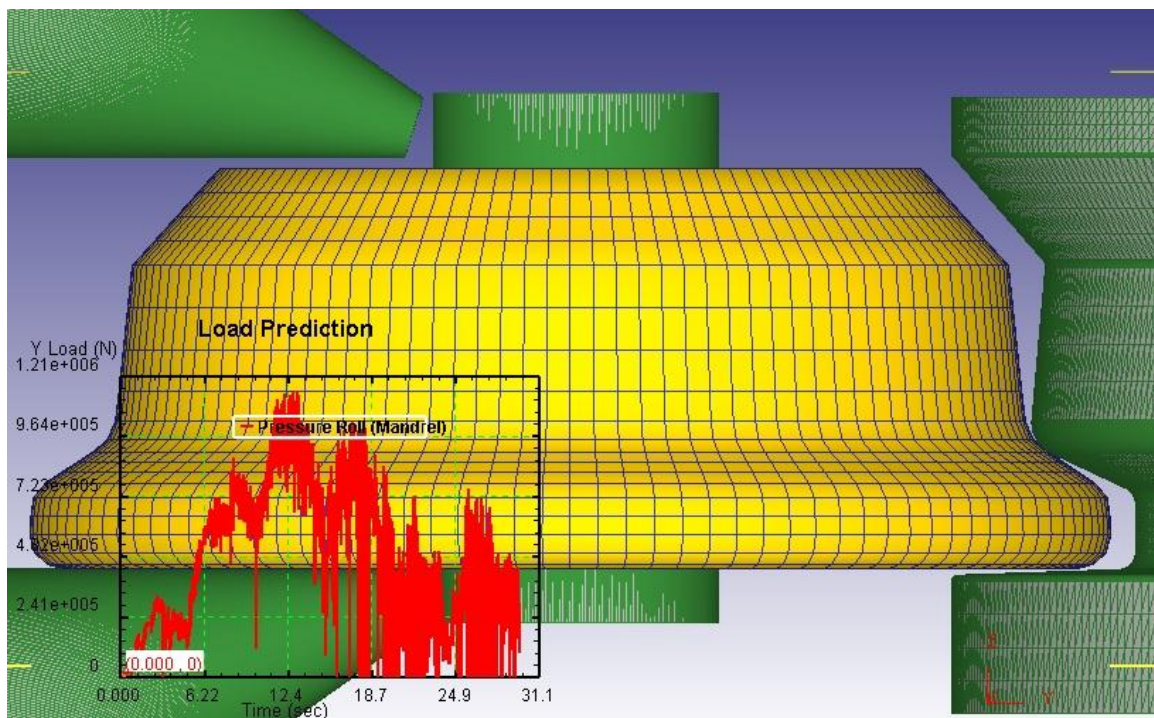


Рисунок 5 – Визуализация моделирования процесса прокатки фланца

Заготовка, показанная на рис. 5 жёлтым цветом, при прокатке формируется между вертикальным приводным валком (справа) и не приводным валком-оправкой (в отверстии заготовки). Обжатие фланца по толщине и соответствующее увеличение его диаметра осуществляется перемещением валка-оправки в сторону приводного вала с помощью гидравлического привода. Два наклонных (конических) вала выполняют обжатие фланца по высоте и установлены диаметрально противоположно вертикальным валкам.

Для кольцевой заготовки использовали пластическую модель материала. В качестве материала использовали конструкционную углеродистую качественную сталь 60. Для расчёта напряжения течения металла использовали методику [9], учитывающую химический состав стали, а также процессы динамического преобразования структуры металла, что крайне необходимо для условий прокатки кольцевых изделий [10]. Для валков выбран недеформируемый тип материала. Дополнительно указаны: направление и скорость перемещения валка-оправки; координаты осей всех валков; скорости вращения приводного вертикального вала и наклонных валков. При моделировании использовали сдвиговую модель контактного трения, предложенную Э. Зибелем. В процессе расчёта учитывалось влияние неравномерного температурного поля заготовки перед прокаткой. Температурный интервал поверхности заготовки составил 1040-1160 °С. Учтён конвективный теплообмен заготовки с окружающей средой (её температура принята равной 20°С, коэффициент свободной конвекции $\alpha_k = 20 \text{ Вт/м}^2 \text{ } ^\circ\text{С}$). В процессе моделирования учтён разогрев инструмента деформации. Температура главного вала равнялась 100 °С, наклонных валков – 150 °С, валка-оправки – 200 °С.

На рис.6 представлены результаты моделирования формоизменения металла (рис. 6 а - в) и график силы прокатки в радиальном очаге деформации (рис. 6 г).

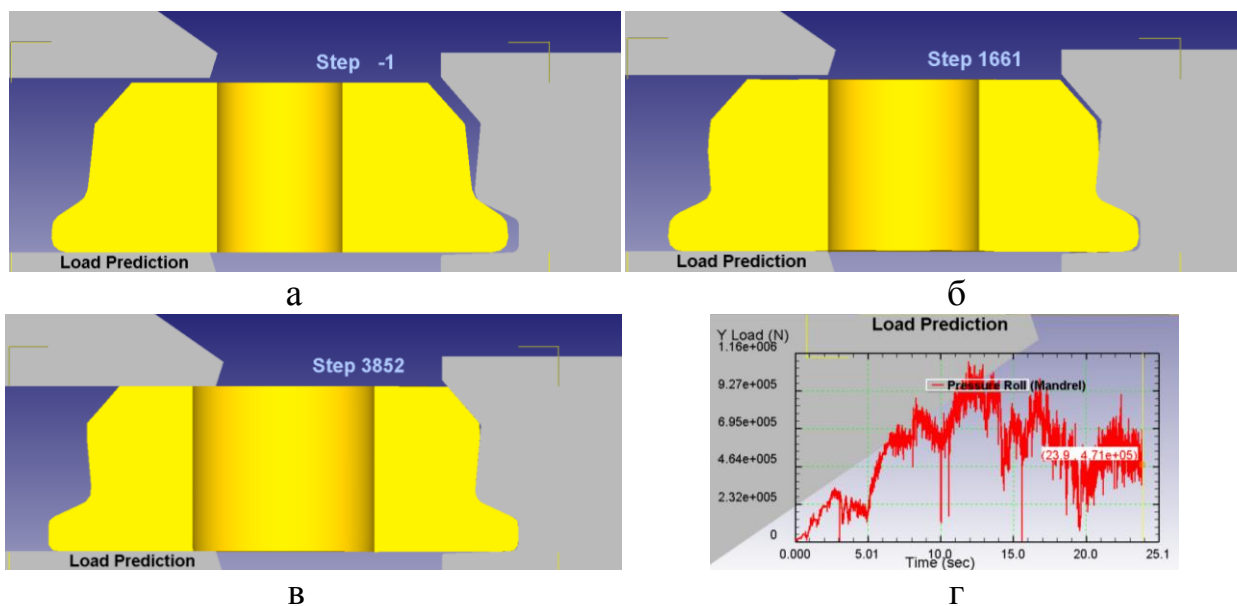


Рисунок 6 – Конечно-элементное моделирование процесса прокатки главного вала колесопрокатного стана на кольцепрокатном стане: а – начальный, б – промежуточный, в – конечный момент прокатки, г – график силы прокатки

На рис. 7 представлены графики сил прокатки в радиальном и осевом очагах деформации, а на рис. 8 представлены графики изменения овальности и разнотолщинности фланца в процессе его прокатки.

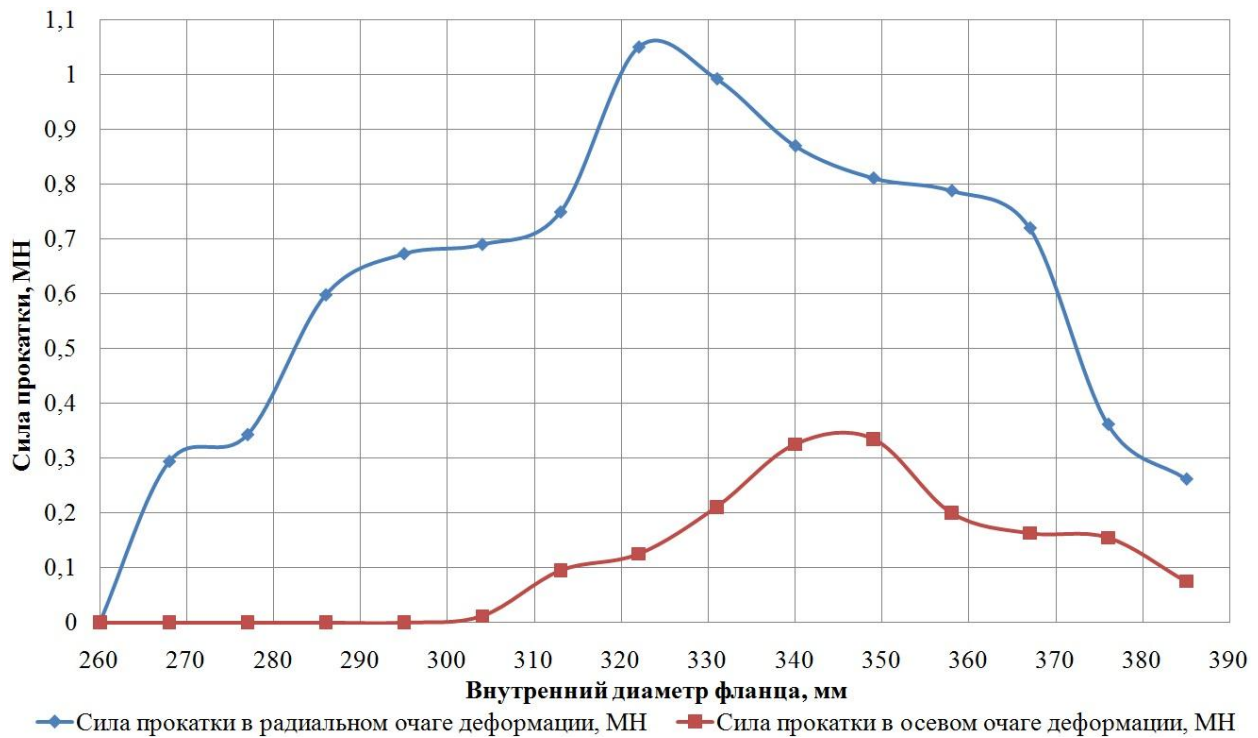


Рисунок 7 – Силовой режим прокатки фланца с наружным гребнем

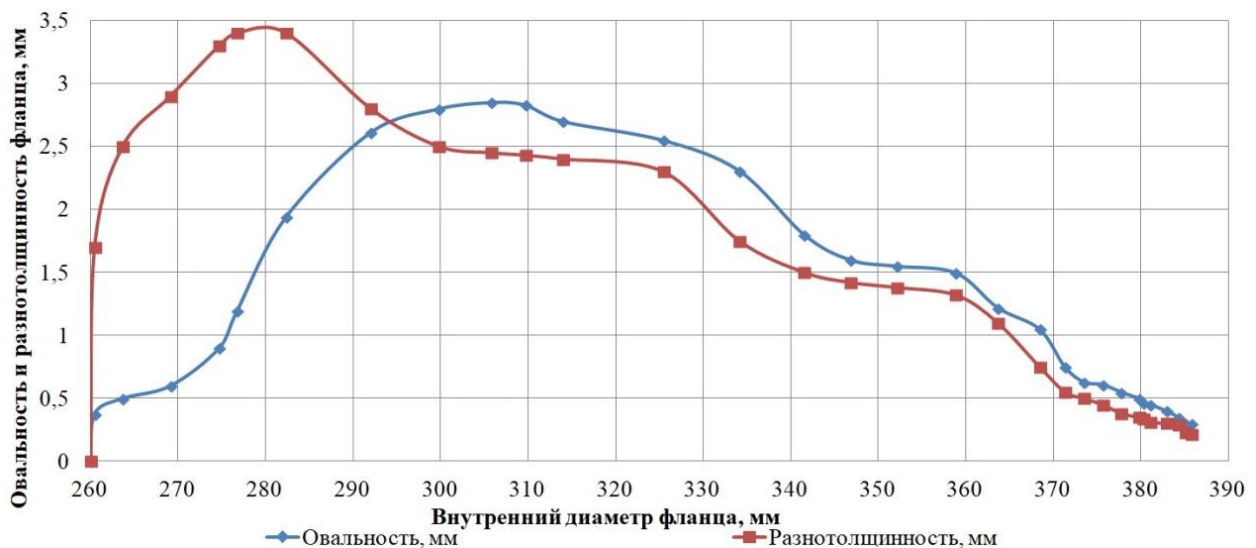


Рисунок 8 – Динамика изменения овальности и разнотолщинности фланца

Анализ результатов моделирования показал, что имеет место заполнение металлом всех элементов калибра, а сила прокатки не превышает допустимое значение, равное 1,5 МН.

На первом этапе прокатки, который соответствует обжатию приводным валком металла в зоне границы между гребневой и кольцевой частями профиля, имеет место плавный рост силы в радиальном очаге. Интенсивный рост силы

происходит при заполнении металлом гребневой части калибра и углубления в кольцевой части калибра. Более равномерное распределение обжатия металла по высоте радиального очага деформации на следующем этапе обусловило снижение силы прокатки.

Высота исходной кольцевой заготовки равна высоте прокатанного фланца. Поэтому наклонные валки обжимают кольцо по высоте только на величину уширения, полученного от радиального обжатия металла. Соответственно, сила в осевом очаге деформации значительно меньше, чем в радиальном очаге деформации (рис. 7).

Сравнительно небольшой диаметр фланца, значительные высота и толщина стенки, а также наличие массивного наружного гребня способствуют образованию жёстких внешних (внеконтактных) зон при прокатке и, соответственно, затрудняют искажение формы и размеров фланца, что является положительным фактором.

На завершающих этапах процесса прокатки величины обжатий и, соответственно, неравномерность деформации плавно снижаются, что обеспечивает уменьшение разнотолщинности, а также овальности фланца (рис. 8).

Разработанная калибровка и представленное (в зависимости от внутреннего диаметра кольца) распределение сил при прокатке в радиальном и осевом очагах деформации обеспечивают не только заполнение металлом фасонного калибра вертикального приводного валка, но и получение требуемого внутреннего диаметра кольца, стабильность размеров которого имеет существенное значение.

Таким образом, прокатка главного валка колесопркатного стана, контур радиального сечения которого представляет собой фланец с наружным гребнем, на кольцепрокатном стане обеспечивает экономию металла и повышение эффективности производства. Выполнено автоматизированное проектирование калибровок для штамповки и прокатки фланцев, а также конечно-элементное моделирование процесса прокатки кольцевой заготовки с гребнем на кольцепрокатном стане с целью разработки рациональных режимов деформации металла.

Режим обжатия металла при прокатке главного валка колесопркатного стана на кольцепрокатном стане определяется разработанными калибровками и графиками сил для радиального и осевого очагов деформации, которые получены путем конечно-элементного моделирования процесса прокатки. Реализация представленного распределения сил в зависимости от диаметра кольца обеспечивает заполнение металлом фасонного калибра вертикального приводного валка и, соответственно, формирование сложной фасонной боковой поверхности профиля, причем при получении требуемого внутреннего диаметра кольца.

Результаты моделирования показали, что имеет место выполнение всех элементов профиля, а сила прокатки в радиальном очаге деформации не превышает допустимое значение. Разнотолщинность и овальность фланца, плавно уменьшаются на завершающих этапах процесса прокатки. Полученные результаты свидетельствуют как о правильности спроектированной калибровки, так и рациональности разработанных режимов деформации.

Библиографический список

1. Яковченко А.В., Снитко С.А., Пилипенко В.В., Ивлева Н.И. Метод автоматизированного проектирования профилей механически обработанных бандажей и фланцев // Ресурсосберегающие технологии производства и обработки давлением материалов в машиностроении. 2017. Т.21, №4. С. 38 - 53.
2. Яковченко А.В., Снитко С.А., Пилипенко В.В., Ивлева Н.И. Метод автоматизированного проектирования профилей черновых бандажей и фланцев // Вестник ДонНТУ. 2019. Т.16, №2. С. 109 - 116.
3. Яковченко А.В., Снитко С.А., Пилипенко В.В., Ивлева Н.И. Метод автоматизированного проектирования калибровок инструмента деформации для штамповки и прокатки фланцев // Инновационные перспективы Донбасса. Инновационные технологии проектирования, изготовления и эксплуатации промышленных машин и агрегатов: материалы 5-ой Междунар. научн.-практ. конф., 21-23 мая 2019 г. Т.3. С. 98-103.
4. А.с. №1733172 СССР, МКИ В 21 Н 1/08. Способ производства кольцевых изделий с наружным гребнем / А.В. Яковченко [и др.]. – №4731311/27; заявл. 11.04.89; опубл. 15.05.92, Бюл. №18.
5. Giorleo L., Giardini C., Ceretti E. Validation of hot ring rolling industrial process 3D simulation // International Journal of Material Forming. 2013. Vol. 6, №1. P. 145-152.
6. Zhou P., Zhang L., Gu S. [et al.]. Mathematic modeling and FE simulation of radial-axial ring rolling large L-section ring by shape axial roll // International Journal of Advanced Manufacturing Technology. 2014. Vol 72, № 5-8. P. 729 - 738.
7. Kang J.H. Research on filling limit of profile ring rolling on circumferential surface // International Journal of Emerging Technology and Advanced Engineering. 2014. Vol. 4, № 12. P. 40 - 45.
8. Deform 3D v6.1 Ring Rolling System Manual. – Columbus: Scientific Forming Technologies Corporation, 2007. - 30 p.
9. Солод В.С., Бейгельзимер Я.Е., Кулагин Р.Ю. Математическое моделирование сопротивления деформации при горячей прокатке углеродистых сталей // Металл и литьё Украины. 2006. № 7-8. С. 52 - 56.
10. Lee K.H., Ko D.C., Kim D.H. [et al.]. Design method for intermediate roll in multi-stage profile ring rolling process: the case for excavator idler rim // International Journal of Processing and Manufacturing. 2014. Vol.15. №3. P.503 - 512.