

**В.М.Кузьмичёв, О.Н.Перков**

## **ПРОИЗВОДСТВО ОСЕСИММЕТРИЧНЫХ ИЗДЕЛИЙ МЕТОДАМИ ОБРАБОТКИ МЕТАЛЛОВ ДАВЛЕНИЕМ**

Целью работы является исследование производства осесимметричных изделий и методов их обработки. Показаны достоинства и недостатки каждого варианта. Проанализированы технологии изготовления осесимметричных изделий методами обработки металлов давлением. Выделены технологические схемы, применение которых возможно в условиях существующих цехов.

**технологии изготовления, осесимметричные изделия, обработка металла, технологическая схема, существующие цеха.**

**Современное состояние вопроса.** Для производства осесимметричных изделий, например железнодорожных колёс, колёсных центров, шкивов, турбинных дисков существует две различные стратегии: производство литьём и производство методами обработки металлов давлением. Целый ряд таких изделий принципиально невозможно изготовить методами обработки металлов давлением. Это изделия, имеющие приливы, рёбра, бобышки, несимметричные выступы и т.д. Такие заготовки производят исключительно литьём. Литьё в кокиль, в графитовые формы и центробежное литьё позволяют получить продукцию достаточно высокого качества и часто применяются. Например, в США до 75% железнодорожных колёс получают методом литья, чаще всего литья в графитовые формы. [1] Тем не менее, наиболее распространённой в мире технологией изготовления осесимметричных изделий, в частности, вагонных колёс и центров для локомотивных колёс, является процесс формообразования с использованием методов обработки металлов давлением –ковки, штамповки и прокатки.

Наиболее широкое распространение, как среди европейских производителей железнодорожных колёс и локомотивных центров, так и в Украине и России, получила технология, сочетающая два вида обработки металлов давлением: штамповку и прокатку.

Применяется несколько технологических схем процесса производства осесимметричных изделий, но все они построены на общем принципе. Центральная часть изделия (ступица и прилегающая к ней часть диска) выполняется штамповкой с дальнейшей раскаткой периферийной части заготовки (обода и прилегающей к нему части диска) по диаметру на колесопрокатном стане.

Включение в состав технологического оборудования колесопрокатного стана обеспечивает значительные преимущества, в частности, позволяет не только сформировать заданный профиль на наружной поверхности обода, но и в 3–4 раза снизить требуемое усилие

формовочного пресса. [2] Такую технологию использует практически все ведущие производители колёс и центров за рубежом, как, например, Sumitomo Metals (Япония), Surahammar Bruks AB (Швеция), GHH-Valdunes (Оберхаузен, Германия), BVV (Bohumer Verein Verkehrstechnik, Бохум, Германия), Rafil (Radsatzfabrik Ilsenburg, Германия), Lucchini (Италия), CAF (Construcciones y Auxiliar de Ferrocarriles, Испания), Vopatrans (Чехия), Taylor Bros and Co (Великобритания), Masteel (Китай). Так же изготавливают колёса в Украине и в России. [2–10]

Прессопрокатные линии, предназначенные для реализации данной технологии, включают в себя несколько прессов (от двух до четырёх), колесопрокатный стан и транспортные средства для передачи заготовки между агрегатами. Схема деформирования заготовки обычно включает в себя предварительную осадку заготовки (на 30–40%) для удаления окалины с боковых поверхностей, осадку в калибровочном кольце, разгонку центральной зоны заготовки для распределения объёмов металла между отдельными элементами изделия, формовку ступицы и прилегающей к ней части диска окончательно, а обода и другой части диска предварительно, прокатку обода и части диска на колесопрокатном стане, калибровку обода по ширине и диаметру, выгибку диска и прошивку отверстия в ступице готового изделия.

Отличия различных технологий состоят, прежде всего, в количестве прессов и их мощности, в степени распределения операций между ними, а также в выборе момента, когда прошивается центральное отверстие в ступице, и типе применяемого колесопрокатного стана.

Количество и мощность прессов в линии по производству колёс влияет, прежде всего, на её производительность. Наличие отдельных прессов для предварительной осадки заготовки и для её формовки позволяет распределить операции между агрегатами и, тем самым, существенно повысить часовую производительность линии.

Совмещение нескольких операций на одном прессе не обеспечивает достижение высокой часовой производительности линии, но позволяет не только существенно снизить капитальные затраты на строительство колесопрокатного цеха, оборудование и средства перемещения заготовки между агрегатами, но и сократить расходы на его содержание и обслуживание. Именно по этой причине производство колёс в большинстве зарубежных колесопрокатных цехов организовано именно по этой схеме. Примером такого решения могут служить новая, наиболее современная на сегодняшний день колесопрокатная линия Нижнетагильского металлургического комбината (НТМК, г. Нижний Тагил), запущенная в эксплуатацию в 2005 году. Оборудование создано и изготовлено немецкой фирмой «Wagner-Banning Ring Rolling» – подразделением корпорации SMS Demag. Линия является гибкой деформационной системой со строгим контролем технологического процесса. В состав оборудования входят три пресса (усилием 50 МН,

90 МН и 50 МН) и колесопрокатный стан вертикального типа. Транспортировку заготовки по технологической линии обеспечивают 7 грузочно–разгрузочных манипуляторов. Оборудование линии позволяет работать в двух различных режимах:

- работа с использованием двух прессов, когда нет необходимости в высокой производительности;
- работа с использованием трёх прессов, обеспечивающая более высокую производительность линии. [7,8]

Ввиду значительной потребности в цельнокатаных железнодорожных колёсах, в СССР в начале 70–х годов прошлого века на Выксунском металлургическом заводе (г. Выкса Горьковской области) и Нижнеднепровском трубном заводе (Днепропетровск) построены два колесопрокатных цеха с максимальным распределением операций между агрегатами. В колесопрокатной линии установлены 4 прессы, что обеспечило производительность 650 000 колёс в год. Всё оборудование спроектировано и изготовлено УЗТМ (Свердловск).[4]

Вторая отличительная черта различных технологий производства колёс – это выбор в технологической цепочке момента для прошивки отверстия. Отверстие в заготовке может прошиваться в трёх фазах технологического процесса:

- прошивка в начале цикла деформирования, после разгонки центральной зоны заготовки пуансоном. В этом случае, отверстие можно использовать для центрирования заготовки перед формовкой и отпадает необходимость в специальных центрователях. Наличие отверстия после данного этапа деформирования позволяет на всех последующих этапах деформирования использовать его для транспортировки заготовки между агрегатами. Отверстие позволяет, при необходимости, осуществлять прокатку заготовки с использованием оправки. Кроме того, прошивка на этом этапе деформирования позволяет своевременно удалить наиболее загрязнённую примесями центральную зону заготовки, не давая ей «расползтись» по сечению в процессе формовки.
- прошивка отверстия после формовки заготовки. Такой выбор момента прошивки позволяет получить более точную конфигурацию ступицы. Отверстие позволяет производить прокатку заготовки на оправке и удобно для транспортирования заготовки на колесопрокатный стан и далее по технологической линии;
- прошивка после калибровки обода колеса и выгибки диска, позволяет равномерно распределить операции между агрегатами и, таким образом, повысить производительность линии. С другой стороны, такой выбор момента прошивки требует наличия для транспортирования заготовки по технологической линии специальных переключателей, центрователей и манипуляторов. Кроме того, при прошивке заготовки на этом этапе, металл уже потерял температуру и эта операция требует прессы с несколько большим усилием.

В случае использования для производства колёс или центров комбинированного процесса задачей прессовых операций является получение качественного полупродукта для прокатки. Этот полупродукт представляет собой заготовку, в которой окончательно выполнены ступица и прилегающая к ней часть диска, а также подготовлен кольцевой объём металла для дальнейшей раскатки его в обод колеса, колёсного центра, шестерни и т.д. Технологические схемы штамповки отличаются в соответствии с принятой схемой деформирования и наличием и мощностью имеющегося прессового оборудования.

К сожалению, применение колесопрокатного стана в технологической схеме производства колёс хоть и расширяет технологические возможности производственной линии, чревато появлением таких дефектов, как несоосность ступицы и обода, резкий переход от штампованной к прокатанной части диска колеса, плёны, закаты и т.д. Отказ от использования колесопрокатного стана позволил бы избавиться от всех перечисленных дефектов, приводящих к достаточно значительной отбраковке колёс.

В современной промышленности широко известны схемы производства осесимметричных изделий типа вагонных колёс и колёсных центров путёмковки или штамповки, без использования колесопрокатного стана. Так, начиная с середины 20-х годов прошлого века процесс изготовления железнодорожных колёс и центров штамповкой на молотах из заготовок, отлитых в кокиль, применялся в Великобритании фирмой «Powell-Brett». Форма исходных заготовок показана на рис.1, а кованных центров на рис.2.

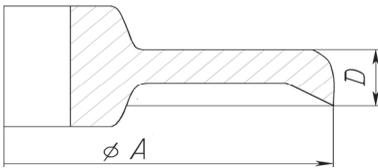


Рис.1 Заготовка для производства колёс и колёсных центров. (Powell-Brett)

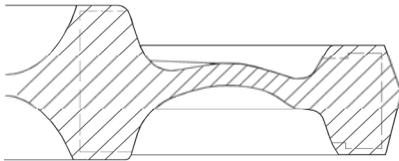


Рис.2. Готовая поковка локомотивного центра. (Powell-Brett)

Штамповка производилась на паровоздушном молоте с весом падающих частей 24 тонны. Вес каждого штампа составлял около 5 т. Каждое колесо оформлялось за 30–35 ударов, за 8 часов работы получали около 30 колёс. [6,9] Как видно (рис.2), размеры откованной черновой заготовки существенно отличаются от чистовых, заготовка нуждается в достаточно большом объёме механической обработки. Кроме того,

широкая номенклатура выпускаемой продукции потребовала от фирмы значительного количества различной оснастки (отдельных кокилей и штампов для каждого вида продукции), что потребовало больших затрат. В связи с этим такой технологический процесс не получил широкого распространения.

В период второй мировой войны американская фирма «Chambersburg» создала парк мощных молотов, что дало ей возможность производить на этом оборудовании и железнодорожные колеса. Вначале ковались колеса небольших диаметров, накопленный опыт позволил перейти к ковке железнодорожных колес для вагонов широкой колеи. Колёса производятся на двух молотах с массой падающих частей 11,34 и 15,87 т. Технологическая схема изготовления колёс на заводах фирмы «Chambersburg» приведена на рис.3.

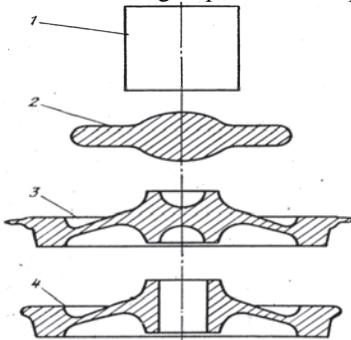


Рис.3.Схема производства колес на заводе фирмы «Chambersburg», США:  
1 – заготовка; 2 – осадка и раздача на молоте 11,34 тс;  
3 – формовка на молоте 15,87 тс; 4 – прошивка отверстия и обрезка заусенцев

Проведенные фирмой исследования показали, что механические свойства металла, точность геометрических размеров и экономическая эффективность процесса штамповки в сравнении со штамповкой в сочетании с прокаткой имеют ряд преимуществ: меньший расход металла за счет снижения допусков и припусков на размеры колес, возможность легко осуществлять контроль этих размеров в процессе изготовления изделий, существенное снижение дисбаланса колес и дефектов (плен, закатов) на их поверхности, упрощение технологического процесса вследствие сокращения количества агрегатов и операций, более благоприятное расположение волокон в поверхностном слое обода, в результате чего значительно повышается износостойкость колес (до 50%). [4,6,9]. Имеются и другие примеры такого производства, только штамповкой производит колёса малого диаметра, например, фирма «Kafl» (Франция, г. Лефренкук). [3,4,5,11]. Опыт производства колёс ковкой без прокатки имеется и в СНГ. Центры и колёса малого диаметра (колёса мостовых кранов, различных тележек и пр.) зачастую производятся ковкой или штамповкой без прокатки. На протяжении многих лет на Ступинском металлургическом комбинате (СМК, г. Ступино, Московской

области, Российская Федерация) колёса для вагонов узкой колеи изготавливают методом штамповки на молотах.

Весьма привлекательной является перспектива производства осесимметричных изделий путём объёмной штамповки на мощных прессах. Такая технология, если её применить при производстве железнодорожных колёс и колёсных центров, позволит:

- снизить расход металла;
- уменьшить допуски (отклонения) на размеры изделий, в результате чего значительно сокращается их механическая обработка;
- полностью ликвидировать эксцентриситет ступицы относительно обода и существенно уменьшить дисбаланс колеса;
- избавиться от закатов и плен на поверхности изделия;
- устранить многие дефекты диска колёс: резкий переход, шероховатость, неравномерная конусность;
- упростить технологический процесс за счет уменьшения количества агрегатов и, соответственно операций;
- улучшить механические свойства продукции;
- повысить производительность за счет снижения трудозатрат и уменьшения числа рабочих;
- обеспечить возможность штамповки на том же оборудовании изделий различных конструкций, повысить гибкость процесса;
- за счёт лучшего расположения волокон в поверхностном слое колес их износостойкость повышается на 60%.

Главной особенностью процесса является то, что диаметр осесимметричных изделий, которые можно производить таким путём, напрямую зависит от мощности используемого оборудования.

**Целью работы** является исследование производства осесимметричных изделий и методов их обработки.

**Методика исследования.** Расчёты усилия, необходимого для штамповки полномерных железнодорожных колёс  $\varnothing 950$  мм, выполненные методом линий скольжения, показали, что при штамповке с односторонним течением металла в реборду, требуется усилие прессы 327–380 МН. При штамповке с двухсторонним течением металла в реборду и в компенсатор, предусмотренный в ступице, требуется усилие 194–226 МН.

Согласно результатам проведенных на СМК натурных исследований, для изготовления железнодорожных колёс  $\varnothing 957$  мм вполне достаточно усилия 177–216 МН. [9,12,13,14]

В 70–80 годы прошлого века в СССР были проведены исследования, обосновавшие применение для штамповки железнодорожных колёс прессы большой мощности. Исследование провели совместно Завод–ВТУЗ при ЗИЛе, НТМК и Ступинский металлургический комбинат (СМК). Работы выполнялись на двух предприятиях: на НТМК и СМК. В

колесопркатном цехе НТМК производили предварительную штамповку заготовки на прессе усилием 30 МН, после чего заготовку охлаждали и передавали на СМК, где заготовку нагревали в электрической муфельной индукционной печи и осуществляли окончательную штамповку колеса на мощном прессе усилием 300 МН. Дальнейшую термическую и механическую обработку выполняли по существующей технологии.

Исследование опытной партии колёс (36 штук) убедительно показали:

- макроструктура цельноштампованных колёс, по сравнению со структурой серийных штампованных колёс, более равномерная по всему сечению и отличается повышенной мелкозернистостью, особенно в ободе. В ободе нет остатков дендритов, расположение волокон радиальное;
- механические свойства штампованных колёс по всем параметрам не ниже средних свойств серийных катаных колёс и более стабильны;
- точность размеров штампованных колёс выше, чем у катаных;
- полное отсутствие эксцентриситета ступицы относительно обода и низкие величины дисбаланса колеса;
- переход на штамповку позволит снизить затраты металла на одно колесо не менее, чем на 20 кг, за счёт уменьшения припусков.

Подобные исследования проведены и в США. Доказано, что процесс штамповки имеет ряд преимуществ: меньший расход металла, уменьшение допусков и припусков на размеры колёс, возможность легко осуществлять контроль колёс всех размеров, отсутствие плён на поверхности колеса, упрощение процесса вследствие сокращения числа агрегатов и операций, возможность получения колёс любых конструкций, лучшее расположение волокон в поверхностном слое колёс. В США такой технологический процесс не нашёл применения из-за дороговизны мощного прессового оборудования и значительной конкуренции со стороны производителей литых колёс. [5] В Украине и России технологическая схема производства железнодорожных колёс и локомотивных центров исключительно штамповкой не получила широкого распространения прежде всего из-за дефицитности и уникальности мощных прессов усилием 180–220 МН.

Вторым существенным аргументом против применения подобной технологии являются высокий уровень контактных давлений на полотна штампов приводящий к быстрому износу последних, что ставит на повестку дня вопрос разработки и выбора новых сталей для изготовления инструмента деформации. Данные аргументы и обусловили дальнейшие поиски технологических схем, направленные на повышение производительности линий по производству колёс, на повышение точности размеров и качества металла изделий.

Ввиду дефицитности прессового оборудования большой мощности, в СССР в 60–х годах прошлого века разработаны и опробованы для производства осесимметричных изделий (железнодорожных колёс) без применения прокатки такие методы, как последовательная штамповка (НТМК, Уральский Политехнический Институт, НИПИГормаш) [9,12,13] и секционная штамповка (ЦНИИТмаш) [4,9,12,14].

Исследования, проведенные на Нижнетагильском металлургическом комбинате (НТМК) показали, что недостатками метода изготовления колёс секционной штамповкой является низкая производительность, несоизмеримая с производительностью существующих прессо–прокатных линий, сложность в изготовлении и наладке секционных штампов, а также необходимость в мощных трёхходовых прессах. [9,12,16,23] Применение технологии последовательной штамповки различных участков изделия в нескольких штампах также нерационально, так как не обеспечивает необходимого высокого уровня производительности и точности размеров колёс. [4,9,22]

Эти работы, несмотря на преимущества цельноштампovaných колёс перед штампокатаными, показали, что применение методов последовательной либо секционной штамповки в существующих цехах приводят к снижению производительности оборудования и качества продукции. [4,9,16] Поскольку максимальные производительность линии и точность геометрии изделий обеспечиваются при изготовлении за один ход пресса, исследования в направлении получения высококачественных осесимметричных изделий типа железнодорожных колёс и колёсных центров продолжались.

За последние годы разработаны и опробованы новые схемы пластической деформации осесимметричных изделий типа вагонных колёс и локомотивных центров. С точки зрения производства изделий, по массо–габаритным параметрам соответствующим вагонным колёсам и центрам для локомотивных колёс, наиболее перспективными представляются:

- штамповка с кручением;
- сферодвижная штамповка (прокатка в станах системы Слика, торцовая раскатка, прокатка в штампах, близкий к ним процесс AGW);
- поэлементная деформация (штамповка).

Работы по изучению такого технологического процесса, как осадка с кручением начались в 50–60–х годах прошлого века. Активные исследования в данном направлении проводили учёные Уральского политехнического Института (Сейчас это Уральский Государственный технический Университет – УПИ) из Екатеринбурга (Свердловск). Г.Д. Полосаткин, одним из первых исследовавший процесс осадки с кручением (осадки с вращением пуансона), установил, что вращение пуансона позволяет уменьшить усилие осадки на 10% и, в то же время,

вращение одного или обоих пуансонов позволяет уменьшить неравномерность деформации. [18]

**Результаты исследования.** Как теоретический анализ, так и результаты экспериментальных исследований показывают, что:

- использование кручения при осадке или штамповке приводит к существенному снижению усилия (по разным источникам от 2,5 до 4,5 раз);

- максимальное снижение усилия наблюдается при осадке низких образцов с большим отношением  $D/H$ ;

- металл стальных образцов, подвергнутых осадке с кручением, характеризуется более качественной структурой, а также увеличением износостойкости и контактной долговечности;

- существенно улучшается течение металла в труднозаполняемые участки гравюры штамповочного ручья; [18–24]

Исследования в данном направлении проведены и в ИЧМ. В ходе экспериментов на свинцовых образцах, установлено, что, при штамповке с кручением модельных крановых колёс усилие снижается в 1,4–1,6 раза по сравнению с обычной штамповкой. Оптимальное значение отношения угла поворота бойка к степени деформации по высоте равно 4–6. Показано, что для штамповки кранового колеса  $\varnothing 300$  мм достаточно усилия пресса 12,5 МН. Качество модельных колёс хорошее: размеры соответствуют номинальным, выполнение всех элементов полное, поверхностные дефекты отсутствуют [24]. Схема приспособления для моделирования процесса получения крановых колёс путём штамповки с кручением на свинцовых образцах показана на рис.4.

Исследователи пришли к следующему выводу: снижение усилия при прокатке с кручением по сравнению с обычной осадкой объясняется снижением нормальных напряжений преимущественно у центра контактной поверхности, т.е. при кручении срезается купол эпюры этих напряжений, связанный с подпирающим действием напряжений контактного трения при обычной осадке. Этот эффект в значительной мере способствует повышению стойкости штампов в их центральной части. [22] Кроме того, дополнительные тангенциальные сдвиги в объёме заготовки при неизменной относительной высотной деформации значительно повышают общую степень деформации и, следовательно, способствуют лучшей проработке литой структуры. Интенсивные сдвиговые деформации при схеме напряжённого состояния, близкой к всестороннему сжатию, благоприятствуют устранению литейной пористости металла. Заварка внутренних пор литейного происхождения методами прокатки всегда проблематична. [23]

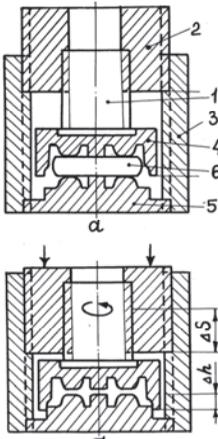


Рис.4. Схема моделирования получения крановых колёс путём осадки с кручением  
а – начальный момент штамповки; б – окончание штамповки.

На схеме: 1. – винт; 2.– гайка, со шлицами на наружной поверхности; 3.– корпус со шлицами на внутренней поверхности, состоящий из двух частей (верхней и нижней) с зубчатым зацеплением; 4. – верхний штамп; 5. – нижний штамп; 6.– заготовка. На нижнем торце винта 1 имеется шлицевое соединение для крепления верхнего штампа 4. нижний штамп 5 крепится к нижнему торцу корпуса также с помощью шлицевого соединения.

Эффект снижения осевого усилия при осадке тем больше, чем больше интенсивность скручивания заготовки в процессе осадки, а, при больших углах скручивания (2,5–3,0 рад.) наблюдается тангенциальное проскальзывание металла относительно контактной поверхности инструмента. Кроме того, при штамповке изделия типа железнодорожного колеса необходимо приложение к штампам крутящего момента порядка 2,0...3,0 МН·м. Прессы традиционной конструкции не могут воспринимать боковое усилие на колонны, поэтому столь значительный крутящий момент должен быть уравновешен не конструкцией прессы, а конструкцией крутильного устройства, установленного на рабочий стол прессы. [22]

В 1908 г. в США для производства тел вращения, в частности колёс и колёсных центров разработан процесс прокатки в штампах. Заготовка крепилась в одном из штампов на специальной оправке. (рис.5) В США такая технология использовалась, но была вытеснена литьём и другими более высокопроизводительными процессами. [2]

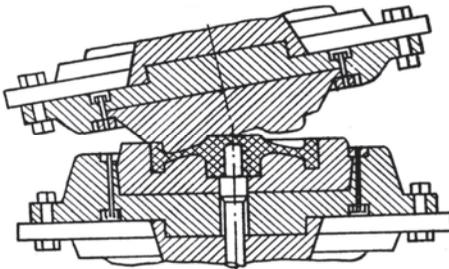


Рис.5.Прокатка колёсных центров в штампах.

В последние годы аналогичный технологический процесс активно рекламируется некоторыми зарубежными фирмами. Так, например,

немецкая фирма «Tyssen Maschinenbau Wagner Dortmund» (Германия) под названием AGW (Axial Closed Die Rolling Machines) выпустила на рынок линейку машин для раскатки заготовок в штампах. [25–27]

Детали, полученные с помощью процесса AGW, помимо иных преимуществ имеют весьма высокую точность размеров и упрочнённый поверхностный слой, что положительно сказывается на их ресурсе. Кроме того, изготовители оборудования гарантируют снижение энергетических затрат, уменьшение объёма механической обработки за счёт снижения припусков на обработку и высокого качества поверхности, а, следовательно, и экономию металла до 25%. Технологический процесс заключается в том, что предварительно осажённую на прессе заготовку прокатывают на окончательную форму и размеры во вращающихся и наклонённых друг к другу штампах. Общая деформация осуществляется в результате локального, последовательного и многократного воздействия штампов на заготовку, в результате чего деформируемые участки ее подвергаются последовательному пульсирующему нагружению. Таким образом, уменьшение контактной поверхности, пульсирующий характер нагрузки и изменение схемы действия сил в зоне очага деформации оказывают большое влияние на изменение условий контактного трения, значительно снижают удельное давление и позволяют в 10–20 раз уменьшить требуемое технологическое усилие. Благодаря наклонному положению инструмент только частично контактирует с заготовкой. На рис.6 приведена схема деформирования и схема очага деформации при раскатке в штампах.

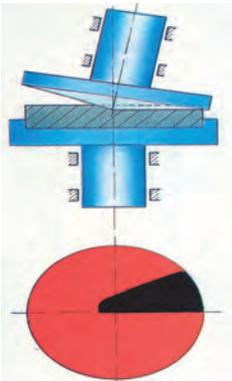


Рис.6. Схема деформирования и конфигурация очага деформации при раскатке на машинах AGW

Благодаря наклонному положению инструмент только частично контактирует с заготовкой. Под действием нагрузки поверхность соприкосновения инструмента и заготовки приобретает параболическую форму. Вследствие вращения инструмента образуется полу-параболический очаг деформации. При реализации таких процессов, главное требование к заготовке – минимальный разовес. Ориентировочная скорость вращения штампов в процессе AGW – 200, 300, 500 об./мин, разгон и торможение – плавные. Время прокатки одного изделия – 10–20 сек., обжатие за оборот – 0,5–2,0 мм. Вертикальное усилие при изготовлении изделий диаметром до 1000 мм – 20 МН.

Точность изделий весьма высокая и зависит от точности массы исходных заготовок. [25–26]

Установки AGW для производства фланцевых профилей диаметром 200–2000 мм фирма «Wagner Banning» (ФРГ) производит и поставляет заказчикам с 1985 г. Фирма–производитель предлагает данный процесс и разработанное ею оборудование для производства железнодорожных колёс и локомотивных центров. С учётом того, что применение для раскатки на агрегатах AGW заготовки, полученной путём порезки непрерывнолитого слитка на пилах холодной резки, радикально решает вопрос развеса заготовок, снижая его до величин 1,0...1,5 кг, использование процесса AGW для этой цели можно считать весьма многообещающим.

Перспективность данной технологии подтверждается ещё и тем, что известная японская корпорация «Sumitomo Metals» разработала аналогичный технологический процесс «SIRD» (Sumitomo Inclined Rotary Dishing) специально для производства железнодорожных колёс. Новый агрегат установлен на заводе фирмы в г. Осака и запущен в 2011 году. О высоком качестве продукции получаемой с использованием процесса SIRD свидетельствует тот факт, что на этом оборудовании предполагается в первую очередь выпускать колёса для скоростного поезда «Shinkansen».

Метод сферодвижной штамповки предложен в СССР в 50–60–х годах прошлого века ленинградским изобретателем А.Н. Силичевым. В Европе сферодвижная штамповка в последние годы широко пропагандируется швейцарской фирмой «Schmid». Сущность сферодвижной штамповки состоит в том, что одна из половин штампа получает круговые сферические колебания, а рабочее давление при этом колебании передаётся на малую часть поверхности заготовки и деформация её происходит по принципу торцевой раскатки, но без вращения обеих частей штампа и заготовки. Главное отличие сферодвижной штамповки от процесса AGW состоит в том, что при реализации процесса AGW оба штампа совершают простое движение: вращаются вокруг своих осей, наклонённых друг к другу, обеспечивая обкатку заготовки и малую площадь контакта. При реализации сферодвижной штамповки нижний штамп неподвижен, а верхний штамп вращается вокруг оси, которая описывает коническую, по отношению к оси нижнего штампа, траекторию, тем самым также обеспечивая обкатку заготовки и малую площадь контакта. [27–29]

Сферодвижный прессователь (рис.7.) имеет вертикальную станину, внутри которой выполнены полости для размещения двух гидроцилиндров. Главный гидроцилиндр 7 размещен в верхней части станины, а вспомогательный гидроцилиндр 12 установлен внизу. Матрица 2 смонтирована на станине непосредственно над вспомогательным гидроцилиндром. В средней части станины размещен сферодвижный механизм, являющийся главным рабочим органом прессователя. Корпус 6

этого механизма выполнен в виде короба с толстыми стенками, а внутри корпуса залито масло.

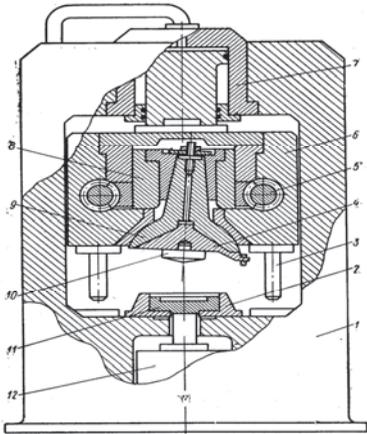


Рис.7. Конструктивная схема сферодвижного прессователя

В таком конструктивном исполнении корпус механизма служит закрытым картером, в котором обеспечиваются обильная смазка и охлаждение деталей при работе. В корпусе 6 размещены главные детали и звенья сферодвижного механизма — водило 9, червячное колесо со ступицей 8 и два червяка 5. Водило 9, жестко соединенное с подштамповой плитой 4, и пуансон 10 образуют вместе исполнительное звено механизма. Кинематическая ось этого звена имеет наклон  $3^\circ$  и пересекается с главной вертикальной осью механизма в центре сферы. Корпус 6 оснащен направляющими колонками 3, а на его задней стороне смонтированы переходная плита и два электродвигателя, имеющие соосное соединение с червяками 5. Сферодвижный прессователь оснащен индивидуальным маслоблоком и гидронасосом, которые обеспечивают действие гидроцилиндров 7 и 12. На рабочем участке около прессователя установлены устройства, предназначенные для механизации вспомогательных операций по укладке и удалению заготовок. В матрице 2 показана деталь 11, полученная в результате штамповки [29]. Как видно из рисунка, конструкция сферодвижного прессователя достаточно сложна, особенно, если учитывать, что к штампам агрегата должны быть приложены большие усилия.

Ещё одной перспективной для производства осесимметричных изделий типа вагонных колёс и колёсных центров является, на наш взгляд, технология поэлементного деформирования (поэлементной штамповки) (рис.8). Технология разработана Институтом чёрной металлургии НАН Украины и Нижнеднепровским трубопрокатным заводом им. К. Либкнехта и может быть реализована в существующих колесопрокатных цехах. Преимуществом данной технологии является возможность применение такой технологии в существующих колесопрокатных цехах. На формовочном прессе штампуется полномерный диск, на колесопрокатном стане оформляются наружная и боковые поверхности обода и затем на двухходовом выгибном штампе первым ходом в штампах зажимается диск и, при зажатом штампами

диске, выполняют формовку ступицы путём внедрения прошивного пуансона. Отверстие в ступице прошивают на отдельном прошивном прессе (см.рис.9). При такой технологии предусматривается получение более точных по размерам и конфигурации диска и ступицы изделий, более тщательное заполнение всех деталей полостей штампов.

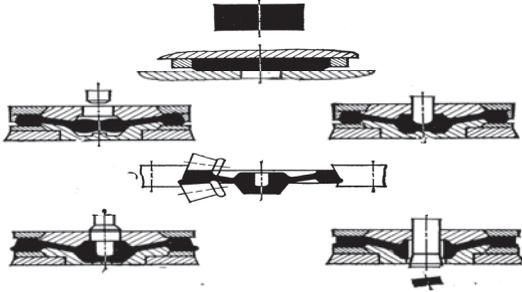


Рис.8. Схема поэтапного деформирования заготовок при производстве колёс

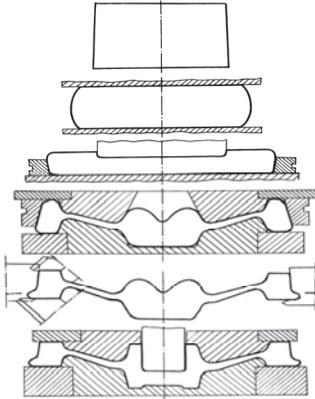


Рис.9. Схема поэтапной деформации колёс в применении к существующим цехам

Выполнение на колесопрокатном стане только обкатки обода с целью получения требуемого профиля, без раскатки по диаметру, позволяет избавиться от имеющих место в настоящее время таких дефектов прокатного происхождения, как эксцентриситет ступицы относительно обода, резкий переход от штампованной к прокатанной части диска, шероховатость диска у обода, плёны и закаты на ободе, являющиеся следствием раскатки диска на стане. Не вызывает проблем получение диска с переменной, равномерно уменьшающейся к ободу, толщиной и любой конфигурации. Кроме того, такая технология менее чувствительна к разновесу заготовок, который неизбежен при использовании слитков, отлитых в изложницы и разрезанных на заготовки на слиткоразрезных станках. Практически вся дефектная центральная зона заготовки полностью попадает в выдавку. Важным фактором повышения качества колёс является устранение отдельного процесса выгибки диска. При стандартной технологии выгибка диска выполняется после всех прессо–прокатных операций при пониженной температуре диска, что приводит к увеличению остаточных напряжений в металле диска. Эта технология опробована на нескольких партиях колёс в условиях действующего колесопрокатного цеха и показала

удовлетворительные результаты: достаточная точность выполнения размеров ступицы, диска и обода, отсутствие дефектов прокатного происхождения. Замеренное усилие формовки полномерного диска не превышало 84 100 МН, усилие формовки ступицы 4 350 МН. [30]

**Заключение.** Анализ известных способов производства железнодорожных колёс показал, что каждый вариант имеет свои достоинства и недостатки. Показано, что технология поэлементного деформирования (поэлементной штамповки) для производства осесимметричных изделий типа вагонных колёс и колёсных центров является перспективной и может быть реализована в условиях действующих цехов. Такая технология опробована на нескольких партиях колёс в условиях действующего колесопрокатного цеха и показала удовлетворительные результаты.

1. *Lonsdale C., Norton M, Osuch K., Wood L.G.* Worldwide Application of Cast Steel Wheel Technology for the Global Railway Industry // Proceedings of 16<sup>th</sup> International wheelset Congress, Cape Town, 14<sup>th</sup>–18<sup>th</sup> March, 2010
2. *Шифрин М.Ю., Соломович М.Я.* Производство цельнокатаных колёс и бандажей. – М.: Металлургия, 1954. – 500с.
3. *Бибик Г.А.* Производство железнодорожных колёс за рубежом. / Г.А.Бибик, М.И.Староселецкий, М.С.Валетов, В.К.Серяченко. // Бюлл. НТИ, Чёрная металлургия. – 1977. – №16. – С.19–36.
4. *Бибик Г.А.* Производство железнодорожных колёс. /Г.А.Бибик, А.М.Иоффе, А.В.Праздников, М.И.Староселецкий. – М.: Металлургия, 1982; – 232с.
5. *Бибик Г.А., Есаулов В.П., Староселецкий М.И.* Технологические схемы производства и конструкции железнодорожных колёс за рубежом. // Чёрная металлургия, бюлл. НТИ, 1982, №15, С.15–30.
6. *Анализ существующих технологических схем изготовления колёс и бандажей, применяемых в мировой практике.* Отчёт. Завод–ВТУЗ при автозаводе им. И.А.Лихачёва. Москва, 1972.
7. *Копперс У., Кунц М., Линденблатт М.* Производство железнодорожных колёс на высоком техническом уровне. // Бюл. Чёрные металлы Март 2006, С.75–79
8. *Кушнарёв А.В.* Развитие и освоение на ОАО НТМК новой технологии производства железнодорожных колёс высокого качества. / В сб. Современные технологии производства транспортного металла. (Материалы 3–й международной конференции по «Трансмет–2007») Екатеринбург, 2007, С.21–30.
9. *Исследование и разработка новых технологических схем изготовления железнодорожных колёс и бандажей.* / Отчёт. Завод–ВТУЗ при автозаводе им. Лихачёва. Москва, 1974
10. *Производство цельнокатаных колёс в Японии.* // Бюлл. НТИ, Чёрная металлургия, 1974, №23, С.63–64.
11. *Iron Age Metalworking International.* 1969, v. 8, №11, p.40–41.
12. *Тарновский И.Я., Ганаго О.А., Шелехов В.А.* «Ковка и штамповка». Свердловск, 1960 (НИПИГОРМАШ. Сб. №2), С.81–100.

13. *Исследование* возможности изготовления железнодорожных колёс штамповкой (без прокатки) / И.Я.Тарновский, С.В.Макаев, О.А.Ганаго и др. // Кузнечно–штамповочное производство. – 1962. – №12. – С.1–3.
14. *Тубольцев Ю.Г.* Определение усилия штамповки формовочного пресса при производстве железнодорожных колёс // Сучасні проблеми металургії. Наукові вісті. Том 8. Пластична деформація металів. – Дніпропетровськ: «Системні технології», 2005. – С.562–564.
15. *Прозоров Л.В., Алтыкис А.В.* О возможности применения секционной штамповки для изготовления железнодорожных колёс // Кузнечно–штамповочное производство. – 1966. – №5. – С.42–43.
16. *Шифрин М.Ю.* По поводу секционной штамповки для изготовления железнодорожных колёс // Кузнечно–штамповочное производство. – 1967. – №8. – С.19–21.
17. *Копыский Б.Д., Ганаго О.А., Кузько Ю.П. и др.* – Исследование качества цельноштампованных колёс. / в сб. Новое в обработке металлов давлением. М., ВЗМИ, 1976 (ВЗМИ. Т. 46), С.45–55.
18. *Полосаткин Г.Д.* Уменьшение трения в торцах при сжатии цилиндрических образцов. // Заводская лаборатория. – 1957 – №7
19. А.С. 358895 СССР Способ изготовления осесимметричных деталей/ С.П.Буркин, А.Н.Ливанов. И.Я.Тарновский ., Б.Р.Картак, Б.В.Тягунов / заявл. 15.12.1969, № 1385901.
20. *Ливанов А.Н., Колмогоров В.Л., Буркин С.П. и др.* Контактное трение в процессах обработки металлов давлением. – М.: Металлургия, 1976.
21. *Тягунов Б.В., Чиченев Н.А.* Исследование технологического процесса осадки с кручением цилиндрических поковок. // Технология, производство и обработка стали. – Алма-Ата, 1983.
22. *Леванов А.А.* Совершенствование технологии штамповки железнодорожных колёс./ В сб. Современные технологии производства транспортного металла. (Материалы 3–й международной конференции по «Трансмет–2007») Екатеринбург, 2007. – С.215–220.
23. *Буркин С.П.* О технике и технологии изготовления штампованных колёс/ В сб. Современные технологии производства транспортного металла. (Материалы 3–й международной конференции по «Трансмет–2007») Екатеринбург, 2007, С.206–214.
24. *Исследование* технологии деформирования колёсных заготовок с использованием поэлементной штамповки и осадки с кручением. Отчёт. № госрегистрации 01860017041, ИЧМ, Днепропетровск, 1987.
25. *Axial and Radial Closed Die Rolling Machines Type AGW and RGW.* Проспект фирмы «Thyssen Maschinenbau Wagner Dortmund». Dortmund, 8 с.
26. *Аксиальная* штамповочная раскатка – экономичная альтернатива штамповочной ковке. Материалы семинара проведенного фирмой «Thyssen–Wagner» 25.03.1987, Москва.
27. *Разработка* новых технологий по переделам колесопрокатного производства, направленных на сокращение оборудования, экономию металла и энергоресурсов» Отчёт. № госрегистрации 0193U039553, ИЧМ, Дн–вск, 1993.
28. *Агеев Н.П., Пехота А.Д.* Прогрессивные технологические процессы штамповки обкаткой на сферодвижном прессователе. // В кн.: Пути повышения эффективности холодноштамповочного производства. Л.: ЛДНТП, 1977, С.84–88.

29. *Силичев А.Н.* Сферодвижная штамповка. // В Кн. Ковка и штамповка на специализированном оборудовании. М.: Машиностроение, 1982, 96с.
30. *Исследование условий деформирования заготовок для колёс на новом прессовом оборудовании колесопрокатных цехов заводов Выксунского металлургического и им. К.Либкнехта.* Отчёт, № гос.регистрации 75020733, ИЧМ, Днепропетровск, 1977.

*Статья рекомендована к печати  
канд. техн. наук Л.Г.Тубольцевым*

***В.М. Кузьмічев, О.Н. Перков***

**Виробництво осесиметричних виробів методами обробки металів тиском.**

Проаналізовано технології виготовлення осесиметричних виробів методами обробки металів тиском. Показано переваги та недоліки кожного варіанту. Наведено технологічні схеми, застосування яких можливо в умовах діючих цехів.