

## УДК 621.771.297

*ДАНЧЕНКО В.Н.*, докт. техн. наук, проф., НМетАУ, г.Днепропетровск  
*ШРАМКО А.В.*, канд. техн. наук, ОАО “ИНТЕРПАЙП – НТЗ”, г.Днепропетровск  
*АШКЕЛЯНЕЦ А.В.*, асп., НМетАУ, г.Днепропетровск  
*ДЫЯ Х.*, профессор, Politechnika Czestochowska, г.Ченстахова, Польша.

### **ИССЛЕДОВАНИЕ ВОЗМОЖНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ «ВРЕЗНОГО КОЛЬЦА» С ЦЕЛЬЮ ОПТИМИЗАЦИИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ СХЕМЫ ДВУХПРОХОДНОЙ ГОРЯЧЕЙ ШТАМПОВКИ ПОЛНОПРОФИЛЬНОЙ ЗАГОТОВКИ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНЫХ КОЛЕС**

В работе с помощью компьютерного моделирования на базе программного обеспечения Forge 2005 показана возможность использования «врезного кольца» с целью снижения расходов на штамповочный инструмент при производстве железнодорожных колес. Определен критический угол кольца обеспечивающий бездефектную (без образования заломов) штамповку заготовки.

Ключевые слова: Штамповка, врезное кольцо, критический угол, залом, железнодорожное колесо.

У роботі за допомогою комп'ютерного моделювання на базі програмного забезпечення Forge 2005 показана можливість використання «врізного кільця» з метою зниження витрат на штампувальний інструмент при виробництві залізничних коліс. Визначено критичний кут кільця забезпечуючий бездефектну (без утворення заломів) штампування заготівлі.

Ключові слова: Штампування, врізне кільце, критичний кут, залом, залізничне колесо.

In job by means of computer modelling on the basis of software Forge 2005 use possibility «cutting-in rings» for the purpose of decrease in expenses on the stamping tool is shown by manufacture of railway wheels. The critical corner of a ring providing faultless (without education fracture) stock material press forming is defined.

Key words: Press forming, врезное a ring, a critical corner, a hall, a railway wheel.

#### **Введение**

В настоящее время развитие технологии изготовления железнодорожных колес направлено на повышение качества при одновременном снижении затрат на их производство. Реализация этих направлений возможна за счет оптимизации технологических переходов. Одним из основных этапов штамповки железнодорожных колес является придание исходной заготовке формы колеса путем ее последовательной осадки на прессах с последующей раскаткой на колесопркатном стане (КПС).

Известны схемы деформирования заготовок, при которых с целью снижения расходов на штамповочный инструмент, на первом этапе деформация заготовки осуществляется без калибровочного кольца. В частности на Нижне Тагильском металлургическом комбинате (Россия) при освоении производства железнодорожных колес после модернизации пресо-прокатной линии использовалась технологическая схема двухпроходной штамповки полнопрофильной заготовки колес приведенная на рис.1. Однако, практика использования этой схемы выявила ее значительную чувствительность к различным составляющим технологического процесса штамповки.

В частности овальность исходной заготовки, косина реза заготовки, неточность центровки заготовки, непараллельность осадочных плит и пр. во время деформирования заготовки на прессе силой 50 МН приводили к овализации и разнотолщинности плюшки, что в последствии существенно сказывалось на уровне брака колес (до 25%) по причине эксцентриситета обода относительно ступицы и недоката, и количестве колес заниженного диаметра (до 12%) [1]. В связи с этим задача снижения неравномерности деформации в радиальном направлении (овальности заготовки) на первом этапе штамповки заготовки – свободной осадки в фасонированных плитах является актуальной.

### Постановка проблемы

Учеными «Уральского института металлов» было проведено моделирование процесса свободной осадки колесной заготовки на гладкой плите с использованием верхнего штампа с уклонами полотна  $2^\circ$  и  $9^\circ$ . Результаты этих исследований свидетельствуют о зависимости неравномерности деформации заготовки в радиальном направлении от величины уклона штампа. Так при угле  $9^\circ$  неравномерность деформации была меньше чем при угле  $2^\circ$  [2].

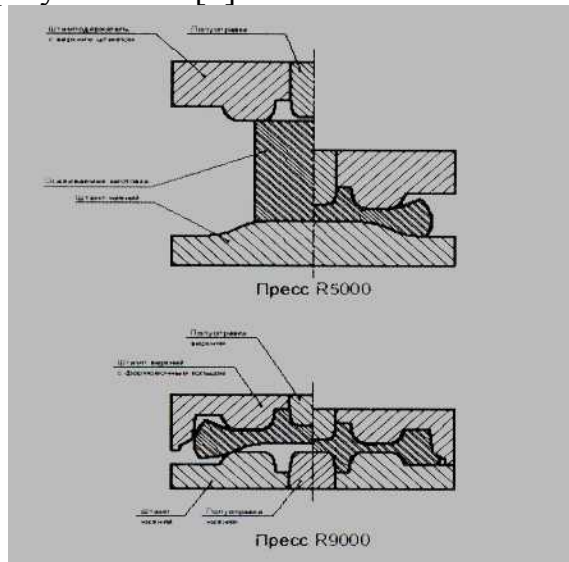


Рис. 1. Схема деформирования заготовок железнодорожных колес.

Ранее проведенными на базе Национальной металлургической Академии (НМетАУ) исследованиями формоизменения металла при внедрении врезного кольца (рис.2) в процессе свободной двухпроходной ковки дисков с уступами была установлена зависимость высоты осаженой заготовки от угла конусности ( $L_{нар}$ ) врезного кольца [3]. С увеличением угла конусности высота осаженой заготовки уменьшается. Поскольку неравномерность деформации заготовки в радиальном направлении при свободной осадке является функцией высоты заготовки, а также учитывая результаты исследований ученых «Уральского института металлов» следует предполагать что использование «врезного кольца» с небольшими углами конусности в первом проходе ее штамповки (свободная осадка) позволит значительно снизить неравномерность деформации в радиальном направлении.

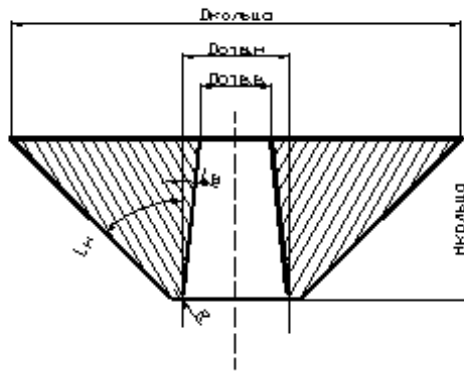


Рис.2. Чертеж врезного кольца

$D_{кольц.}$  - диаметр кольца;  $d_{отв.н}$  - диаметр нижнего отверстия;  
 $d_{отв.в}$  - диаметр верхнего отверстия;  $H_{кольц.}$  - высота кольца;  
 $L_{нар}$  - наружный угол конусности;  
 $L_{вн}$  - внутренний угол конусности;  $R$  - радиус закругления;

В связи с этим с помощью компьютерного моделирования была исследована технологическая схема штамповки полнопрофильной заготовки колес с использованием врезных колец с различным углом конусности в качестве верхнего штампа.

#### Порядок проведения и результаты исследования

Моделирование формоизменения заготовки осуществлялось для случая изготовления колес диаметром 957мм по ГОСТ 10791-2004 с использованием метода конечных элементов (МКЭ) и было выполнено на программном обеспечении Forge 2005. Использование этого обеспечения осуществлялось в рамках совместной Польско-Украинской научно-технической программы, подписанной между Национальной металлургической академией Украины (г.Днепропетровск, Украина) и Politechnika Czestochowska (г.Ченстахова, Польша).

Данная компьютерная модель основана на теории пластического течения, в рамках которой металл, в пластическом состоянии представляется как несжимаемое жесткопластическое тело. Исходная система, описывающая пластическое деформирование включает:

дифференциальные уравнения движения:

$$\sigma_{ij,j} + p \frac{dv_i}{dt} = 0, \quad (1)$$

кинематические соотношения:

$$\dot{\varepsilon}_{ij} = \frac{1}{2}(v_{i,j} + v_{j,i}), \quad (2)$$

уравнение состояния:

$$\sigma_{ij} = \sigma_0 \delta_{ij} + \frac{2\bar{\sigma}}{3\bar{\varepsilon}} \dot{\varepsilon}_{ij} = 0, \quad (3)$$

условие несжимаемости:

$$v_{ii} = 0, \quad (4)$$

уравнение теплового баланса:

$$\rho c \dot{T} = (k_l T_{,i})_{,i} + \beta \bar{\sigma} \bar{\varepsilon}, \quad (5)$$

модель напряжения текучести материала в зависимости от параметров деформации:

$$\bar{\sigma} = f(\bar{\varepsilon}, \bar{\dot{\varepsilon}}, T), \quad (6)$$

где  $\sigma_{ij}$ ,  $\varepsilon_{ij}$ ,  $v_i$  - соответственно компоненты тензоров напряжения, скорости деформации и вектора скорости течения;  $\bar{\sigma}$ ,  $\bar{\varepsilon}$ ,  $\bar{\dot{\varepsilon}}$  - соответственно интенсивности напряжений, деформаций и скоростей деформации,  $\sigma_0$  - среднее нормальное напряжение;  $\delta_{ij}$  - символ Кронекера;  $T$  - температура;  $\beta$  - коэффициент перехода механической энергии в тепло, принято, что  $\beta = 0.9-0.95$ ;  $\rho$  - плотность;  $c$  - теплоемкость;  $k_l$  - теплопроводность.

В уравнениях (1) - (5) используется правило суммирования по повторяющимся индексам. Индексы  $i, j$  для двумерных задач меняются от 1 до 2, для трехмерных - от 1 до 3.

Охлаждение заготовки во время транспортировки от печи к прессу, между прессами и прокатным станом описывается уравнением теплопроводности в твердом теле (5).

Тепловые граничные условия на свободной поверхности включают теплообмен конвекцией и излучением. На контактной поверхности задается теплообмен с помощью коэффициента теплопередачи. Трение на контактной поверхности учитывается по закону А.Н. Леванова.

Уравнения (1 - 4) преобразуются в систему алгебраически уравнений на основе принципа виртуальных скоростей и метода конечных элементов, где узловыми неизвестными являются компоненты вектора скорости и среднее нормальное напряжение. Скорость и среднее напряжение аппроксимируются

линейными функциями формы на тетраэдральных элементах. Генерация и перестроение КЭ сетки автоматизировано. Уравнение теплового баланса (5) преобразуется методом Галеркина в систему обыкновенных дифференциальных уравнений, которые численно интегрируются по времени. Связанная термомеханическая задача решается методом последовательных приближений механической и тепловой задач с входящими в них связанными величинами.

Инструмент при расчете на прочность представляется упругопластическим телом с линейным; упрочнением, нагруженным со стороны заготовки контактными силами и закрепленным соответствующими граничными условиями.

При моделировании использовались следующие исходные данные. Из базы данных Forge 2005 выбрана смазка на основе графитоводной смеси, показатель трения 0,2. Скорость опускания верхней плиты на всех прессах составляла 60 мм/с. На основе опыта колесопрокатного цеха ОАО «Интерпайп-НТЗ» были приняты условия равномерного поля температур металла заготовки как в момент выдачи ее из нагревательной печи, так и при укладке заготовки на нижнюю плиту пресса усилием 20МН. В процессе деформирования и транспортировки температура заготовки снижается от 1200 до 1000°C.

Следует отметить, что большинство компьютерных программ на базе МКЭ для моделирования процессов обработки металлов давлением не предусматривают возможности варьирования плотности металла. В то же время этот показатель играет существенную роль при расчетах деформирования горячего металла, имеющего литую структуру. В связи с

этим учет изменения объема и плотности литого металла при моделировании процесса осуществлялся по методике [4].

Кроме этого при моделировании в качестве исходных данных были использованы результаты исследования пластических и термомеханических свойств колесной стали [5].

В качестве штампов при моделировании использовались врезные кольца с углами конусности:  $L_{нар}$  - наружный угол конусности 65-70°; R - радиус закругления 30-35мм.

Результат расчета для штампа с углами конусности:  $L_{нар} = 65^\circ$ , R = 30мм приведен на рис.3. На рис.3 показан пошаговый этап штамповки полученной заготовки. При анализе рис.3 можно сказать, что штамп с такими углами конусности не дает возможность получить качественное железнодорожное колесо т.к. на внутренней части железнодорожного колеса в области ступицы образуется залом, что обусловлено характером течения металла относительно нейтральной поверхности штампа 100МН.

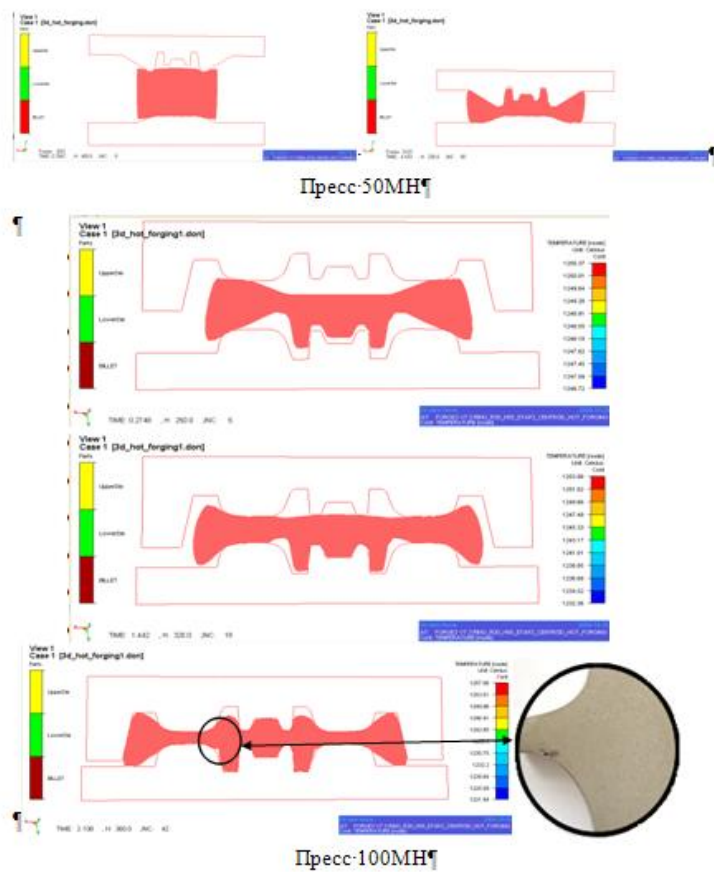


Рис.3. Пошаговая штамповка заготовки полученная при использовании штампа:  $L_{нар} = 65^\circ$ , R = 30мм

При увеличении угла конусности до  $L_{нар} = 70^\circ$ , R = 35мм (рис.4.) залом не образуется.

Таким образом, можно считать, что угол 65° для бездефектного производства железнодорожных колес диаметром 957мм по ГОСТ 10791-2004 является критическим.

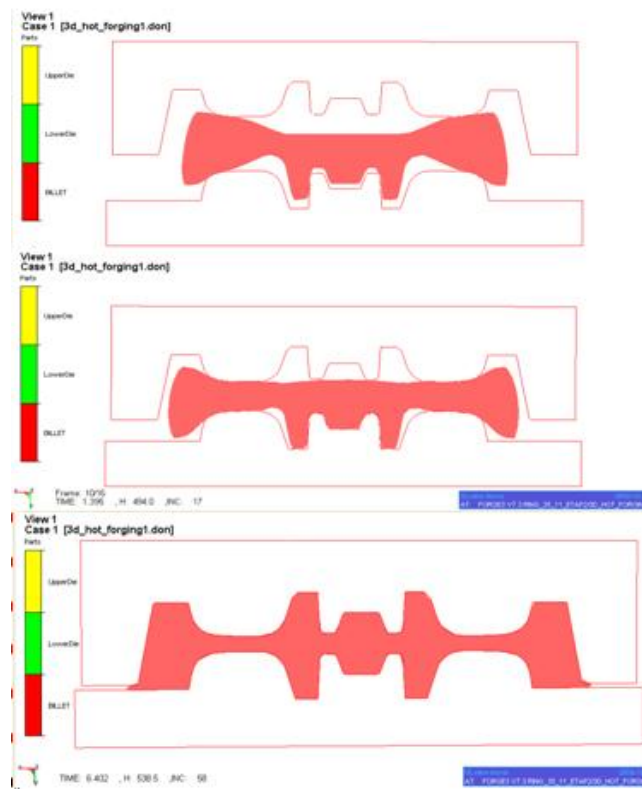


Рис.4. Пошаговая штамповка заготовки полученная при использовании штампа с геометрией :  $L_{нар} = 70^\circ$ ,  $R = 35\text{мм}$

### Выводы

1. Проведенное моделирование показало возможность использования «врезного кольца» в качестве верхнего штампа при двухпроходной горячей штамповке полнопрофильной заготовки железнодорожных колес.

2. Бездефектная (без образования залома) штамповка при двухпроходной штамповке заготовки железнодорожных колес может быть осуществлена при использовании врезного кольца с углом конусности более  $L_{нар} = 65^\circ$ ,  $R = 35\text{мм}$ .

**Список литературы:** 1. Совершенствование технологии производства железнодорожных колес на основании математического моделирования процесса формоизменения металла при штамповке / А.В. Кушнарев, А.А. Богатов, А.А. Киричков // Современные технологии производства транспортного металла: материалы конференции “Трансмет – 2007” – Екатеринбург: УГТУ – УПИ, 2008. – С. 253 – 255. 2. Исследование течение металла при формовке колесной заготовки / Г.П. Перунов, А.А. Киричков, М.И. Журухин, А.Ф. Зудов, Ю.В. Инатович, В.Д. Шестак. // Современные технологии производства транспортного металла: материалы конференции “Трансмет – 2007” – Екатеринбург: УГТУ – УПИ, 2008. – С. 259 – 261. 3. Экспериментальное исследование формоизменения металла при внедрении врезного кольца. / А.В. Ашкелянец // Обработка металлов давлением: Тематич. Сб. научн. тр. №2(21) – Краматорск: ДГМА, 2009. – С. 307-311. 4. Разработка и освоение технологии производства железнодорожных колес на кольцебондажной линии с использованием метода конечных элементов для расчета формоизменения металла. Отчет о НИР (заключительный) / Нац. Мет. Академии Украины. – X126010013; Инв. №0103U002285. – Днепропетровск, 2005. – 51 с. 5. Физическое моделирование многоступенчатой деформации стали в процессе прокатки заготовок железнодорожных колес. / А.А. Миленин, А.В. Шрамко, А.Г. Ступка, В.А. Гринкевич, В.Н. Данченко // Metallurgical горнорудная промышленность 2005 №2

УДК 621.983