

## **ПРИМЕРЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ПРОГРАММЫ QFORM 2D ДЛЯ РЕШЕНИЯ ПРИКЛАДНЫХ ЗАДАЧ КОЛЕСОПРОКАТНОГО ПРОИЗВОДСТВА ОАО «ИНТЕРПАЙП – НТЗ»**

**Данченко В.Н.** (НМетАУ, г. Днепропетровск),  
**Шрамко А.В.** (ОАО «ИНТЕРПАЙП НТЗ», г. Днепропетровск),  
**Миленин А.А.** (Politechnika Czestochowska, t. Czestochow),  
**Гринкевич В.А.** (НМетАУ, г. Днепропетровск),  
**Рослик А.В.** (ОАО «ИНТЕРПАЙП НТЗ», г. Днепропетровск)

*Представлены результаты исследований, выполненные с использованием программы Qform 2D. В частности определены оптимальные параметры деформации центральной зоны обода колеса, определена причина формирования различного уровня твердости стали на противоположных торцах ступицы колеса и получены значения величины нейтрального радиуса при деформировании заготовки колес с различной формой диска.*

Углубить и ускорить анализ, необходимых для оптимизации процессов обработки металлов давлением данных и при этом минимизировать затраты на производство позволяет применение современной компьютерной техники и методов получения и обработки данных.

На ОАО «ИНТЕРПАЙП - НТЗ» для решения задач связанных с выбором оптимальных схем горячего пластического деформирования колесной заготовки, анализом существующих и разработкой новых калибровок штампового инструмента и др. в течение нескольких лет используется компьютерная программа Qform 2D, адаптированная к условиям колесо-прокатного производства.

При деформации колесной стали, как в лабораторных условиях, так и в заводских была установлена зависимость ее механических свойств от степени деформации, что связано с изменениями макро- и микроструктуры стали [1].

Однако, кроме степени деформации на уровень механических свойств стали существенное влияние оказывает температура и скорость деформации и, в силу одновременно протекающих во время горячей деформации процессов «упрочнения – разупрочнения», история деформирования стали, включая продолжительность междеформационных пауз. Следовательно, изменяя схему и режимы деформации, температуру можно регулировать структуру стали, ее однородность, стабильность и, соответственно, изменять механические свойства.

На ОАО «ИНТЕРПАЙП - НТЗ» задача оптимизации режимов горячего деформирования колесных заготовок решалась серией лабораторных и промышленных экспериментов, проведенных при участии ученых Института черной металлургии Национальной Академии наук Украины и Национальной металлургической Академии Украины с использованием компьютерной программы Qform.

В ходе исследований с помощью деформационного дилатометра Ture 805 A/D были определены величины упрочнения колесной стали в зависимости от степени деформации при различных скоростях и температурах деформации [2]. Учитывая то обстоятельство, что максимально возможное упрочнение стали достигается при параметрах деформирования, соответствующих начальным этапам деформирования колесной заготовки в реальных производственных условиях, степень деформации на последних этапах деформирования следует назначать не более чем достаточной для компенсации разупрочнения стали во время деформационных пауз (с убывающим характером от этапа к этапу) или увеличивать скорость деформации от этапа к этапу.

Влияние деформационных пауз на степень разупрочнения стали исследовалось на дилатометре, путем деформирования образцов стали при различной температуре с различной степенью деформации при одновременном осуществлении пауз различной продолжительности [2].

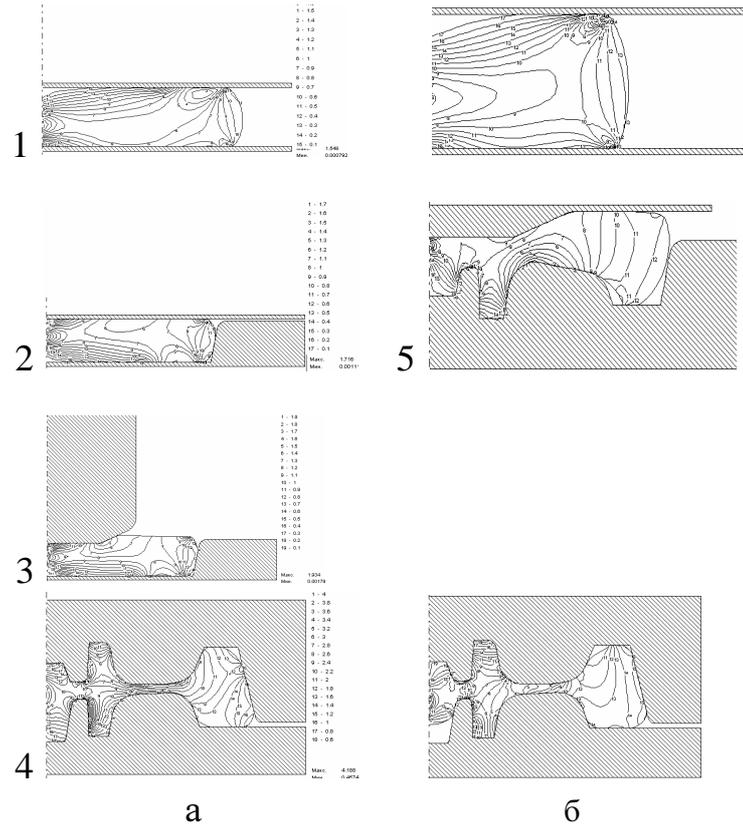
С учетом изложенного были разработаны и исследованы при моделировании с помощью программы Qform 2D различные варианты горячего деформирования заготовок колес.

Результаты расчета параметров деформации центральной зоны обода железнодорожных колес массой 400 кг по различным режимам представлены на рис. 1.

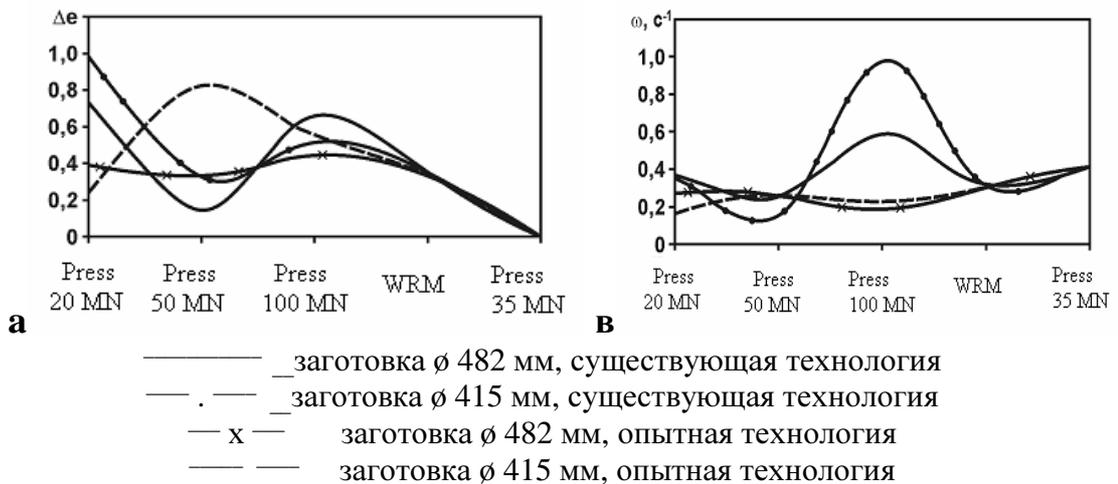
Опции программы позволяют определить параметры деформации, оказывающие влияние на формирование уровня механических свойств в исследуемой зоне колеса - значения скорости деформации, степени деформации и степени накопленной деформации.

Значения скорости деформации и степени деформации, рассчитанные с помощью программы Qform для указанного случая, приведены на рис. 2.

Сопоставление экспериментальных данных о реологических свойствах колесной стали с результатами компьютерного моделирования позволило определить и реализовать в заводских условиях наиболее предпочтительную схему распределения скорости и степени деформации по проходам при многопереходной штамповке колесной заготовки для обеспечения улучшения комплекса механических свойств металла в центральной зоне обода колеса [3].



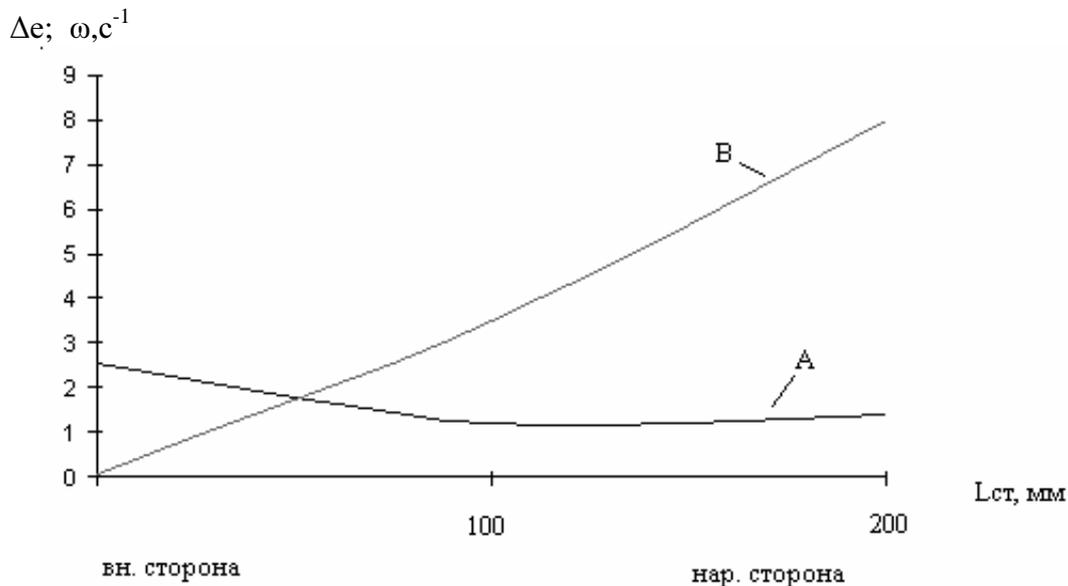
**Рисунок 1** – Результаты расчета формоизменения заготовки на различных стадиях существующей (а) и опытной (б) технологии: 1 – осадка на прессе 20 МН; 2 – осадка в кольце на прессе 50 МН; 3 – раздача пуансоном в кольце на прессе 50 МН; 4 – штамповка на прессе 100 МН; 5 – штамповка на прессе 50 МН



**Рисунок 2** – Значения степени логарифмической деформации (а) и скорости деформации (в) в центральной зоне обода железнодорожного колеса при многопереходной объемной штамповке

Неравномерное распределение твердости по длине образующей отверстия ступицы колеса отрицательно сказывается на точности геометрических параметров отверстия при его расточке перед напрессовкой на ось, т.е. зачастую приводит к конусообразности отверстия более 50 мкм, что является браковочным признаком.

Влияние скорости деформации и степени деформации на распределение значений твердости по длине образующей отверстия ступицы железнодорожных колес, исследовалось в условиях ОАО «ИНТЕРПАЙП - НТЗ» при производстве колес диаметром 957 мм с повышенной прочностью. При этом параметры деформации внутренней, центральной и наружной зон ступицы колеса были определены при компьютерном моделировании процесса штамповки колеса с помощью программы Qform (рис.3).



**Рисунок 3** – График распределения степени (A) и скорости (B) деформации стали по длине образующей отверстия ступицы колеса при штамповке заготовки на прессе силой 100 МН

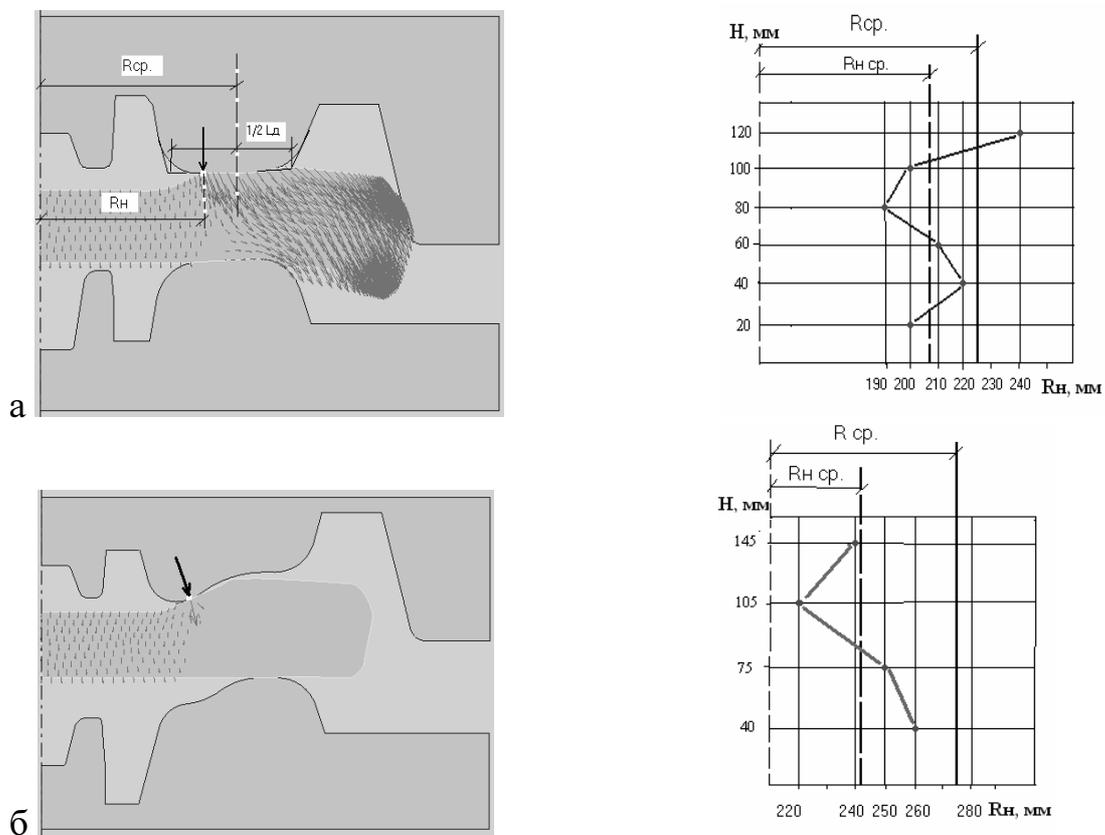
Как видно на рис. 3 при штамповке заготовки на прессе силой 100 МН степень истиной (логарифмической) деформации ( $\Delta \epsilon$ ) стали на внутренней стороне ступицы, достигает значений 2,4 и снижается в центральной зоне и на наружной стороне ступицы до значений 1,2 – 1,4. При этом скорость деформации ( $\omega$ ) возрастает от внутренней стороны к наружной стороне ступицы от  $0,1 \text{ с}^{-1}$  до  $8 \text{ с}^{-1}$ .

Ранее проведенные исследования реологических особенностей колесной стали показали, что при таких параметрах деформирования на внутренней стороне ступицы колеса будет иметь место разупрочнение стали, а на наружной стороне упрочнение. Последующие металлографические исследования изменений в структуре стали различных частей ступицы ко-

леса подтвердили, что именно это обстоятельство приводит к различному уровню твердости стали на противоположных торцах ступицы колеса [4].

При расчетах калибровок колес с плоским диском положение нейтральной плоскости на прессе силой 100 МН принято определять как середину длины диска колеса. Рекомендации по определению положения нейтральной плоскости при расчете калибровок с диском криволинейной формы отсутствуют.

В связи с этим на ОАО «ИНТАРПАЙП НТЗ» программа Qform была использована, как основной инструмент в процессе проведения исследований величины среднего нейтрального радиуса ( $R_{н\text{ ср}}$ ) в течение всего цикла деформирования заготовки с различной формой диска (рис. 4).



**Рисунок 4** – Изменение положения нейтрального сечения ( $R_n$ ) относительно середины диска ( $R_{cp}$ ) в процессе формовки заготовки колеса с плоскоконическим (а) и криволинейным (б) диском

Последующие исследования влияния различных факторов на положение нейтрального сечения показали, что при расчетах калибровок прессового инструмента для изготовления колес, прежде всего, следует руководствоваться геометрией диска с учетом величины (8-16%) смещения  $R_{н\text{ ср}}$  по отношению к  $R_{cp}$  [5].

Таким образом, использование программы Qform 2D позволило углубить и ускорить анализ процесса многопереходной объемной штампов-

ки, необходимый для оптимизации процесса производства железнодорожных колес.

#### Литература

1. Исследование влияния деформационной обработки колесной заготовки на механические свойства железнодорожных колес / И.Г. Узлов, А.И. Бабаченко, А.В. Шрамко, и др. // *Металл и литье Украины*. – 2005. - № 9-10. С. 54 – 57.
2. Физическое моделирование многоступенчатой деформации стали в процессе прокатки заготовок железнодорожных колес / А.А. Миленин, А.В. Шрамко, А.Г. Ступка и др. // *Металлургическая и горнорудная промышленность*. – 2005. – №2. –С. 37-40.
3. *Effect of hot deformation characteristics on mechanical properties of metal of the railway wheel rim / A/ Shramko, A/ Kozlovsk'yy, V/ Danchenco // International Heavy Haul Conference, Specialist Technical Session/ - Kiruna, Sweden, 2007. – s 713 – 718.*
4. Неравномерность распределения твердости по длине ступицы железнодорожного колеса / В.П. Есаулов, А.В. Шрамко, В.Н. Данченко и др. // *Металлургическая и горнорудная промышленность*. – 2007. - №5. С. 90-93.
5. Исследование течения металла при формовке железнодорожных колес / А.В. Шрамко, В.А. Афанасьев, А.Г. Ступка, Д.В. Сорокин // *Совершенствование процессов и оборудования обработки давлением в металлургии и машиностроении: Тематич. Сб. научн. тр.* – Краматорск: ДГМА, 2006. – С. 307-311.

© Данченко В.Н., Шрамко А.В., Миленин А.А.,  
Гринкевич В.А., Рослик А.В. 2008