

© *А.В. Кушнарев, 2012 г.*  
ОАО «Нижнетагильский металлургический комбинат»  
г. Нижний Тагил  
© *А.А. Богатов, 2012 г.*  
ФГАОУ ВПО «Уральский федеральный университет  
имени первого Президента России Б.Н. Ельцина»  
г. Екатеринбург

## **РАЗРАБОТКА, ИССЛЕДОВАНИЕ И ВНЕДРЕНИЕ ИННОВАЦИОННОЙ ТЕХНОЛОГИИ ПРОИЗВОДСТВА ВЫСОКОКАЧЕСТВЕННЫХ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНЫХ КОЛЕС**

### **Введение**

Стратегическое развитие железнодорожного транспорта в Российской Федерации на период до 2015 г. предусматривает полную замену подвижного состава и технических средств на новую технику с высокой производительностью и низкой ремонтоемкостью. Внедрение инновационной технологии в области эксплуатации и ремонта объектов железнодорожного транспорта обеспечит увеличение средней массы грузового поезда на 6 %, скорости движения на 10 %, снижение отказов технических средств на 20 %, удельного расхода электроэнергии на 2 %. Решение поставленных задач во многом зависит от качества транспортного металла и модернизации локомотивного и вагонного парков [1, с. 3].

Решение этих задач требует поиска новых научных и технологических решений по всей цепочке металлургического производства: повышение качества сырьевых материалов; освоение производства низкопримесного чугуна; дальнейшее совершенствование конвертерного передела с обработкой полупродукта в агрегатах печь-ковш, вакууматоре и разливкой на МНЛЗ; применение новых схем обжата слитка, обеспечивающее эффективное управление макроструктурой, а в дальнейшем микроструктурой, фазовым составом стали при последующей термообработке с целью придания высокого уровня механических свойств и служебных характеристик [3; 5].

Производство железнодорожных колес на ОАО «НТМК» после модернизации оборудования технологической линии осуществляется по новой схеме: получение непрерывнолитой заготовки; раскрой ее на мерные краты; нагрев с использованием гидросбива окалины; черновая штамповка, совмещенная с осадкой, калибровкой и разгонкой; чистовая штамповка; прокатка штампованной поковки на колесопрокатном стане; прессовая гибка, правка и калибровка колеса. Черновые колеса подвергаются закалке и отпуску, полнопрофильной механической обработке, балансировке и дробеметному упрочнению диска. Одним из достижений современной технологии производства колес является применение приборного контроля наличия внутренних и поверхностных дефектов, а также размеров колес с помощью лазерных измерителей.

Основной проблемой отечественного производства железнодорожных колес является повышение точности черновых колес с целью уменьшения припуска на механическую обработку. Решение этой проблемы связано с развитием технологической схемы и уточнением режимов черновой и чистовой штамповки на основе новых технических решений, обеспечивающих равномерное радиальное течение металла по периметру поковки и высокую точность размеров обода, диска и ступицы поковки. В этом случае при прокатке удастся минимизировать величину эксцентриситета ступицы и обода, повысить точность размеров чернового колеса после прессовой гибки, правки и калибровки. Анализ влияния технологических параметров на точность колес и выбор рациональной технологической схемы штамповки и прокатки с целью уменьшения припусков на обточку могут быть ускорены, если применять математическое моделирование процессов штамповки для исследования особенностей формоизменения металла.

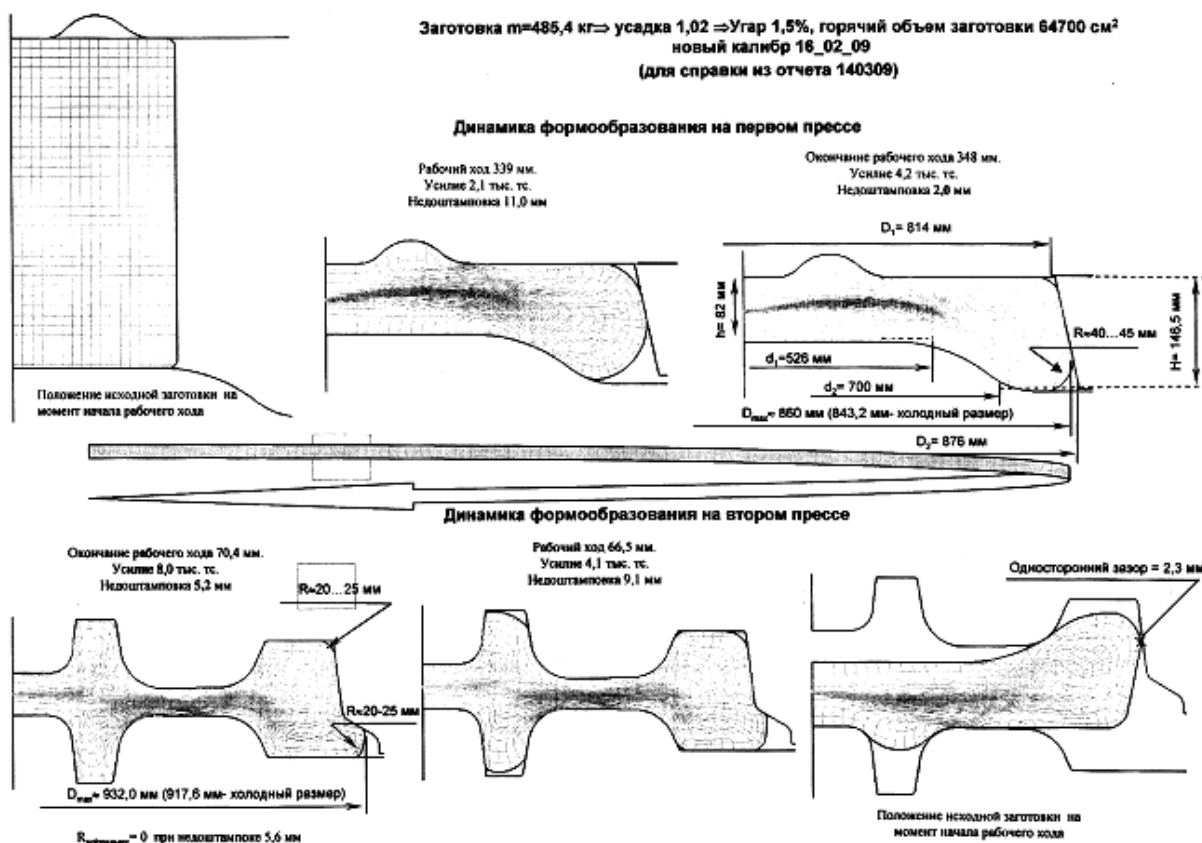
Другая важная проблема отечественного производства колес связана с повышением их эксплуатационных характеристик и уровня механических свойств. В частности, твердость обода колеса должна быть в диапазоне (320–360) HB, а износостойкость и долговечность при увеличении нагрузки на ось вагонной тележки с 23,5 т до 30 т должны увеличиться в 1,5 раза. Успехи в решении этой проблемы связаны с выбором оптимального химического состава стали и рациональных режимов деформации и термообработки колес.

#### **1. Разработка нового способа черновой штамповки, промышленные испытания, основные причины пониженной точности черновых колес**

Оборудование прессопрокатной линии позволяет с помощью центрователя на прессе R5000 обеспечить центрирование непрерывнолитой заготовки, а на прессе R9000 центрирование заготовки должен обеспечивать робот-манипулятор, передающий поковку от прессы R5000 на пресс R9000. Однако точность укладки поковки в штампах по технической характеристике робота составляет  $\pm 2$  мм. В результате из-за неточной установки поковки при чистовой штамповке обод и ступица имеют несоосность, оформление чистовой поковки несимметрично по периметру, а при прокатке поковки на колесопрокатном стане эксцентриситет обода относительно ступицы увеличивается. Поэтому радиальное биение обода чернового колеса достигает (9–12) мм, торцевое биение – (3–5) мм.

Наилучшим следует считать способ центрирования черновой поковки в штампах прессы R9000 не механическим способом, а технологически, используя на поковке дополнительные выступы с базовой поверхностью, соответствующей поверхности нижнего чистового штампа. На рис. 1а, рис. 1б представлены две технологические схемы, обеспечивающие центрирование черновой поковки на прессе R9000.

а



б

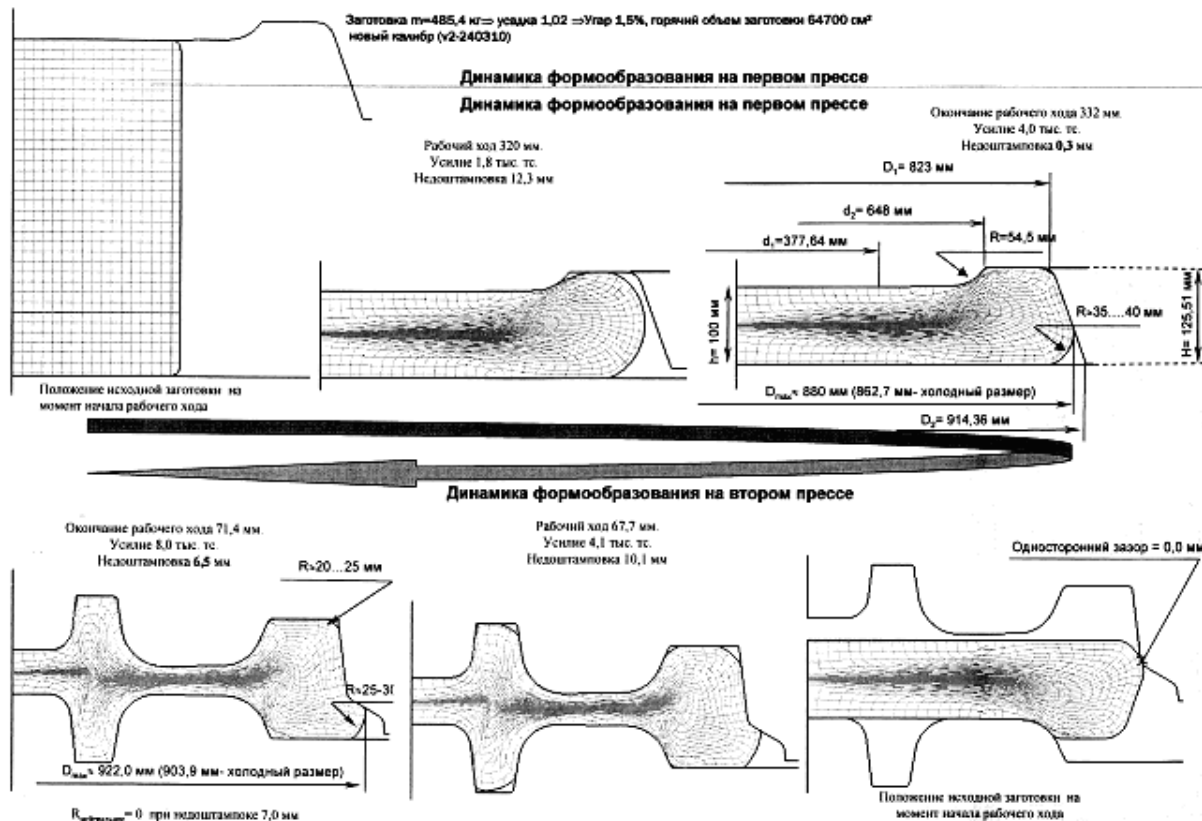


Рис. 1. Анализ процесса формообразования заготовки колеса под раскатку

Другим направлением развития процесса штамповки заготовки под прокатку является совмещение процессов осадки, калибровки и разгонки металла при черновой штамповке и обеспечение двухстороннего течения металла в области диска. Благодаря этому снижается сила чистовой штамповки. При оптимальных режимах сила может быть уменьшена на 10–15 %, а время изготовления штампованной поковки под прокатку – на 15–20 %. Рассмотренные выше идеи развития процесса штамповки были положены в основу заявки на изобретение «Способ изготовления цельнокатаных железнодорожных колес».

Опытная калибровка инструмента деформации была опробована в промышленных условиях. В результате было установлено влияние технологических факторов на точность черновых колес, уровень брака после полнопрофильной мехобработки, выход годных колес после ремонта и определены основные причины разладки технологического процесса. Было показано, что отклонение размеров непрерывнолитой заготовки от номинальных значений по массе, овальности, косине реза, длине заготовки, градиенту температуры по высоте и диаметру заготовки, а также неточность установки в штампе прессы R5000 в пределах  $\pm 1$  мм при условии соблюдения соосности верхнего, нижнего штампов и калибровочного кольца не оказывают существенного влияния на радиальное и торцевое биение чернового колеса. Эксцентricность обода поковки относительно ступицы повышается с увеличением зазора между поковкой и формовочным кольцом прессы R9000 из-за заниженного значения диаметра калибровочного кольца и недоштамповки на прессе R5000, с неудовлетворительной проработкой заготовки в калибровочном кольце из-за несоответствия диаметра кольца массе заготовки, с увеличением зазоров между деталями штамповой оснастки прессов R5000, R9000 и K5000, с неудовлетворительной настройкой штамповочных прессов и с отклонением оси поковки от оси штампов, особенно на прессе R9000. Эксцентricность обода и ступицы чернового колеса при прокатке существенно возрастает по сравнению с эксцентricитетом на чистовой поковке и несколько уменьшается после калибровочного прессы K5000.

## **2. Исследование технологии изготовления железнодорожных колес диаметром 1250 мм**

В настоящее время железнодорожные колеса для локомотивов диаметром 1250 мм изготавливают в сборе ступицы и бандажа. Для повышения эксплуатационных характеристик колес актуальной является задача разработки технологии получения их цельнокатаными из непрерывнолитой заготовки диаметром 430 мм. По принятым в настоящее время нормам расхода металла на технологических переделах, начиная от нагревательной печи и кончая полнопрофильной мехобработкой колеса, высота заготовки принята равной 925 мм, что при температуре 1275 °С с учетом двухпроцентной по-

тери металла с окалиной, соответствует объему заготовки, равному  $V_0 = 0,139846 \text{ м}^3$ .

Целью исследования являлось:

- изучение влияния калибровки черновых штампов (пресс 50 МН), избыточной массы заготовки и величины недоштамповки на прессе 90 МН на формоизменение металла и силовые параметры штамповки;
- поиск инженерных решений оптимизации формоизменения поковки на прессах 50 и 90 МН с целью минимизации силовых параметров штамповки;
- оценка влияния неточности настройки штампов и исходного положения заготовки на асимметричность черновой и чистовой поковки;
- разработка технического предложения по технологии изготовления железнодорожного колеса диаметром 1250 мм и промышленное опробование на прессопрокатной линии КБЦ.

Теоретическое исследование выполнено с использованием программы «DEFORM», основанной на использовании метода конечных элементов (МКЭ) и вариационного принципа механики деформируемого тела.

Математическое моделирование формоизменения заготовки при черновой и чистовой штамповке осуществляли для десяти вариантов. Первые шесть вариантов V1, V1a, V2, V2a, V3 и V3a отличались друг от друга формой черновой поковки (1, 2, 3), а также объемом исходной заготовки  $V_0 = 0,139846 \text{ м}^3$  и  $V_a = 1,02 V_0$ . Для четырех последних вариантов моделирование процесса штамповки объем исходной заготовки принят равным  $V_a = 1,02 V_0$ . Отличие от первых шести вариантов заключалось в использовании двух новых форм черновой поковки, причем для вариантов 4а и 5а использовался инструмент деформации с компенсаторами объема металла в ступице и в конусовидном диске на чистовой поковке, а для вариантов 4 и 5 – только в конусовидном диске. Результаты моделирования представлены в табл. 1 и на рис. 2а, рис. 2б. Анализ полученных результатов по формоизменению и силовым параметрам штамповки позволяет сделать следующие выводы:

1. При ограничении силы черновой штамповки  $P = 40 \text{ МН}$  величина недоштамповки поковки существенно зависит от конструкции штампов. На плоских штампах (V1) с объемом  $V_0$  она составляет 2,8 мм, а с объемом  $1,02 V_0$  – 5,3 мм. Для штампов (V2) недоштамповка составляет 4 мм и 6 мм, а для штампов (V3) – 4,5 мм и 5,8 мм. Соответственно недоштамповка поковок, полученных из заготовки объемом  $1,02 V_0$  с использованием штампов (V4) и (V5), составляет 3,6 мм и 4,0 мм;

2. Увеличение объема исходной заготовки на 2 % при одинаковой величине недоштамповки на прессе R9000 и ограничении силы штамповки в диапазоне 80–85 МН приводит к росту диаметра чистовой поковки по гребню на 20–25 мм, при этом отношение  $d_r/D_{\text{иг}}$  изменяется от 0,950 до 0,975, где диаметр формовочного кольца по гребню  $D_{\text{иг}} = 1227,2 \text{ мм}$ ;

3. Наилучшие результаты как по величине недоштамповки (0,0–0,5 мм), так и по силе чистовой штамповки (менее 80 МН) получены с использованием черновых поковок (V4a) и (V5a) и чистовых штампов с компенсаторами избыточного объема металла на диске и ступице поковки.

Таблица 1

Влияние калибровки черновых штампов (пресс 50 МН)  
и избыточной массы заготовки на формоизменение металла и силовые  
параметры чистовой штамповки

| Недоштамповка $\Delta h$ , мм |                      | 4,0   | 3,0   | 2,0   | 1,0   | 0,0   |
|-------------------------------|----------------------|-------|-------|-------|-------|-------|
| 1                             | 2                    | 3     | 4     | 5     | 6     | 7     |
| V1                            | $\frac{d_z}{d_{ИГ}}$ | 0,929 | 0,931 | 0,934 | 0,940 | 0,947 |
|                               | $P$ , МН             | 70    | 78    | 81    | 85    | 106   |
| V1a                           | $\frac{d_z}{d_{ИГ}}$ | 0,940 | 0,945 | 0,952 | 0,961 | 0,971 |
|                               | $P$ , МН             | 89    | 93    | 101   | 110   | 121   |
| V2                            | $\frac{d_z}{d_{ИГ}}$ | 0,922 | 0,929 | 0,934 | 0,940 | 0,949 |
|                               | $P$ , МН             | 77    | 84    | 86    | 94    | 98    |
| V2a                           | $\frac{d_z}{d_{ИГ}}$ | 0,939 | 0,945 | 0,953 | 0,962 | 0,971 |
|                               | $P$ , МН             | 89    | 93    | 103   | 110   | 119   |
| V3                            | $\frac{d_z}{d_{ИГ}}$ | 0,932 | 0,937 | 0,940 | 0,947 | 0,955 |
|                               | $P$ , МН             | 58    | 60    | 62    | 68    | 83    |
| 1                             | 2                    | 3     | 4     | 5     | 6     | 7     |
| V3a                           | $\frac{d_z}{d_{ИГ}}$ | 0,944 | 0,949 | 0,955 | 0,962 | 0,971 |
|                               | $P$ , МН             | 64    | 75    | 85    | 102   | 111   |
| V4                            | $\frac{d_z}{d_{ИГ}}$ | 0,939 | 0,942 | 0,947 | 0,952 | 0,960 |
|                               | $P$ , МН             | 56    | 64    | 76    | 82    | 93    |
| V4a                           | $\frac{d_z}{d_{ИГ}}$ | 0,939 | 0,944 | 0,947 | 0,953 | 0,960 |
|                               | $P$ , МН             | 58    | 61    | 66    | 72    | 80    |

|     |                       |       |       |       |       |       |
|-----|-----------------------|-------|-------|-------|-------|-------|
| V5  | $\frac{d_z}{d_{IIГ}}$ | 0,939 | 0,944 | 0,949 | 0,955 | 0,962 |
|     | $P, \text{ МН}$       | 58    | 65    | 74    | 83    | 90    |
| V5a | $\frac{d_z}{d_{IIГ}}$ | 0,940 | 0,944 | 0,949 | 0,955 | 0,962 |
|     | $P, \text{ МН}$       | 56    | 59    | 64    | 71    | 76    |

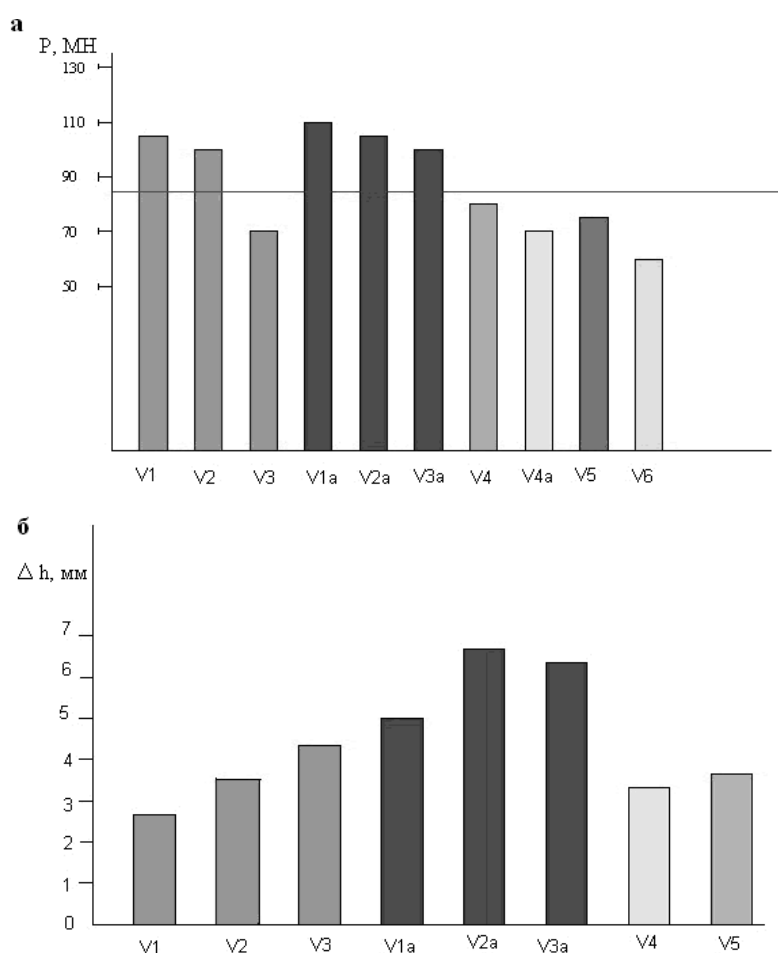


Рис. 2. Сила чистой штамповки (а) и величины недоштамповки (б) на прессе R5000 при ограничении силы 40 МН в зависимости от калибровки инструмента деформации

### 3. Исследование структуры и эксплуатационной надежности железнодорожных колес

При выборе технологической схемы и режимов горячей обработки давлением одним из основных является требование к дисперсности зеренной структуры и фазового состава, благодаря чему обеспечивается соответствующий уровень механических свойств, долговечность и эксплуатационная надежность металлургической продукции. Основными факторами, характеризующими режим обработки заготовки, являются скорость и

температура ее нагрева, степень и равномерность распределения деформации, температурно-скоростные условия формоизменения на каждом этапе, а также временные паузы между этапами и скорость охлаждения. Существует мнение, что эффективное изменение зеренной структуры возможно при большой (интенсивной) деформации, при этом указывается величина укова, обжатия или коэффициента вытяжки. Ю.М. Вайнблат показал, что решающее значение на эволюцию зеренной структуры оказывают температурно-скоростные условия, а не степень деформации. Феноменологическая модель изменения дислокационной и зеренной структур основана на следующих положениях: запасенная кристаллической решеткой энергия пластической деформации характеризуется параметром Зенера – Холомона  $z = \xi_u \exp \frac{g}{R\theta}$ , где  $g$  – энергия активации, характеризующая релаксационный процесс,  $\xi_u$  и  $\theta$  – интенсивность скорости деформации и температура; степень деформации должна превышать критическое значение;

$\mathcal{E}_{u*}$ , при котором в зависимости от конкретных температурно-скоростных условий наступает равновесное состояние двух конкурирующих процессов дислокационного упрочнения и разупрочнения. Для процессов обработки металлов давлением параметр  $z > 10$  и справедлива линейная зависимость  $\lg Z = \lg A + \frac{\beta}{2,3} \sigma_s$ , где  $A$  и  $\beta$  – константы материала.

Запасенная кристаллической решеткой энергия пластической деформации после завершения процесса полигонизации характеризуется общей площадью субграниц в единице объема и энергией, связанной с углом разориентировки соседних субзерен. Последняя играет важную роль в образовании центров рекристаллизации, определяя скорость этого процесса, а также процесса формирования мелкозернистой структуры стали после рекристаллизации. Этот процесс можно характеризовать с помощью диаграммы структурного состояния, на которой можно выделить четыре области, отвечающие различным типам структуры сплава после деформации и термообработки: 1 – сформировавшейся после динамической рекристаллизации и сохранившейся после термообработки; 2 – образовавшейся при статической рекристаллизации в ходе последеформационного отжига; 3 – смешанной структуры; 4 – полученной в результате метадинамической, или спонтанной рекристаллизации, характеризующейся наличием активированной субзеренной структуры с высокоугловой разориентировкой на субграницах (рис. 3). На линиях с постоянным значением  $z$  указаны средние значения размера субзерна  $d$  после завершения процесса полигонизации и зерна  $D$  после рекристаллизации.



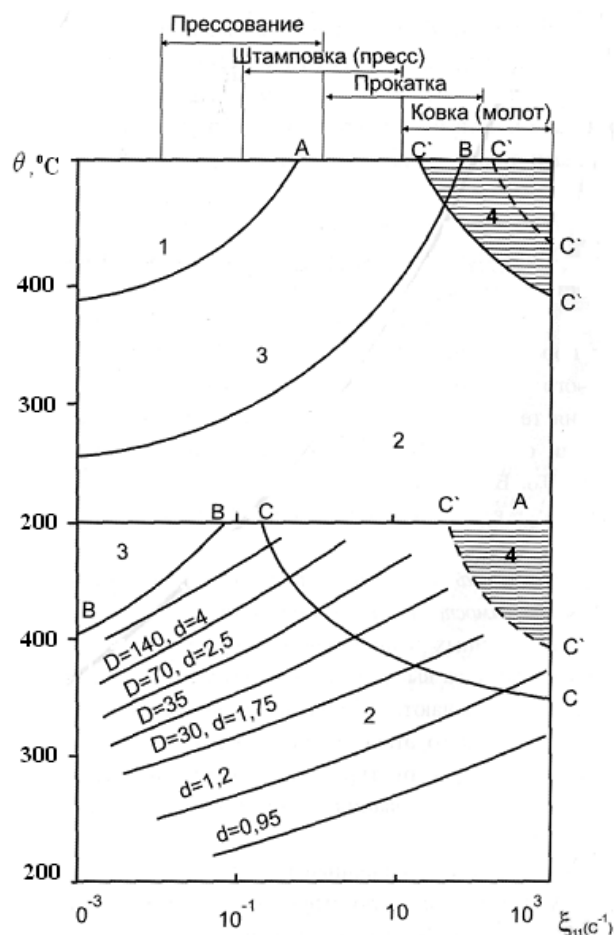


Рис. 3. Примеры диаграмм структурных состояний:  
 а) сплав АК 6 (указаны интервалы скорости деформации для разных видов ОМД); б) сплав АК 4-1 (тонкие линии –  $z = \text{const}$ , размеры  $d$ ,  $D$  приведены в мкм)

Структура формируется в процессе высокоскоростной деформации и рекристаллизации в период паузы между этапами обработки металла давлением. Пользуясь диаграммой структурного состояния можно выбирать рациональные температурно-скоростные режимы обработки с целью быстрого достижения требуемой величины зерна, а после термообработки – фазового состава. Для использования диаграммы структурного состояния в практических целях требуется знание характеристик напряженно-деформированного состояния металла и температурных полей для исследуемых процессов. При производстве железнодорожных колес наиболее важными этапами эволюции зеренной структуры непрерывно-литой заготовки к структуре чернового колеса являются процессы черновой и чистой штамповки. В табл. 2 приведены данные о накопленной степени деформации  $\varepsilon_n$  и температуре  $\theta$  в семи характерных точках на поверхности обода чернового колеса [4].

Таблица 2

Температура  $\theta$  и степень накопленной деформации  $\varepsilon_u$  в семи характерных точках на поверхности обода поковки в зависимости от способа черновой штамповки

| № варианта | Способ штамповки   | Номер точки | Степень накопленной деформации | Температура |
|------------|--|-------------|--------------------------------|-------------|
| 1          | Черновая штамповка плоскими штампами в подвижном кольце, $h = 108,3$ мм        | 1           | 1,05                           | 775         |
|            |  | 2           | 1,17                           | 786         |
|            |  | 3           | 1,61                           | 830         |
|            |  | 4           | 1,52                           | 847         |
|            |  | 5           | 0,86                           | 1142        |
|            |  | 6           | 0,87                           | 1146        |
|            |  | 7           | 0,86                           | 1140        |
|            | Чистовая штамповка   | 1           | 1,24                           | 708         |
|            |  | 2           | 1,03                           | 819         |
|            |  | 3           | 0,41                           | 963         |
|            |  | 4           | 0,16                           | 829         |
|            |  | 5           | 0,21                           | 754         |
|            |  | 6           | 0,96                           | 911         |
|            |  | 7           | 0,11                           | 1013        |
| 2          | Черновая штамповка с фигурными штампами и элементом с базовой поверхностью № 1 | 1           | 1,37                           | 764         |
|            |  | 2           | 0,94                           | 732         |
|            |  | 3           | 1,43                           | 969         |
|            |  | 4           | 1,09                           | 1023        |
|            |  | 5           | 0,88                           | 1007        |
|            |  | 6           | 1,19                           | 1075        |
|            |  | 7           | 1,13                           | 1134        |
|            | Чистовая штамповка   | 1           | 1,03                           | 744         |
|            |  | 2           | 0,43                           | 863         |
|            |  | 3           | 0,19                           | 897         |
|            |  | 4           | 0,12                           | 719         |
|            |  | 5           | 0,09                           | 787         |
|            |  | 6           | 0,87                           | 022         |
|            |  | 7           | 0,08                           | 1047        |
| 3          | черновая штамповка с фигурными штампами и элементом с базовой поверхностью № 2 | 1           | 1,41                           | 793         |
|            |  | 2           | 1,33                           | 802         |
|            |  | 3           | 1,04                           | 902         |
|            |  | 4           | 1,26                           | 951         |
|            |  | 5           | 0,04                           | 972         |
|            |  | 6           | 1,14                           | 1052        |
|            |  | 7           | 1,06                           | 1121        |
|            | Чистовая штамповка   | 1           | 1,09                           | 810         |
|            |  | 2           | 0,56                           | 808         |
|            |  | 3           | 0,22                           | 851         |
|            |  | 4           | 0,46                           | 865         |
|            |  | 5           | 0,16                           | 864         |
|            |  | 6           | 1,08                           | 919         |
|            |  | 7           | 0,17                           | 1072        |

Наименьшее значение температуры имеет место в точках 1-4 при черновой и в точках 1-5 при чистовой штамповках. Степень накопленной деформации при черновой штамповке для всех точек поверхности обода во всех рассмотренных вариантах калибровки инструмента близка к единице. Благодаря температурно скоростным условиям штамповки динамическая полигонизация обеспечивает формирование активированной субструктуры, а во время транспортировки поковки от прессы R5000 к прессу R9000 происходит метадинамическая рекристаллизация, в процессе которой образуется мелкое зерно. При чистовой штамповке в точках 4,7 степень деформации  $\epsilon_u < \epsilon_{крит}$ , поэтому во время деформации может не сформироваться полигонизированная субструктура, необходимая для метадинамической рекристаллизации и уменьшения размера зерна в паузе между чистовой штамповкой и прокаткой заготовки на колесопрокатном стане.

Исследования макро- и микроструктуры колесной стали марки 2 и Т, химический состав которых приведен в табл. 3 и соответствует ГОСТ10791-2004, выполнены на образцах непрерывной заготовки, черновых колес до- и после термообработки.

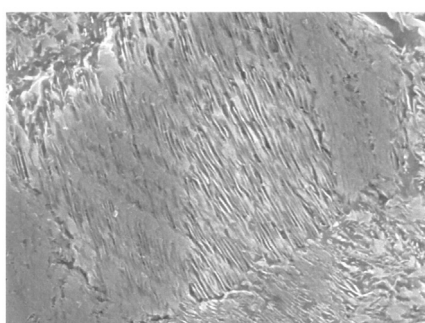
Таблица 3

#### Химический состав колесной стали

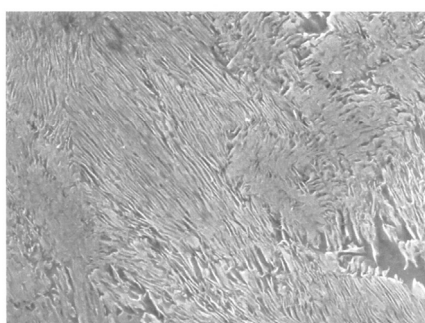
| Марка стали     | Содержание химических элементов, % |           |           |          |          |          |           |           |           |           |           |           |
|-----------------|------------------------------------|-----------|-----------|----------|----------|----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
|                 | <i>C</i>                           | <i>Mn</i> | <i>Si</i> | <i>V</i> | <i>S</i> | <i>P</i> | <i>Cr</i> | <i>Ni</i> | <i>Cu</i> | <i>Mo</i> | <i>Ti</i> | <i>Nb</i> |
| Марка 2         | 0,60                               | 0,81      | 0,34      | 0,037    | 0,01     | 0,014    | 0,028     | 0,049     | 0,005     | 0,0026    | 0,002     | 0,005     |
| Марка Т         | 0,64                               | 0,79      | 0,4       | 0,076    | 0,008    | 0,012    | 0,263     | 0,25      | 0,023     | 0,054     | 0,004     | 0,005     |
| Гост 10791-2004 | 0,55-0,65                          | 0,50-0,90 | 0,22-0,45 | <0,10    | <0,02    | <0,035   | <0,30     | <0,30     | <0,30     | <0,08     | -         | -         |

По кристаллической структуре в поперечном сечении слитка различают три зоны: корковая зона мелких кристаллов (5–8 мм); зона столбчатых кристаллов (100–200 мм) и центральная зона разориентированных кристаллов (100–150 мм). Макроструктура черновых колес характеризуется плотным и однородным строением. Микроструктура непрерывнолитой заготовки состоит из крупных колоний грубопластинчатого перлита. Величина зерна для стали марки 2 оценивается номерами 2, а марки Т номерами 2–3 шкалы структур по ГОСТ5639-82. Микроструктура черновых колес состоит из перлита пластинчатой формы и сетки избыточного феррита по границам колоний. Размер зерна для стали марки 2 соответствует номеру 4–5, а для марки Т – номеру 5. В качестве термообработки колес используется закалка с последующим отпуском. Размер аустенитного зерна в ободке колеса зависит от температуры нагрева под закалку и содержания легирующих элементов (для стали марки 2 температура равна + (860±5) °С и соответствует для стали марки 2 номерам 7–8, а для стали марки Т номе-

рам 9–10. Легирующие элементы замедляют скорость распада аустенита до более низких температур. Это способствует получению высокодисперсного перлита и получению сорбита, уменьшению высокодисперсного содержания избыточного феррита (рис. 4). Структуры игольчатого типа (бейнит и мартенсит) для обеих марок стали в ободе колеса отсутствуют. Различия в микроструктуре величины аустенитного зерна и дисперсности перлита для колесных сталей марки 2 и Т обуславливают различие в механических свойствах табл. 4.



сталь марки 2



сталь марки Т

Рис. 4. Микроструктура термообработанных колес,  $\times 15000$

Таблица 5

#### Механические свойства колесной стали

| Марки стали | $\sigma_b$ , МПа | $\delta_5$ , % | $\psi$ , % | $\sigma_{0.2}$ , МПа | КСИ, дж/см <sup>2</sup> | Твердость НВ |      |
|-------------|------------------|----------------|------------|----------------------|-------------------------|--------------|------|
|             |                  |                |            |                      |                         | 30 мм        | (·)А |
| 2           | 1023             | 15,8           | 32,8       | 496                  | 34,5                    | 285          | 254  |
| Т           | 1143             | 14,6           | 33,5       | 527                  | 33,1                    | 325          | 271  |

Различия в микроструктуре величины аустенитного зерна и дисперсности перлита для колесных сталей марки 2 и Т вызывают более высокий уровень для стали марки Т твердости (на 14 %), временного сопротивления (на 10,5 %), предел текучести (на 5,9 %) при сравнительном равенстве пластических характеристик и ударной вязкости.

Стендовые испытания на контактную выносливость железнодорожных колес показали повышение показателей по сравнению с требованием по ГОСТ 10791 в 2,5-3 раза. Циклические нагружения колес по методике

ВНИИЖТ на стенде ЦД 200/400 подтвердили повышение предела выносливости колеса в 1,5 раза. Стендовые испытания на износостойкость показали уменьшение потери массы по сравнению с ГОСТ 10791 на 22 %.

### **Заключение**

На ОАО «НТМК» выполнена комплексная научно-практическая работа, направленная на решение актуальной проблемы повышения долговечности железнодорожных колес при одновременном увеличении нагрузки на железнодорожную ось с 235 кН до 300 кН. Пробег колеса увеличился с 400 тыс. км до 650 тыс. км. Это стало возможным благодаря модернизации сталеплавильного, прокатного производства, термической и полнопрофильной механической обработки колес, а также внедрению современного приборного контроля их качества.

### **Список использованных источников**

1. Современные технологии производства транспортного металла / под науч. ред. А.В. Кушнарера и А.А. Богатова. Екатеринбург: УГТУ-УПИ, 2008.
2. Вайнблат // Металлы. 1982. № 2. С. 92.
3. *Кушнарер А.В., Богатов А.А., Киричков А.А., Петренко Ю.П.* Новая технология производства высококачественных железнодорожных колес // Заготовительные производства в машиностроении. 2010. № 6.
4. *Кушнарер А.В., Богатов А.А., Кропотов В.А.* Исследование температурных и деформационных полей в поковках при производстве железнодорожных колес // Заготовительные производства в машиностроении. 2010. № 6.
5. *Кушнарер А.В.* Разработка и теоретическое исследование новых способов изготовления железнодорожных колес на ОАО «НТМК». Екатеринбург: УГТУ-УПИ, 2009. 46 с.