

УДК 621. 735.32: 621.882

СТРУКТУРНО-ДЕФОРМАЦИОННЫЙ АНАЛИЗ ПРОИЗВОДСТВА ЗАГОТОВОК ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНЫХ КОЛЕС МЕТОДОМ МАТЕМАТИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ

Галкин В.В., Калинин А.Б., Доронин Д.А., Пачурин Г.В.

ГОУ ВПО «Нижегородский государственный технический университет
им. Р.Е. Алексеева», Нижний Новгород, e-mail: pachuringv@mail.ru

Проведено математическое моделирование производства заготовок железнодорожных колес на основе программного продукта Deform 3D. Полученные результаты включают в себя определение геометрического положения в исходной заготовке объемов, из которых в процессе штамповки формируются элементы колеса (обод, диск и ступица); количественную оценку деформированного состояния в характерных зонах колесной заготовки и анализ изменения в них структуры. Дана оценка расположению зон металла в исходной заготовке, из которых формируются отдельные элементы колеса. Они имеют форму втулок. Рассчитаны итоговые значения интенсивности деформации исследуемых характерных зон изделия, а также значения на каждой формообразующей операции. Дана оценка неравномерности деформированного состояния по объему колесной заготовки и определены операции, внесшие наибольший вклад. Полученные результаты позволяют выполнить целенаправленный анализ структурно-механических характеристик металла объема исходной заготовки и конечного изделия.

Ключевые слова: математическое моделирование, заготовки железнодорожных колес, количественная оценка деформированного состояния

STRUCTURAL DEFORMATION ANALYSIS OF THE PRODUCTION OF RAILWAY WHEELS BLANKS MATHEMATICAL MODELING METHOD

Galkin V.V., Kalinin A.B., Doronin D.A., Pachurin G.V.

State Educational Institution «Nizhny Novgorod State Technical University R.E. Alekseyev»,
Nizhny Novgorod, e-mail: pachuringv@mail.ru

Mathematical simulation of the railway wheel workpieces production on the basis of the software product Deform 3D has been carried out. The results obtained includes the definition of the geometrical position of the volumes in the incoming billet which shapes the elements of the wheel (wheel rim, disk and hub) during the press forming, the quantitative assessment of strained state in the characteristic areas of the wheel workpiece and the analysis of their structural changes. The estimation of the location of the zones of the metal in the initial blank from which to derive individual elements wheel. They are in the form of plugs. Calculated totals strain rate study specific areas of the product and the value of each molding operation. The estimation of uneven strain state in terms of wheel blanks and defined operations, who made the greatest contribution. The results obtained allow to perform focused analysis of structural and mechanical characteristics of the metal of the original piece and the final product.

Keywords: mathematical simulation, the railway wheel workpieces, the quantitative assessment of strained state

Конструктивно-эксплуатационные характеристики железнодорожных колес отличает большая металлоемкость, сложность конструкции и ответственность изделия с точки зрения эксплуатационных характеристик.

Основными характеристиками, определяющими качество железнодорожного колеса, являются его надежность и срок службы. За служебные свойства изделия отвечают отдельные его элементы, в част-

ности диск колеса, по которому чаще всего происходит усталостное разрушение. Поэтому одним из показателей, определяющих надежность колеса, является циклическая прочность в указанной зоне [2, 3]. В эксплуатации чаще всего используют колеса (рис. 1) с прямым вертикальным а, наклонным б и криволинейным в радиальном направлении и диском в. Реже применяют колеса, имеющие диск с гофрами в тангенциальном направлении г.

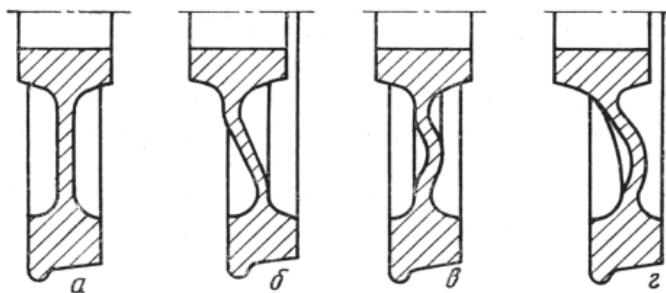


Рис. 1. Форма дисков цельнокатаных железнодорожных колес:
а – прямой вертикальный; б – наклонный, в – криволинейный в радиальном направлении;
г – с гофрами в тангенциальном направлении

Другим важным показателем является износостойкость колес, зависящая от твердости и прочности металла. В настоящее время на Выксунском металлургическом комбинате (ОАО «ВМЗ») производятся грузовые колеса с твердостью обода до 360–400 НВ и существует тенденция к её повышению. Для пассажирских колес более важной является безопасность эксплуатации дорожного состава. Она обеспечивается повышенными характеристиками вязкости металла при сравнительно высокой твердости обода 280–320 НВ.

Развитие технологий изготовления цельных железнодорожных колес имеет длительную историю. Впервые, в начале девятнадцатого века, в силу большой металлоемкости изделия и отсутствия технологий объемной штамповки, их изготовление осуществлялось операциями свободнойковки. В двадцатом веке производство колес приобрело массовый характер, при этом, наряду с увеличением количества передвигного состава, произошло развитие параллельного транспорта, такого, как трамвай и метро. Только на ОАО «ВМЗ» в конце прошлого столетия ежегодный объем производства колес превысил половину миллиона штук. Это было обеспечено внедрением автоматизированной линии (проект ВНИИМАШ), включившей процессы формоизменения заготовки и последующей термической обработки.

Сквозные технологии изготовления цельных железнодорожных колес, независимо от страны изготовителя: Россия, США и других стран, как правило, включают следующие смежные технологии: формообразование колесной заготовки, ее термическую и механическую обработки.

Технологии формообразования колесной заготовки содержат операции горячей объемной штамповки на гидравлических прессах, которые включают операции осадки, формовки, выгибки диска, калибровку, прошивку отверстия и раскатку обода на колесопрокатном стане.

Исходной заготовкой в силу значительной массы колесной заготовки является слиток. При этом надо отметить, что перед нагревом он разделяется и используется на несколько заготовок. По истории развития, к примеру, по ОАО «ВМЗ», вначале он выплавлялся мартеновским способом и имел форму кузнечного слитка в виде «ромашки». В настоящее время, по тому же способу изготовления, он имеет цилиндрическую форму. В дальнейшем планируется переход на его производство методом непрерывной разливки стали. Спецификой действующей технологии изготовления изделия является его термомеханическая обработка, при

которой формообразование заготовки выполняется в автоматизированном режиме на разноплановом кузнечно-штамповочном оборудовании за несколько операций с одного нагрева, а далее после подогрева выполняется термическая обработка, состоящая из закалки и отпуска.

Механические характеристики металла изделия определяют его служебные свойства и зависят от формируемой структуры металла в процессе его изготовления. Одним из основных факторов, влияющих на них, является степень деформации [4]. Исходя из вышесказанного, очевидна актуальность ее определения в объеме основных элементов колесной заготовки.

В настоящее время, наряду с традиционными методами оценки деформированного состояния, используется аналитический метод, основанный на методе конечных элементов (МКЭ) и проводимый с использованием специализированных программных продуктов.

Исходя из вышесказанного, была определена цель работы: оценка деформированного состояния металла в объеме изделия на основании математического моделирования технологических переходов формоизменения исходной заготовки.

Для математического моделирования процесса был выбран процесс изготовления железнодорожного колеса диаметром 957 мм согласно ТУ 0943-157-01124328-2003 из колесной стали марки Т (рис. 2).

Исходной заготовкой является часть круглого мартеновского слитка высотой 356 мм и диаметром 482 мм. Температура нагрева заготовки равнялась 1260 °С.

В соответствии с переходами формоизменения заготовки (рис. 3) были созданы трехмерные модели заготовки и технологической оснастки.

Математическое моделирование процесса проводилось с применением программного комплекса DEFORM (рис. 4).

В качестве материала заготовки для моделирования из библиотеки программного обеспечения комплекса выбрана сталь AISI-1060, которая наиболее близка по химическому составу и механическим свойствам к стали марки Т. Для оценки деформации металла в исследуемых зонах изделия (рис. 5 а) было определено их геометрическое положение по переходам формовки (рис. 5 б, в) и в исходной заготовке (рис. 5 г)), данные которых приведены в табл. 1.

Полученные результаты позволяют дать оценку расположению зон металла, из которых формируются отдельные элементы колеса в объеме исходной заготовки. По геометрии они имеют форму втулок, размеры которых приведены в табл. 2.

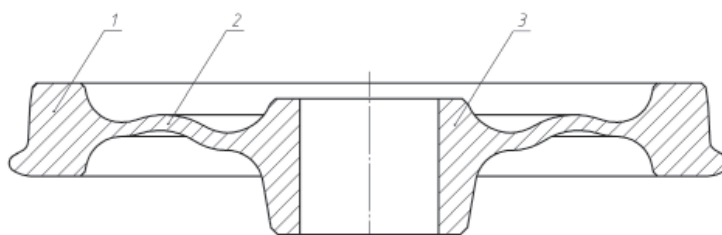


Рис. 2. Эскиз железнодорожного колеса и его основные элементы:
1 – обод колеса; 2 – диск колеса; 3 – ступица колеса

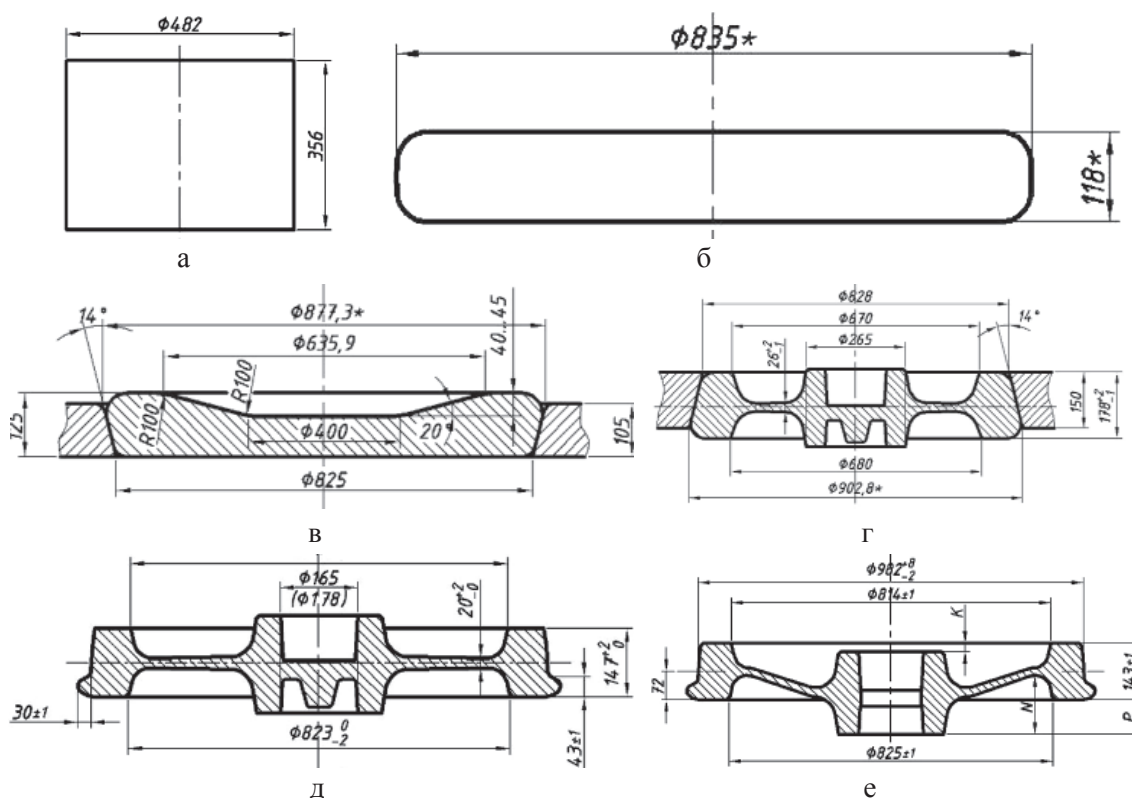


Рис. 3. Операции формования колесной заготовки:
а – исходная заготовка; б – предварительная осадка;
в – осадка и разгонка в технологическом кольце; г – формовка; д – раскатка обода;
е – выгибка диска, калибровка обода, прошивка отверстия и клеймение

Таблица 1

Номер зоны i	Координаты узлов по осям							
	Исходная заготовка		Предварительная осадка		Разгонка в кольце		Формовка	
	Y_i	Z_i	Y_i	Z_i	Y_i	Z_i	Y_i	Z_i
1	4760,8	5345,6	4612,9	5118,2	4580,6	5123,7	4572,5	5082,4
2	4759,0	5000,0	4615,1	5001,9	4584,3	5000,0	4553,6	4929,5
3	4862,3	5332,6	4784,2	5110,5	4735,6	5088,7	4687,7	5034,6
4	4849,4	5003,0	4772,3	5003,1	4721,6	5001,7	4684,7	4990,9
5	4888,2	5331,8	4825,9	5110,0	4783,0	5077,2	4813,8	5031,0
6	4887,3	5011,8	4829,3	5006,6	4782,1	5003,4	4814,7	4995,3
7	4926,1	5339,8	4890,1	5113,1	4859,4	5075,3	4879,4	5108,4
8	4934,2	5003,9	4906,9	5003,5	4875,0	5001,7	4877,0	4912,3
9	4958,5	5313,5	4933,7	5101,1	4908,2	5066,6	4911,5	5031,2
10	4968,1	5078,1	4943,8	5033,4	4917,6	5020,8	4909,7	4986,8

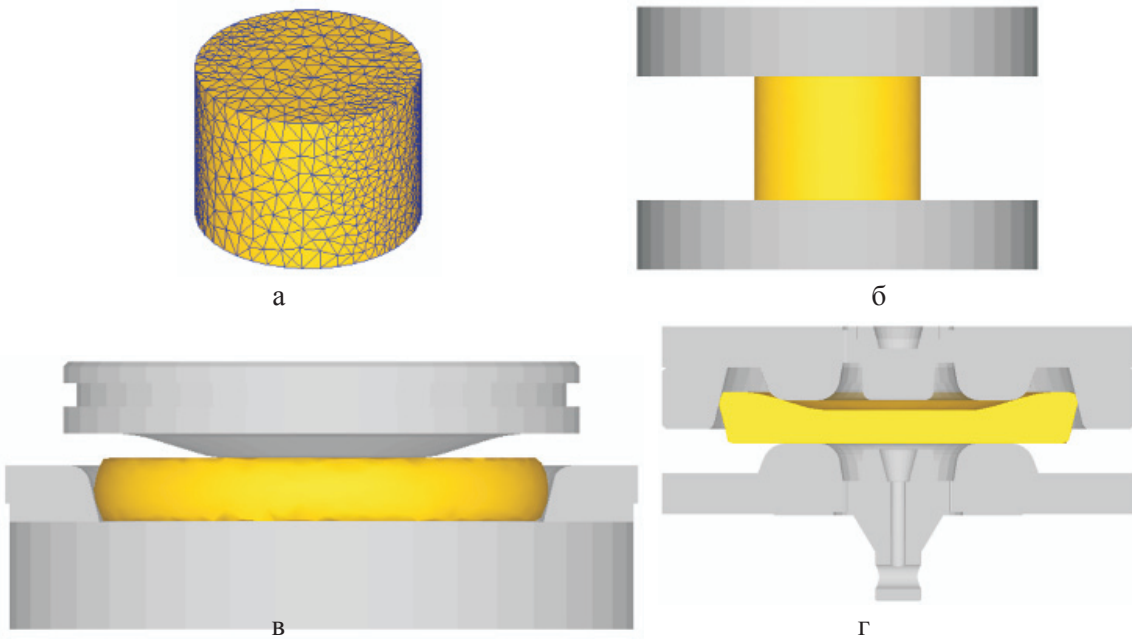


Рис. 4. Картины математического моделирования операций горячей объемной штамповки колесной заготовки: а – исходная заготовка с построенной конечно-элементной сеткой; б – предварительная осадка; в – осадка и разгонка; г – формовка

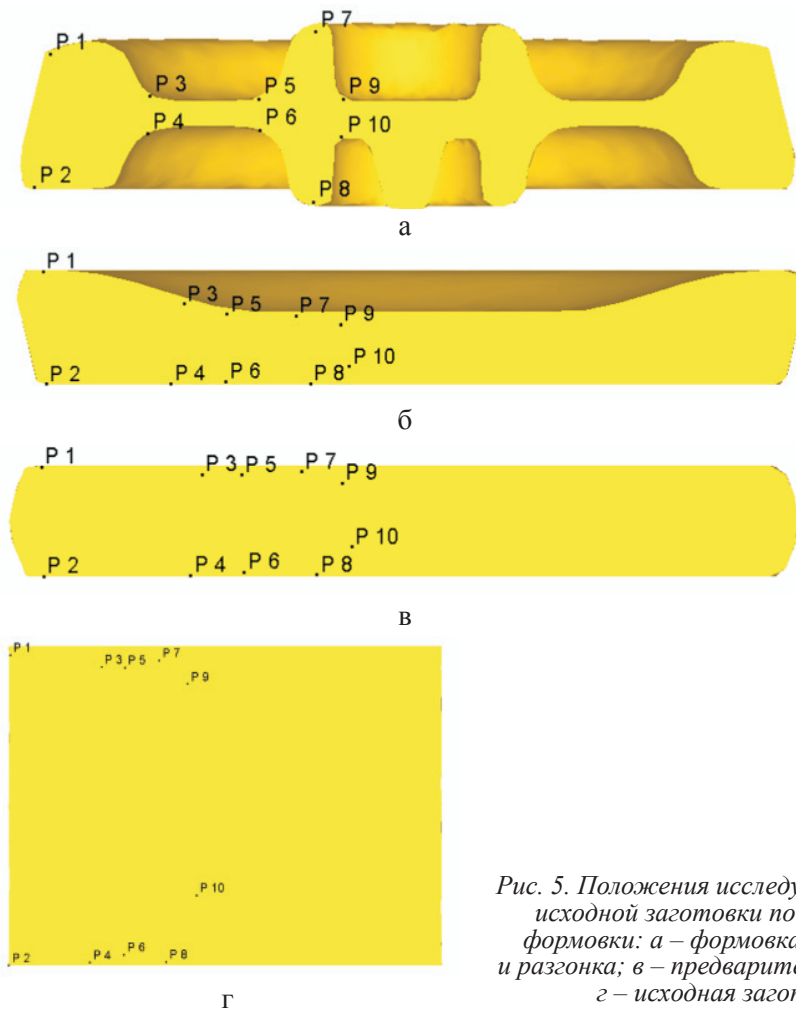


Рис. 5. Положения исследуемых объемов исходной заготовки по переходам формовки: а – формовка; б – осадка и разгонка; в – предварительная осадка; г – исходная заготовка

Таблица 2

Элемент железнодорожного колеса	Размеры зон исходной заготовки, мм			
	в горячем состоянии		в холодном состоянии	
	внешний диаметр	внутренний диаметр	внешний диаметр	внутренний диаметр
Обод	483,7	301,2	482,0	300,0
Диск	301,2	255,4	300,0	254,5
Ступица	255,4	63,8	254,5	63,6
Перемычка под прошивку отверстия	63,8	–	63,6	–

В соответствии с геометрическим положением исследуемых зон заготовки на переходах получены картины их деформированного состояния, в частности для

операции формовки это показано на рис. 6. На них оценка деформированного состояния представлена показателем его интенсивности.

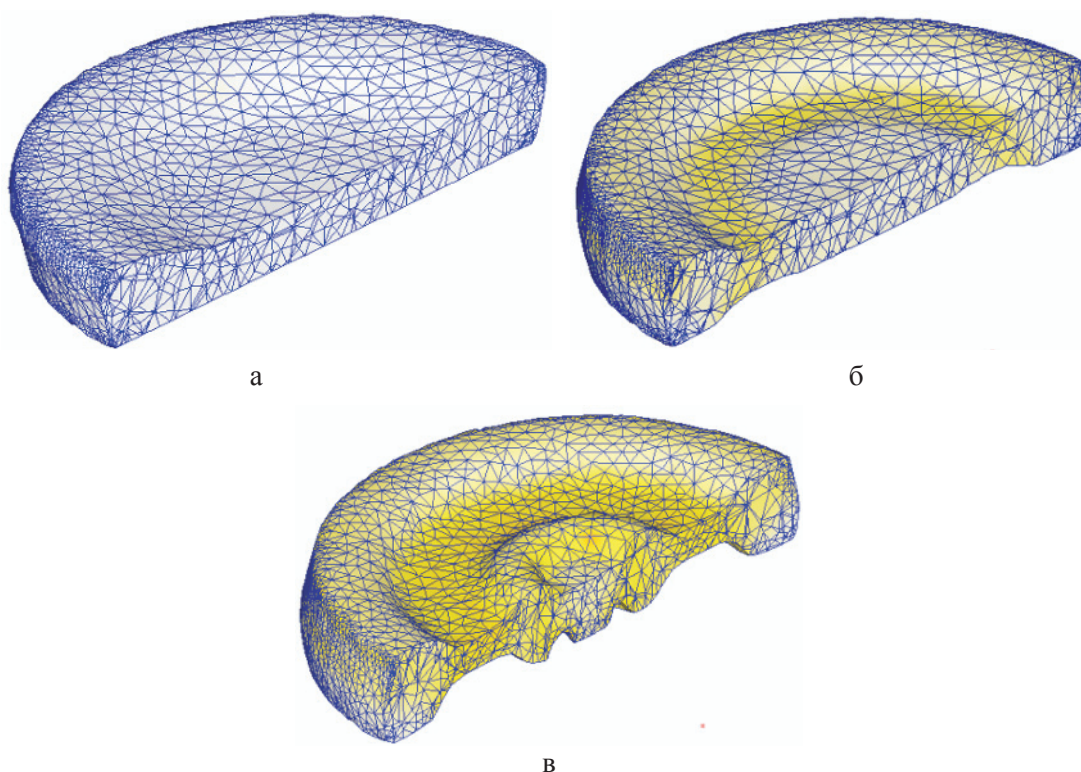


Рис. 6. Картины деформированного состояния металла на операции формовки по шагам математического моделирования:
а – 100, б – 110, в – 120

Расчет итоговой деформации в исследуемых зонах изделия проводился согласно положению, по которому в условиях многопереходной объемной штамповки при немономтонном деформировании, конечное значение деформированного состояния исследуемых зон формируемого изделия можно определить арифметическим суммированием скалярных значений интенсивностей деформаций исследуемых зон на каждом из переходов [1, 5]. Значения деформированного состояния в исследуемых зонах по переходам и их итоговая деформация приведены в табл. 3.

Выводы

В процессе математического моделирования формообразующих операций изготовления заготовки железнодорожного колеса получены следующие результаты:

1. Дана оценка расположению зон металла в исходной заготовке, из которых формируются отдельные элементы колеса. Они имеют форму втулок. В частности, для наиболее ответственного элемента – диска колеса, ее внешний диаметр равен 300 мм, внутренний – 254,5 мм.

Таблица 3

Номер зоны	Компоненты деформаций по осям и интенсивности деформаций по операциям												$\Sigma \varepsilon_i$
	Предварительная осадка				Разгонка в кольце				Формовка				
	ε_r	ε_θ	ε_z	ε_i	ε_r	ε_θ	ε_z	ε_i	ε_r	ε_θ	ε_z	ε_i	
1	0,47	0,64	-1,12	1,47	0,04	0,01	-0,09	0,12	0,00	0,87	0,50	0,76	2,34
2	0,50	0,56	-1,20	1,55	0,05	-0,25	0,16	0,31	0,06	0,01	-0,02	0,87	2,73
3	0,50	0,54	-1,04	1,04	0,13	0,02	-0,19	0,28	0,23	0,41	-0,66	1,17	2,49
4	0,47	0,50	-0,97	1,00	0,14	0,06	-0,17	0,22	0,18	0,07	-0,23	1,15	2,37
5	0,48	0,52	-1,01	1,01	0,14	0,10	-0,29	0,35	0,00	-0,44	-0,69	1,43	2,79
6	0,46	0,50	-0,99	0,97	0,16	0,13	-0,32	0,34	-0,18	0,63	-0,47	1,22	2,53

2. Рассчитаны итоговые значения интенсивности деформации исследуемых характерных зон изделия, а также значения на каждой формообразующей операции. Дана оценка неравномерности деформированного состояния по объему колесной заготовки и определены операции, внесшие наибольший вклад. Наибольшая итоговая деформация соответствует зонам перехода штамповки диска колеса в ступицу и перемычки для пробивки отверстия. При этом наибольший вклад в суммарную интенсивность деформации производится на стадии формовки колеса на гидравлическом прессе.

3. Полученные результаты позволяют выполнить целенаправленный анализ структурно-механических характеристик металла объема исходной заготовки и конечного изделия. В частности, для проведения дальнейшего исследования необходимо построение диаграмм рекристаллизации второго рода для колесных сталей, устанавливающих зависимость между размером зерна, интенсивностью деформации и температурой.

Список литературы

1. Галкин В.В., Кудрявцев С.А., Терещенко Е.Г. Методика расчета конечных пластических деформаций металлоизделий, изготовленных многопереходными процессами холодной объемной штамповки // Заготовительные производства в машиностроении. – 2012. – № 9. – С. 23–26.
 2. Пачурин Г.В., Галкин В.В., Гушин А.Н., Пачурин В.Г. Теоретические основы повышения эксплуатационной долговечности штампованных металлоизделий: учеб. пособие с грифом УМО / Г.В. Пачурин [и др.]; под общ. ред. Г.В. Пачурина. – Н. Новгород: НГТУ, 2006. – 173 с.
 3. Усталостное разрушение при разных температурах и долговечность штампованных металлоизделий: монография / Г.В. Пачурин, В.В. Галкин, В.А. Власов, Н.А. Меже-

нин; под общей ред. Г.В. Пачурина; НГТУ. – Н. Новгород, 2010. – 169 с.

4. Пачурин Г.В., Галкин В.В., Власов В.А. Повышение долговечности металлоизделий: монография. НГТУ им. Р.Е. Алексеева / Г.В. Пачурин [и др.]; под общей ред. Г.В. Пачурина; LAP LAMBERT Academic Publishing Gmb 8, Co KG, 2012. – 174 с.

5. Смирнов-Аляев Г.А. Сопротивление материалов пластическому деформированию. – Л.: Машиностроение, 1978. – 368 с.

References

1. Galkin V.V., Kudryavtsev S.A., EG Tereshchenko E.G. Method of calculating the final plastic deformation of metal, made multistage cold forming processes // Provision of production. 2012. no. 9. pp. 23–26.
 2. Pachurin G.V., Galkin V.V., Gushchin A.N., Pachurin V.G. The theoretical basis for improving the operational life of stamped metalloizlely: Ouch. Benefit stamped UMO / G.V. Pachurin [etc.], Ed. GV Pachurin; NSTU. N. Novgorod, 2006. 173 p.
 3. Pachurin G.V., Galkin V.V., Vlasov, V.A., Mezhenin N.A. Fatigue failure at different temperatures, and durability of stamped metal: monograph / GV Pachurin [etc.], Ed. G.V. Pachurin; NSTU. N. Novgorod, 2010. 169 p.
 4. Pachurin G.V., Galkin V.V., Vlasov, V.A. Increased durability of metal: Monograph. NSTU them. RE Alekseev / G.V. Pachurin [etc.], Ed. GV Pachurin; LAP LAMBERT Academic Publishing Gmb 8, Co KG, 2012. 174 p.
 5. Smirnov-Alyaev G.A. Resistance of materials to plastic deformation // GA Smirnov-Alyaev Engineering, Leningrad, 1978, 368 p.

Рецензенты:

Гаврилов Г.Н., д.т.н., профессор кафедры «Материаловедение и технологии новых материалов» НГТУ им. Р.Е. Алексеева, г. Н. Новгород;

Филимонов В.И., д.т.н., профессор, начальник бюро Центра подготовки и переподготовки персонала и специалистов Инозаказчика ОАО «Ульяновский механический завод», г. Ульяновск.

Работа поступила в редакцию 29.10.2012.