

УДК 621.77

Формирование волокнистой структуры поволоков колец, обеспечивающее долговечность подшипниковых узлов сельскохозяйственной техники

Э.А. Симсон, Л.В. Автономова, Е.Д. Грозенок

*Национальный технический университет «Харьковский политехнический институт»
(г. Харьков, Украина)*

В работе рассмотрено численное моделирование процесса горячей штамповки поволоков колец подшипников для сельскохозяйственной техники с целью улучшения распределения волокнистой структуры в материале заготовки. Предложен альтернативный процесс штамповки с использованием формовки в два этапа. При численном моделировании процесса горячей штамповки решаются краевые контактные задачи теплопроводности и термоупругопластичности с соответствующими граничными условиями методом конечных элементов. Контактные задачи решаются с учетом трения и теплового контакта. Волокнистая структура материала заготовки представлена в виде линий Лагранжа, которые выводятся при определении параметров напряженно-деформированного состояния заготовки. Сравнение полученных результатов картин укладки волокон при двух различных процессах штамповки показало эффективность предложенного технологического процесса штамповки, который дает возможность повысить износостойкость дорожки качения подшипникового кольца, что позволяет увеличить долговечность подшипников, тем самым обеспечивая надежную работу сельскохозяйственных машин.

Ключевые слова: Подшипник, штамповка, волокнистая структура, сельскохозяйственные машины, метод конечных элементов, долговечность.

Постановка проблемы и ее актуальность.

Создание надежной сельскохозяйственной техники, является важной задачей, обеспечивающей эффективное сельскохозяйственное производство. Бесперебойная эксплуатация сельскохозяйственных машин непосредственно зависит от надежной работы всех ее ответственных узлов. Одним из основных узлов является подшипниковый узел. Основной причиной выхода из строя подшипников является усталостное выкрашивание дорожки качения подшипникового кольца [1], что непосредственно зависит от качества их изготовления. Основные технологические процессы производства подшипниковых колец включают в себя: индукционный нагрев, штамповку и раскатку кольца. Прочностные характеристики подшипникового кольца напрямую зависят от технологических характеристик, которые закладывается на стадии проектирования и изготовления. Оптимальный подбор этих параметров позволяет повысить надежность и долговечность подшипников сельскохозяйственных машин.

Анализ современных исследований и публикаций. Исследованию технологических процессов производства элементов подшипников посвящено большое количество работ [2-7], но при этом исследование влияния технологических параметров на качество получаемой детали в настоящее время является актуальным вопросом.

Первым этапом технологического процесса изготовления подшипникового кольца является индукционный нагрев цилиндрической заготовки. Аналитическая модель описывающая процесс нагрева [2] дает возможность оценивать температурное поле заготовки и в дальнейшем использовать полученные результаты для создания оптимального алгоритма управления индукционным нагревом. В работе [3] рассмотрены вопросы оптимального управления процессом индукционного нагрева и осуществлен подбор оптимального процесса нагрева с точки зрения энергоэффективности и производительности.

Вторым этапом технологической цепочки является горячая объемная штамповка. При изготовлении подшипникового кольца в процессе штамповки происходит формообразование кольца и, соответственно, дорожки качения. Уже на этом этапе необходимо закладывать такие параметры технологического процесса, которые позволяют получить качественное и износостойкое кольцо. С помощью математического моделирования [4] данная задача решается на стадии проектирования.

Следующим этапом в технологическом процессе идет горячая раскатка подшипникового кольца. В работе [5] рассматривается математическое моделирование горячей раскатки кольца подшипника с использованием современных программных комплексов.

При проектировании надежных элементов подшипников кроме подбора оптимальных параметров технологического процесса необходимо также учитывать изменение макроструктуры материала в процессе изготовления. Так во время штамповки происходит укладка волокон материала определенным образом [6]. Наиболее оптимальным является параллельность волокон дорожке качения, а худший вариант – перпендикулярность этой дорожке [7]. В работе [7] исследуется зависимость долговечности подшипников от ориентации и выхода волокон материала на дорожку качения подшипникового кольца. На рис. 1 представлен график зависимости долговечности подшипников от угла наклона волокон к нормали контактной площадки.

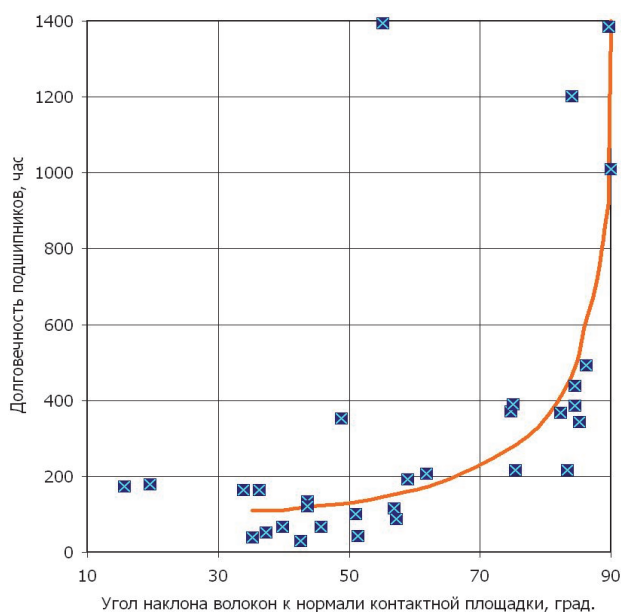


Рис. 1. Зависимость долговечности подшипников от угла наклона волокон к нормали контактной площадки

Современные методы численного моделирования дают возможность проводить математическое моделирование различных технологических процессов, в том числе и штамповки. С их помощью можно прогнозировать структуру и поведение материала при деформировании, в первую очередь укладку волокон при штамповке, и подбирать такие технологические параметры, которые будут давать оптимальный конечный результат в виде повышения надежности и долговечности изделия.

Основная часть Целью данной работы, является разработка подхода и численное моделирование процесса горячей штамповки с использованием программного комплекса на основе метода конечных элементов для ана-

лиза укладки волокон при различных параметрах штамповки.

Классический метод штамповки проходит в три этапа: осадка, формовка и прошивка. В настоящей работе предложено произвести формовку в два этапа: первоначально пройти цилиндрическую заготовку пуансоном меньшего диаметра, затем после разворота заготовки на 180° повторно производят проход пуансоном диаметр которого соответствует внутреннему диаметру поковки кольца. На рис. 2 представлены расчетные схемы для каждого этапа формовки (с двумя разными диаметрами пуансона).

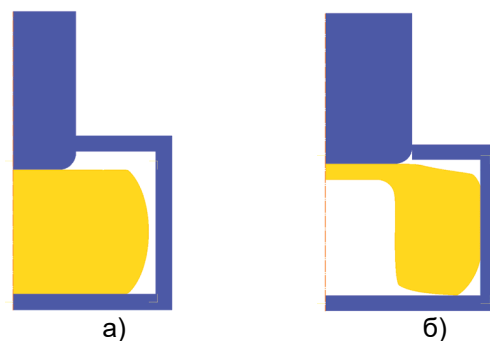


Рис. 2. Расчетная модель: а) первый проход с меньшим диаметром; б) второй проход с заданным большим диаметром пуансона

Для оценки распределения волокнистой структуры поковки кольца подшипника, методом конечных элементов, численно решалась нелинейная, контактная, связанная, нестационарная термоупругопластическая задача.

В работе [8] представлена полная система уравнений, описывающая напряженно-деформированное состояние цилиндрической заготовки в процессе штамповки. Контактная задача решалась с учетом трения по закону Зибеля с коэффициентом равным 0,3. На рис. 3 приведена расчетная схема, включающая в себя 8009 элементов и 8338 узлов для осадки и 10573 элементов и 11024 узлов для формовки.

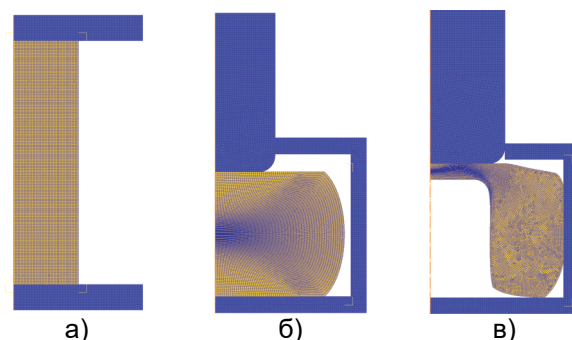


Рис. 3. Расчетная схема конечно-элементной модели: а) формовка; б) первый проход; в) второй проход

В качестве исходных данных для горячей штамповки использовалось предварительно рассчитанное при индукционном нагреве объемное поле температур по заготовке. В работе [9] приведено решение нестационарной задачи теплопроводности, описывающей процесс в оптимальном режиме нагрева цилиндрической заготовки (рис. 4).

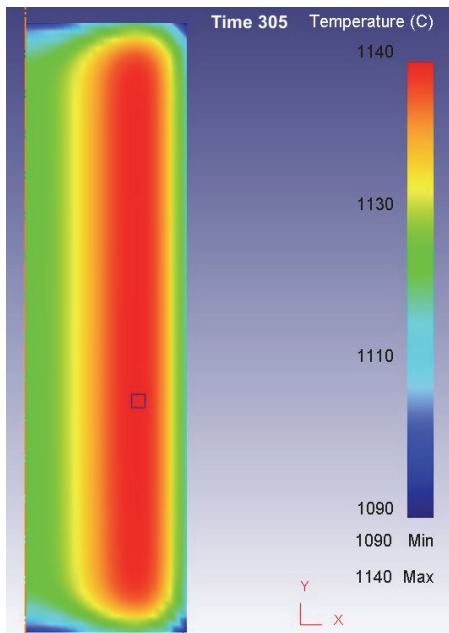


Рис. 4. Поле температур после индукционного нагрева

При численном моделировании процесса горячей штамповки решаются краевые задачи теплопроводности и термоупругопластичности. В задаче – на границах между заготовкой и матрицей и пуансоном задается тепловой контакт. Граничные условия, используемые для термоупругопластической задачи: матрица жестко заземлена, а пуансону разрешены только вертикальные перемещения при наличии трения. Скорость движения пуансона – 100 мм/с. Материал заготовки Сталь ШХ15.

Как ранее отмечалось, моделирование процесса штамповки проводилось в несколько последовательных этапов, полученные результаты приведены на рис. 5 - 8.

Осадка. На рис. 5,а представлена исходная модель заготовки перед осадкой и ее волокнистая структура, представленная в виде линий Лагранжа.

Для первого этапа процесса штамповки осадки расчетным путем определяется распределение и укладка волокон в поковке, представленное на рис. 5,б.

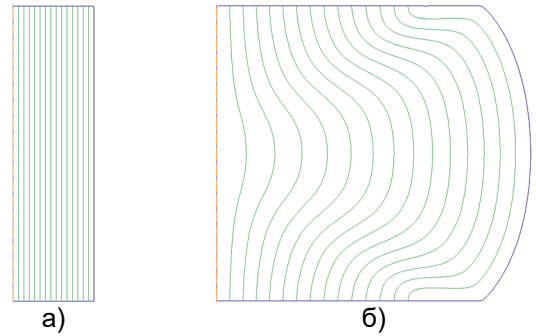


Рис. 5. Волокнистое строение: а) исходной заготовки; б) укладка волокон после осадки

Формовка за один проход. При моделировании процесса классической формовки в один проход получено распределение волокон в материале заготовки, которые расположены под углом к дорожке качения, что негативно влияет на долговечность подшипника [7] (рис. 6).

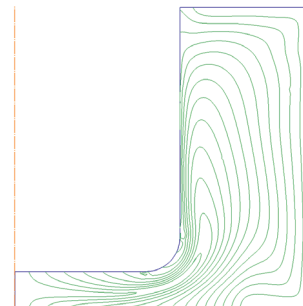


Рис. 6. Картина укладки волокон в поковке при формовке в один проход.

Формовка в два прохода. На рис. 7 представлено распределение линий Лагранжа (волокон) после формовки в два этапа. В отличие от классического способа формовки в один проход волокна после второго прохода располагаются практически параллельно дорожке качения и не выходят на нее.

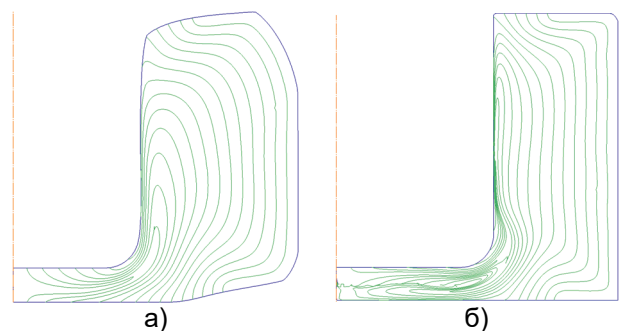


Рис. 7. Картина укладки волокон при двухэтапной формовке: а) проход меньшим диаметром пуансона. б) проход заданным (большим) диаметром пуансона

Выводы. Проведено численное моделирование методом конечных элементов горячей штамповки подшипникового кольца в виде нелинейной, контактной, связанной, нестационарной термоупругопластической задачи.

По результатам расчета предложено технологический процесс горячей штамповки подшипникового кольца проводить в два прохода (сначала меньшим диаметром, потом необходимым.)

Полученные результаты показали, что предложенный способ штамповки более эффективна и положительно влияет на картину волокнистого строения материала после штамповки, что позволяет повысить износостойкость дорожки качения подшипника и долговечность подшипниковых узлов сельскохозяйственной техники.

Литература

1. Повреждения подшипников качения и их причины. Санкт-Петербург: Авторское право SKF AB, 2002.
2. Данилушкин А.И. Математическая модель индукционного нагрева цилиндрических заготовок перед раскаткой / А.И. Данилушкин, С.В. Князев, С.И. Семенов // Вестник ВГТУ. – 2012. – № 10-1. – С. 101-103.
3. Плешивцева Ю.Э. Оптимальное по быстродействию и энергопотреблению управление периодическим процессом индукционного нагрева металла / Ю.Э. Плешивцева, А.В. Попов,

А.И. Дьяконов // Альманах современной науки и образования. – 2013. – №2 (69). – С. 135-142.

4. Володин И.М. Моделирование процессов горячей объемной штамповки: Монография / И.М. Володин. – М.: Машиностроение-1, 2006. – 253 с.

5. Автономова Л.В. Моделирование процесса горячей раскатки колец подшипника / Л.В. Автономова, Е.Д. Грозенок, Э.А. Симсон // Вестник Национального технического университета «ХПИ»: сб. науч. тр. Темат. вып.: Технологии в машиностроении. – Харьков: НТУ «ХПИ». – 2015. – № 4 (1113). – С. 158-161

6. Штамповка поковок с направленным волокнистым строением / О.А. Банных, О.А. Белокуров, В.М. Блинов и др. // Вестник машиностроения. – 2000. – № 10. – С. 33-37.

7. Раузин Я.Р. Влияние макроструктуры металла на контактную выносливость и долговечность подшипников качения / Я.Р. Раузин // Контактная прочность машиностроительных материалов: Сборник научных трудов. – М.: Наука, 1964. – С. 51-55.

8. Сидоров А.А. Разработка технологического процесса высадки поковок типа стержня с полусферическим фланцем с направленным волокнистым строением: дис. ... канд. тех. наук: 05.02.09 / А.А. Сидоров. – М., 2016. – 158 с.

9. Грозенок Е.Д. Численное моделирование температурного поля заготовок при индукционном нагреве для изготовления подшипниковых колец / Е.В. Грозенок, Э.А. Симсон, А.В. Степук, С.Ю. Шергин // Вісник НТУ «ХПІ». Серія: Динаміка і міцність машин. – Х.: НТУ «ХПІ», 2016. – № 26 (1198). – С. 50-53.

Анотація

Формування волокнистої структури поковок кілець, що забезпечує довговічність підшипникових вузлів сільськогосподарської техніки

Е.А. Симсон, Л.В. Автономова, Є.Д. Грозенок

У роботі розглянуто чисельне моделювання процесу гарячого штампування поковок кілець підшипників для сільськогосподарської техніки з метою поліпшення розподілу волокнистої структури в матеріалі заготовки. Запропоновано альтернативний процес штампування з використанням формування в два етапи. При чисельному моделюванні процесу гарячого штампування вирішуються крайові контактні задачі теплопровідності і термоупругопластичності з відповідними граничними умовами методом скінчених елементів. Контактні задачі вирішуються з урахуванням тертя і теплового контакту. Волокниста структура матеріалу заготовки представлена у вигляді ліній Лагранжа, які виводяться при визначенні параметрів напружено-деформованого стану заготовки. Проведено порівняння отриманих результатів картин укладання волокон при двох різних процесах штампування. Отримані результати показали ефективність запропонованого технологічного способу штампування, за допомогою якого в подальшому підвищується зносостійкість дорожки качення підшипникового кільця. Підвищення зносостійкості підшипникового кільця дозволяє збільшити довговічність підшипників, тим самим забезпечуючи кращу надійності сільськогосподарських машин.

Ключові слова: підшипник, штампування, волокниста структура, сільськогосподарські машини, метод кінцевих елементів, довговічність.

Abstract

**Forming the fibrous structure of ring forgings to provide durability
of bearing units for agricultural machinery**

E.A. Simson, L.V. Avtonomova, I.D. Grozenok

In article numerical modeling of hot stamping process of bearings forgings rings for agricultural machinery for the purpose of improvement of distribution of fibrous structure in procurement material has been considered. Alternative process of stamping with use of molding in two stages has been offered. In case of numerical modeling of hot stamping process regional contact tasks of heat conductivity and the thermal and plasticity and elastically with the corresponding boundary conditions a finite-element method have been solved. Contact tasks were solved taking into account friction and thermal contact. The fibrous structure of material of procurement has been presented in the form of Lagrange lines which are removed in case of determination of deformed intense parameters procurement condition. Comparison of the received results of stacking pictures of fibers in case of two various processes of stamping showed efficiency of the offered engineering procedure of stamping. This process gives the chance to increase wear resistance of a swing path bearing ring. It allows increasing durability of bearings, thereby ensuring reliable functioning of farm vehicles.

Keywords: *Bearing, forming, fibrous structure, agricultural machinery, finite elements method, durability.*

Представлено від редакції: В.А. Войтов / Presented on editorial: V.A. Vojtov
Рецензент: В.В. Коломоець / Reviewer: V.V. Kolomijec
Подано до редакції / Received: 29.09.2016