

УДК 629.113-254.61.004.18

**РАЗРАБОТКА РЕСУРСОСБЕРЕГАЮЩИХ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ
ПРОЦЕССОВ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ОБОДЬЕВ КОЛЕС В УСЛОВИЯХ
ОГРАНИЧЕННЫХ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ РЕСУРСОВ**

кандидат технических наук, Коноваленко А.Д.,

Солодовников А.А.

Кременчугский национальный университет имени М. Остроградского,
Украина, Кременчуг

Проблемы экономии производственных ресурсов являются актуальными в современных условиях машиностроительного производства.

Проведены экспериментальные исследования процессов профилирования ободьев тракторных колес и предложены изменения в технологический процесс. Разработана интегрированная технология для улучшения совместимости изготовления тракторных колес. Разработаны экономико-методические модели для каждой стадии интегрированной технологии. Внедрение их в производство позволяет снизить затраты металла и улучшить качество колес.

Ключевые слова: ограниченные производственные ресурсы, радиально-ротационный процесс, экономико-математическое моделирование, сокращение расхода металла, повышение качества колес.

*PhD in Technical Sciences, Konovalenko A.D., Solodovnikov A.A.
The development of resource saving technological processes of manufacture of rims with limited production resources / Kremenchuk Mykhailo Ostrohradskyi National University, Ukraine, Kremenchuk*

The problems of the economy of the production are actual in the contemporary conditions of the mechanical industry. Experimental studies profiling processes rims tractor wheels and proposed changes to the process. Introduction them in production allows to reduce metal expenditure and to improve quality of wheels. There has been developed the integrateal technology for the improvement of the competitiveness of the tractor wheels. The economic-mathematical models were developed for each stage of the integrated technology.

Key words: limited production resources, radial-rotary process, economic - matematycal modeling, reduce metal expenditure, improve quality of wheels.

Введение. В современных условиях машиностроительных предприятий актуальным вопросом является экономия производственных ресурсов и в первую очередь металла.

Важным вопросом сельхозмашиностроения Украины является обеспечение высокой надежности сельскохозяйственных машин при одновременном снижении стоимости единицы их работы, обеспечивающем рост производительности труда. Это обуславливает обеспечение высокой надежности всех деталей сельскохозяйственных машин при минимальной их массе и стоимости. Выполнение этих условий возможно лишь при наличии весьма точной информации о действующих на элементы машин факторах и характеристиках сопротивления им со стороны этих элементов. Все факторы и характеристики являются случайными величинами, имеющими свои законы распределения, поэтому для обеспечения высокой надежности необходимы точные данные о максимальных (для факторов) и минимальных (для характеристик) значениях этих величин. Данные требования относятся и к тракторным колесам, правильный выбор

конструктивных параметров к колесам обеспечивает реализацию эксплуатационно-технических характеристик трактора, включая такие важнейшие как долговечность, безопасность, производительность и экономичность. В процессе эксплуатации наибольшие нагрузки воспринимают ободья тракторных колес. Обод, воспринимая проходящий через шину внутренний и внешний силовой поток, нагружается сложной системой сил и моментов. Напряжение от этих нагрузок распределены по сечению обода крайне неравномерно. Общий уровень и распределение напряжений в основном зависит от конструкции и качества изготовления обода и шины, схемы соединения борта шины с посадочными полками внутренних и внешних сил, условий эксплуатации трактора. Ободья колес тракторов нагружены симметричной относительно оси системой сил, (главные напряжения ориентированы в двух направлениях: осевом, или поперечном, а в перпендикулярном к нему окружном, или кольцевом). Знакопеременность нагрузки при работе уменьшает долговечность колес. Поэтому форма изменения заготовок в процессе профилирования должна протекать без знакопеременных напряжений, которые заведомо сокращают долговечность изделий.

В современных условиях жесткой конкуренции на рынке продукции для удовлетворения всевозрастающих требований к себестоимости и качеству колес необходимо не только максимально использовать при профилировании весь комплекс физико-механических свойств материалов, но и стремиться к формированию такой их направленности в заготовках, которая создавала бы благоприятную для повышения предельных возможностей формоизменения схему напряженно-деформированного состояния, определяющую также интенсификацию процесса в целом.

Одним из наиболее производительных способов изготовления ободьев транспортных средств является радиально-ротационное профилирование их из листовой цилиндрической обечайки. Однако, отсутствие теоретических и экспериментальных исследований, методов расчета приводит к повышению материалоемкости, энергоемкости и не дает возможности в полной мере реализовать все преимущества данного процесса. Поэтому разработка прогрессивных технологических процессов с оптимизацией определенных параметров требует предварительного, достаточно точного расчета процесса формоизменения, вычисления энергий, усилий, определения законов распределения деформаций, скоростей деформации и напряжений в объеме обрабатываемого металла и на контактной поверхности. Для решения этих проблем применяется моделирование процессов пластического формоизменения при радиально-ротационном способе профилирования ободьев колес. Моделирование проводится с целью:

1. Получения данных для создания новых либо усовершенствования существующих технологических процессов профилирования.
2. Изучения закономерностей процессов формоизменения металла.
3. Выяснения влияния различных способов деформации на пластичное поведение деформируемого металла. Подбрав соответствующим образом технологические параметры оборудования и калибровку профилировочных роликов, можно повысить пластические свойства металла и избежать разрушения заготовки в процессе профилирования, что особенно важно для труднодоступных участков.
4. Определения картины распределения напряжений и деформаций в очаге течения.
5. Вычисления потребной работы деформации и величины деформирующих сил.
6. Получение функциональных зависимостей для создания математических алгоритмов процессов профилирования.
7. Изучения влияния различных факторов на

сопротивление деформации. 8. Выяснение влияния деформации на изменение свойства и структуры металла.

Вопросами профилирования цилиндрических изделий занимались многие зарубежные и отечественные ученые. Среди них Алиев И.С., Чигиринский В.В., Евстратов В.А. и др. [1-3].

Цель работы. На основании исследований разработать и использовать методы экономико-математического моделирования производственных процессов изготовления ободьев тракторных колес в условиях ограниченных поставок металла определенной марки. Постановка задачи заключается в определении оптимального выпуска каждого вида ободьев колес из возможной номенклатуры предприятия ОАО Кременчугский колесный завод, с учетом обязательных поставок по производственному заказу и возможности сбыта данной продукции, обеспечивающие при ограниченных производственных ресурсах максимальную прибыль для предприятия и требуемые технические условия поставки для заказчика продукции.

Результаты исследования. С целью разработки рациональной конструкции профилировочных роликов были проведены экспериментальные исследования напряженно-деформированного состояния [5] при радиально-ротационном профилировании ободьев колес (W8x16, DW14Lx38, 4,5Ex16). Весь комплекс экспериментальных исследований был проведен в промышленных условиях ОАО Кременчугский колесный завод. Экспериментальные исследования показали, что при традиционных схемах профилирования наибольшим деформациям подвергаются места угловых радиусных переходов от борта к посадочным полкам, от стенки к дну центрального и монтажного ручьев. Так в окончательном профиле максимальные деформации по толщине составляют от 11 до 19 % толщины исходной заготовки и, соответственно, для обода колеса

W8x16-17-19%; DW14Lx38-12-13%; 4,5Ex16-14-17%. Данные экспериментов свидетельствуют о том, что при профилировании ободьев колес по существующим схемам практически отсутствуют резервы для снижения толщины исходной заготовки из-за значительных утонений металла в радиусных переходах. С целью снижения расхода металла и оснастки, улучшения качества ободьев колес представляется необходимым скорректировать технологические процессы: перераспределить по переходам величины обжатий в радиальном направлении, обеспечив снижение усилий профилирования от первого к последнему переходу и минимально возможную нагрузку на ролики последнего чистового перехода; перераспределить обжатия по ширине обода, обеспечив постепенное смещение угловых радиусных зон от центра к периферии и образования в первом переходе конусообразного центрального ручья; применять предварительное формирование ложных каналов с обратной выпуклостью (продольных гофров) в предварительных переходах с их выравниванием в последующих переходах; практиковать применение канавок в радиусной зоне наружных профилировочных роликов при формировании центрального ручья; ввести где это возможно в практику профилирования ободьев способ периодического покачивания и сдавливания обечайки; применять формирование радиусной зоны под бортом и в центральном ручье одинаковым радиусом; осуществлять операцию осадки в промежуточных переходах между операциями профилирования, используя двойную конусность краевых зон.

На основании исследований и проведенного теоретического анализа разработана усовершенствованная конструкция профилировочных роликов. Цель предложенного мероприятия – повышение качества ободьев колес путем уменьшения утонения металла в местах

радиусных переходов. Разработана конструкция профилировочных роликов для многопереходного профилирования. Ролики имеют боковую часть в виде цилиндрической поверхности и закруглений, соединяющих цилиндрическую поверхность с торцами, отличается тем, что, с целью повышения качества обода путем уменьшения утонения металла в местах изгиба закругления роликов предпоследнего и последнего переходов выполнены со знакопеременной кривизной, при этом закругления предпоследнего перехода имеют одну впадину, начинающуюся вместе перехода торцевой части в закругления, глубиной не превышающей 0,1-0,2 радиуса закругления, длиной, равной 0,3-0,25 длины дуги закругления, а закругление роликов последнего перехода выполнены с двумя впадинами, расположенными на равном расстоянии от центрального закругления, при этом длина выступа расположенного между ними равна длине впадины на предпоследнем переходе.

В связи с этим был разработан, опробован и внедрен новый способ профилирования ободьев тракторных колес. Целью разработки явилось повышение качества ободьев. Профилирование обода ведут с введением на первом переходе трех локальных зон деформирования. Одна из зон расположена в середине центрального ручья, а две другие – в местах закруглений. В этих зонах формируют технологические гофры, которые на последующих переходах удаляют. Ширину всех локальных зон деформирования принимают равной 0,15-0,2 ширины центрального ручья. Повышение качества ободьев обеспечивается за счет стабилизации геометрических параметров и устранения гофрообразования, а также уменьшения утонения металла в местах изгиба, что дополнительно ведет к снижению расхода металла.

Весь технологический процесс профилирования ободьев колес осуществляется в условиях экономного использования

$$x_{1\min} \leq x_1 \leq x_{1\max}; x_{2\min} \leq x_2 \leq x_{2\max}; x_{n\min} \leq x_n \leq x_{n\max}; \quad (2)$$

при котором целевая функция прибыли предприятия принимает максимальное значение:

$$F = C_1 \cdot x_1 + C_2 \cdot x_2 + \dots + C_n x_n \rightarrow \max \quad (3)$$

Решение поставленных задач выполним используя симплекс-метод. Дальнейшие исследования включают проведение экономико-математического анализа полученных оптимальных решений, в частности по вопросу оценки степени дефицитности ограниченных ресурсов, в частности, возможного уменьшения запасов металла определенной марки без потери прибыли предприятия или возможного незначительного увеличения запасов этих ресурсов при увеличении прибыли предприятия в большей степени, а также эффективности расширения номенклатуры производства за счет возможного освоения других более сложных типов ободьев колес. Наиболее эффективным методом для решения поставленных проблем является использование объективно обусловленных оценок оптимального плана [4].

В результате решения двойственной задачи получим значения объективно обусловленных оценок оптимального плана (Y_1). Используя эти величины определим дефицитность ресурсов. Согласно второй теореме двойственности [4]:

если $Y_i > 0$, то $\sum_{j=1}^m a_{ij} \cdot x_j = b_i$ - следовательно ресурс дефицитный, т.е.

полностью используется в оптимальном плане; если

$\sum_{j=1}^n a_{ij} \cdot x_j < b_i$, то $Y_i = 0$, - ресурс не дефицитный, не полностью

используемый в производстве.

Используя полученные объективно обусловленные оценки оптимального плана (Y_1), проведем анализ степени дефицитности

ресурсов на предприятии. Учитывая при этом, что чем выше величина оценки Y_i , тем острее дефицитность i -го ресурса.

Следующий этап экономико-математического анализа заключается в определении интервалов изменения ресурсов, при которых оптимальный план выпуска продукции не изменяется. На основании второй теоремы двойственности [4], известно, что величина объективно обусловленной оценки того или иного ресурса показывает, насколько возросло бы максимальное значение целевой функции, если бы объем данного ресурса увеличился на одну единицу: $\Delta F(X) = Y_i \cdot \Delta b_i$. При этом необходимо отметить, что точной мерой влияния изменения ограничений ресурсов на целевую функцию прибыли предприятия являются оценки лишь при малом приращении ограничения.

Определим оценки нижних и верхних пределов изменения ограниченных производственных ресурсов. Пределы уменьшения (нижняя граница) определяется по тем значениям $X_k, (k = 1, \dots, m)$ для которых соответствующие значения $d_{k,i} > 0$:

$$\Delta b_i^{(-)} = \min \{x_k / d_{k,i}\} \text{ для } d_{k,i} > 0, \quad (4)$$

где d_{ki} - элементы матрицы, обратной к исходной матрице $A = a_{ij}$, состоящей из технологических коэффициентов соответствующего технологического этапа производственного процесса.

Пределы увеличения (верхняя граница) определяются по тем значениям $X_k, (k = 1, \dots, m)$ для которых соответствующие значения $d_{k,i} < 0$:

$$\Delta b_i^{(+)} = \left| \max \{x_k / d_{k,i}\} \right| \text{ для } d_{k,i} < 0. \quad (5)$$

При решении вопросов об эффективности расширения номенклатуры производства или оценке эффективности сравниваемых

технологий того или иного технологического этапа можно воспользоваться характеристикой способа производства, представляющей собой разницу между недополученной прибылью из-за отвлечения дефицитных ресурсов и полученной прибылью предприятия:

$$\Delta_j = \sum_{i=1}^m a_{ij} \cdot Y_i - C_j, \quad (6)$$

если $\Delta_j > 0$ - выгодно расширять номенклатуру изделий или соответственно предлагаемая технология эффективна;

если $\Delta_j \leq 0$ - не выгодно расширять номенклатуру изделий или соответственно предлагаемая технология не эффективна.

Следует отметить, что на каждом технологическом этапе представляются свои особенности в плане ограниченности производственных ресурсов, обеспечения заданных технологических требований и получения прибыли предприятия.

Выводы. Разработанные экономико-математические модели отдельных технологических этапов, а также экономико-математическая модель комплексной технологии положены в основу управления производственным процессом изготовления ободьев колес в условиях ОАО Кременчугский колесный завод.

В результате использования экономико-математических моделей и опробования данной технологии при профилировании ободьев колес к комбайну «Дон» установлено, что процесс профилирования на первом переходе проходит стабильно, без гофрообразования. После профилирования на последующих переходах максимальное утонение металла окончательного профиля обода снизилось по сравнению с существующей технологией в 1,5-1,7 раза и составило 0,6 мм, что позволяет перейти на толщину исходной заготовки 5,5 мм вместо 6 мм. Это приводит к уменьшению веса одного обода на 8 кг.

Литература:

1. Справочник технолога машиностроителя в 2-х т.т.2/ Под ред. А.Т. Косиловой и Р.К. Мещерякова. – М.: Машиностроение, 1985. – 495с.
2. Евстратов В.А. Теория обработки металлов давлением – Харьков: Вища школа, Изд-во при Харьк. ун-те, 1981. – 248с
3. Алексеев Ю.Н. Вопросы пластического течения металлов – Харьков: Изд-во при Харьк. ун-те 1958 – 188 с.
4. Горчаков А.А., Орлова И.В. Компьютерные экономико-математические модели: Учеб. пособие для вузов. – М.: Компьютер, ЮНИТИ, 1995. – 136с.
5. Коноваленко А.Д. Исследование процесса профилирования ободьев колес транспортных средств. /Ресурсозберігаючі технології виробництва та обробки тиском матеріалів у машинобудуванні/:№ 13 с.52-58.

References:

1. Kosilova, A.G., Meshcheryakov, R.K. (1985), *Spravochnik tehnologa mashinostroitelya (Reference book of technology and mechanical engineer)*, Mashinostroyenie, Moskow, Russia.
2. Yevstratov, V.A. (1981), *Theoriya obrabotki metallov davleniem (Theory of metal forming by pressure)*, Vyscha shkola, Kharkiv, Ukraine.
3. Alekseev, Yu.N. (1958), *Voprosyi plasticheskogo techeniya metallov (Questions of metal plastic flow)*, Izd-vo pri Kharkovskom universitete, Kharkiv, Ukraine.
4. Gorchakov, A.A., Orlova, I.V. (1995), *Kompyuternyye ekonomiko-matematicheskie modeli: uchebnoe posobie dlya VUZov (Computer economic and mathematical models: a tutorial for high schools)*, Kompyuter, YuNITI, Moskow, Russia.

5. *Konovalenko, A.D. (2001), "Investigation of the profiling process of rims of the vehicles wheels", Resursozberigayuchi tehnologiyi virobnitstva ta obrobki tiskom materialiv u mashinobuduvanni, iss. 13 pp.52-58*