

Кубышкин Александр Борисович

**ТЕХНОЛОГИЧЕСКАЯ НАСЛЕДСТВЕННОСТЬ ПРИ УПРОЧНЯЮЩЕЙ ОБРАБОТКЕ  
ТЯЖЕЛОНАГРУЖЕННЫХ ОПОР КАЧЕНИЯ**

Адрес статьи: [www.gramota.net/materials/1/2009/12-1/18.html](http://www.gramota.net/materials/1/2009/12-1/18.html)

Статья опубликована в авторской редакции и отражает точку зрения автора(ов) по рассматриваемому вопросу.

Источник

**Альманах современной науки и образования**

Тамбов: Грамота, 2009. № 12 (31): в 2-х ч. Ч. I. С. 52-54. ISSN 1993-5552.

Адрес журнала: [www.gramota.net/editions/1.html](http://www.gramota.net/editions/1.html)

Содержание данного номера журнала: [www.gramota.net/materials/1/2009/12-1/](http://www.gramota.net/materials/1/2009/12-1/)

**© Издательство "Грамота"**

Информация о возможности публикации статей в журнале размещена на Интернет сайте издательства: [www.gramota.net](http://www.gramota.net)

Вопросы, связанные с публикациями научных материалов, редакция просит направлять на адрес: [almanac@gramota.net](mailto:almanac@gramota.net)

## ТЕХНОЛОГИЧЕСКАЯ НАСЛЕДСТВЕННОСТЬ ПРИ УПРОЧНЯЮЩЕЙ ОБРАБОТКЕ ТЯЖЕЛОНАГРУЖЕННЫХ ОПОР КАЧЕНИЯ

*Кубышкин Александр Борисович  
Самарский государственный технический университет*

Исследуется целесообразность использования в типовом технологическом маршруте обработки дорожек качения тяжело нагруженных опорных узлов одного из методов ППД - полноконтактного профильного накатывания.

В настоящей статье излагаются результаты исследования эффективности упрочняющей технологии беговых дорожек опор буровых долот с позиции технологической наследственности. Изучалась целесообразность использования в типовом технологическом маршруте обработки одного из методов ППД - планетарно-ударного накатывания. При этом осуществлялось полноконтактное (профильное) пластическое деформирование исследуемых поверхностей. Исследование проводилось по плану полного факторного эксперимента  $2^4$  с двумя повторениями (Табл. 1).

Экспериментальные данные обрабатывались методами дисперсионного анализа. При этом оценивалось влияние методов обработки и вариантов технологических маршрутов на характеристики качества рабочих поверхностей и показатели износостойкости беговых дорожек: комплексный параметр шероховатости  $\Delta = R_{\max}/r_{np} \cdot b^{1/v}$ , поверхностную твердость  $HV$ , остаточные напряжения  $\sigma$ , износ в период приработки  $U$  и интенсивность установившегося изнашивания  $J$ , а также волнистость  $W_{\max}$  и отклонение профиля желоба от правильной геометрической формы  $H_{\max}$ .

**Табл. 1.** *Переменные факторы, кодирование и уровни их варьирования*

Фактор	Код	Уровень варьирования	
		Верхний (+)	Нижний (-)
Профильное точение	$M_0$	Операция введена в технологический маршрут обработки (постоянно)	
Сглаживающе-калибрующее накатывание	$M_1$	Операция введена в технологический маршрут	Операция выведена из технологического маршрута
Химико-термическая обработка	$M_2$	Цементация в твердом карбюризаторе с очисткой поверхности песком	Газовая цементация без последующей очистки поверхности песком
Профильное шлифование	$M_3$	Операция введена в технологический маршрут	Операция выведена из технологического маршрута
Сглаживающе-упрочняющее накатывание	$M_4$		

Степень влияния факторов и их взаимодействий в процентах определялась по коэффициенту отдельного определения (Табл. 2).

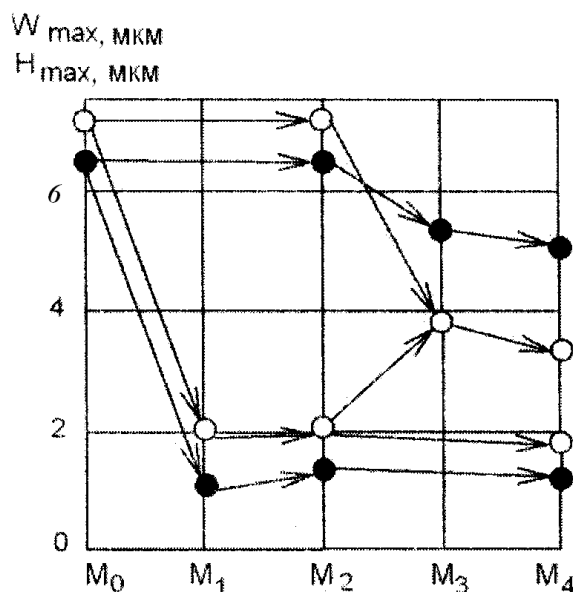
Исследованиями установлено, в частности, что введение в технологический маршрут ППД в качестве предварительной сглаживающе-калибрующей обработки (операция  $M_1$ ) способствует формированию наследственно-упрочненного слоя толщиной 0,25...0,30 мм.

**Табл. 2.** *Коэффициенты отдельного определения, отражающие влияние факторов и взаимодействий*

Факторы и взаимодействия	Параметры качества поверхности					Показатели износостойкости	
	$\Delta$	$HV$	$\sigma$	$W_{\max}$	$M_{\max}$	$U$	$J$
$M_1$	1,7	1,6	1,4	56,3	48,6	15,0	8,7
$M_2$	5,7					21,0	
$M_3$	13,5	4,4	18,8	10,2	5,5	9,8	33,1
$M_4$	51,9	92,9	55,9	3,1		22,4	46,4
$M_{12}$							
$M_{13}$			0,2	29,2	44,2	7,6	2,9
$M_{14}$	1,6		1,2	0,3			2,7
$M_{23}$						16,4	
$M_{24}$	5,5						
$M_{25}$	13,4		28,3				4,2

Для изучения механизма наследственного упрочнения было проведено рентгенографическое исследование поверхностного слоя образцов, обработанных по различным технологическим вариантам. Анализ полученных результатов показал, что применение ППД до химико-термической обработки способствует усилению микроискажений кристаллической решетки и увеличению дисперсности мартенситной структуры. Объясняется это тем, что дефекты решетки и кристаллического строения, созданные пластической деформацией в исходной структуре металла приповерхностного слоя, передаются образуемому в процессе термической обработки аустениту. При последующем фазовом превращении внесенные пластической деформацией дефекты исходной структуры служат дополнительными очагами зарождения зерен мартенсита и развития новых дислокаций. Результаты металлографического исследования подтвердили правильность сделанных предположений. Наследственно-упрочненный слой имеет более равномерную структуру скрытоигольчатого мартенсита в отличие от обычной мелкоигольчатой структуры.

В процессе формирования макрорельефа беговых дорожек самым сильным наследственным влиянием па волнистость  $W_{max}$  (56,3%) и отклонение профиля желоба  $H_{max}$  (48,6%) обладает сглаживающе-калибрующего накатывание ( $M_1$ ) и его совместное влияние со шлифованием ( $M_{13}$  - 29,2% и 44,2%). Для оценки взаимовлияния указанных факторов рассмотрим представленную на рисунке диаграмму изменения параметров макрорельефа в зависимости от методов и технологических маршрутов обработки. Применение сглаживающе-калибрующего накатывания ( $M_1$ ) способствует резкому снижению исходных неровностей, образующихся при точении ( $M_0$ ). Последующие операции химико-термической обработки ( $M_2$ ) и сглаживающе-упрочняющего накатывания ( $M_4$ ) при отсутствии шлифования ( $M_3$ ) практически не изменяют макрорельефа, то есть он полностью наследуется от предшествующей операции. Влияние шлифования ( $M_3$ ) неоднозначно. При отсутствии сглаживающе-калибрующего накатывания ( $M_1$ ) шлифование снижает высоту исходных макронеровностей, образующихся при точении ( $M_0$ ). Однако значительные по величине исходные макронеровности способствуют возникновению в процессе профильного шлифования таких неблагоприятных свойств поверхности, как прижоги, структурная неоднородность, микротрещины, царапины и т.п. Применение шлифования после калибрующего накатывания ( $M_1$ ) приводит к увеличению макронеровностей и уменьшению толщины наследственно упрочненного слоя, не исключая при этом образования шлифовочных дефектов.



**Рис.** Изменение параметров волнистости  $W_{max}$  (○) и макроотклонений  $H_{max}$  (●) при различных вариантах технологических маршрутов обработки

Результаты испытаний образцов на изнашивание показали, что технологическая наследственность проявляется не только на этапе изготовления деталей машин, но и при их эксплуатации. При этом на величину износа в конце периода приработке  $U$  оказывают влияние практически все рассматриваемые методы обработки (см. Табл. 2) -  $M_1$  (15%),  $M_2$  (2,1%),  $M_3$  (9,8%) и  $M_4$  (22,4%). Интенсивность изнашивания  $J$  зависит в основном от финишных операций  $M_3$  (33,1%) и  $M_4$  (46%). Экспериментальными исследованиями установлено, что остаточные растягивающие напряжения и рассмотренные выше дефекты, характерные для профильного шлифования, способствуют снижению износостойкости окончательно обработанных поверхностей. Это свидетельствует об отрицательном проявлении технологической наследственности, и поэтому введение операций профильного шлифования в технологический маршрут обработки беговых дорожек является нецелесообразным. Применение планетарно-ударного накатывания в качестве финишного метода обработки приводит к значительному сокращению периода приработке и снижению интенсивности изнашивания за счет снижения высоты исходных неровностей, повышения опорной способности микропрофиля и формиро-

вания равномерно упрочненного поверхностного слоя при одновременном снижении отрицательных проявлений технологической наследственности от предшествующих операций.

Проведенные исследования являются резервом повышения эффективности использования методов ППД и позволяют наметить нуги оптимизации упрочняющей технологии тяжслонагруженных опор качения с целью повышения их надежности и долговечности.

**ТОЧНОЕ АНАЛИТИЧЕСКОЕ РЕШЕНИЕ ЗАДАЧИ О ПОЛНОМ РАСПРЕДЕЛЕНИИ ТЕМПЕРАТУР  
ВПЛОТЬ ДО КОНЦОВ РЕГЕНЕРАТОРА С ВЫСОКОТЕПЛОПРОВОДНОЙ НАСАДКОЙ  
С ПРОИЗВОЛЬНО РАСПРЕДЕЛЁННОЙ НАЧАЛЬНОЙ ТЕМПЕРАТУРОЙ  
(ЗАДАЧА АНЦЕЛИУСА-НУССЕЛЬТА) И ЕГО СЛЕДСТВИЯ**

*Лобанов Игорь Евгеньевич  
Московский авиационный институт (государственный технический университет)*

**Данное исследование выполнено при поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (грант РФФИ № 09-08-00440); Президента РФ по государственной поддержке научных исследований молодых российских учёных-докторов наук (грант МД № 1420.2008.8)**

**1. Исходная система дифференциальных уравнений в частных производных**

Распределение температур в регенераторе, согласно работе [Хаузен, 1981], описываются системой следующих дифференциальных уравнений для плоских элементов насадки:

$$\begin{cases} \left(\frac{\partial \vartheta}{\partial f}\right)_t = \frac{\bar{\alpha}}{C}(\Theta_m - \vartheta); \\ \left(\frac{\partial \Theta_m}{\partial t}\right)_f = \frac{2\bar{\alpha}}{\rho c \delta}(\vartheta - \Theta_m), \end{cases} \quad (1)$$

где  $t$  - время;  $f$  - поверхность нагрева насадки между местом входа теплоносителя и рассматриваемым поперечным сечением;  $\delta$  - толщина плоского элемента насадки;  $\vartheta$  - температура теплоносителя;  $\Theta_m$  - средняя по поперечной координате температура насадки в рассматриваемом поперечном сечении к моменту  $t$ ;  $C$  - полная теплоёмкость массового расхода теплоносителя;  $\bar{\alpha}$  - коэффициент теплоотдачи, отнесённый к средней температуре насадки  $\Theta_m$ .

Та же самая система уравнений в частных производных для насадки из элементов произвольной формы имеет следующий вид:

$$\begin{cases} \left(\frac{\partial \vartheta}{\partial f}\right)_t = \frac{\bar{\alpha}}{C}(\Theta_m - \vartheta); \\ \left(\frac{\partial \Theta_m}{\partial t}\right)_f = \frac{\bar{\alpha} df}{dC_s}(\vartheta - \Theta_m), \end{cases} \quad (2)$$

где  $df$  и  $dC_s$  - поверхность и теплоёмкость элементарного элемента насадки соответственно.

Для упрощения математической записи в дальнейшем будет опускать индекс  $m$  в  $\Theta_m$ , что обычно делалось в классических работах [Anzelius, 1926; Nußelt, 1927; Хаузен, 1981; Кошкин, 1973; Kalinin, 1994; Галицкий, 1970; Schumann, 1929]. Однако, следует всегда иметь в виду, что символ представляет собой действительную температуру только для металлических насадок из тонкого листа, а в общем случае  $\Theta$  - средняя по поперечной координате температура насадки в рассматриваемом сечении регенератора.

При данной постановке задачи теплофизические свойства и коэффициенты теплоотдачи не зависят от температуры, поэтому, для приведения системы уравнения к более удобной для решения форме, введём две безразмерные переменные  $\xi$  и  $\eta$  согласно следующим определяющим уравнениям для плоских элементов насадки:

$$d\xi = \frac{\bar{\alpha}}{C} df; \quad (3)$$

$$d\eta = \frac{2\bar{\alpha}}{\rho c \delta} dt; \quad (4)$$

для насадки из элементов произвольной формы:

$$d\eta = \frac{\bar{\alpha} df}{dC_s} dt = \frac{\bar{\alpha} F}{C_s} dt, \quad (5)$$

где  $F$  - полная площадь нагрева;  $C_s$  - теплоёмкость насадки регенератора.