

штучних виробів / Н.Г. Емельяненко // Український міжвідомчий науково-технічний збірник «Автоматизація виробничих процесів у машинобудуванні та приладобудуванні». – Львів. : Видавництво Львівської політехніки, 2011. Вип. 45. – С. 198-205.

6. Емельяненко М.Г. Розробка та дослідження обладнання з пневмогідролічним приводом для формування елементів конструкцій / Емельяненко М.Г. // Науковий вісник будівництва. – Харків. : ХДТУБА, ХОТВ АБУ, 2011. Вип. 65. – С. 371-375.

Bibliography:

1. Emelianenko N.G. Aspects of the dynamics of виброформовочных machines with pretexts, including elements of a fluid medium. N.G. Emelianenko // journal of the National technical University «Kharkov Polytechnic Institute». Collection of scientific works. – Kharkiv. : NTU «KhPI». - 2006. - №30. - With. 128-133. (Ukr.)
2. Emelianenko N.G., Stakhovsky A.V., Gerasimenko VLADIMIR. Study of the dynamics of вибромашины with combined drive. N.G. Emelianenko, A.V.Stakhovsky, Gerasimenko // Of Ukraine. – Kyiv. : state enterprise «DERGAVTOTRANSHDI-PROJECT», UKRAVTODOR, 2004. - №4 (180). - P.38-40. (Ukr.)
3. Emelianenko N.G. Interpretation of the results of the experimental research виброустановки with pneumatic actuator. N.G. Emelianenko // Scientific Bulletin of the construction. – Kharkiv. : HGTUSA, HOTV ABU, 2009. Vol. 52. - With. 352-356. (Ukr.)
4. Emelianenko N.G. Improvement of calculation methods вибропрессов for the production of small sized concrete products N.G. Emelianenko // Collection of scientific works. Series: industry machine building, construction. – Poltava: PoltSTIs, 2009. - Vol. 23, Vol.1. – With. 134-140. (Ukr.)
5. Emelianenko N.G. Creation of the equipment with пневмогідроприводом for the formation of small sized products N.G. Emelianenko // Ukrainian interdepartmental scientific and technical collection «automation of production processes in machine-building and instrument-making». – Kyiv. : Publishing house of Lviv polytechnics, 2011. Vol. 45. - With. 198-205. (Ukr.)
6. Emelianenko N.G. Development and research of the equipment with пневмогідролічним the reason for the formation of structural elements N.G. Emelianenko // Scientific Bulletin of the construction. – Kharkiv. : HGTUSA, HOTV ABU, 2011. Vol. 65. - With. 371-375. (Ukr.)

Рецензент: Н.С. Болотских
д-р техн. наук, проф. ГВУЗ «ХНУСА»

Статья поступила 22.04.2012

УДК 621.93.023

©Лоза Е.А.*

ВЛИЯНИЕ СПОСОБА ОБРАБОТКИ ВПАДИН ЗУБЬЕВ НА ПЛОСКОСТНОСТЬ ПИЛЬНЫХ ДИСКОВ ПРИ УПРОЧНЯЮЩЕЙ ОБКАТКЕ

Представлены экспериментальные данные по исследованию плоскостности пильных дисков. Получена корреляционная связь между величинами торцевого биения дисков до и после операции накатки.

Ключевые слова: *пильные диски, упрочняющая обкатка, торцевое биение, корреляционная связь.*

* канд. техн. наук, доцент, ГВУЗ «Приазовский государственный технический университет», г. Мариуполь

Лоза О.А. Вплив способу обробки западин зубів на площинність пиляльних дисків при зміцнюючій обкатці. Представлені експериментальні дані по дослідженню площинності пиляльних дисків. Отримано кореляційний зв'язок між величинами торцевого биття дисків до і після операції накатки.

Ключові слова: пиляльні диски, зміцнююча обкатка, торцеве биття, кореляційний зв'язок.

O.A. Loza. Influence of method of treatment of teeth cavities on flatness of sawing disks at strengthening treatment. Experimental data are presented of the research of flatness of sawing disks. Cross-correlation connection was obtained between the value of disks face run out before and after the rolling up operation.

Keywords: sawing disks, consolidating rolling, face run out, cross-correlation connection.

Постановка проблеми. Одним из наиболее важных результатов пластического деформирования боковой поверхности диска является возникновение в поверхностном слое металла остаточных напряжений сжатия. Причина их возникновения заключается в том, что при пластической деформации поверхностные слои металла перемещаются вглубь, однако этому препятствуют ниже лежащие слои. В результате первые оказываются под воздействием остаточных напряжений сжатия, а вторые – под воздействием остаточных растягивающих напряжений. При упрочняющей обкатке, которую производят при высоких уровнях сил прижатия инструмента, достигается высокая интенсивность и глубина наклепа с большими остаточными напряжениями сжатия в поверхностном слое. Очевидно, что ниже лежащие слои испытывают большие напряжения растяжения, что является существенным недостатком.

Процесс обкатки роликами боковой поверхности диска ведется по его периферии непрерывно и это позволяет предположить, что возникшие в результате обработки напряжения, могут оказать влияние на изменение плоскостности диска. Это приводит к ухудшению качества готовой продукции (косой рез при раскросе прокатки). Правомерность данного предположения необходимо проверить экспериментально.

Анализ последних исследований и публикаций. Представлены экспериментальные данные по исследованию плоскостности дисков на специально спроектированной установке. Приведены результаты замеров торцевого биения дисков различной исходной формы до и после упрочняющей обработки. Получена корреляционная связь между величинами торцевого биения дисков до и после операции накатки. Материалы по статистической обработке не публиковались.

Цель статьи – определить изменения величины торцевого биения после упрочняющей обработки с одной и с обеих сторон диска; оценить влияние состояний диска до обработки на величину торцевого биения диска после накатки и установить аналитическую зависимость.

Изложение основного материала. С помощью приспособления для накатки периферии дисков роликами была осуществлена накатка боковых поверхностей десяти дисков ниже области впадин. Применялись пильные диски $\varnothing 500$ мм, толщиной 3 мм, изготовленные из стали 50 (в количестве 10 штук). В процессе экспериментов выполнялись замеры отклонения от плоскости боковых поверхностей диска с помощью индикатора часового типа с ценой деления 0,01 мм. Накатывание осуществлялось с силой прижатия ролика 1000 Н (минимальным из выбранного диапазона), частота вращения диска составляла 0,24 об/мин, поперечная подача – 0,6 мм/об., радиус профильной части ролика равен 1,2 мм. Ширина следа от ролика определялась при помощи лупы Бриннеля с ценой деления 0,05 мм и при накатывании с силой 1000 Н составляла от 1 до 1,1 мм. Полный цикл накатки включал в себя 10 оборотов диска, что, в итоге, приводило к образованию накатанной дорожки шириной 10-11 мм. Перед накаткой диск закреплялся в планшайбах [1]. Причем, между диском и съемной планшайбой устанавливались три эластичные вставки. Это позволяло исключить перемещение диска при замерах бокового биения и повысить точность измерений. В то же время, сила затяжки диска с помощью планшайбы была незначительна и не приводила к изменению исходной кривизны диска. Контроль плоскостности диска по диаметру 450 мм осуществлялся до накатки, после накатки одной сто-

роны диска и после накатки обеих сторон диска [2].

На рисунках 1 и 2 приведены графики, построенные по результатам замеров торцевого биения дисков №1 и №2 (два характерных случая распределения торцевого биения из десяти дисков, подвергнутых накатке).

Анализ графиков, построенных по результатам эксперимента по изучению влияния процесса ППД на плоскостность диска (рис. 1, 2) показал, что поверхностное пластическое деформирование после десятикратной обкатки диска существенно изменяет его исходную геометрическую форму. Как в одном, так и в другом случаях в результате двухсторонней накатки диска произошло перераспределение торцевого биения диска и, кроме того, его увеличение по абсолютной величине. Таким образом, и при правке промышленных пильных дисков [2], обработка периферии диска приводит к искажению его исходной геометрической формы. Этот процесс зависит как от величины силы прижатия роликов, их геометрических параметров, так и от состояния пильного диска, его материала, термообработки и многих других факторов. Достаточно отметить, что при обкатке первого диска (рис. 1), с явно выраженной тарельчатостью, он приобретает форму симметричную относительно нейтральной оси, а во втором случае такого явления не наблюдается.

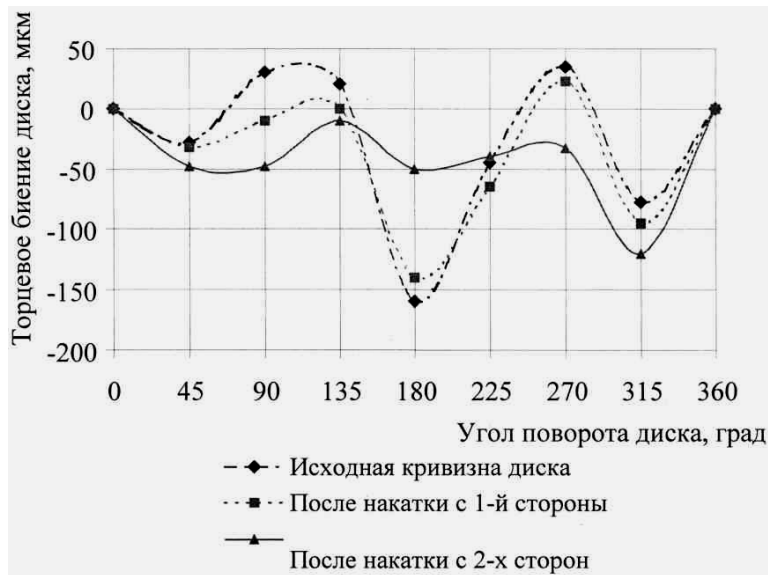


Рис. 1 – График изменения торцевого биения диска №1

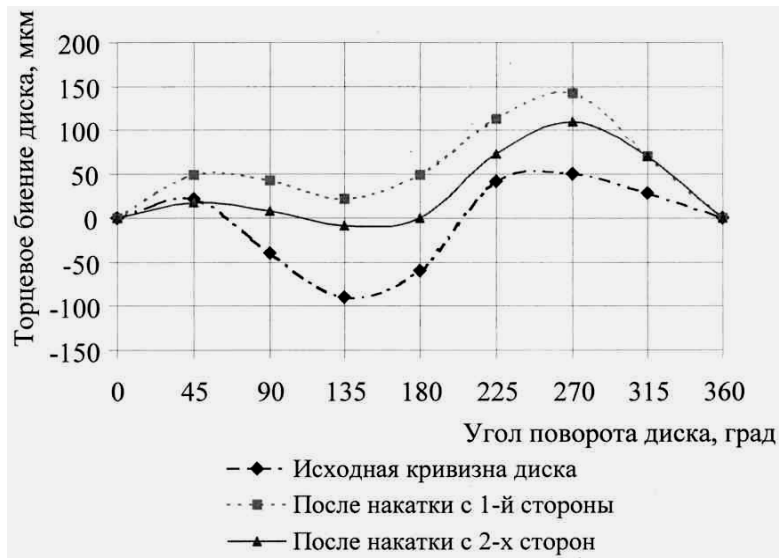


Рис. 2 – График изменения торцевого биения диска №2

Упрочнение впадин зубьев пильных дисков методом накатки боковой поверхности ниже впадин представляет собой процесс пластического деформирования области впадин и может вызывать удлинение волокон диска по его периферии. И тем самым вызывать либо увеличение, либо перераспределение величины торцевого биения диска. Об изменении состояния диска после каждой операции можно судить по кривым распределения торцевого биения, полученных в результате замеров (таблица 1) или по статистическим характеристикам этих распределений \bar{O} , σ .

Таблица 1

Корреляционный анализ изменения торцевого биения диска №1 в результате боковой накатки

Угол поворота диска, град	Торцевое биение до накатки X_0 , мкм	Торцевое биение после 1-й операции накатки X_1 , мкм	Торцевое биение после 2-й операции накатки X_2 , мкм	Произведение		
				$X_0 * X_1$	$X_0 * X_2$	$X_1 * X_2$
0	0	0	0	0	0	0
15	-15	-15	-17	225	255	255
30	-26	-28	-35	728	910	980
45	-28	-32	-48	896	1344	1536
60	-15	-30	-52	450	780	1560
75	10	-18	-52	-180	-520	936
90	30	-10	-48	-300	-1440	480
105	35	3	-35	105	-1225	-105
120	30	10	-17	300	-510	-170
135	20	0	-10	0	-200	0
150	-30	-30	-20	900	600	600
165	-125	-115	-42	14375	5250	4830
180	-160	-140	-50	22400	8000	7000
195	-150	-130	-49	19500	7350	6370
210	-75	-95	-46	7125	3450	4370
225	-45	-65	-40	2925	1800	2600
240	-5	-25	-38	125	190	950
255	25	15	-36	375	-900	-540
270	35	23	-33	805	-1155	-759
285	5	-5	-65	-25	-325	325
300	-55	-50	-117	2750	6435	5850
315	-78	-95	-120	7410	9360	11400
330	-70	-80	-98	5600	6860	7840
345	-25	-30	-48	750	1200	1440
360	0	0	0	0	0	0
Среднее значение	X_0 ср	X_1 ср	X_2 ср	$X_0 * X_1$ ср	$X_0 * X_2$ ср	$X_1 * X_2$ ср
	-28,48	-37,68	-44,64	3499,00	1432,81	1765,14
Проверка			X_2 ср расч			
			-44,64			
Стандартное отклонение по выборке	сигма X_0	сигма X_1	сигма X_2			
	55,52	46,58	30,38			
Коэффициенты уравнения регрессии	c	b_0	b_1			
	-23,54	-0,64	1,04			
Дисперсия	дисп X_0	дисп X_1	дисп X_2			
	3081,93	2169,81	923,24			
Парные коэффициенты корреляции	r_{X_0, X_1}	r_{X_0, X_2}	r_{X_1, X_2}			
	0,97	0,39	0,46			
Частные коэффициенты корреляции		$r_{X_0 X_2 (X_1)}$	$r_{X_1 X_2 (X_0)}$			
		-0,30	0,40			
Коэффициент множественной корреляции	R					
	0,53					

Характеристики распределений, полученные до накатки, будем называть характеристиками входа или входным качеством, а характеристики, полученные после выполнения операции накатки – характеристиками выхода или выходным качеством данной операции (рис. 3).

Необходимо определить: 1) как изменяется величина торцевого биения диска после обработки с одной и с обеих сторон; 2) как влияет состояние диска до обработки на величину торцевого биения диска после накатки.

Чтобы ответить на эти вопросы, необходимо установить аналитическую зависимость между величинами торцевого биения на входе и на выходе.

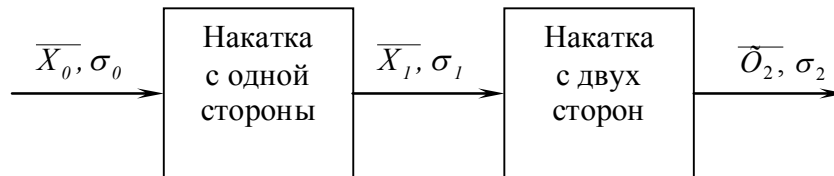


Рис. 3 – Схема упрочняющей обработки пильных дисков

Между показателями входного и выходного качества при упрочнении диска существует корреляционная связь. Погрешность выходного качества (торцевого биения диска) рассматривается как сумма погрешностей двух видов, аналогично технологическому процессу изготовления деталей машин: 1) погрешностей не зависящих от входного качества (собственная случайная погрешность операции); 2) погрешностей, воспроизводящих погрешность входного качества (погрешность, перенесенная частично или полностью из предыдущей операции).

Для полной характеристики торцевого биения диска на выходе необходимо иметь два показателя точности \bar{O}_2, σ_2 или дисперсию выходного качества σ_2^2 . Предположим, что x_0, x_1, x_2 распределены нормально, тогда корреляционная связь между входом и выходом будет прямолинейной [3-5]. В данном случае величина торцевого биения после операции накатки с двух сторон зависит от величины биения после накатки с одной стороны, а также от исходного торцевого биения диска. Здесь применима теория множественной корреляции. Расчетные формулы имеют вид:

$$\bar{x}_2 = c + b_1 \cdot \bar{x}_1 + b_0 \cdot \bar{x}_0 \quad (1)$$

Коэффициенты уравнения регрессии b_1, b_0 в дальнейшем будем называть передаточными характеристиками процесса, так как они характеризуют степень переноса погрешности с предыдущей операции на последующую:

$$b_1 = \frac{\sigma_2}{\sigma_1} \cdot \frac{r_{2,1} - r_{2,0} \cdot r_{1,0}}{1 - r_{1,0}^2}; \quad (2)$$

$$b_0 = \frac{\sigma_2}{\sigma_0} \cdot \frac{r_{2,0} - r_{2,1} \cdot r_{1,0}}{1 - r_{1,0}^2}; \quad (3)$$

$$c = \bar{x}_2 - b_1 \cdot \bar{x}_1 - b_0 \cdot \bar{x}_0 \quad (4)$$

Дисперсия на выходе будет равна

$$\sigma_2^2 = \sigma_{2,0}^2 + b_1^2 \sigma_1^2 + b_0^2 \cdot \sigma_0^2 + 2 \cdot b_0 \cdot b_1 \cdot r_{1,0} \cdot \sigma_1 \cdot \sigma_0 \quad (5)$$

Дисперсия собственной погрешности процесса накатки диска с двух сторон

$$\sigma_{2,0}^2 = \sigma_2^2 (1 - R_{2,1,0}^2) \quad (6)$$

Коэффициент множественной корреляции

$$R_{2,1,0} = \sqrt{\frac{r_{2,1}^2 + r_{2,0}^2 - 2r_{2,1}r_{2,0}r_{1,0}}{1 - r_{1,0}^2}} \quad (7)$$

Частные коэффициенты корреляции между торцевым биением после второй операции (накатки диска с двух сторон) и биением исходного диска, после первой операции (накатки ди-

ска с одной стороны) и исходным биением диска будут равны

$$r_{2,0(1)} = \frac{r_{2,0} - r_{1,0}r_{2,1}}{\sqrt{(1-r_{1,0}^2)(1-r_{2,1}^2)}}, \quad (8)$$

$$r_{2,1(0)} = \frac{r_{2,1} - r_{1,0}r_{2,0}}{\sqrt{(1-r_{1,0}^2)(1-r_{2,0}^2)}}. \quad (9)$$

Частные коэффициенты эластичности

$$\dot{Y}_0 = b_0 \cdot \frac{\bar{x}_0}{x_2}, \quad (10)$$

$$\dot{Y}_1 = b_1 \frac{\bar{x}_1}{x_2}. \quad (11)$$

Результаты расчета по методу корреляционного анализа на примере диска №1 приведены в таблице 1.

Для проверки правильности произведенных расчетов воспользуемся формулой (1), и по уравнению линейной регрессии получим для диска №1: $\bar{O}_2 = -2,38 + 0,69 \cdot \bar{O}_1 + 0,05 \cdot \bar{O}_0 = -2,38 + 0,69 \cdot 60,2 + 0,05 \cdot (-5,48) = 39,04 \text{ мкм}$, аналогично для диска №2: $\bar{O}_2 = -23,54 + 1,04 \cdot \bar{O}_1 - 0,64 \cdot \bar{O}_0 = -44,64 \text{ мкм}$. Вычисленные значения характеристик на выходе совпадают с действительными их значениями, следовательно, расчеты выполнены правильно. Для удобства сравнения полученных результатов составим таблицу 2.

Таблица 2

Сравнительные результаты вычислений параметров для дисков №1 и №2

Параметры для сравнения	Тип дисков № 1	Тип дисков № 2
Среднее значение торцевого биения диска до накатки \bar{O}_0 , мкм	-28,48	-5,48
Среднее значение торцевого биения диска после первой операции накатки \bar{O}_1 , мкм	-37,68	60,20
Среднее значение торцевого биения диска после второй операции накатки \bar{O}_2 , мкм	-44,64	39,04
Изменение величины торцевого биения после первой операции накатки $\bar{O}_0 - \bar{O}_1 = \Delta \bar{O}_{01}$, мкм	9,20	-65,68
Изменение величины торцевого биения после второй операции накатки $\bar{O}_1 - \bar{O}_2 = \Delta \bar{O}_{12}$, мкм	6,96	21,16
Общее изменение среднего $\Delta \bar{O}_{01} - \Delta \bar{O}_{12} = \Delta \bar{O}_{012}$, мкм	2,24	-86,84
Частный коэффициент корреляции $r_{2,0(1)}$ (формула (8))	-0,30	0,06
Парный коэффициент корреляции $r_{2,0}$	0,39	0,48
Частный коэффициент корреляции $r_{2,1(0)}$ (формула (9))	0,40	0,60
Парный коэффициент корреляции $r_{2,1}$	0,46	0,71
Коэффициент множественной корреляции $R_{2,1,0}$ (формула (7))	0,534	0,714
Коэффициенты уравнения регрессии: b_1 (формула (2)), b_0 (формула (3)), c (формула (4)).	1,04 -0,64 -23,54	0,69 0,05 -2,38
Частные коэффициенты эластичности: \dot{Y}_0 (формула (10)), \dot{Y}_1 (формула (11)).	-0,41 0,88	-0,01 1,07

Исследованиями установлено, что торцевое биение в исходном состоянии диска №1 больше диска №2 в 5,2 раза. По мере выполнения операций накаток с одной и с другой сторон биение дисков увеличилось.

Проанализируем коэффициенты уравнения регрессии. Для диска №1 (среднее исходное торцевое биение которого равно 28,48 мкм) коэффициент уравнения регрессии $b_0 = 0,64 < 1$. Это свидетельствует о том, что исходное торцевое биение на 36% исправляется в результате первой операции накатки. Величина второго коэффициента уравнения регрессии $b_1 = 1,04$ больше единицы. Это свидетельствует о том, что вторая операция накатки не только полностью переносит погрешность с предыдущей операции на погрешность выхода, но и увеличивает ее. В результате торцевое биение диска возрастает.

Для диска №2 (среднее исходное торцевое биение которого равно 5,48 мкм) коэффициент уравнения регрессии $b_0 = 0,05$, т.е. близок нулю. Это свидетельствует о том, что исходное торцевое биение в значительной степени, а именно (95%), исправляется на первой операции накатки. Т.к. второй коэффициент уравнения регрессии $0 < b_1 = 0,69 < 1$, то после второй операции накатки, имеет место частичный перенос погрешности предыдущей операции на погрешность выхода. Величина $(1-b_1)$ показывает, что только 31% погрешности первой операции накатки исправляется в процессе второй операции.

Множественные коэффициенты корреляции для дисков №1 и №2 достаточно велики и служат мерой силы линейной связи между $\bar{D}_0, \bar{D}_1, \bar{D}_2$.

Эти коэффициенты достаточно велики и свидетельствуют о наличии линейной связи между $\bar{D}_0, \bar{D}_1, \bar{D}_2$.

Анализ частных коэффициентов корреляции показал, что они велики и, следовательно, величина торцевого биения зависит от исходного состояния диска и последующих накаток. При этом, для диска №1 (с большим исходным торцевым биением) влияние второй операции накатки сильнее первой. Для диска №2 (с малым исходным биением), первая операция накатки в большей степени влияет на величину торцевого биения диска на выходе при неизменном исходном торцевом биении. Отсюда можно сделать вывод, что накатку боковой поверхности можно применять для дисков, у которых исходное торцевое биение не превышает 3-4 мкм.

С увеличением числа проходов кривизна диска увеличивается. То же следует из уравнений регрессии. С увеличением торцевого биения диска №1 после первой накатки \bar{D}_1 в два раза и постоянном исходном торцевом биении $\bar{D}_0 = \text{const}$, после окончательной обработки биение \bar{D}_2 увеличится на 88%. Для диска №2 при увеличении \bar{D}_1 в два раза и постоянном \bar{D}_0, \bar{D}_2 увеличится на 107%.

Величины частных коэффициентов эластичности подтверждают сказанное ранее и позволяют определить, что результативный признак (торцевое биение после накатки с двух сторон) для первого и второго дисков, соответственно, в среднем изменится на 88 и 107% при изменении факторного признака на 100%.

В целом, подводя итог приведенному эксперименту, следует сказать, что описанные результаты можно было предвидеть, основываясь на данных, полученных при изучении процесса правки пильных дисков [2], поскольку любое растяжение материала на периферии диска вызывает непредсказуемое изменение исходной геометрической формы, чаще всего с образованием веерной формы. Поэтому, при разработке технологического процесса упрочнения впадин зубьев с целью устранения явления трещинообразования, непрерывная обкатка диска роликами является менее приемлемой, учитывая то значительное влияние, которое оказывает биение дисков на срок их службы.

Результаты исследований по изучению влияния различных способов обработки дисков на их усталостную прочность [1], показали, что по своей эффективности способы упрочнения пильных дисков методами ППД боковой поверхности диска и ППД острой кромки впадин зубьев близки. Учитывая тот факт, что упрочнение боковой поверхности диска ППД [6] вызывает ухудшение показателей плоскостности диска, а также длительность цикла подготовки диска, предпочтение следует отдать способу упрочнения ППД граней впадин зубьев. Дальнейшие исследования данного способа необходимо посвятить определению оптимальных параметров

процесса упрочнения боковой грани впадины зубьев.

Список использованных источников:

1. Лоза Е.А. Совершенствование теории проектирования дисков пил горячей резки проката и оборудования для их упрочнения : дисс. ... канд. техн. наук : 05.05.08 : защищена 28.11.09 ; утв. 26.05.10 / Лоза Елена Анатольевна. – К., 2009. – 300 с. – № ДК 059882.
2. Ищенко А.А. Качественная и высокопроизводительная правка пильных дисков металлургических пил / А.А. Ищенко, В.А. Корчагин, И.В. Сидоров // Сталь. – 1987. – № 7. – С. 111.
3. Лук'яненко І.Г. Економетрика / І.Г. Лук'яненко, Л.І. Краснікова. - К.: ООО Знання, 1998. - 494 с.
4. Доугерти К. Введение в економетрику / К. Доугерти. – М. : Инфра, 1997. - 402 с.
5. Четыркин Е.М. Вероятность и статистика / Е.М. Четыркин, И.Л. Калихман. – М. : Финансы и статистика, 1982. – 319 с.
6. Белкин Л. М. Оптимизация технологии упрочнения плоских деталей поверхностным пластическим деформированием / Л. М. Белкин, С. М. Гензелев // Проблемы прочности. – 1984. – № 1. – С. 110–115.

Bibliography:

1. Loza E.A. Improvement of the theory of hot saws designing and equipment for their strengthening.: The thesis for the candidate of a candidate of technical science degree: 05.05.08 : protected 28.11.09; appr. 26.05.10 / Loza Elena Anatolyevna. – K., 2009. – 300 p. – No. DK 059882. (Rus.)
2. Ishchenko A. A. High-quality and high-efficiency editing of pilny disks of metallurgical saws / A.A. Ishchenko, V.A. Korchagin, I.V. Sidorov // Stal. – 1987. – № 7. – P. 111. (Rus.)
3. Luk'yanenko I.G. Ekonometriks / I.G. Luk'yanenko, L.I. Krasnikova. – K.: ООО Znannya, 1998. - 494 p. (Ukr.)
4. K. Dougherty. Introduction to ekonometriks / K. Dougherty. – M.: Infra, 1997. -402 p. (Rus.)
5. Četyrkin E.M. Probability and statistics. / E.M. Četyrkin, I.L. Kalichman. – M: Financy i statistica, 1982. – 319 p. (Rus.)
6. Belkin L.M. Optimization of technology of strengthening by surface-plastic-deformation of spaces / L.M. Belkin, S.M. Genzelev // Problemy prochnosti. – 1984. – № 1. - P. 110-115. (Rus.)

Рецензент: А.А. Ищенко
д-р техн. наук, проф. ГВУЗ «ПГТУ»

Статья поступила 22.04.2012