

УДК 621.9

DOI: 10.30987/article_5ce675a248f2d9.25105947

В.А. Спирин, к.т.н., **В.Ф. Макаров**, д.т.н., **О.А. Халтурин**, старший преподаватель
(Пермский национальный исследовательский политехнический университет,
614013, г. Пермь, ул. Академика Королева, 1)
E-mail: makarovv@pstu.ru; oleg-x@pstu.r

Износ абразивного слоя при глобоидном зубохонинговании

В работе приведен расчётно-экспериментальный метод определения параметров износа абразивного слоя и представлены результаты изменения этих параметров в зависимости от условий обработки при глобоидном зубохонинговании. В качестве параметра для определения износа рабочих поверхностей глобоидного зубчатого хона на органической каучуко-содержащей связке выбран параметр, широко используемый для оценки износа алмазных инструментов – удельный расход абразива. Использование этого параметра позволяет расчётным путём определять размерный износ абразивного слоя инструмента, в том числе рабочих поверхностей глобоидного хона.

Ключевые слова: износ абразива; стойкость; удельный расход; зубохонингование.

V.A. Spirin, Can. Sc. Tech., **V.F. Makarov**, Dr. Sc. Tech., **O.A. Khalturin**, Senior lecturer
(Perm National Research Polytechnic University, 15, Academician Korolyov Str., Perm, 614013)

Abrasion layer wear at globoidal gear honing

The paper reports the calculation-experimental method for the definition of abrasion layer wear parameters and presents the results of these parameters changes depending on machining conditions at globoidal gear honing. As a parameter for the definition working surface wear in a globoidal gear hone with organic rubber-based binding there is chosen a parameter widely used for the assessment of diamond tool wear – specific consumption of abrasion. The use of this parameter allows defining dimension wear of tool abrasion layer in a computation way, including operation surfaces of the globoidal hone.

Keywords: abrasion wear; durability; specific consumption; gear honing.

Введение

Износ и стойкость – важнейшие характеристики инструмента, обуславливающие себестоимость обработки и целесообразность применения инструмента в конкретном производстве. Определение параметров износа – сложная техническая задача [7, 8], особенно в случаях обработки сложнопрофильных деталей червячными абразивными инструментами [3], в т.ч. глобоидными абразивными червяками [1, 4, 5]. Поэтому необходимо оценить стойкость предложенного инструмента [1].

Износостойкость инструмента из сверхтвёрдых материалов принято оценивать стандартным параметром – удельным расходом абразива. Для определения удельного расхода абразива используют весовой или расчётный методы. Последний сопряжён с большим количеством измерений в расчётных сечениях и применяется при обработке простых поверхностей: плоскостей, цилиндров наружных и внутренних и т.п. Провести весь комплекс измерений с высокой точностью для поверхностей типа зубчатых колес не предоставляется возможным. Поэтому авторами использована

методика непосредственного взвешивания, которая заключается в определении массы изношенной части инструмента как разности весов до и после эксперимента. Масса снятого металла G_M также определяется взвешиванием. Из весового износа необходимо выделить весовое содержание алмазов, поскольку известно только объёмное содержание алмазов и связки.

Методика определения удельного расхода

Для алмазных инструментов с относительной концентрацией 50 % доля алмазов составляет 12,5 %. Общий вес определён по формуле

$$G = G_a + G_c,$$

где G – вес алмазоносного слоя; G_a – вес алмазов; G_c – вес связки.

Определим массу через объём и плотность:

$$V \cdot \gamma = V_a \cdot \gamma_a + V_c \cdot \gamma_c,$$

где γ – средняя плотность алмазоносного слоя, г/см³; γ_a – плотность алмазов, г/см³; γ_c – плотность связки, г/см³; V – объём алмазоносного слоя, см³; V_a – объём алмазов, см³; V_c – объём связки, см³.

Объём алмазов V_a определяется по формуле:

$$V_a = \frac{\kappa \cdot V}{400}$$

где κ – концентрация алмазоносного слоя.

Определим коэффициент приведения:

$$\alpha = \frac{G_a}{G} = \frac{V_a \cdot \gamma_a}{V \cdot \gamma} = \frac{\kappa \cdot \gamma_a}{400 \cdot \gamma}$$

Для 50 %-ной концентрации

$$\alpha = \frac{50 \cdot 3,52}{400 \cdot \gamma} = \frac{0,44}{\gamma}$$

Средняя плотность алмазоносного слоя γ определяется экспериментом.

Для определения весового содержания алмазов в весовом износе алмазосодержащего слоя необходимо умножить величину весового износа на коэффициент приведения α . Формула для определения удельного расхода алмазов примет следующий вид:

$$q = \frac{G \cdot \alpha}{G_M} \left(\frac{\text{мг}}{\text{г}} \right)$$

Определение технологических характеристик необходимо для проектирования и оптимизации технологического процесса, а также для определения изменений износостойкости в зависимости от условий обработки (режимов резания, свойств и состояния обрабатываемого материала, характеристик инструмента).

Планирование и результаты эксперимента

Для получения регрессионной модели, связывающей режимы обработки с интенсивностью удельного расхода абразива, составлялись матрицы планирования в соответствии с работами [2, 6]. Пример регрессионного анализа результатов эксперимента с тремя повторными опытами для стали 45 (200...230 НВ) представлен в табл. 1.

Регрессионная модель для стали 45 приобретает следующий вид:

$$q = 0,375 + 0,1713V + 0,1625 t, \text{ мг/г.}$$

Работоспособность регрессионной модели подтверждена проверкой её адекватности (табл. 2).

1. Регрессионный анализ в задаче определения удельного расхода алмазов при обработке стали 45

№ опыта	X_0	X_1	X_2	X_3	$X_1 \cdot X_2$	$X_1 \cdot X_3$	$X_2 \cdot X_3$	X_1^2	X_2^2	X_3^2	y_0
1	+	+	+	0	+	0	0	+	+	0	0,7
2	+	+	-	0	-	0	0	+	+	0	0,38
3	+	-	+	0	-	0	0	+	+	0	0,37
4	+	-	-	0	+	0	0	+	+	0	0
5	+	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,295
6	+	+	0	+	0	+	0	+	0	+	0,57
7	+	+	0	-	0	-	0	+	0	+	0,55
8	+	-	0	+	0	-	0	+	0	+	0,25
9	+	-	0	-	0	+	0	+	0	+	0,21
10	+	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,3375
11	+	0	+	+	0	0	+	0	+	+	0,48
12	+	0	+	-	0	0	-	0	+	+	0,51
13	+	0	-	+	0	0	-	0	+	+	0,18
14	+	0	-	-	0	0	+	0	+	+	0,20
15	+	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,455
b	0,375	0,1713	0,1625	0	-0,01	-0,005	0	0,02	-0,033	0	
	$\Delta b_0 = \pm 0,1986$	$\Delta b_i = \pm 0,1216$			$\Delta b_{ij} = \pm 0,172$			$\Delta b_{i^2} = \pm 0,179$			

На рис.1 представлена диаграмма, показывающая изменение удельного расхода алмазов в зависимости от свойств обрабатываемого материала и характеристик инструмента.

Удельный расход алмазов при глобоидном зубохонинговании инструментами на упругой каучукосодержащей связке довольно велик. Наилучшие результаты при обработке цементированной закалённой стали 12ХН3А (58...62 HRC) обеспечивает эльборовый инструмент КР200/160 Р18 50% – $q = 0,32$ мг/г. Почти в 3 раза выше удельный расход алмазного инструмента АС6 125/100 Р18 50 % и в 4 раза – АС2 80/63 Р18 50 %.

Таким образом, с увеличением зернистости удельный расход инструмента при глобоидном зубохонинговании инструментами на упругой каучукосодержащей связке снижается. Сравнительный анализ удельного расхода инструмента АС6 125/100 Р18 50 % при обработке закалённой стали 12ХН3А (58...62 HRC) и стали 45 (200...230 НВ) показал, что при обработке стали 45 удельный расход абразива в 2,5 раза ниже и достигает $q = 0,376$ мг/г. Это объясняется тем что наличие в материале твёрдых составляющих и увеличение твёрдости материала приводит к увеличению удельного расхода алмазов.

2. Проверка адекватности регрессионной модели

№ опыта	y_0	y_p	Δy	Δy^2
1	0,7	0,739	0,039	0,0015
2	0,38	0,6738	0,2938	0,0863
3	0,37	0,5675	0,1975	0,039
4	0	0,5025	0,5	0,25
5	0,295	0,62	0,325	0,1056
6	0,57	0,706	0,136	0,0185
7	0,55	0,706	0,156	0,0243
8	0,25	0,535	0,185	0,0342
9	0,21	0,535	0,325	0,1056
10	0,3375	0,62	0,245	0,06
11	0,48	0,653	0,173	0,0299
12	0,51	0,6553	0,143	0,0204
13	0,18	0,588	0,408	0,1665
14	0,20	0,588	0,188	0,0353
15	0,455	0,62	0,165	0,0272
Сумма				1,1560

Дисперсия адекватности $S_{ад}^2 = 0,1153$
 Дисперсия воспроизводимости $S_y^2 = 0,0054$
 Критерий Фишера расчётный $F_u^{расч} = 18,02$
 Критерий Фишера табличный $F_u^{табл} = 19,3$

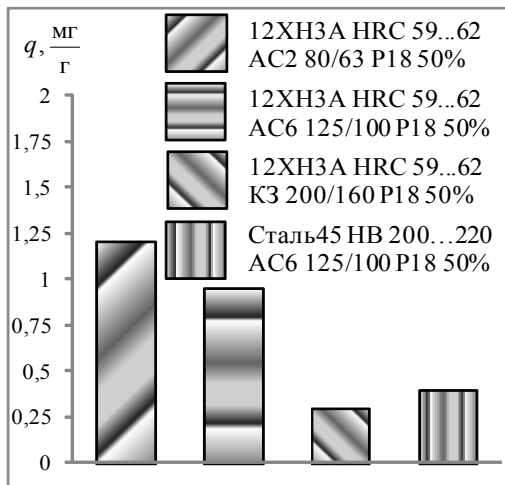


Рис. 1. Диаграмма удельного расхода абразива при различных характеристиках инструмента (при $V = 1$ м/сек; $t = 0,5$ мм; $S_n = 2$ мм/об)

График, представленный на рис. 2, показывает значительное влияние на удельный расход величины радиального смещения t , определяющего усилие резания.

С увеличением радиального смещения в пределах от 0,3 до 0,7 мм удельный расход алмазов возрастает на порядок и в большинстве случаев при $t = 0,7$ мм превышает допустимый критический удельный расход $q = 1,0$ мг/г.

На рис. 3 представлены графики зависимо-

сти удельного расхода при глобоидном зубохонинговании инструментами на упругой каучукодержательной связке при изменении подачи инструмента.

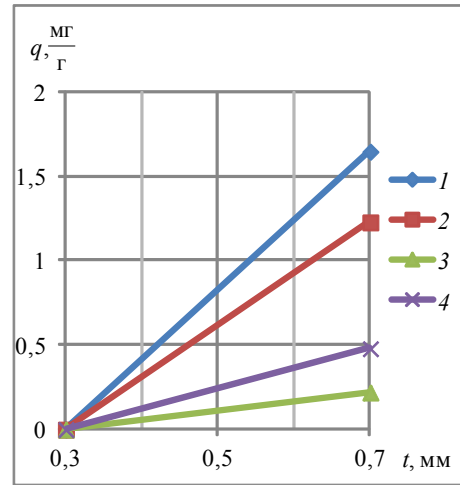


Рис. 2. Изменение удельного расхода при изменении радиального смещения t ($V = 0,5$ м/сек; $S_n = 2$ мм/об):
 1 – 12ХН3А (HRC 58...62) AC2 80/63 P18 50 %;
 2 – 12ХН3А (HRC 58...62) AC6 125/100 P18 50 %;
 3 – 12ХН3А (HRC 58...62) КР200/160 P18 50 %;
 4 – Сталь 45 (HB 200...230) AC6 125/100 P18 50 %.

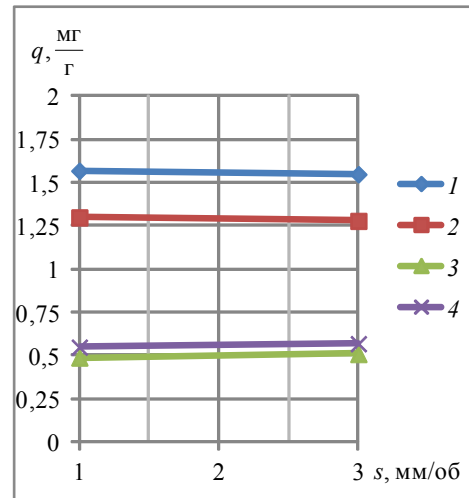


Рис. 3. Изменение удельного расхода при изменении подачи S_n ($V = 1,5$ м/сек; $t = 0,5$ мм):
 1, 2, 3, 4 – см. рис. 2

Как видно из графиков, изменение подачи в заданных пределах (1...3 мм/об) не оказывает существенного влияния на изменение удельного расхода абразива.

На рис. 4 представлены графики зависимости удельного расхода при глобоидном зубохонинговании инструментами на упругой каучукодержательной связке при изменении скорости инструмента.

При изменении скорости резания от 0,5 до 1,5 м/с удельный расход возрастает следующим образом: при возрастании скорости в 3 раза удельный расход возрастает в 1,5...2 раза

и в большинстве случаев не выходит за пределы критических значений. Влияние скорости на удельный расход абразива значительно меньше чем влияние радиального смещения инструмента.

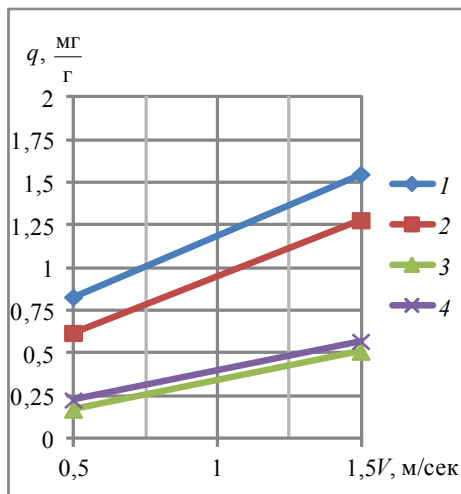


Рис. 4. Изменение удельного расхода при изменении радиального смещения V ($t = 0,5$ мм; $S_n = 3$ мм/об): 1, 2, 3, 4 – см. рис. 2

Наименьший удельный расход обеспечивается при обработке стали 12ХН3А (58...62 HRC) эльборовым инструментом КР200/160 Р18 50 %. Однако стоимость этого инструмента очень велика. Целесообразно использование алмазного инструмента той же зернистости, так как его стоимость в 25 раз ниже.

Выводы

Проведённые эксперименты по определению работоспособности глобoidного зубохонингования инструментами на каучукосодержащей связке подтвердили целесообразность использования новой технологии для отделочной обработки сложно-профильных зубчатых валов, например роторов винтовых забойных двигателей.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Багайсков, Ю.С., Генина, Г.С., Заев, В.Ф. Повышение эффективности зубохонингования инструментом на эпоксидной основе // Технология автомобилестроения.

Научн.-техн. реф. сб. – М.: НИИНавтопром. – 1981. – №2. – С. 11-13.

2. Маликов, А.А., Сидоркин, А.В. Особенности конструкции алмазного зубчатого хона для обработки цилиндрических зубчатых колес // Известия ТулГУ. Технические науки. – 2009. – №2-2.

3. Спириин, В.А., Цепков, А.В. Новый способ обработки протягиванием глобoidных червяков. В сб. «Повышение эффективности протягивания». – Рига, 1985. – С.18-21.

4. Цепков, А. В. Роль инструмента в производстве винтовых гидродвигателей и насосов / А.В. Цепков, Ю. А. Коротаев // Управление качеством финишных методов обработки. – Пермь: Изд-во ПГТУ, 1996. – С. 241-248.

5. Спириин, В.А. [и др.] Прогнозирование шероховатости обработанной поверхности роторов винтовых забойных двигателей при глобoidном зубохонинговании // Вестник ПГТУ. – 2010. – Т. 12. № 5. – С. 143-149.

6. Спиридонов, А.А. Планирование эксперимента при исследовании технологических процессов. – М.: Машиностроение, 1981. – 184 с.

7. Якимов, А.В. Абразивно-алмазная обработка фасонных поверхностей. – М.: Машиностроение, 1984. – 311 с.

8. Спириин, В.А., Макаров, В.Ф., Халтурин, О.А. Глобoidное зубохонингование эвольвентных профилей // Научно-технические технологии в машиностроении. – 2019. – №5(95). – С. 19-23.

REFERENCES

1. Bagaiskov, Yu.S., Genina, G.S., Zaev, V.F. Gear honing effectiveness increase with tools based on epoxide // *Automotive Technology. Scientific-Tech. Proceedings*. – M.: RIAuto-prom. – 1981. – No.2. – pp. 11-13.

2. Malikov, A.A., Sidorkin, A.V. Design peculiarities of diamond gear hone for cylindrical cog-wheel machining // *TulaSU Proceedings. Engineering Sciences*. – 2009. – No.2-2.

3. Spirin, V.A., Tsepkov, A.V. New method of globoidal worm processing with broach. Proceedings “Broach Effectiveness Increase”. – Riga, 1985. – pp. 18-21.

4. Tsepkov, A.V. Tool role in production of helical hydro-engines and pumps / A.V. Tsepkov, Yu.A. Korotaev // *Finishing Quality Control*. – Perm: PSTU Publishers, 1996. – pp. 241-248.

5. Prediction of worked surface roughness in rotors of screw bottom-hole engines at globoidal honing / V.A. Spirin [et al.]. // *Bulletin of PSTU*. – 2010. – Vol.12, No.5. – pp. 143-149.

6. Spiridonov, A.A. *Experiment Planning at Engineering Process Investigation* / A.A. Spiridonov. – M.: Mechanical Engineering, 1981. – pp. 184.

7. Yakimov, A.V. *Profiled Surface Abrasive-Diamond Processing*. M.: Mechanical Engineering, 1984. – pp. 311.

8. Spirin, V.A., Makarov, V.F., Khalturin, O.A. Involute profile globoidal honing // *Science Intensive Technologies in Mechanical Engineering* – 2019. – No.5(95). – pp. 19–23.

Рецензент д.т.н. Е.Д. Мокронос

Учредитель: Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования "Брянский государственный технический университет"

Адрес редакции и издателя: 241035, Брянская область, г. Брянск, бульвар 50 лет Октября, 7
ФГБОУ ВО «Брянский государственный технический университет»

Телефон редакции журнала: 8-903-592-87-39. E-mail: naukatm@yandex.ru

Вёрстка А.А. Алисов. Технический редактор А.А. Алисов. Корректор Н.В. Дюбова.

Сдано в набор 30.04.2019. Выход в свет 28.06.2019.

Формат 60 × 88 1/8. Бумага офсетная. Усл. печ. л. 5,88.

Тираж 500 экз. Свободная цена.



Отпечатано в лаборатории оперативной полиграфии

Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования "Брянский государственный технический университет"

241035, Брянская область, г. Брянск, ул. Институтская, 16