

УДК 621.921

ИССЛЕДОВАНИЕ ДЕТОНАЦИОННОГО УПРОЧНЕНИЯ ШЛИФОВАЛЬНЫХ КРУГОВ

© 2013 В.Н. Воронин, В.В. Борисов, А.Н. Журавлев, И.Д. Ибатуллин, И.В. Нечаев

Самарский государственный технический университет

Поступила в редакцию 02.04.2013

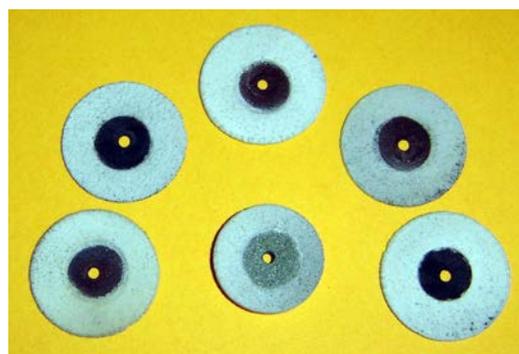
Приведена методика экспериментальной оценки остаточных напряжений в шлифовальном круге, наводимых детонационным упрочнением боковых поверхностей. Упрочнение происходит за счет формирования в круге напряжений сжатия при напылении на его боковые стороны корундового покрытия. Показано, что с ростом толщины керамического покрытия увеличиваются благоприятные напряжения сжатия.

Ключевые слова: *шлифовальный круг, остаточные напряжения, упрочнение, детонационное напыление, керамическое покрытие*

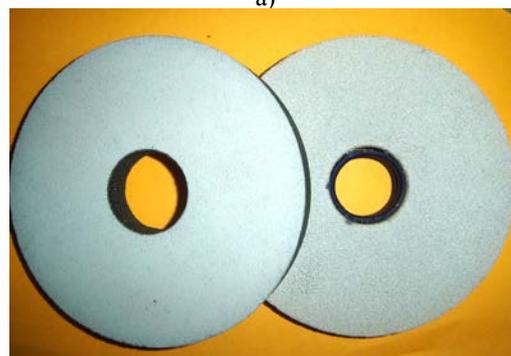
Известно, что одним из методов повышения надежности шлифовальных кругов при эксплуатации является нанесение детонационных покрытий на их боковые поверхности, за счет которых в материале круга возникают напряжения сжатия (рис. 1), компенсирующие рабочие растягивающие напряжения, обусловленные центробежными силами. Ранее приводились модели, описывающие величину остаточных напряжений, наводимых детонационной обработкой [1-3].

В данной статье показана экспериментальная методика, позволяющая подтвердить наличие благоприятных сжимающих напряжений на образцах шлифовальных кругов. Данная методика близка к известному методу определения остаточных напряжений по Давиденкову за тем исключением, что в новом методе вместо послойного травления кольцевых образцов и оценки смещений свободных концов разрезанного кольца используется наслаивание покрытия. Суть методики сводится к следующему. В испытуемом шлифовальном круге делают прорезь, обеспечивая возможность высвобождения внутренней энергии, запасенной кругом в процессе его изготовления. Высвобождение технологических остаточных напряжений сопровождается

раскрытием зазора в месте прорези при наличии растягивающих напряжений или сближением краев круга в месте прорези при высвобождении остаточных напряжений сжатия. После релаксации внутренних напряжений измеряют начальный зазор x между краями прорези.



а)



б)

Рис. 1. Примеры упрочнения малогабаритных отрезных кругов (а) и шлифовальных кругов (б). Покрытие – корунд, толщина 100 мкм

После напыления покрытия на боковые поверхности круга зазор между краями прорези приобретает величину x' . Учитывая, что прорезь имеет длину существенно меньше, чем длина

Воронин Валерий Николаевич, старший преподаватель кафедры «Технология машиностроения». E-mail: tm@samgtu.ru

Борисов Виталий Валерьевич, аспирант. E-mail: tavilek@rambler.ru

Журавлев Андрей Николаевич, кандидат технических наук, старший научный сотрудник кафедры «Технология твердых химических веществ». E-mail: ttxb@inbox.ru

Ибатуллин Ильдар Дугласович, доктор технических наук, профессор кафедры «Нанотехнологии в машиностроении». E-mail: tribo@rambler.ru

Нечаев Илья Владимирович, кандидат технических наук, доцент кафедры «Технология твердых химических веществ»

окружности неразрезанной части абразивного круга L , можно записать равенства:

- до напыления $x = 2\pi R - L$; (1)
- после напыления $x' = 2\pi R' - L'$.

Найдем зависимость, связывающую сжимающие напряжения, возникающие в материале круга под действием формируемого детонационного покрытия, и величинами x и x' . Для этого рассмотрим элементарный сегмент абразивного круга $ABCD$ (рис. 2), где сплошными линиями очерчен начальный размер сегмента, а пунктирными – размеры сегмента $A'B'C'D'$ после его сжатия в плоскости рисунка вследствие действия сжимающих напряжений, наводимых покрытием.

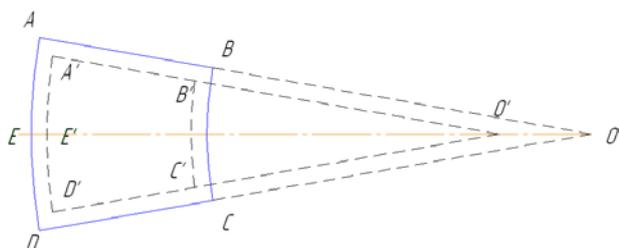


Рис. 2. Оценка остаточных напряжений в материале круга

Из подобия фигур AOE и $A'O'E'$ следует, что

$$\frac{AO}{AE} = \frac{A'O'}{A'E'} \quad (2)$$

При этом отрезок AO равен исходному радиусу абразивного круга R , а $A'O'$ – радиусу круга после напыления R' . Уменьшение величины сегмента круга AE после напыления произошло под действием тепловой деформации круга, определяемой формулой Кингери

$$\varepsilon = \frac{AE - A'E'}{AE} = \alpha \Delta T = \frac{\sigma}{E},$$

или

$$A'E' = AE \left(1 - \frac{\sigma}{E} \right), \quad (3)$$

где α – коэффициент линейного расширения материала круга; ΔT – разница между начальной T_1 и конечной T_2 (после остывания) температуры покрытия; σ – напряжение сжатия круга вследствие тепловой деформации покрытия (сжатия при остывании); E – модуль упругости материала связки круга. Учитывая, что частицы материала покрытия в момент контакта с напыляемой поверхностью находятся в расплавленном состоянии примем $T_1 = T_n$ (температура плавления материала покрытия). После формирования слоя пята покрытия быстро остывает до комнатной

температуры $T_{ком}$, поэтому запишем $T_2 = T_{ком} \approx 20^\circ\text{C}$. Аналогично для длины неразрезанной части круга можно записать:

$$L' = L \left(1 - \frac{\sigma}{E} \right). \quad (4)$$

С учетом выражений (2, 3) можно записать:

$$R' = R \left(1 - \frac{\sigma}{E} \right). \quad (5)$$

Подставляя (4) и (5) в (1) получим:

$$x' = 2\pi R' \left(1 - \frac{\sigma}{E} \right) - L \left(1 - \frac{\sigma}{E} \right) = x \left(1 - \frac{\sigma}{E} \right). \quad (5)$$

Выразим из (5) напряжение:

$$\sigma = E \left(1 - \frac{x'}{x} \right). \quad (6)$$

Экспериментальную оценку напряжений, наводимых детонационным напылением, выполняли на образцах абразивного круга 100КС315. Для этого на боковую сторону образцов наклеивали алюминиевую пластину с проведенной вдоль пластины (в средней части) царапиной. Разрезали образцы ножовочным полотном шириной ~ 1 мм. Измеряли фактическую ширину прорези (начальный зазор) с точностью 1 мкм. Затем напыляли на боковые поверхности образцов корундовое покрытие толщиной 100, 200 и 300 мкм (вид образцов с покрытием показан на рис. 3). После чего вновь определяли ширину прорези (конечный зазор). Принимая, что модуль упругости материала связки равен $E \approx 10^4$ МПа, рассчитали напряжения по формуле (6) и усредняли результат.



Рис. 3. Общий вид образцов шлифовальных кругов после напыления

Для оценки ширины прорези перед разрезанием круга на его боковую поверхность наклеивали алюминиевую пластинку, на которой

предварительно чертили два перекрестия. Пропил выполняли между этими перекрестиями. Далее место пропила фотографировали с трехкратным увеличением и определяли расстояние между метками с использованием программы BMP.exe.

Результаты оценки изменения ширины зазора (по специальным меткам) после нанесения

детонационного покрытия на примере пяти образцов представлены в таблице 1.

Выводы: полученные результаты показали, что за счет напыления корундового покрытия можно создавать в шлифовальном круге остаточные напряжения сжатия, достигающие до 100 МПа.

Работа проводилась при финансовой поддержке Министерства образования и науки РФ.

Таблица 1. Результаты оценки деформации шлифовальных кругов после напыления корундового покрытия

Толщина слоя, мкм	Начальный зазор, мкм	Конечный зазор, мкм	Изменение зазора, мкм	Количество слоев напыления
100	1087	1053	34	7
100	1125	1094	31	7
100	1090	1062	28	7
100	1125	1089	36	7
100	1148	1114	34	7
200	1093	1025	68	13
200	1115	1044	71	13
200	1112	1055	57	13
200	1096	1037	59	13
200	1077	1018	59	13
300	1109	1005	104	20
300	1110	1011	99	20
300	1108	1012	96	20
300	1092	998	94	20
300	1101	1004	97	20

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. *Ненашев, М.В.* Математическая модель оптимизации напряженно-деформированного состояния в шлифовальных кругах на основе детонационных процессов напыления / *М.В. Ненашев, И.Д. Ибатуллин, А.Н. Журавлев, А.Р. Дьяконов* // В сб.: Математическая физика и ее приложения. Матер. Третьей международной конференции / под ред. чл.-корр. РАН И.В. Воловича и д.ф.-м.н. В.П. Радченко. – Самара: СамГТУ, 2012. С. 213-214.
2. *Ненашев, М.В.* Детонационные технологии балансировки и упрочнения абразивных кругов / *М.В. Ненашев, Д.А. Деморецкий, С.Ю. Ганигин* и др. // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. 2012. Т. 14, №1 (2). С. 409-412.
3. *Ненашев, М.В.* Применение детонационных покрытий в технологии машиностроения / *М.В. Ненашев, Д.А. Деморецкий, С.Ю. Ганигин* и др. // Известия Самарского научного центра РАН. 2011. Т. 13, №4 (3). С. 830-834.

RESEARCH THE DETONATION HARDENING OF GRINDING CIRCLES

© 2013 V.N. Voronin, B.B. Borisov, A.N. Zhuravlyov, I.D. Ibatullin, I.V. Nechaev
Samara State Technical University

The method of experimental estimation of residual stresses in a grinding circle, induced by detonation hardening of lateral surfaces is given. Hardening happens by the formation in a circle the pressure loads at a dusting on its lateral surfaces a corundum covering. It is shown that with increase the thickness of ceramic covering the favorable pressure loads also increase.

Key words: *grinding circle, residual stresses, hardening, detonation dusting, ceramic covering*

Valeriy Voronin, Senior Teacher at the Department "Technology of Mechanical Engineering". E-mail: tm@samgtu.ru; Vitaliy Borisov, Post-graduate Student. E-mail: tavilek@rambler.ru; Andrey Zhuravlyov, Candidate of Technical Sciences, Senior Research Fellow at the Department "Technology of Solid Chemical Substances". E-mail: ttxb@inbox.ru; Ildar Ibatullin, Doctor of Technical Sciences, Professor at the Department "Nanotechnologies in Mechanical Engineering". E-mail: tribo@rambler.ru; Iliya Nechaev, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor at the Department "Technology of Solid Chemical Substances"