

СТАТИСТИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ КОНЦЕНТРАЦИИ ХЛОРА ВБЛИЗИ ЗОНЫ РЕЗАНИЯ ПРИ ШЛИФОВАНИИ ИМПРЕГНИРОВАННЫМ АБРАЗИВНЫМ ИНСТРУМЕНТОМ

Носенко В. А., Крутикова А. А., Синьков А. В.

Волжский политехнический институт (филиал) ФГБОУ ВПО «Волгоградский государственный технический университет», Волжский, Россия (404121, Волжский, ул. Энгельса, 42а), e-mail: krutikova_vpi@mail.ru

Проведен анализ газовой среды в зоне шлифования импрегнированным абразивным инструментом. Эксперименты проводили на титановом сплаве ВТ6. В качестве импрегнатора использовали ароматическое хлорсодержащее соединение. Контролировались значения концентрации хлора (мг/м^3) в зоне резания при работе без СОЖ, величина снимаемого припуска составляла 0,5 мм. После анализа газовой среды зоны резания проведена статистическая обработка данных. Было проведено три параллельных опыта. Дана оценка однородности дисперсий групп. Доказано, что при различных глубинах шлифования групповые дисперсии можно считать однородными, и влияние наработки на внутригрупповые дисперсии – незначимым. Глубина шлифования оказывает существенное влияние на изменение концентрации хлора, о чем свидетельствует сравнение факторных и общих дисперсий. Влияние наработки на средние значения концентрации хлора в группах исследовано методом однофакторного дисперсионного анализа. С увеличением наработки содержание хлора увеличивается. В первый период шлифования концентрация хлора вблизи зоны резания возрастает, затем стабилизируется и остается постоянной до завершения процесса. С увеличением глубины шлифования в 2 раза концентрация хлора возрастает в 2,6 раза.

Ключевые слова: шлифование, абразивный инструмент, импрегнатор, концентрация хлора, разновидности дисперсий, среднее арифметическое.

STATISTICAL ANALYSIS CHLORINE CONCENTRATION NEAR THE ZONE CUTTING OF GRINDING IMPREGNATED ABRASIVE TOOL

Nosenko V. A., Krutikova A. A., Sinkov A. V.

Volzhsky Polytechnic Institute (branch) of FSBEI HPE "Volgograd State Technical University", Volzhsky, Russia (404121, Volzhsky, Engels str. 42a), e-mail: krutikova_vpi@mail.ru

The analysis of the gas-air environment in the grinding zone impregnated with an abrasive tool. Experiments were performed on the titanium alloy VT6. As impregnator used aromatic chlorine compound. Controlled concentration of chlorine (mg/m^3) in the cutting operation without coolant, the value to shoot an allowance of 0.5 mm. After analyzing the gas-air environment in the grinding zone, the statistical treatment of the data was carried out. There were three parallel experiments. Given the estimation of homogeneity of dispersions groups. It is proved that at different depths grinding group dispersions can be considered homogeneous and influence developments on intragroup dispersions - not significant. Grinding depth has a significant effect on the change in the concentration of chlorine, as evidenced by the comparison of factor and total dispersions. Effect of the volume of material removed on the average values of concentration of chlorine in the groups investigated by a method of the one-factorial dispersive analysis. With the increase of use of chlorine increases. In the first period of grinding chlorine concentration near the cutting area increases, then stabilizes and remains constant until the end of the process. With the increase of grinding depth of 2 times the concentration of chlorine increases 2.6 times.

Keywords: grinding, abrasive tool, impregnator, chlorine concentration, variety of dispersions, arithmetic average.

Введение

Одним из методов совершенствования абразивного инструмента является насыщение его пор различными составами – импрегнирование. Наиболее часто используемыми веществами для импрегнирования являются парафин, сера, бакелит, графит и др. [2,9]. Осаждаемые в порах круга вещества находятся в основном в твердом или пастообразном состоянии и выполняют функции твердой смазки. Под действием температуры шлифования

некоторые соединения переходят в жидкое или газообразное состояние. Поскольку проникающая способность и интенсивность взаимодействия вещества в газовом состоянии наиболее высока, в качестве импрегнаторов стали использовать газообразователи [7, 8]. Это специальная группа веществ, способных в определенном температурном интервале выделять большое количество газовых продуктов. Основными газами при разложении таких наиболее распространенных газообразователей, как порофоры азодикарбонамид и эрукамид, являются азот и СО. Применение порофоров в качестве импрегнаторов абразивного инструмента позволило при шлифовании, например, нержавеющей стали и стали ШХ15 обеспечить снижение силы резания в 1,2–1,6 раза, износа абразивного инструмента в 1,3–1,5 раза, шероховатости обработанной поверхности на 15–30 %. Но при шлифовании сплавов на основе титана данные газообразователи оказались недостаточно эффективными.

Отличительная особенность титановых сплавов заключается в их высокой адгезионной активности к абразивному материалу [4]. Поэтому одним из основных направлений повышения эффективности их шлифования является введение в зону контакта веществ, способных вступать в химическое взаимодействие с титановым сплавом, блокируя его взаимодействие с абразивным материалом, например, хлоридов металлов [6]. Недостатком данных веществ является их высокая растворимость, что не позволяет их использовать в качестве импрегнаторов абразивного инструмента при шлифовании с СОЖ на водной основе.

Поэтому в качестве импрегнатора подобрано не растворимое в воде ароматическое хлорсодержащее соединение. Содержание хлора в веществе составляет 68 массовых или 33 атомных процентов. Термографический анализ данного соединения показал, что основная масса газообразных продуктов выделяется в интервале температур 380–520 °С [3]. Предполагается выделение хлора, СО и СО₂. Разложение ароматического хлорсодержащего соединения при нагревании в статических условиях не означает, что образование хлора будет происходить при шлифовании абразивным инструментом, импрегнированным данным веществом.

Достаточно надежным средством контроля газовой среды при шлифовании являются современные газоанализаторы. Например, при шлифовании нержавеющей стали 12Х18Н10Т и стали ШХ15 абразивным инструментом, содержащим в порах круга порофор АДС и эрукамид, в зоне обработки с использованием газоанализатора установлено существенное увеличение концентрации оксида углерода СО [5, 10]. Газоанализатор применяется и для определения концентрации хлора.

Исходя из этого, **цель данной работы** заключалась в исследовании содержания хлора, образующейся при шлифовании абразивным инструментом, импрегнированным ароматическим хлорсодержащим соединением.

Для достижения поставленной цели были решены следующие **задачи**: разработана технология импрегнирования абразивного инструмента новым составом; разработана методика определения концентрации хлора при шлифовании и исследовано изменение концентрации хлора вблизи зоны резания за период обработки.

Методика исследования

Содержание хлора определяли газоанализатором модели ГАНК-4, предназначенным для автоматического непрерывного контроля концентраций различных веществ в атмосферном воздухе, в воздухе рабочей зоны, а также в технологических процессах в целях охраны окружающей среды и оптимизации технологических процессов. Содержание хлора определяли с использованием специальной сменной химкассеты, устанавливаемой в газоанализатор. В основе расчета концентрации лежит определение скорости потемнения ленты. Работа газоанализатора осуществляется в автоматическом режиме.

Заготовку *3* из сплава ВТ6 закрепляли в лекальных тисках *2*, установленных на магнитном столе станка *1*. Газовая смесь, образующаяся при шлифовании кругом *4*, через всасывающий газозаборник *5* и газоотводную трубку поступает в газоанализатор. Наконечник газозаборника устанавливали в плоскости обрабатываемой поверхности, смещая относительно основной плоскости на 50 мм влево, и плоскости торца круга вдоль его оси на 30 мм.

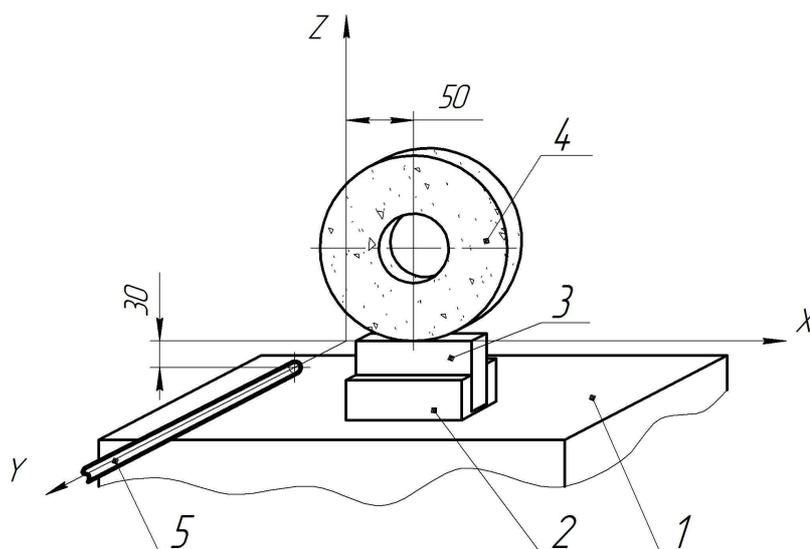


Рис. 1. Схема установки всасывающего газозаборника

Анализируемый воздух поступает через входной штуцер на химкассету, изменение цвета пленки химкассеты обрабатывается вычислительным устройством, и на жидкокристаллическом экране прибора появляется значение концентрации хлора в мг/м^3 .

Типоразмер и характеристика базового абразивного инструмента: 1 200×20×76 64CF60K7V. В качестве обрабатываемого материала использовали титановый сплав ВТ6 (293–361 НВ), размер обрабатываемой поверхности заготовки 100×10 мм.

Анализ газовоздушной среды зоны резания осуществляли при шлифовании без смазочно-охлаждающей жидкости на режимах: скорость круга $v = 28$ м/с; скорость подачи стола $v_s = 12$ м/мин; глубина шлифования $t = 0,005$ и $0,01$ мм.

В качестве импрегнатора выбрано не растворимое в воде органическое вещество, содержащее хлор в количестве около 33 атомных процентов. Для введения вещества в поры круга его растворяли в толуоле, относящемуся к 3 классу опасности веществ. Импрегнирование абразивного инструмента осуществляли методом свободного капиллярного поднятия с последующей сушкой при комнатной температуре в течение суток. После сушки содержание вещества в порах составляет 2 % от массы круга.

Результаты исследования и их обсуждение

Каждый из опытов повторяли по три раза. В каждом опыте определяли концентрацию хлора в непосредственной близости от зоны резания. Результаты измерений приведены в табл. 1 и обозначены соответственно C_{1i} , C_{2i} и C_{3i} . По данным трех параллельных измерений рассчитаны средние арифметические C_{mi} и дисперсии S_i^2 .

Концентрацию хлора определяли за время удаления припуска 0,5 мм. Периодичность измерений при работе прибора ГАНК-4 в автоматическом режиме составляет не более 30 с. В табл. 1 результаты измерений представлены в зависимости от объема удаляемого материала или наработки (ГОСТ 21445). При шлифовании с глубиной 0,01 мм/ход время опыта сокращается в два раза, соответственно количество измерений по сравнению с глубиной 0,005 мм/ход уменьшилось во столько же раз с 20 до 10.

Экспериментальные данные концентраций разбиты на группы в зависимости от времени получения очередного измерения, которое в таблице 1 преобразовано в объем удаляемого металла или наработку. Исходя из этого, исследованы вариации концентрации хлора в каждой из групп, между группами и общая вариация, что основано на расчете и анализе трех видов дисперсий: общей, межгрупповой и внутригрупповой.

Общая дисперсия S^2 измеряет вариацию признака всей совокупности данных под влиянием всех факторов, обусловивших эту вариацию. Межгрупповая или факторная дисперсия S_f^2 характеризует систематическую вариацию, обусловленную в рассматриваемом случае наработкой, измеряемую объемом удаляемого металла. Внутригрупповая или остаточная дисперсия S_r^2 отражает случайную вариацию неучтенных факторов, не зависящую от наработки, положенной в основу формирования групп концентраций.

Таблица 1. Результаты измерений концентрации хлора

t , мкм/ход	V , мм ³	C_{1i} , мг/м ³	C_{2i} , мг/м ³	C_{3i} , мг/м ³	C_{mi} , мг/м ³	S_i^2 , (мг/м ³) ²
1	2	3	4	5	6	7
0,005	0	0,16	0,16	0,16	0,16	0,0000
	5	0,12	0,19	0,27	0,19	0,0052
	30	0,12	0,19	0,31	0,21	0,0088
	60	0,12	0,19	0,31	0,21	0,0088
	85	0,24	0,25	0,38	0,29	0,0058
	115	0,24	0,25	0,38	0,29	0,0057
	145	0,44	0,59	0,58	0,53	0,0069
	170	0,35	0,59	0,49	0,48	0,0137
	195	0,35	0,40	0,49	0,41	0,0046
	225	0,36	0,40	0,58	0,45	0,0140
	255	0,36	0,45	0,58	0,47	0,0122
	280	0,43	0,45	0,50	0,46	0,0014
	305	0,43	0,38	0,50	0,44	0,0042
	335	0,40	0,38	0,52	0,43	0,0062
	360	0,40	0,38	0,52	0,43	0,0062
	390	0,45	0,53	0,55	0,51	0,0028
	415	0,45	0,53	0,58	0,52	0,0041
	445	0,43	0,41	0,58	0,47	0,0083
470	0,53	0,41	0,54	0,49	0,0049	
500	0,36	0,41	0,54	0,44	0,0085	
0,01	0	0,16	0,16	0,16	0,16	0,0000
	40	0,29	0,23	0,29	0,27	0,0009
	90	0,29	0,42	0,35	0,35	0,0042
	150	0,29	0,42	0,55	0,42	0,0177
	210	1,21	1,17	1,09	1,16	0,0037
	260	1,21	1,17	1,09	1,16	0,0037
	320	1,22	1,09	1,48	1,26	0,0394
	380	1,02	1,29	1,48	1,26	0,0534
	440	1,39	1,22	1,24	1,28	0,0086
	500	1,4	1,22	1,24	1,29	0,0097

Общий объем выборки измерений при шлифовании с глубиной 0,005 и 0,01 мм/ход равен соответственно 60 и 30 измерениям, поэтому данную выборку нельзя считать генеральной. С целью приближения выборочной дисперсии к генеральной рассчитывали исправленную выборочную дисперсию (далее – дисперсия).

Дана оценка однородности дисперсий различных групп. Степень свободы внутригрупповых дисперсий одинакова $f(S_i^2)=2$, поэтому их сравнение выполнено по критерию Кохрена.

При шлифовании с глубиной $t_1=0,005$ мм/ход и $t_2=0,01$ мм/ход получены следующие значения наблюдаемых критериев: $g_{н1}=0,1059$; $g_{н2}=0,3775$. Табличные значения критерия Кохрена определены для уровня значимости 0,05 по степени свободы $f(S_i^2)$ и количества групп i :

$$g_{т1}(2; 20)=0,2795; g_{т2}(2; 10)=0,4450 [1].$$

Из сопоставления наблюдаемых и табличных значений критериев следует, что для всех глубин $g_n < g_t$. Таким образом, при шлифовании на глубине t_1 и t_2 групповые дисперсии можно считать однородными, и влияние наработки на внутригрупповые дисперсии – незначимым. Это позволяет найти уточненные значения внутригрупповых дисперсий: $S_{г1}^2=0,0814$ (мг/м³)²; $S_{г1}^2=0,1190$ (мг/м³)². Степени свободы уточненных дисперсий $f(S_{г1}^2)=40$, $f(S_{г2}^2)=20$.

Для ответа на вопрос о влиянии глубины шлифования на уточненную внутригрупповую дисперсию выполнено сравнение данных дисперсий попарно по критерию Фишера – Снедекора [1]:

$$S_{г1}^2/S_{г2}^2=2,1384 > F(20; 49)=1,9938. \quad (1)$$

Из (1) следует, что дисперсии не однородны, т.е. глубина шлифования влияет на уточненную внутригрупповую дисперсию: с увеличением t уточненная внутригрупповая дисперсия возрастает.

По средним арифметическим значениям концентрации групп C_{mi} рассчитаны факторные дисперсии при шлифовании соответственно на глубине t_1 и t_2 : $S_{ф1}^2=0,0148$ (мг/м³)²; $S_{ф2}^2=0,2399$ (мг/м³)². Степени свободы этих дисперсий равны соответственно $f(S_{ф1}^2)=19$ и $f(S_{ф2}^2)=9$. С использованием всего объема выборки для каждой глубины шлифования рассчитана общая дисперсия концентраций: $S_1^2=0,0188$ (мг/м³)², $f(S_1^2)=59$; $S_2^2=0,2331$ (мг/м³)², $f(S_2^2)=29$.

Сравнение факторных и общих дисперсий свидетельствует о существенном влиянии глубины шлифования на изменение концентрации хлора.

Согласно [1], выборочные не исправленные дисперсии должны удовлетворять следующему равенству:

$$S_o^2 = S_{ф}^2 + S_r^2. \quad (2)$$

С учетом степеней свободы найденные значения исправленных дисперсий были преобразованы в выборочные не исправленные дисперсии, удовлетворяющие условию (2):

$$0,01846 = 0,01405 + 0,00441 (t_1);$$

$$0,22536 = 0,21582 + 0,00944 (t_2).$$

Влияние наработки на средние значения концентрации хлора в группах исследовано методом однофакторного дисперсионного анализа, суть которого заключается в сравнении факторной и остаточной дисперсий по критерию Фишера – Снедекора [1]:

$$F_{\text{набл1}} = S_{\phi 1}^2 / S_{o1}^2 = 2,2342 > F(19; 40) = 2,0264;$$

$$F_{\text{набл2}} = S_{\phi 2}^2 / S_{o2}^2 = 16,9506 > F(9; 20) = 2,9365.$$

Так как $F_{\text{набл}} > F$ – нулевую гипотезу о равенстве средних отвергаем, т. е. наработка значительно влияет на групповые средние. С увеличением наработки содержание хлора возрастает (табл. 1). На глубине 0,005 мм/ход концентрация хлора возрастает приблизительно до значения наработки около 140 мм³ и далее изменяется незначительно. На глубине 0,01 мм/ход концентрация растет с увеличением наработки до значения около 210 мм³.

Влияние наработки на изменение концентрации на участке предполагаемого стабильного содержания хлора вблизи зоны резания исследовано методом однофакторного дисперсионного анализа. Установлено, что групповые дисперсии в новых интервалах V однородны, как это наблюдалось ранее для всего диапазона фактора. На основании выполненных расчетов получены следующие значения факторной и остаточных дисперсий:

$$S_{\phi 1}^2 = 0,0013 \text{ (мг/м}^3\text{)}^2, S_{o1}^2 = 0,0070 \text{ (мг/м}^3\text{)}^2;$$

$$S_{\phi 2}^2 = 0,0038 \text{ (мг/м}^3\text{)}^2, S_{o2}^2 = 0,0198 \text{ (мг/м}^3\text{)}^2.$$

Во всех случаях факторная дисперсия получилась меньше остаточной, что свидетельствует об отсутствии влияния наработки на концентрацию хлора. Исходя из этого, а также, учитывая однородность дисперсий в группах, все измерения в рассматриваемых интервалах наработки объединены в соответствующие выборки, для которых рассчитаны статистические параметры.

При шлифовании с глубиной 0,005 мм/ход концентрация хлора по сравнению с исходной возрастает в 3 раза и достигает 0,47 мг/м³. С увеличением глубины шлифования в два раза концентрация хлора возрастает почти в 8 раз и составляет более 1,2 мг/м³. По сравнению со шлифованием на глубине 0,005 мм/ход содержание хлора вблизи зоны резания возрастает в 2,6 раза.

Увеличение в зоне резания концентрации хлора (см. табл. 1) свидетельствует о протекании реакции термического разложения импрегнатора. Следовательно, можно говорить о его термической деструкции с выделением хлора на протяжении всего периода шлифования. При работе обычным кругом хлор не выделяется, и его концентрация находится на уровне 0,16 мг/м³. ПДК хлора в воздухе рабочей зоны составляет 1 мг/м³. Исходя из этого, следует провести эксперименты в воздухе рабочей зоны шлифовщика, чтобы убедиться, что концентрация хлора там не превысит ПДК.

Основные выводы

При шлифовании абразивным инструментом, импрегнированным органическим веществом, содержащим хлор в количестве 33 атомных процентов, под действием температуры резания происходит разложение импрегнатора с образованием хлора на протяжении всего периода обработки.

В первый период шлифования концентрация хлора вблизи зоны резания возрастает, затем стабилизируется и остается постоянной до завершения процесса.

С увеличением глубины шлифования в 2 раза от 0,005 до 0,01 мм/ход концентрация хлора возрастает в 2,6 раза от 0,47 до 1,2 мг/м³.

Список литературы

1. Гмурман В. Е. Теория вероятностей и математическая статистика: Учебное пособие для вузов / В. Е. Гмурман. – 9-е изд., стер. – М.: Высшая школа, 2003. – 479 с.
2. Никитин А. В. Шлифование труднообрабатываемых материалов импрегнированными кругами как способ повышения их режущих свойств // Инструменты и технологии. – 2010. – № 2. – С. 52–58.
3. Носенко В. А. Дериватографические исследования газообразователей с целью применения их в качестве импрегнаторов абразивных инструментов / В. А. Носенко, А. П. Митрофанов, А. А. Крутикова, И. С. Кравцова // Проблемы современной науки: сб. науч. тр. Вып. 6 / Центр научного знания "Логос". – Ставрополь, 2012. – С. 138-145.
4. Носенко В. А. Критерий интенсивности взаимодействия обрабатываемого и абразивного материалов при шлифовании // Проблемы машиностроения и надежности машин. – 2001. – № 5. – С. 85-91.
5. Носенко В. А. Повышение эффективности процесса шлифования с использованием импрегнирования абразивного инструмента / В. А. Носенко, А. П. Митрофанов // Научно-технические проблемы в машиностроении. – 2012. – № 11.
6. Носенко В. А. Совершенствование абразивного инструмента на бакелитовой связке // Проблемы машиностроения и надежности машин. – 2004. – № 3. – С. 85-90.
7. Патент 2440886 Российская федерация, МПК В 24 D 3/34/ (2006. 01). Состав для пропитки абразивного инструмента / А. П. Митрофанов, В. А. Носенко, Г. М. Бутов. – Оpubл. 27.01.2012, Бюлл. № 3.
8. Патент 2443538 Российская федерация, МПК В 24 D 3/34/ (2006. 01). Состав для пропитки абразивного инструмента / А. П. Митрофанов, В. А. Носенко, Г. М. Бутов. – Оpubл. 27.02.2012, Бюлл. № 6.

9. Чирков Г. В. Влияние импрегнирования шлифовального круга на качество обработки // Технология машиностроения. – 2007. – № 2. – С. 22-23.
10. Impregnation of Abrasive Tools with Foaming Agents / V. A. Nosenko, A. P. Mitrofanov, G. M. Butov // Russian Engineering Research. – 2011. – Vol. 31, No. 11. – С. 1160-1163.

Рецензенты:

Пушкарев О.И., д.т.н., профессор, профессор кафедры «Технология машиностроения и стандартизация», ВИСТех (филиал) ФГБОУ ВПО Волгоградский государственный архитектурно-строительный университет, г. Волжский.

Яковлев А.А., д.т.н., доцент, профессор кафедры «Автоматизация производственных процессов», ФГБОУ ВПО «Волгоградский государственный технический университет», г. Волгоград.