Дальневосточный центр инновационных технологий

Сборник статей

Международная научно-практическая конференция

ИННОВАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

24 мая 2017

г. Владивосток 2017

УДК 001.61: 007.51: 608: 661
ББК 30/30.6-70/798
И665

Ответственные редакторы: *Лелюхин Владимир Егорович*
Колесникова Ольга Валерьевна

Responsible editors: *Vladimir E. Lelyukhin*
Olga V. Kolesnikova

И665
ИННОВАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ: сборник статей Международной научно - практической конференции (24 мая 2017 г.). - Владивосток: ДВЦИТ, 2017. – 84 с.

ISBN 978-5-9907644-7-7

INNOVATIVE TECHNOLOGIES: the collection of articles International scientifically - practical conference (May, 24-th, 2017, Vladivostok). - Vladivostok: FECIT, 2017. – 84 p.

В сборнике научных трудов рассматриваются инновационные технологии, их теоретическое обоснование и практическое использование. Сборник предназначен для инженерно-технических, научных и педагогических работников, преподавателей, аспирантов, магистрантов и студентов с целью использования в научной и практической деятельности.

In the collection of scientific papers, innovative technologies are considered, their theoretical justification and practical use. The collection is intended for nonproduction, scientific and pedagogical workers, teachers, post-graduate students and students with objective of use in scientific and practical activities.

Все материалы представлены в авторской редакции и характеризуют персональное мнение участника конференции. Авторы публикуемых материалов несут ответственность за соблюдение законов об интеллектуальной собственности, за корректность цитирования, точность названий, имен и иных сведений.

Сборник статей зарегистрирован в наукометрической базе РИНЦ (Российский индекс научного цитирования) в соответствии с договором №3366-11/2015К от 26 ноября 2015г. и размещён в научной электронной библиотеке *elibrary.ru*

УДК 001.61: 007.51: 608: 661
ББК 30/30.6-70/798

ISBN 978-5-9907644-7-7

© ООО «ДВЦИТ», 2017
© Коллектив авторов, 2017

УДК 621.79

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЧНОСТИ СВАРНОГО СОЕДИНЕНИЯ ПРИ СВАРКЕ АЛЮМИНИЕВОГО СПЛАВА МЕТОДОМ ТРЕНИЯ С ПЕРЕМЕШИВАНИЕМ

Сухорада Алексей Евгеньевич,
магистрант, ДВФУ, Владивосток, Россия,
Полуцкий Константин Александрович,
магистрант, ДВФУ, Владивосток, Россия,
Стаценко Владимир Николаевич,
докт. техн. наук, профессор ДВФУ, РФ
e-mail: vladsta@mail.ru

Аннотация. *В статье представлены данные по анализу технологии процесса сварки методом трения с перемешиванием. Важным элементом этого исследования является определение прочности сварного соединения, которая определяется методом механических испытаний на растяжение. Представлены результаты измерений и расчетов, уравнение регрессии.*

Ключевые слова: *технология, сварки трением с перемешиванием, технологические параметры, прочность, матрица планирования, результаты испытаний.*

INVESTIGATION OF THE STRENGTH OF A WELDING CONNECTION IN THE WELDING OF THE ALUMINUM ALLOY BY THE FRICTION METHOD WITH MIXING

Alexey E. Sukhorada*,*
Master of Arts, FEFU, Vladivostok, Russia,
Konstantin A. Polutsky*,*
Master of Arts, FEFU, Vladivostok, Russia,
Vladimir N. Statsenko,
Doct. Tech. Sci., Professor of FEFU, RF
E-mail: vladsta@mail.ru

Abstract. *The article presents data on the analysis of the technology of the welding process by friction with mixing. An important element of this study is the determination of the strength of the welded joint, which is determined by the*

method of mechanical tensile testing. The results of measurements and calculations, the regression equation are presented.

Keywords: *technology, friction stir welding, technological parameters, strength, planning matrix, test results.*

Сварка трением с перемешиванием (СТП) является относительно новым методом получения неразъемных соединений материалов, запатентована в 1991 году TheWeldingInstitute (TWI), Великобритания [1]. Интенсивное изучение данного процесса, направленное на совершенствование технологии и оборудования, позволило внедрить данный способ за рубежом в производство высокотехнологичных изделий в таких отраслях как вагоно-, судо-, авиастроение и многих других. Сварка трением с перемешиванием относится к процессам соединения материалов в твердой фазе и поэтому лишена недостатков, связанных с расплавлением и испарением металла.

Технология сварки трением с перемешиванием и методика исследования

Сварка ведется вращающимся металлическим нерасходуемым инструментом [2, 3]. Инструмент представляет собой стержень с буртом (заплечиком) диаметром D, из которого выступает пин диаметром d_n. и длиной l_n. При сварке ось инструмента наклонена на угол α относительно нормали. Инструмент, вращаясь с частотой ω, погружается в свариваемый металл на определенную глубину l и перемещается вдоль стыка деталей (углом «вперед») со скоростью сварки $V_{св}$. При этом заплечик защищает место сварки от воздействия окружающей среды. В результате нагрева от трения и приложенного давления от силы P_z, металл под буртом переходит в размягченное пластифицированное состояние. За счет перемешивания пластифицированного металла с помощью бурта и приложения к нему давления за инструментом образуется сварной шов.

В наших экспериментальных исследованиях использовался рабочий инструмент, выполненный из инструментальной быстрорежущей стали Р6М5. Сварка производится на универсально-фрезерном станке Opti MT100, в котором скорость сварки регулируется в диапазоне от 24 до 402 мм/мин, частота вращения инструмента от 40 до 1660 об/мин, поворотная головка обеспечивает выбор угол наклона инструмента в диапазоне от 0 до 90° [4].

В настоящее время проводится экспериментальное исследование зависимости свойств сварного соединения от следующих независимых факторов:

- скорость подачи (скорость сварки) $V_{св}$, мм/мин;
- скорость вращения инструмента n, об/мин;
- угол наклона инструмента α, град.

Для каждого из этих факторов выбраны основной, верхний и нижний уровни, рассчитаны интервалы варьирования (табл. 1).

После кодирования этих факторов получены кодированные значения каждого фактора в виде +1 для верхнего уровня и -1 для нижнего уровня.

В настоящей работе использовано планирование в виде полного факторного эксперимента (ПФЭ) с тремя факторами и двумя уровнями с общим количеством экспериментов равным 8.

Для повышения однородности оценок дисперсий и воспроизводимости экспериментов каждый режим повторялся три раза с определением среднего арифметического и расчета среднего квадратичного отклонения. То есть общее количество экспериментов составляло 24. Для снижения систематической погрешности при планировании экспериментов была проведена рандомизация последовательности проведения опытов, т.е. последовательность проведения опытов была составлена по закону случайных чисел.

После обработки полученных результатов [6] было получено уравнение регрессии, которое имеет свободный коэффициент b_0, три

линейных коэффициента b_1, b_2, b_3, коэффициенты двойного взаимодействия b_{12}, b_{23} и b_{13}, а также коэффициент тройного взаимодействия b_{123}

$$y = 178{,}77 + 5{,}04x_1 - 3{,}52x_2 - 5{,}21x_3 + 1{,}55x_1x_2 - 0{,}26x_1x_3 - 0{,}37x_2x_3 - 0{,}81x_1x_2x_3.$$

После составления матрицы планирования (табл. 2) были проведены эксперименты. Испытания образцов на разрыв производились по ГОСТ 1497-84 [5] на универсальной испытательной машине фирмы Shimadzu серии AGS-X 100kN, предназначенной для проведения механических испытаний различных материалов, в том числе металлов, древесины, пластиков.

Таблица 1

Уровни варьирования факторов

Наименование факторов	Обозначение факторов	Интервалы варьирования ±I	Уровни варьирования		
			-1	0	+1
Скорость подачи, мм/мин	$V_{св}$	9	24	33	42
Частота вращения инструмента, об/мин	n	405	850	1255	1660
Угол наклона инструмента, град	α	0.5	1	1.5	2

Таблица 2

Матрица планирования

№ п/п	x_1	x_2	x_3	$x_1 x_2$	$x_2 x_3$	$x_1 x_3$	$x_1 x_2 x_3$	$\bar{y}$
1	+	+	+	+	+	+	+	y_1
2	-	+	+	-	+	-	-	y_2
3	+	-	+	-	-	+	-	y_3
4	-	-	+	+	-	-	+	y_4
5	+	+	-	+	-	-	-	y_5
6	-	+	-	-	-	+	+	y_6
7	+	-	-	-	+	-	+	y_7
8	-	-	-	+	+	+	-	y_8

Статистическая обработка полученного уравнения проведена по следующим показателям.

1) *Проверки однородности дисперсий и воспроизводимости опытов.* Эта проверка проведена с помощью расчета критерия Кохрена, который показывает, какую долю в общей сумме дисперсий занимает максимальная из них. По нашим данным расчетное значение критерия Кохрена составило G_p =0,5, а при степенях свободы f_1 =2 и f_2 =8 его табличное значение $G_{табл}$=0,516. Так как $G_p < G_{табл}$, то можно сделать вывод, что дисперсии однородны, а эксперименты воспроизводимы.

2) *Проверки статистической значимости коэффициентов уравнения*. Эта проверка произведена по критерию Стьюдента, расчетное значение которого определяется как соотношение значения каждого из коэффициентов уравнения на среднее квадратичное отклонение от генеральной дисперсии воспроизводимости $t_р = |b_i|/\sigma$. Затем эти значения сравниваются с табличным значением критерия Стьюдента, который при степени свободы f=16 равен $t_{табл}$=2,12.

Статистически не значимыми оказались коэффициенты b_{12}, b_{23}, b_{13}, b_{123}, так как для этих коэффициентов $t_р < t_{табл}$, эти коэффициенты исключаются.

3) *Проверки модели на адекватность.* Эта проверка произведена по величинам отклонения между экспериментальными результатами и значениями, рассчитанными по уравнению регрессии. Проверка производится с помощью расчетного критерия Фишера, который для наших данных оказался равным F_p=0.

Вычисленное значение F_p сравнивается с табличным значением критерия Фишера, который для степеней свободы $f_{ад} = 1$ и $f_в = 16$ будет $F_{табл}$ = 3, т.е. $F_p < F_{табл}$.. Так как вычисленное значение критерия меньше табличного, то полученное уравнение регрессии адекватно.

После раскодировки факторов x_1, x_2 и x_3 уравнение регрессии принимает вид

$$y = 186{,}76 + 0{,}56 \cdot V_{св} - 0{,}008 \cdot n - 10{,}42 \cdot \alpha$$

Полученное уравнение позволяет рассчитать значения прочности в заданном диапазоне изменения входных факторов – скорости сварки $V_{св}$, скорости вращения инструмента n и угла наклона инструмента α.

На рис. 1 представлен график зависимости прочности сварного соединения от скорости сварки и скорости вращения инструмента при постоянном угле наклона инструмента 2°. По этим зависимостям можно выбрать режим с наиболее высоким показателем прочности.

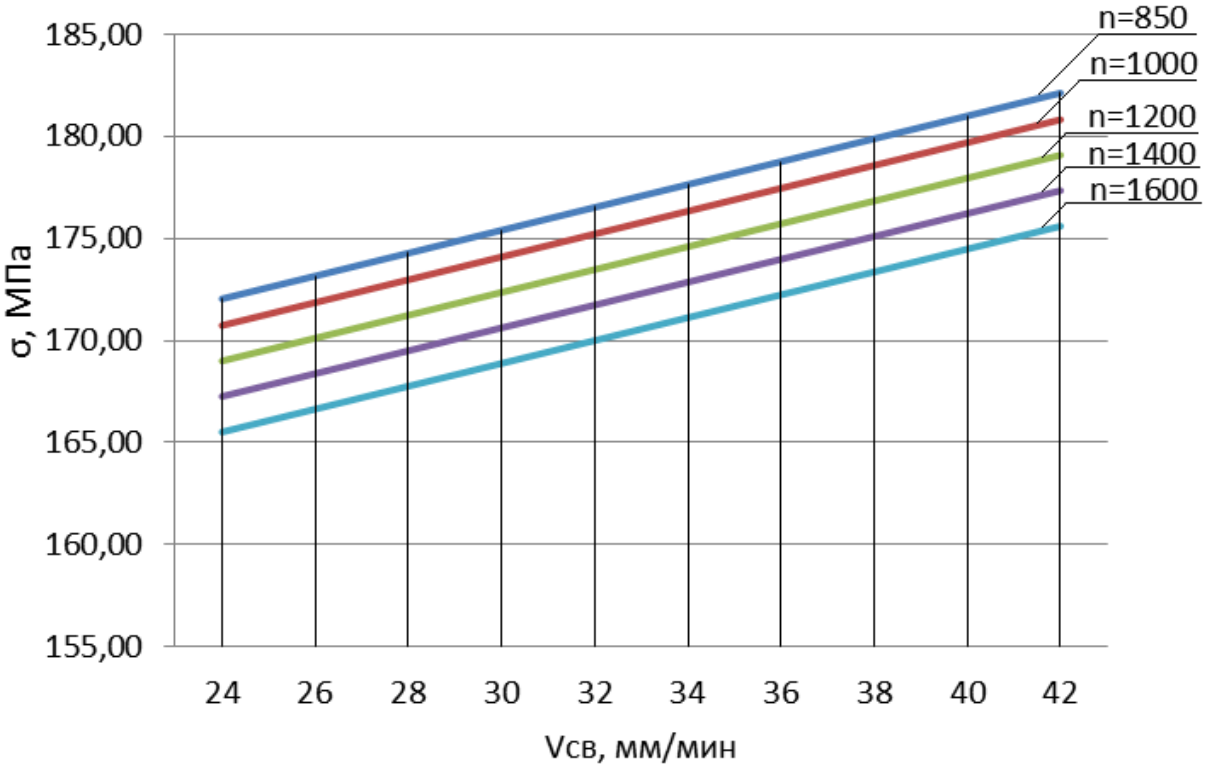

Рис.1. Зависимость прочности от скорости сварки и скорости вращения инструмента при постоянном угле 2°

Список литературы

1. US Pat. No 5460317. Friction stir butt-welding/ W.M. Thomas, E.D. Nicholas, J.C. Needham et al.; Опубл. 1995.

2. Colligan K.J., Konkol P.J., Fisher J.J. et al. Friction stir welding demonstrated for combat vehicle construction// Welding J. – 2003. – March. – P. 34 – 40.

3. Сварка трением с перемешиванием алюминиевых сплавов: Сущность и специфические особенности процесса, особенности структуры сварного шва / В.В.

Карманов, А.Л. Каменева, В.В. Карманов // Вестник ПНИПУ. Аэрокосмическая техника. 2012. № 32. С. 67–80.

4. Стаценко В.Н., Сухорада А.Е. Негода Е.Н. Исследование тепловложения и температурных полей при сварке трением с перемешиванием // Инновационная наука: сб.ст. Международной науч.-прак. конф., 21 октября 2016, Владивосток. Владивосток: ДВЦИТ, 2016. С. 32–40.

5. ГОСТ 1497-84. Металлы. Методы испытаний на растяжение. ИПК Издательство стандартов – 1986. –С. 28.

6. Стаценко В.Н., Негода Е.Н. Сухорада А.Е. Полуцкий К.А. Исследование технологии сварки пластин методом сварки трением с перемешиванием. //Технические науки. Сварка, родственные процессы и технологии: Вестник инженерной школы ДВФУ. 2017. № 1. С30.

© Сухорада А.Е., Полуцкий К.А., Стаценко В.Н, 2017 г.

УДК 658.512

ФУНКЦИОНАЛЬНЫЙ ПОДХОД К ФОРМИРОВАНИЮ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ МАШИНОСТРОИТЕЛЬНЫМ ПРЕДПРИЯТИЕМ

Кузьминова Татьяна Андреевна
начальник бюро технологической подготовки ОАО «Дальприбор»
аспирант, ДВФУ, РФ, г. Владивосток
e-mail: btpp-dp@mail.ru

Лелюхин Владимир Егорович
канд.техн.наук, доцент, ДВФУ, РФ, г.Владивосток
e-mail: lelv0@mail.ru

Колесникова Ольга Валерьевна
канд.техн.наук, старший преподаватель, ДВФУ, РФ, г.Владивосток
e-mail: miis@mail.ru

Аннотация. *В статье рассмотрен процесс формирования функциональной схемы управления машиностроительным предприятием. При формировании схемы проведен анализ материальных, финансовых и информационных потоков, определены функции их преобразования. Построена функциональная схема управления машиностроительного предприятия с интегрирующим звеном в виде функции планирования.*

Ключевые слова: *планирование производства, функциональная схема, управление производством*

FUNCTIONAL APPROACH TO THE FORMATION OF MANUFACTURING ENTERPRISE MANAGEMENT SYSTEM

Tatyana A. Kuzminova
chief of bureau of technological preparation, JSC Dalpribor,
post graduate student, FEFU, Vladivostok

Vladimir E. Lelyukhin
candidate of technical science, associate professor FEFU, Russia, Vladivostok

Olga V. Kolesnikova
candidate of technical science, lecturer, FEFU, Russia, Vladivostok

Abstract. *The article deals with the process of forming a functional control scheme for a machine building enterprise. During the formation of the scheme, we analyzed the material, financial and information flows, and determined the functions of their transformation. We have constructed a functional diagram of the management of a machine-building enterprise with an integrating link in the form of a planning function.*

Keywords: *production planning, functional scheme, production management*

Введение

Проблема управления предприятием не нова, на эту тему публикуется большое количество статей, монографий. И, тем не менее, эта тема продолжает быть актуальной, что связано как с развитием самих предприятий, так и с постоянным изменением внешней среды, в которой они функционируют. Например, в Советском Союзе был наработан огромный опыт управления предприятиями и целыми отраслями, была разработана плановая система ведения хозяйства в государственных масштабах. Однако, эта система была рассчитана на социалистические принципы управления государством, с одной стороны, и на массовый характер производства, с другой.

В современном мире изменилась среда в сторону, так называемой, рыночной экономики, имеющей другие принципы функционирования и законы поведения. Кроме того, развитие машиностроительного производства, совершенствование технологий изготовления привели к насыщению общества необходимой продукцией. Поэтому общество стало подходить избирательно к приобретению новых продуктов, что приводит к необходимости уменьшения партий изготовления одинаковой продукции, постоянных разработок новых видов, а часто и выполнение индивидуальны заказов.

Изменение потребностей внешней среды создало тенденцию смещения характера производства в сторону мелкосерийного и единичного

типов. Управление предприятием в таких условиях существенно отличается от плановой государственной системы и управления массовым производством.

Для разработки эффективной системы управления предприятиями требуются новые подходы, с учетом изменившихся условий функционирования. В статье предлагается подход к разработке системы управления, основанный на анализе функций, выполняемых в процессе работы предприятия, и формировании схемы взаимодействия всех структурных подразделений.

Схема преобразования потоков

Основной целью любого производственного предприятия, в том числе и машиностроительного, является выпуск продукции. Описание протекания процессов, сопровождающих выпуск продукции можно осуществить на основе схемы преобразования материальных, финансовых и информационных потоков. Характерно, что любые преобразования материальных потоков происходят только в соответствии с существующими законами, представляющими информационные потоки (рис.1).

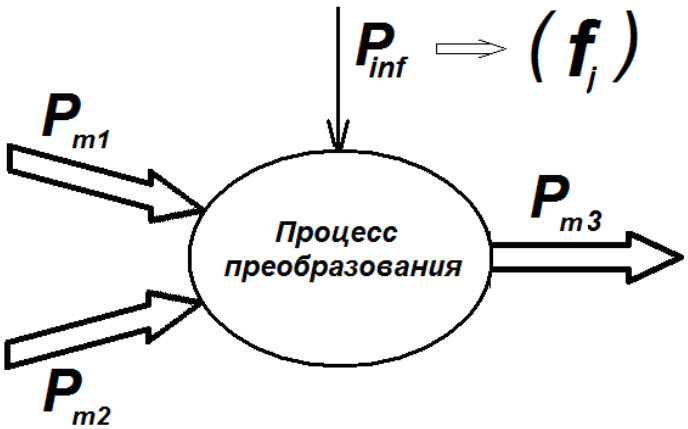

Рис. 1. Схема преобразования потоков

Описание законов и процессов преобразования наиболее удобно представлять в виде функций. На рис.1 показано как в результате взаимодействия двух материальных потоков P_{m1} и P_{m2} появляется третий

преобразованный поток P_{m3}, при этом процесс преобразования подчиняется законам, носителем которых является информационный поток P_{inf}, который может быть описан некоторой функцией f_j [1].

В существующем материальном мире выпуск продукции предполагает преобразование одного вида материалов в другой. Иными словами, производство реализует функцию преобразования одного материального потока в другой (рис. 2).

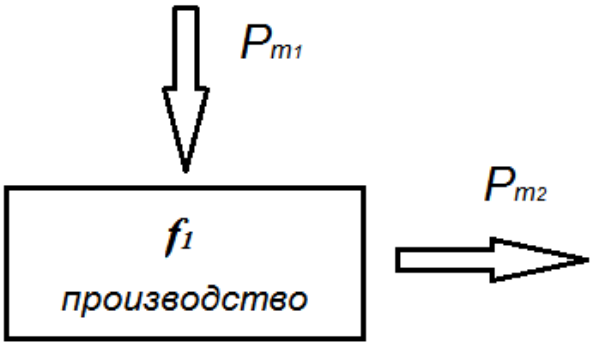

Рис. 2. Схема преобразования материального потока

На рис. 1 входной материальный поток обозначен Pm_1, выходной – Pm_2, функция, реализующая преобразование потоков, f_1. Преобразование потока можно записать в виде следующей формулы: f_1: $Pm_1 \rightarrow Pm_2$.

Входной материальный поток представляет преобразуемые в процессе производства материалы, комплектующие, которые принято называть сырье и материалы. Выходной материальный поток представляет продукцию предприятия в виде изделий.

Деятельность предприятия направлена на изготовление продукции с целью реализации ее покупателю и получению финансового вознаграждения. Полученное вознаграждение расходуется на приобретение новой партии сырья и материалов для изготовления следующих видов продукции. Таким образом, появляются дополнительные функции, обеспечивающие реализацию основной функции изготовления продукции. К таким функциям относятся: f_2 – функция продажи (реализации) продукции,

f_3 – функция распределения финансового вознаграждения, f_4 – функция приобретения сырья и материалов (рис. 3).

На рис.3 материальный поток изображен двойной линией со стрелкой, финансовый поток – пунктирной линией. Реализация функций, изображенных на схеме (рис. 3), предполагает преобразование материальных и финансовых потоков. Так, в результате реализации функции f_2, некоторая часть произведенной продукции будет продана, и за нее буде получено финансовое вознаграждение: f_2: $Pm_2 \rightarrow Pd_1$. Выполнение функции f_3 предполагает выделение некоторой части финансового вознаграждения на приобретение сырья и материалов: f_3: $Pd_1 \rightarrow Pd_2$. Функция f_4 в процессе закупки сырья и материалов преобразует финансовый поток в материальный: f_4:$Pd_2 \rightarrow Pm_1$.

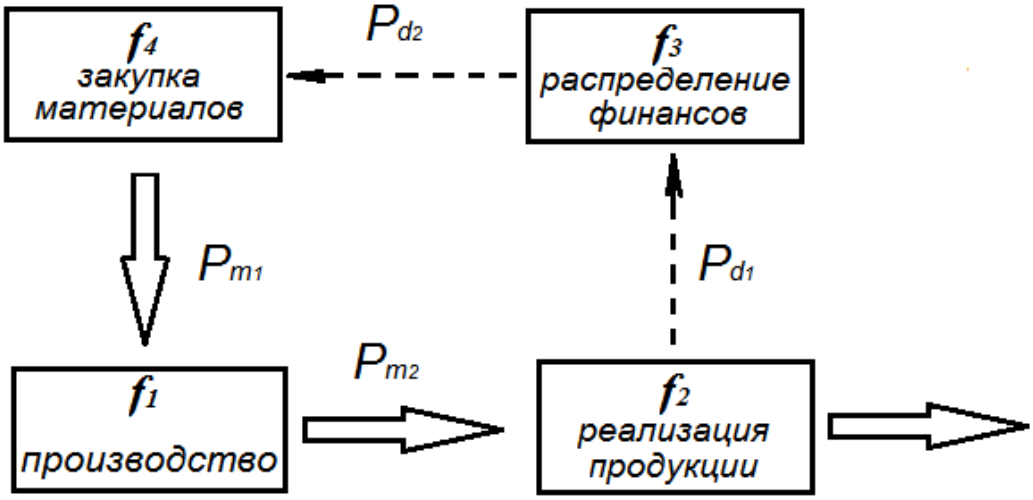

Рис. 3. Схема преобразования материальных и финансовых потоков

Таким образом, реализация описанных функций позволяет сформировать цикл преобразования материальных и финансовых потоков машиностроительного предприятия.

Формирование функций

Описанные выше функции могут выполнять преобразования потоков в соответствии с некоторыми законами или правилами преобразования. По

своей сути законы и правила преобразования являются информационными составляющими. Таким образом, для определения и формализации функции необходимы информационные потоки, задающие законы, правила и условия проведения преобразований.

Для реализации функции f_1 производства продукции необходимо знать, что производить, как, сколько и когда. Реализация остальных функций также требует ответов на аналогичные вопросы, иными словами формирования определенных параметров (рис. 4).

Формирование описанных на рис.4 параметров для машиностроительного предприятия подразумевает использование конструкторской, технологической и коммерческой информации. Конструкторская информация, представленная в виде комплекта документации, содержит чертежи, спецификации, ведомости покупных и т.д. Такая информация позволяет ответить на вопросы что производить и что закупить, так как содержит сведения о составе, структуре изделий, перечне покупаемых комплектующих.

$$f_1 : \begin{cases} \text{что производить} \\ \text{как производить} \\ \text{сколько производить} \\ \text{когда производить} \end{cases} \qquad f_2 : \begin{cases} \text{что продать} \\ \text{сколько продать} \\ \text{когда продать} \end{cases}$$

$$f_3 : \begin{cases} \text{сколько финансов выделить} \\ \text{когда выделить} \end{cases} \qquad f_4 : \begin{cases} \text{что закупить} \\ \text{сколько закупить} \\ \text{когда закупить} \end{cases}$$

Рис. 4. Параметры формирования функций

Технологическая информация, в свою очередь, позволяет ответить на вопросы как производить и что закупить, поскольку содержит технологические процессы изготовления изделий, нормы необходимых материалов. Коммерческая служба в процессе заключения договора с заказчиком формирует ответы на вопросы сколько изделий необходимо произвести, сколько и когда продать.

Таким образом, часть параметров для реализации функций (рис. 4) определяется конструкторской, технологической и коммерческой информацией. Однако остается достаточно большой объем параметров, связанных с реализацией функций во времени: когда производить, когда закупать, когда выделять финансы. Реализация этих функций связана с планированием работы подразделений.

Формирование функции планирования

Сложившаяся практика работы отечественных машиностроительных предприятий предполагает обособленное причем самостоятельное планирование работы каждого подразделения. Например, финансовая служба исходя из финансового положения предприятия определяет, когда и сколько выделить средств на закупку материалов, а временами и на какие материалы выделить средства (исходя из суммы, указанной в счете). Служба материально-технического снабжения определяет, когда, что и сколько закупить исходя из установленных взаимоотношений с поставщиками и условий поставки. В результате реализация функции производства становится проблематичной, не смотря на потраченные финансовые средства, закупленные материалы, заключенные договора с покупателями.

По мнению авторов, решить проблему может организация единой функции планирования, объединяющей все информационные потоки предприятия, согласующей их (рис. 5).

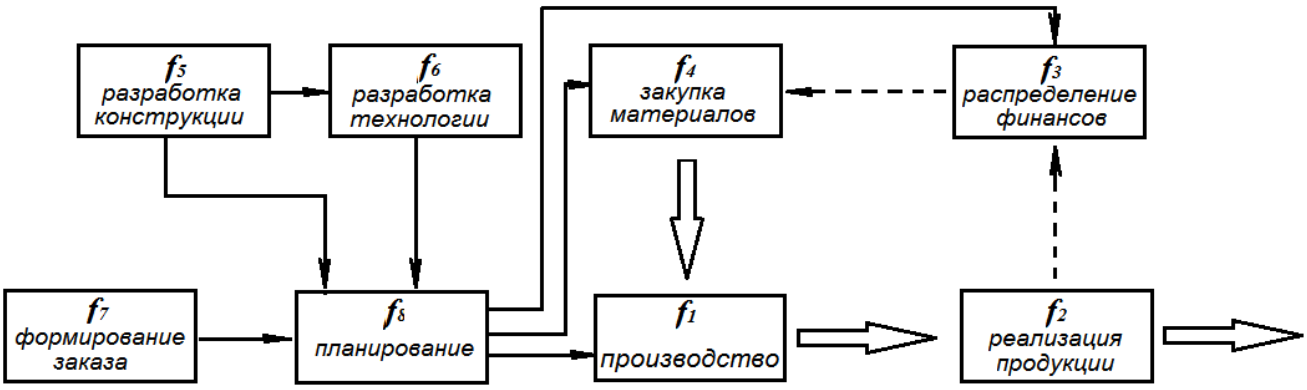

Рис. 5. Функциональная схема предприятия

На рис. 5 сплошной линией обозначены информационные потоки. На основании информации формируемой конструкторской (функция f_5), технологической (функция f_6) и коммерческой (функция f_7) службами реализуется функция планирования f_8. Учитывая, что при реализации функции планирования агрегируется вся необходимая для производства информация, формируется согласованное информационное ядро.

Разработанные таким образом параметры для реализации функций, выполняемых при производстве продукции f_1, f_2, f_3, f_4, позволят сформировать эффективные и согласованные со всеми службами управляющие воздействия.

Заключение

Исходя из этого, задача построения наиболее эффективной функциональной модели управления предприятием заключается в формировании системы взаимосвязанных непротиворечивых функций необходимых для получения требуемого результата, механизмов и инструментов их реализации [**Ошибка! Источник ссылки не найден.**, 4, 5, 5].

Построение функциональной схемы для предприятия является основой формирования эффективной системы управления, учитывающей все особенности его деятельности, протекающих процессов и взаимодействия структурных подразделений. Разработанная на основе функциональной схемы совокупность бизнес-процессов позволит предприятию подняться на новый уровень, повысив эффективность производства и конкурентоспособность предприятия в целом.

Список литературы:

1. Лелюхин В.Е., Колесникова О.В. Функционально-идеологический менеджмент в управлении машиностроительным предприятием. Stredoevropsky Vestnik pro Vedu a Vyzkum. 2015. Т. 59. С. 25.

2. Колесникова О.В., Лелюхин В.Е. Синхронное управление ресурсами предприятия в машиностроении // Автоматизация в промышленности, 2015, №3 – с. 59-62.

3. Лелюхин В.Е., Колесникова О.В. Повышение эффективности управления производственным предприятием введением централизованного элемента планирования // Инновации в современной науке: сборник статей Международной научно-практической конференции (17 марта 2017 г., г. Владивосток). - Владивосток: ДВЦИТ, 2017., с.3-15.

4. Steven Nahmias. Production and Operations Analysis, Fourth Edition. McGraw-Hill Irw n: New York, 2001

5. Hammer, M, and Champy J. Re-engineering the Corporation: A Manifesto for Business Revolution. Harper Business, New York, New York, USA, 1993

© Кузьминова Т.А., Лелюхин В.Е., Колесникова О.В., 2017 г.

УДК 534.836.2

РАЗРАБОТКА ШУМОЗАЩИТНЫХ МЕРОПРИЯТИЙ ДЛЯ СЕЛИТЕБНОЙ ТЕРРИТОРИИ

Корчака Анатолий Владимирович
аспирант инженерной школы ДВФУ, РФ, г. Владивосток
e-mail: anatoliy_korchaka_informbox@mail.ru

Аннотация. *Рассмотрена проблема акустического загрязнения селитебной территории города Владивостока. Представлены результаты исследования сегмента селитебной территории г. Владивостока на предмет соответствия действующим санитарным нормам шума. Выявлены превышения допустимых уровней шума и предложены меры по улучшению акустической обстановки на заданной территории. Представлены результаты расчетов геометрических параметров шумозащитных экранов и рассчитана эффективность снижения уровня шума в случае применения таких экранов на исследованной территории.*

Ключевые слова: *шум; шумовое загрязнение; транспортный шум; источник шума; шумозащитный экран.*

DEVELOPMENT THE NOISE PROTECTION MEASURES FOR RESIDENTIAL AREAS

Anatoliy V. Korchaka
post-graduate School of Engineering FEFU, Russia,Vladivostok
e-mail: anatoliy_korchaka_informbox@mail.ru

Abstract. *The problem of noise pollution of the residential area of Vladivostok is considered. The results of the study of the segment of the residential area of Vladivostok for compliance with the current sanitary noise standards are presented.*

The exceeding of permissible noise levels were identified and the measures for improve the acoustic environment in a given territory are proposed. The results of calculations of the geometric parameters of noise-shielding screens are presented and the efficiency of noise reduction is calculated in the case of using such screens on the investigated territory.

Keywords: *noise; noise pollution; traffic noise; noise source; noise barrier.*

Введение

Шумовое загрязнение является одной из наиболее актуальных проблем современных городов. Данная проблема не обошла стороной и город Владивосток. В связи со специфическим рельефом, большой плотностью застройки и огромным количеством автомобильного транспорта стоит наиболее остро.

В настоящее время, мониторинг шумовой обстановки не вызывает значительных затруднений. Существует ряд нормативных документов, однозначно регламентирующих процесс инструментального контроля уровней шума и обработки полученных данных.

Вместе с тем, разработка мер по снижению уровня шумового загрязнения на селитебных территориях связана с множеством сложностей. В большей степени они обусловлены малым количеством современных технических источников информации, отсутствием в нашей стране единой методики расчета геометрических и акустических параметров шумозащитных сооружений, отсутствием устоявшейся системы классификации шумозащитных сооружений, отсутствием единой нормативной документации.

Исследование акустической обстановки

С целью выявления зон повышенного шумового воздействия было выполнено исследование сегмента территории жилой застройки г. Владивостока по проспекту 100-летия Владивостока в районе домов №78-136. Территория имеет неоднородный рельеф, в связи с чем, разделена на 5 участков, в зависимости от положения зданий жилой застройки относительно уровня проезжей части автодороги.

Основным источником шума на исследованной территории является автомобильный транспорт, поэтому, измеряемый шум классифицируется как непостоянный, колеблющийся во времени. Нормируемыми параметрами

являются эквивалентные по энергии L_{eq} (дБА) и максимальные L_{max} (дБА) уровни звука.

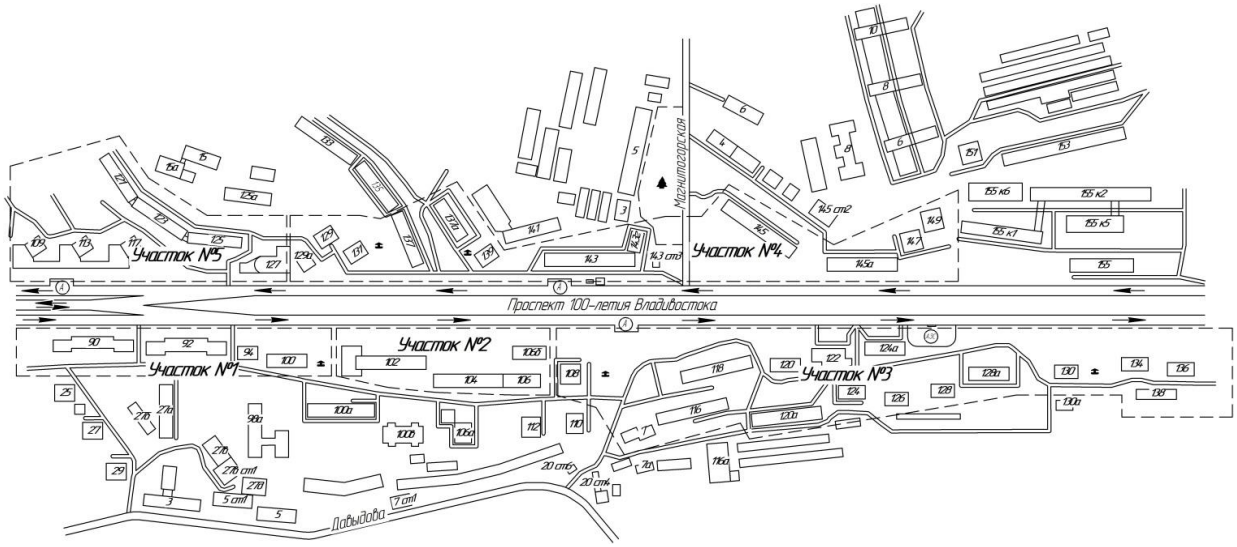

Рис. 1 План-схема территории с обозначением участков проведения измерений

Характеристики исследованных участков и усредненные эмпирические значения уровней звука сведены в таблицу 1.

Таблица 1

Характеристика участков

№ участка	Протяженность участка, м	Расположение относительно уровня проезжей части	Средний уровень звука, дБА	
			L_{max}	L_{eq}
1	300	На одном уровне	69.2	66
2	240	↑ на 2-5 м	70	67.6
3	700	↓ на 2-5 м	61	59
4	700	↑ на 3-7 м	65.7	63.6
5	300	↑ на 1-3 м	68.8	66.7

Постановка задачи

В результате оценки полученных данных в соответствии [1], очевидно превышение допустимого эквивалентного уровня шума (L_{eq}, дБА) на величину от 4 до 13 дБА.

Несоответствие санитарным нормам фактического уровня шума на выделенных участках, определяет необходимость принятия мер по улучшению акустической обстановки.

Согласно литературным данным, наиболее эффективным средством снижения шума на селитебных территориях современных городов являются отражающе-поглощающие шумозащитные экраны, размещаемые между источниками шума и объектами защиты от него.

В общем случае, акустические экраны обеспечивают эффективное снижение шума на уровень от 5 до 25 дБА [2, 3, 4], что в полной мере удовлетворяет условиям.

Из существующих конструкций, наиболее подходят для городских условий экраны в виде вертикальной стенки [5, с. 11].

В качестве методики расчета геометрических и акустических параметров использован стандарт Государственной компании «АВТОДОР» [6].

Геометрические параметры и ожидаемая акустическая эффективность шумозащитных экранов

Исходя из требуемого снижения шума, для каждого участка задана требуемая акустическая эффективность экранов. На основании заданной эффективности, произведен расчет ожидаемой эффективности и геометрических параметров отражающе-поглощаемых экранов, для каждого участка исследованной территории. Полученные значения, сведены в таблицу 2.

При расчетах акустической эффективности шумозащитных экранов рассмотрены расчетные сечения, соединяющие расчетную точку и акустический центр источника шума.

Расчетные точки для каждого участка выбраны в двух метрах от фасада самого близкого к автодороге здания, на уровне середины окон первого и последнего этажей [7]. Уровень середины окон первого этажа принят равным 3м. Положение акустического центра источника шума

назначено на высоте 1м над уровнем проезжей части, на оси наиболее удаленной от расчетной точки полосы движения [6, с. 53].

С целью обеспечения достоверности результатов, наиболее полного учета особенностей рельефа, для участков протяженностью более 300 м расчет производен в трех точках.

Таблица 2

Расчетные параметры экранов

№ участка	Требуемая эффективность, дБА	Расчетная эффективность, дБА	Высота, м	Длина, м
1	11	12.3	4	164
	10.3	10.6	4	
2	13	13.2	4	387
	12	12	4	
3	4	8.2	3	548
	3.6	4.7	3	
	4	7.8	3	
	3.3	5	3	
	4	7.5	3	
	3.3	3.9	3	
4	9	9	4.5	548
	6.8	2	4.5	
	9	9	4.5	
	7.5	4.3	4.5	
	9	11.9	4.5	
	7.8	2.8	4.5	
5	12	13.2	4.5	387
	9	3.4	4.5	

Анализ результатов

На основании результатов исследования и проведенных теоретических расчетов, можно сделать вывод о том, что требуемое снижение акустического шума на участках №1-3 может быть достигнуто посредством использования акустических экранов отражающе-поглощающего типа с указанными в таблице 2 параметрами.

В соответствие с данными, полученными для участков территории №4, №5, снижение уровня шума до допустимых значений, посредством установки шумозащитных экранов с указанными характеристиками, недостижимо. Повышение значений акустической эффективности возможно лишь за счет увеличения высоты сооружений. Совершенно очевидно, что увеличение геометрических размеров ведет к ряду негативных факторов, таких как увеличение зоны световой тени, увеличение нагружаемой площади, сложности в монтаже и обслуживании в разное время года, не эстетичный внешний вид. Учитывая перечисленные факторы, высоту экрана в 4.5 метра следует считать критической, для заданных условий.

Как было сказано выше, эффективность отражающе-поглощающего шумозащитного сооружения, теоретически, лежит в диапазоне 5-25 дБА, однако, в результате расчета, в семи расчетных точка, эффективность составила менее 5 дБА.

В ходе расчета принято допущение о том, что экран является непрерывным. В реальных условиях, непрерывность экрана обеспечить нельзя. Наличие технологических проемов и разрывов на перекрестках (пересечениях) приведет к снижению акустической эффективности сооружения.

Список литературы:

1. СН 2.2.4/2.1.8.562-96. Шум на рабочих местах, в помещениях жилых, общественных зданий и на территории жилой застройки. Санитарные нормы // 2006.

2. ОДМ 218.2.013-2011. Методические рекомендации по защите от транспортного шума территорий, прилегающих к автомобильным дорогам // Изд-во ФГУП «Информавтодор», 2011.

3. Иванов Н.И. Инженерная акустика. Теория и практика борьбы с шумом / Н.И. Иванов. - Москва: Университетская книга, Логос, 2008. – 424 с.

4. Осипов Г.Л. Защита от шума в градостроительстве: Справочник проектировщика / Г.Л. Осипов - Москва: Стройиздат, 1993. – 96 с.

5. Шубин И.Л. К расчету проектирования придорожных экранов, предназначенных для защиты жилой застройки от транспортного шума // Журнал «ПГС». – 2010. № 1. - С. 11-12.

6. СТО АВТОДОР 2.9-2014. Рекомендации по проектированию строительству и эксплуатации акустических экранов на автомобильных дорогах государственной компании «АВТОДОР» // Изд-во ФГУП «Информавтодор», 2014.

7. ОДМ. Методические рекомендации по оценке необходимого снижения звука у населенных пунктов и определению требуемой акустической эффективности экранов с учетом звукопоглощения // Изд-во ФГУП «Информавтодор», 2003.

©Корчака А.В., 2017г.

УДК 621.01: 65.011

ПРОЕКТ ВНЕДРЕНИЯ PLM SEARCH В ОАО «ДАЛЬРЫБТЕХЦЕНТР»

Ким Мун Чхор
канд. техн. наук., старший преподаватель
Политехнический университет имени Ким Чака, КНДР, Пхеньян
магистрант ДВФУ, РФ, г. Владивосток
E-mail: kmc2170@mail.ru

***Аннотация**: В данной статье рассмотрено состояние организации конструкторского документооборота в ОАО «Дальрыбтехцентр» и предложено рассмотреть использование PLM-системы для организации системы его управления.*

***Ключевые слова:** конструкторская документация, конструкторский документооборот, PLM-система*

PLM SEARCH INTRODUCTION PROJECT AT «DALYBTECHCENTER» OJSC

Kim Mun Chol
Candidate of technical science,
lecturer of Kim Chaek university of technology,
Democratic People's Republic of Korea, Pyongyang
Master's degree student of FEFU, Russia, Vladivostok

***Abstract:** This article considers the state of the organization of the design workflow at «Dalrybtechcenter» OJSC and proposes to consider the use of PLM-system for the organization of its management system.*

***Keywords:** design documentation, design workflow, PLM-system*

Введение

Для машиностроительных предприятий важнейшую роль играет подготовка производства, которая призвана обеспечить материально, информационно и организационно процесс производства. Основными элементами подготовки производства являются конструкторская и технологическая подготовка, определяющие не только что и как

производить, но и основные параметры изготавливаемой продукции, т.е. ее качество, себестоимость и конкурентоспособность [1].

Качество выполнения конструкторских работ, полнота и корректность оформления конструкторской документации (соблюдение условия информационная необходимости и достаточности) определяют эффективность дальнейшей работы, связанную с подготовкой производства и изготовлением продукции. В связи с возрастающей сложностью изделий и ужесточением требований не только к самой конструкторской документации, но и к её хранению, поиску нужных документов, тиражированию, ограничению доступа и т.д., иными словами к управлению конструкторским документооборотом [1, 2, 3].

В прошлом столетии, когда чертежи, составляющие основу технической документации, выполнялись вручную на кульмане на производственных предприятиях и в конструкторских бюро существовали специальные службы хранения и сопровождения этой документации. Широкое распространение информационных технологий и появление CAD-систем, породило проблему необходимости оперативного и корректного отслеживания быстрорастущих объемов конструкторской документации в виде файлов различных типов [4].

В конце 1980-х годов, когда отчетливо стали проявляться признаки «потери управляемости» возрастающим потоком сложно структурированных конструкторских документов, возникли первые EDM (Engineering Data Management), а затем PDM (Product Data Management)-системы [4]. Следующим этапом развития систем управления техническим документооборотом стали PLM (Product Lifecycle Management)-системы, которые обеспечили хранение и управление файлами документов, поддержку специализированных документов, характеризующих состав и структуру элементов изделий, управление уровнями, версиями и ревизиями документов, а также их оперативную визуализацию [2, 4, 5].

Такая функциональность PLM-систем позволяет им быстро обращаться к стандартным элементам, структурам спецификации и файлам для повторного использования, и деривации, одновременно снижая риск использования неправильных версий дизайна и увеличивая повторное использование существующей информации о продукте. Тем самым PLM системы позволяют реализовать комплексный подход ко всем аспектам информационной жизни продукта с момента его создания, изготовления, развертывания и обслуживания, а также организацией его вывода из эксплуатации и окончательного удаления [2, 4, 6].

В настоящей статье рассмотрено состояние организации конструкторского документооборота в ОАО «Дальрыбтехцентр», которое занимается производством и ремонтом технологического оборудования для рыбоперерабатывающей промышленности, и предложено рассмотреть использование PLM-системы на этом предприятии для организации системы его управления.

Организация конструкторского документооборота на предприятии

Можно отметить, что благодаря эффективной политике нынешнего руководства на предприятии сформирована организационная структура, позволяющая создать и реализовать циркуляцию информационных и материальных потоков, организующих исполнение необходимых бизнес-процессов. Для обеспечения производства необходимой информацией в организационной структуре предприятия имеется конструкторское бюро (КБ), бюро технологической подготовки производства (БТПП), а также планово-диспетчерское бюро (ПДБ), обеспечивающее планирование производственных заказов.

С начала 2014 г. на предприятии успешно эксплуатируется интегрированная система управления ресурсами предприятия, что позволило организовать четкие технологические потоки при производстве

единичной и мелкосерийной продукции и как результат повысить производительность труда основных рабочих, снизить расход материалов от 5% до 15% и повысить качество выпускаемых изделий [3].

В качестве основной платформы использовалась система 1С: Управление производственным предприятием (1С:УПП) версии 8.2. Для ввода, корректировки и контроля электронной структуры изделий (ЭСИ) использованы имеющиеся в 1С:УПП инструменты, формирования справочника «Номенклатура» и «Конструктор спецификаций» [3]. Таким образом, частично обеспечивается непрерывная информационная цепочка от электронной структуры изделия до планирования каждой детале-операции на рабочем месте.

Однако вопросы обеспечения полной, корректной и качественной конструкторской документацией на предприятия решаются в оперативном порядке. При этом существующая организация хранения и изменения конструкторской документации (КД) предполагает использование слабо структурированного пространства на выделенных запоминающих устройствах компьютерной сети предприятия. Иными словами, каждый конструктор определяет где, как и под какими именами (обозначениями) сохранять файлы рабочих версий и готовых документов.

Поэтому в качестве основной системы хранения и обмена информацией на предприятии существует архив бумажных документов и электронные копии хранятся на отведенных папках на сервере или на компьютерах исполнителей или в порядке, определяемом исполнителями. Какой-либо системы электронного управления, хранения и обмена конструкторской информацией не существует. Учитывая существенные потери времени на поиск, корректировку и согласование при подготовке и изменении бумажной документации, можно сказать, что на предприятии имеются резервы дальнейшего повышения эффективности работы.

Для этого предлагается рассмотреть использование PLM системы на предприятии ОАО «Дальрыбтехцентр» для организации системы управления конструкторским документооборотом.

Оценка объемов изменений КД на предприятии

По опытно экспертным данным, полученным в ходе опроса руководителей конструкторских бюро и главных конструкторов, каждый год только в ходе разработки изделий и комплексов корректировке подвергается 60÷90 процентов конструкторской документации. При этом трудоемкость корректировок составляет в среднем порядка 50 процентов от исходной трудоемкости формирования КД.

Количества деталей и сборочных единиц, входящих в изделия, выпускаемые предприятием, составляют 1 766 и 35 887 соответственно.

Если принять, что средняя трудоёмкость разработки сборочной единицы составляет 8 нормо-часов, а детали – 3 нормо-часа, то исходя из итоговых данных, суммарная трудоемкость для разработки сборочных единиц составит 14 128 нормо-часов, деталей - 107 661 нормо-час, что в общем составит порядка 121 790 нормо-часов.

Исходя из этого, можно примерно определить общую трудоемкость изменений, которая составит примерно 60 000 нормо-часов для рассматриваемых условий.

А для соответственно сравнительной оценки годовой трудоемкости, нужной для проведения изменений КД при внедрении и не внедрении PLM-системы, проводили ее изменения ряд машин с различной трудоемкостью разработки под интеграцией с PLM-системой PLM Search.

При этом получились следующие положительные результаты:

- трудоемкость проведения 1 изменения 1,9 нормо-часа для сборочных единиц, а 0,8 нормо-часа для деталей;
- процент возможных ошибок 1% для сборочных единиц, а 0,5% для

деталей.

При этом суммарная трудоемкость корректировки конструкторской документации сборочных единиц составит 3 355 нормо-часов, а деталей - 28 710 нормо-часов, что в сумме составит порядка 32 065 нормо-часов.

Таким образом, применение системы PLM Search обеспечит сокращение трудоемкости, связанной с корректировкой конструкторской документации почти в 2 раза.

В процессе конструкторской подготовки у конструктора появляются такие ошибки, как дублирование или повторный ввод данных, несоответствие действующим стандартам, несвоевременное оповещение об изменениях и т.д.

При использовании PLM Search конструкторы работают с единой базой данных документов и изделий, используют единую базу данных стандартных изделий и материалов и т.д. Такой подход исключает неизбежные ошибки, возникающие при необходимости параллельного ведения баз данных и ручного ввода информации.

Как показано выше, количество таких возможных ошибок снижается для сборочных единиц на 1% и 0,5%, для деталей на 3% и 2%.

Разумеется, что приведенные среднестатистические значения зависят от разных факторов и могут изменяться в конкретных случаях. Однако в целом внедрение PLM Search обеспечивает значительную экономическую пользу и улучшает качество конструкторской подготовки.

Заключение

Таким образом, внедрение PLM Search является актуальной задачей совершенствования системы управления техническим документооборотом для осуществления стратегии развития.

Возможности PLM Search позволяют дополнить систему модулями расширения функционала. Одна из таких возможностей заключается в том,

что система PLM Search готова к интеграции с любыми информационными системами предприятия. Уже реализован модуль передачи конструкторско-технологических данных в ERP-систему 1С:УПП.

Поэтому внедрение системы PLM Search принесет дальнейшую экономическую эффективность в управлении производством предприятия.

Список литературы:

1. Лелюхин В.Е., Колесникова О.В. Принципиальная схема организации системы подготовки производства на машиностроительном предприятии // Теория и практика в инновационных технологиях: сборник статей Международной научно-практической конференции (19 февраля 2016 г., г. Владивосток). - Владивосток: ДВЦИТ, 2016, с.44-53.
2. Karniel A. and Reich Y. Managing the Dynamics of New Product Development Processes. DOI: 10Л 007/978-0-85729-570-5. © Springer-Verlag London Limited 2011
3. Лелюхин В.Е., Колесникова О.В. Интегрированная система конструкторско-технологической подготовки и управления производством на платформе 1С:УПП //Автоматизация в промышленности. М.: ООО Издательский дом «ИнфоАвтоматизация» – 2015. – №9 – с. 34-38
4. Antti Saaksvuori, Anselmi Immonen Product Lifecycle Management. Springer. Third Edition 2008. ISBN 978-3-540-78173-8. DOI: 10.1007/978-3-540-78172-1 5. Teresko, John. "The PLM Revolution". IndustryWeek. 21 December 2004. URL: http://www.industryweek.com/companies-amp-executives/plm-revolution
5. Teresko, John. "The PLM Revolution". IndustryWeek. 21 December 2004. URL:http://www.industryweek.com/companies-amp-executives/plmrevolution
6. Hirz M. Integrated Computer-Aided Design in Automotive Development: Development Processes, Geometric Fundamentals, Methods of CAD, Knowledge-Based Engineering Data Management. Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 2013. XIX, 466 p.— ISBN 978-3-642-11939-2.

© Ким Мун Чхор, 2017г.

УДК 621.791

АНАЛИЗ КОНЦЕНТРАЦИИ И МОРФОЛОГИИ АЭРОЗОЛЕЙ, ПОЛУЧАЕМЫХ ПРИ ЭЛЕКТРОДУГОВОЙ СВАРКЕ

Ван Пэнфэй
магистрант ДВФУ, КНР
Стаценко Владимир Николаевич,
докт. техн. наук, профессор ДВФУ, РФ
e-mail: vladsta@mail.ru

Аннотация. *В статье представлены данные по анализу концентрации и морфологии (размеров и формы) твердых аэрозолей, образующихся при электродуговых сварочных работах. В измерениях использована стандартная методика отбора проб на фильтр типа АФА с применением ручного аспиратора, весовой анализ концентрации аэрозолей производился с помощью аналитических весов с точностью измерений до 0,1 мг. Анализ морфологии металлической части аэрозолей производился на оптическом микроскопе с точностью 10-30 мкм, анализ неметаллической части аэрозолей производится на микроскопе с точностью 1-3 мкм. Результаты анализа представлены в табличном виде.*

Ключевые слова: *Морфология, концентрация, размеры, форма, сварочные аэрозоли, микроскоп, аналитические весы.*

ANALYSIS OF CONCENTRATION AND MORPHOLOGY OF AEROSOLS GENERATED BY ARC WELDING

Wang Pengfei ,
master's degree student of FEFU, KNR
Vladimir N. Statsenko,
doctor of technical science, professor, FEFU, Russia, Vladivostok
e-mail: vladsta@mail.ru

Abstract. *The article presents the koncentracija analysis data and morphology (size and shape) of solid aerosols generated during arc welding. The dimensions of the used standard methodology for sampling on filter type AFA using manual aspirator, weight analysis of the concentration of aerosols produced by using the analytical balance with a precision of measurements to 0.1 mg. Analysis of the morphology of the metal part of the aerosols produced by*

optical microscope with a precision of 10-30 μm, analysis of non-metallic parts of the aerosols produced by microscope with an accuracy of 1-3 μm. The results of the analysis are presented in tabular form.

Keywords: *morphology, concentration, size, shape and welding aerosols, microscope, analytical scales.*

Как известно, в процессе сварки существует несколько вредных для здоровья людей физико-химических факторов: пыль, газы, сильное излучение и тепло [1]. Среди профессиональных заболеваний сварщиков высока доля бронхолегочных, вызванных воздействием сварочного аэрозоля. Это – пневмокониоз, который выявляется у сварщиков, проработавших в сварочных цехах более 15 лет, и хронический бронхит, возникающий уже через 5 лет работы в профессии сварщика [2].

В группу риска возникновения профессиональных заболеваний попадает каждый сварщик со стажем работы более 10 лет, даже если сварщик работает в пределах допустимых концентраций вредных веществ. Кроме этого, у них высок риск сердечно-сосудистых заболеваний [3].

Сварочный аэрозоль представляет собой совокупность мельчайших частиц, образовавшихся в результате конденсации паров расплавленного металла, шлака и покрытия электродов [2].

Материалы и методы

Целью настоящей работы является изучение концентрации и морфологии (размеров и формы) аэрозолей, выделяющихся в воздух при электродуговых сварочных работах.

Для отбора частиц твердых аэрозолей использовались фильтры типа АФА, (АФА-ВП-10) в которых используется фильтрующий материал из равномерного слоя ультратонких волокон из полимеров на марлевой подложке или без нее (фильтр Петрянова). Для крепления фильтров АФА при отборе пробы газа используют аллонж, который представляет собой воронку, в широкой части которой размещается и крепится фильтр [4].

Отбор загрязненного воздуха через фильтр осуществляется с помощью аспиратора, который за один цикл сжатия пропускает через фильтр 100 мл воздуха. В процессе отбора проб производилось 50 качков аспиратора, т.е. через фильтр пропускалось 5 л воздуха.

Измерение массы чистых и с отобранной пробой аэрозолей фильтров производилось с помощью аналитических весов, точность измерений - 0,0001 г.

Расчет чистого веса пробы аэрозолей производился как разница весов фильтра с пробой и чистого фильтра. Концентрацию аэрозолей в воздухе определялась по зависимости

$$C_{пыли}=(m_1-m_0)/G_{воз}\ ,\ мг/м^3$$

$$G_{воз}=V_a*n,\ м^3.$$

где m_1, m_0 - вес фильтра с пробой аэрозолей и чистого, мг;

$G_{воз}$ - количество воздуха, прокаченного через фильтр, $м^3$;

n - количество качков аспиратора;

V_a =0,1*10^{-3}, $м^3$ - объем одного качка аспиратора.

Все результаты измерений и расчетов вносятся в таблицу (табл.1).

Для измерения размеров и формы аэрозолей использовался оптический микроскоп марки Nikon ECLIPSE MA200, при максимальном его увеличении на экран монитора выводилась линейная шкала 200 мкм. Также для более точных измерений применялся микроскоп OLYMPUS, его увеличение позволяло увидеть и измерить частицы размером до 1 мкм, при этом на этих микроскопах изображение выводилось на монитор, на котором возможно было производить измерения и фиксировать изображения в виде файлов *.pnd* и *.tif*.

После измерения размеров вычислялось среднее арифметическое значение этой величины, среднее квадратичное отклонение, характеризующее разброс размеров относительно среднего арифметического.

Отбор проб с помощью фильтра, аллонжа и аспиратора производился на стенде на уровне 500 мм над местом сварки – в зоне вдыхания аэрозолей сварщиком (рис.1). При этом вентиляция воздуха была отключена.

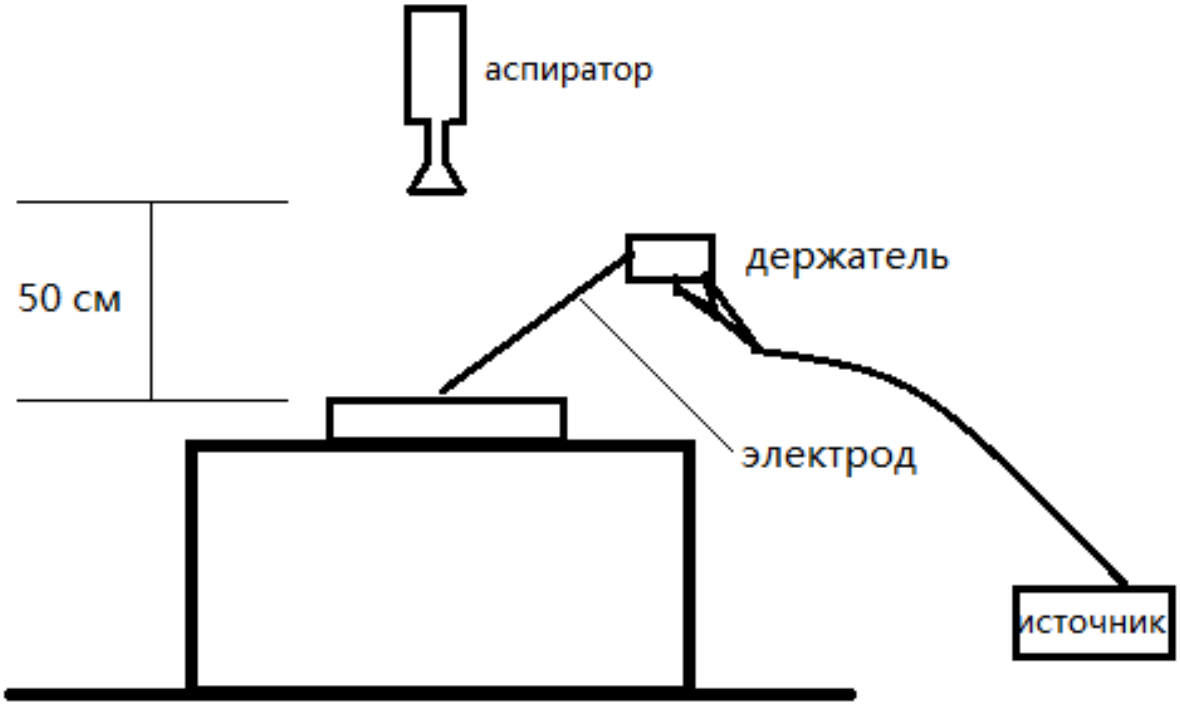

Рис. 1. Схема стенда для отбора проб

Результаты и обсуждение

Эксперименты с отбором проб на анализ производились с отечественными электродами типа УОНИ13/55 и МР-3С, а также с импортными электродами J38, J421 (производство КНР), KST-309L, KK-50N, CR-13, E6103/S LF (производство Корейской Республики), OK46 (производство Швеции), OMNI-46 (производство США).

Результаты измерений и расчетов концентрации аэрозолей в воздухе над местом сварщика представлены в табл. 1.

Анализ этих данных показывает следующее.

1. Наибольшие выделения аэрозолей происходит у электродов марки OK46 (800 мг/м^3) и KK-50N (640 мг/м^3).

2. Наименьшие выделения аэрозолей происходит у электродов марки KK-50N (60 мг/м^3) и KST (80 мг/м^3).

3. У остальных электродов концентрация аэрозолей составляет значения в диапазоне 120 - 420 мг/м^3.

Таблица 1

Результаты измерений и расчетов концентрации аэрозолей

0	Электроды					Фильтры				Объем		Концентрация	
	марка	I, А	U_{xx}, В	U_p, В	Ток	Кол-во качков	Масса, г						
						n	m_0	m_1	Δm	л	м^3	г/м^3	мг/м^3
1	УОНИ13/55	80	70	23	=	50	0,0429	0,0435	0,0006	5	0,005	0,12	120
2	МР-3С	110	70	23	~	50	0,0429	0,0436	0,0007	5	0,005	0,14	140
3	KST	90	70	23	=	50	0,0429	0,0431	0,0004	5	0,005	0,08	80
4	KK-50N	100	70	23	=	50	0,0429	0,0446	0,0032	5	0,005	0,64	640
5	J421	100	70	23	=	50	0,0429	0,0441	0,0012	5	0,005	0,24	240
6	OMNI 46	75	70	23	=	50	0,0429	0,0448	0,0019	5	0,005	0,38	380
7	OK46	100	70	23	=	50	0,0429	0,0469	0,0040	5	0,005	0,80	800
8	CR-13	100	70	23	=	50	0,0429	0,0442	0,0013	5	0,005	0,26	260
9	E6103/S LF	90	70	23	=	50	0,0429	0,0445	0,0016	5	0,005	0,32	320
10	E6103 J38	90	70	23	=	50	0,0429	0,0450	0,0021	5	0,005	0,42	420
11	KK-50N	100	70	23	=	50	0,0429	0,0432	0,0003	5	0,005	0,06	60

4. Сравнение этих данных с предельно-допустимыми значениями в рабочей зоне (ПДК$_{рз}$) показывает, что по нетоксичной пыли (ПДК$_{рз}$ =6,0 мг/м^3) выбросы сварочных аэрозолей превышают ПДК$_{рз}$ в 10-13 раз для электродов с наименьшими выделениями и в 100-130 раз для электродов с наибольшими выделениями.

5. По наиболее токсичным составляющим аэрозолей (по *Mn* и MnO_2 $ПДК_{рз}$ =0,3 мг/м^3, по *Ni* и окиси *Ni* $ПДК_{рз}$ =0,5 мг/м^3, по *Mo* $ПДК_{рз}$ =2,0 мг/м^3 и т.д.) превышение $ПДК_{рз}$ при сварочных электродуговых работах резко увеличивается.

Анализ морфологии аэрозолей показывает следующее.

В результате оптических исследований фильтров, содержащих аэрозоли, было выявлено, что аэрозоли содержат металлические частицы с размерами 100-350 мкм (они имеют характерный металлический отблеск) и неметаллические частицы, которые имеют темно-коричневый цвет, и в основном имеют правильную сферическую форму и размеры 5-25 мкм. Анализ металлических и неметаллических частиц производился на разных микроскопах.

Результаты измерений и расчетов размеров аэрозолей в воздухе над местом сварщика представлены в табл. 2 и 3.

Анализ этих данных показывает следующее:

1. Металлические частицы могут приобретать чисто сферическую форму, а также форму в виде неправильного элипсоида. В табл. 3 приведены средние значения этих размеров.

2. У электродов марок MP-3C, KST, KK-50N, J421 и OMNI-46 средние размеры металлических частиц составляют 170-214 мкм, для остальных электродов эти размеры составляли 126-165 мкм. При этом разброс результатов (среднее квадратичное отклонение) относительно среднего арифметического для этих данных составляет 25-30 %.

3. Для всех электродов средние размеры неметаллических частиц составляют 7,5-14 мкм, при этом разброс результатов (среднее квадратичное отклонение) относительно среднего арифметического для этих данных составляет 30-40 %.

Таблица 2

Результаты измерений и расчетов размеров неметаллических аэрозолей

№ части-цы	№ фильтра (марка электрода)										
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
	MP-3C	KST-309L	KK-50N	J421	OMNI-46	OK46	CR-13	E6103/S LF	J38	УОНИ 13/55	KK-50N
1	11.7	10.1	8.1	7.1	12.4	9.6	15.0	19.3	6.0	15.0	3.7
2	13.9	6.1	5.9	5.1	6.1	5.4	11.6	20.9	5.2	11.7	3.7
3	7.1	4.2	8.9	6.7	7.3	4.3	9.0	10.4	6.4	20.9	2.4
4	10.3	4.4	7.1	5.5	11.0	3.8	9.2	8.6	4.4	13.0	2.3
1	16.8	10.3	6.4	25.6	9.5	11.1	14.4	10.0	10.3	19.0	14.3
2	10.7	8.6	4.8	14.5	4.8	7.4	11.6	6.0	10.9	20.3	15.4
3	9.0	6.7	4.2	11.3	4.6	8.5	5.2	7.0	24.3	21.7	7.3
4	10.0	8.3	4.6	9.0	8.7	11.8	7.3	4.1	9.5	10.0	9.2
1	11.0	15.5	8.4	16.0	8.0	10.0	13.2	7.8	14.3	11.7	11.8
2	12.1	6.8	4.6	8.1	5.8	15.8	10.5	8.9	9.8	11.7	6.4
3	10.2	22.7	11.8	5.8	9.2	21.7	7.9	11.9	7.3	15.9	9.6
4	6.1	9.2	6.7	5.9	4.2	11.8	6.1	12.3	6.1	11.5	10.6
1	17.8	4.9	13.3	10.1	9.1	11.0	9.8	22.7	10.2	13.4	29.6
2	12.5	7.2	10.4	10.7	8.1	11.5	11.4	6.4	5.8	11.2	9.3
3	13.9	6.3	4.7	12.2	8.7	13.9	15.4	13.9	7.1	10.1	17.9
4	14.5	5.0	5.2	10.1	3.7	8.4	11.5	7.2	6.9	7.6	39.0
$\overline{X}$	11.7	8.5	7.2	10.2	7.6	10.4	10.6	11.1	9.0	14.1	11.7
σ	3.2	4.7	2.8	5.2	2.5	4.5	3.1	5.5	4.8	4.3	4.3

4. В одном опыте с электродом марки KK-50N произведены измерения выброса аэрозолей на расстоянии 0,5 м по горизонтали и на той же высоте от

центра места сварки. Результаты этих измерений показали, что металлических частиц в этом месте нет, а размеры неметаллических частиц сопоставимы с размерами частиц около места сварки, концентрация их ниже точности измерений.

Таблица 3

Результаты измерений и расчетов размеров металлических аэрозолей

№ части-цы	№ фильтра (марка электрода)										
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
	МР-3С	KST-309L	KK-50N	J421	OMNI-46	OK46	CR-13	E6103/S LF	J38	УОНИ 13/55	KK-50N
1	200	170	360	195	240	225	140	120	130	180	-----
2	205	170	225	190	200	140	190	140	110	150	-----
3	180	150	200	300	200	160	170	130	140	100	-----
4	240	130	225	200	210	250	250	120	130	90	-----
5	150	100	300	175	180	200	90	80	190	150	-----
1	225	130	225	350	190	200	140	225	250	200	-----
2	215	255	150	190	350	170	140	225	140	110	-----
3	190	275	100	205	275	170	245	200	200	180	-----
4	240	150	130	140	180	160	200	220	160	80	-----
5	230	140	200	90	140	200	200	220	240	140	-----
1	140	150	220	200	170	140	140	180	160	125	-----
2	200	170	250	180	180	190	130	225	170	70	-----
3	170	200	120	290	290	140	180	145	200	100	-----
4	110	120	130	160	160	200	90	140	120	105	-----
5	325	250	210	250	250	170	180	80	80	120	-----
$\overline{X}$	201.3	170.7	203.0	207.7	214.3	181.0	165.7	163.3	161.3	126.7	-----
σ	50.8	52.3	70.2	65.9	56.5	32.2	47.9	53.2	47.6	39.0	-----

Список литературы

1. Lehnert, M. Exposure to inhalable, respirable, and ultrafine particles in welding fume / M. Lehnert, B. Pesch, A. Lotz et al. // Annals of Occupational Hy-giene. 2012. V. 56 (5). P. 557-567.

2. Гришагин, В.М. Сварочный аэрозоль как основной фактор, влияющий на безопасность труда сварщика / В.М. Гришагин, Д.П. Ильященко // Сварочное производство. 2009. №5. С. 51-55.

3. Сайт Управления Роспотребнадзора по Волгоградской области http://34.rospotrebnadzor.ru/ directions/nadzor/55440/.

4. Стаценко В.Н., Экологическая безопасность в сварочном производстве/ Методические указания к лабораторным работам для магистрантов направления 15.04.01 «Машиностроение»: Учебно-методическое пособие. Владивосток: Изд-во ДВФУ, 2015. - 23 с.

© Ван Пэнфэй, Стаценко В. Н., 2017 г.

УДК 661.1: 66.021

ON-POT SYNTHESIS OF GRAPHENE OXIDE COVERED WITH ORGANIC-INORGANIC COMPOSITE FOR ELECTROCHEMICAL DETERMINATION OF TRYPTOPHAN AND 5-AMINOSALICYLIC ACID

Ro Jong Hyok
Doctor of chemical sciences, docent
Lecturer of Chemistry, Kim Hyong Jik Normal University
Democratic People's Republic of Korea
e-mail: ho-andrei@mail.ru
Ho Kwang Min
candidate of chemical sciences
lecturer of Hamhung University of Chemical Engineering
Democratic People's Republic of Korea

Abstract. *The graphene oxide coated with sol-gel and molecularly imprinted sol-gel were prepared by one-pot synthesis from phenyltriethoxysilane and tetramethoxysilane and successfully used in electrochemical determination of tryptophan and 5-aminosalicylic acid. Coating of silica organic-inorganic composite on the graphene oxide leads to the increasement on oxidation peak currents of tryptophan and 5-aminosalicylic acid due to the increment of adsorption amount. Also, due to kinetic limitaion, there are likely to appear two calibration segments in the calibration curves for the determination of tryptophan and –aminosalicylic acid.*

Keywords: *sol-gel, one-pot synthesis*

Sol–gel process provides a convenient way to prepare the biosensor due to the attractive properties of sol–gel materials such as simplicity of preparation, tunable porosity, low temperature encapsulation, chemical inertness, optical transparency, negligible swelling and mechanical stability [1, 2].

Graphene oxide has not only the properties of graphene such as the unique nanostructure, large surface area, unprecedented electronic conductivity, special physical and chemical properties, but also some other

properties different from graphene, such as hydrophilicity, dispersibility in water and other solvents, multiple oxygen moieties, film forming capability and controllable electronic properties [3, 4].

Molecular imprinting technology is considered as useful methods for the recognition and separation of the various substances [5-7]. The preparation of molecularly imprinting polymers (MIPs) for electrochemical sensors or biosensors have considerable application prospects and important research significance [8, 9].

Some groups have already synthesized composite materials based on the desirable merging of GO, which make it possible to increase the selectivity, sensitivity and improve the binding kinetic properties [10-12]. The functional silica sol-gel produced on the GO has been successfully utilized in the electrochemical determination of paracetamol [3], hydrogen peroxide and glucose [13] and 2, 4-dinitrophenol [14].

Experimental

Two kinds of graphene oxide (purity>99%), phenyltriethoxysilane (PTEOS) and tetramethoxysilane (TMOS), 5-aminosalicylic acid, tryptophan were used without further treatment. In addition, the other reagents were used for the preparation of buffer solution and the adjustment of pH. All aqueous solutions were prepared with the ultra-pure water purified by water purification system.

The LK2010 Electrochemical Workstation was used for differential pulse voltammetry (DPV). A conventional three-electrode system was used with a glass carbon electrode (GCE, Φ = 4 mm) as the working electrode, a saturated calomel electrode (SCE) as the reference electrode and a platinum wire as the counter electrode, respectively. The FTIR spectra were recorded on a NICOLET 6700 FTIR spectrophotometer.

The stock solution of tryptophan (Trp) was dissolved in 0.1 $mol \cdot L^{-1}$ phosphate buffer solution (PBS) every day and was diluted into the corresponding concentration by 0.1 $mol \cdot L^{-1}$ PBS at the various pH.

The stock solution of 5-aminosalicylic acid (5-ASA) was prepared in 0.04 $mol \cdot L^{-1}$ Britton-Robinson buffer solution (BRS, pH=2.0), which was stable for a week at room temperature and was diluted into the corresponding concentration by 0.04 $mol \cdot L^{-1}$ BRS with the various pH.

In the synthesis of graphene oxide covered with sol-gel (GO/SiO_2) for tryptophan, the 20 mg of graphene oxide was ultra-sonically dispersed in 30 mL of ultra-pure water. Then, pH of the dispersion was adjusted to around 9.3 by adding $NH_3 \cdot H_2O$ (25 wt. %), followed by sequentially adding 60 μL of PTEOS and 85 μL of TMOS while stirring. The polymerization reaction was carried out at room temperature under stirring 36 h.

In the synthesis of graphene oxide covered with molecular imprinted sol-gel for 5-ASA, the 20 mg of graphene oxide was ultrasonically dispersed in 20 mL of water. Then, pH of the dispersion was adjusted to around 9.3 by adding $NH_3 \cdot H_2O$ (25 wt. %), followed by adding 60 μL of PTEOS and 20 μL of TMOS while stirring. After stirring 2h, the 10 mL of 10 $mmol \cdot L^{-1}$ 5-ASA solution (pH 9.3 adjusted by $NH_3 \cdot H_2O$) was added to the reacting system, in which the 5-ASA acts as template molecule. The polymerization reaction was carried out at room temperature under stirring for 24 h.

For both synthesises, the resulting product mixtures were centrifuged for 15 min at 11,000 rpm and at room temperature. The products were washed with anhydrous ethanol and water for 3 times, respectively, and dried in room temperature.

Glass carbon electrodes modified with GO/SiO2 (GO/SiO2/GCE) and GO/MIP (GO/MIP/GCE) were prepared as the following; 20 mg of GO/SiO2 and 5 mg of GO/MIP were ultrasonically dispersed into ultra-pure water (20 mL), and the 10 μL of the GO/SiO2 and GO/MIP suspension were transferred onto a clean GCE surface and dried for 10 min under an infrared lamp, respectively.

The modified glass carbon electrodes were dipped into sample solutions during a period of adsorption, and then transferred to the supporting electrolytes

to scan for determinations. Differential pulse voltammetry experiments were performed in 0.1 mol·L^{-1} PBS (pH = 7.0) for Trp and in 0.04 mol·L^{-1} BRS (pH =2.0) for 5-ASA.

The measuring conditions of DPV were as the following; equilibrium period of 2s, step potential of 5 mV, pulse amplitude of 25mV, pulse width of 10 ms, pulse period of 50ms, potential ranges from 0.4 to 1.2 V vs. SCE for Trp and from 0.3 to 0.7 V vs. SCE for 5-ASA. .

Results and Discussion

Figure 1 shows the FTIR spectroscopy of GO and GO/SiO_2, GO and GO/MIP, respectively. The fact that the typical carbonyl group peak at 1731 and 1227 cm^{-1}, and 1726 and 1224 cm^{-1} became very weak also shows that the carbonyl groups of GO were converted to C–O–Si by reacting with organosilane [3, 15]. The existence and expansion of peak at 1618 cm^{-1} and 1621 cm^{-1} is suggested by the C=C stretching vibrations in the benzene rings. Compared with a sharp peak at around 1065 cm^{-1} and 1052 cm^{-1} in GO, the GO/SiO_2 and GO/MIP showed an expanded band from 1100 to 1065 $cm^{-1}$and 1145 to 1017 cm^{-1}, respectively, which explain the C-C stretching vibrations in the benzene rings and the Si–O–Si symmetric vibrations because of the existence of an extensive silicate network on the surface of GO. The sharp peak at 1399 cm^{-1} and 1428 cm^{-1} are characteristic to benzene ring bounded with Si at PTEOS [16]. In conclusion, the FTIR spectra confirmed the successful synthesis of GO/SiO_2 and GO/MIP from PTEOS and TMOS in our conditions.

In Figure 2, the difference in response of bare and modified electrodes is obviously shown. The DPVs at GO/GCE and GO/SiO_2/GCE, the DPVs at GO/GCE and GO/MIP/GCE show the considerable adsorption of Trp on the GO/SiO_2 and 5-ASA on the GO/MIP.

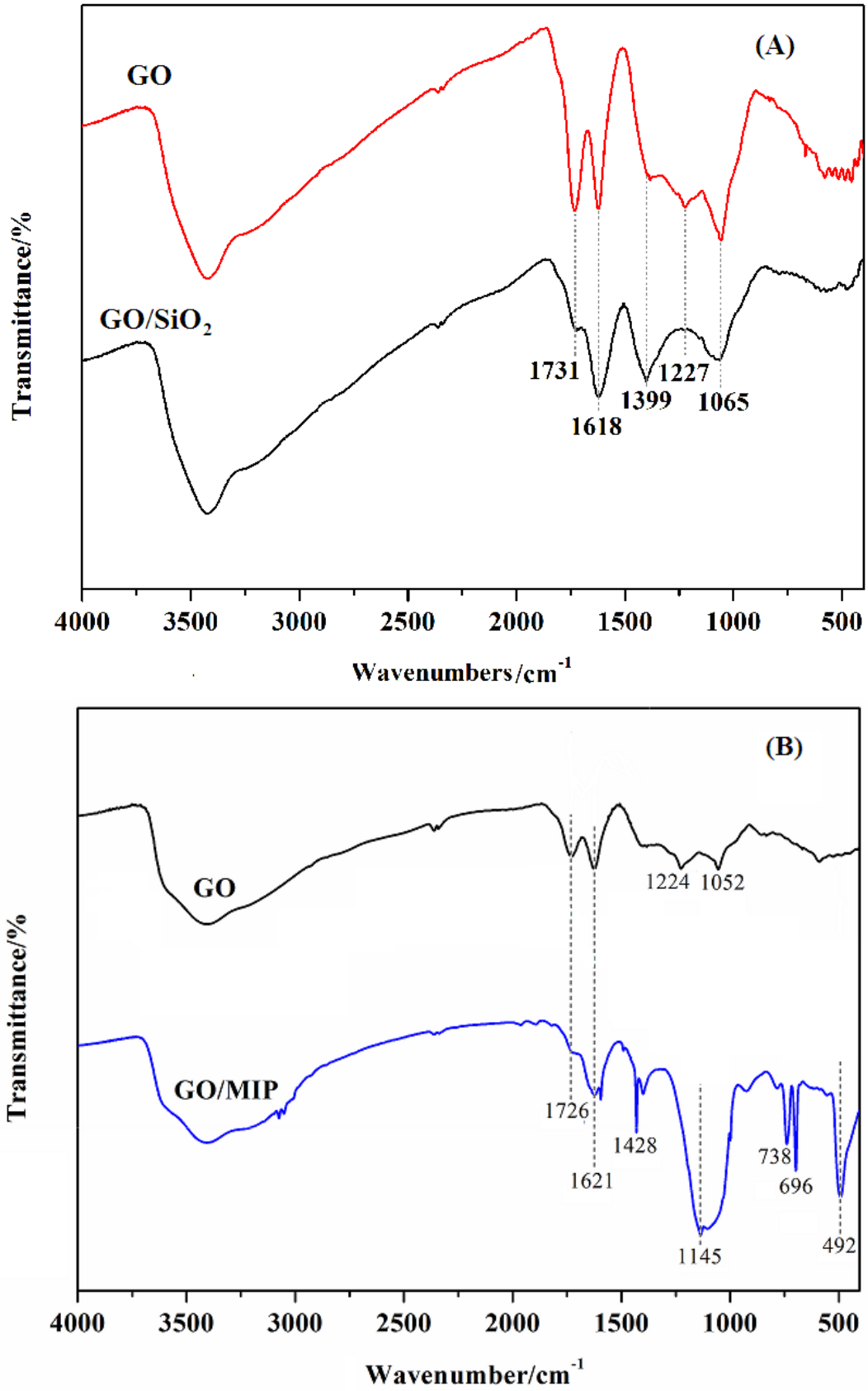

Fig. 1. FTIR spectra of the GO/SiO_2 (A) and GO/MIP (B)

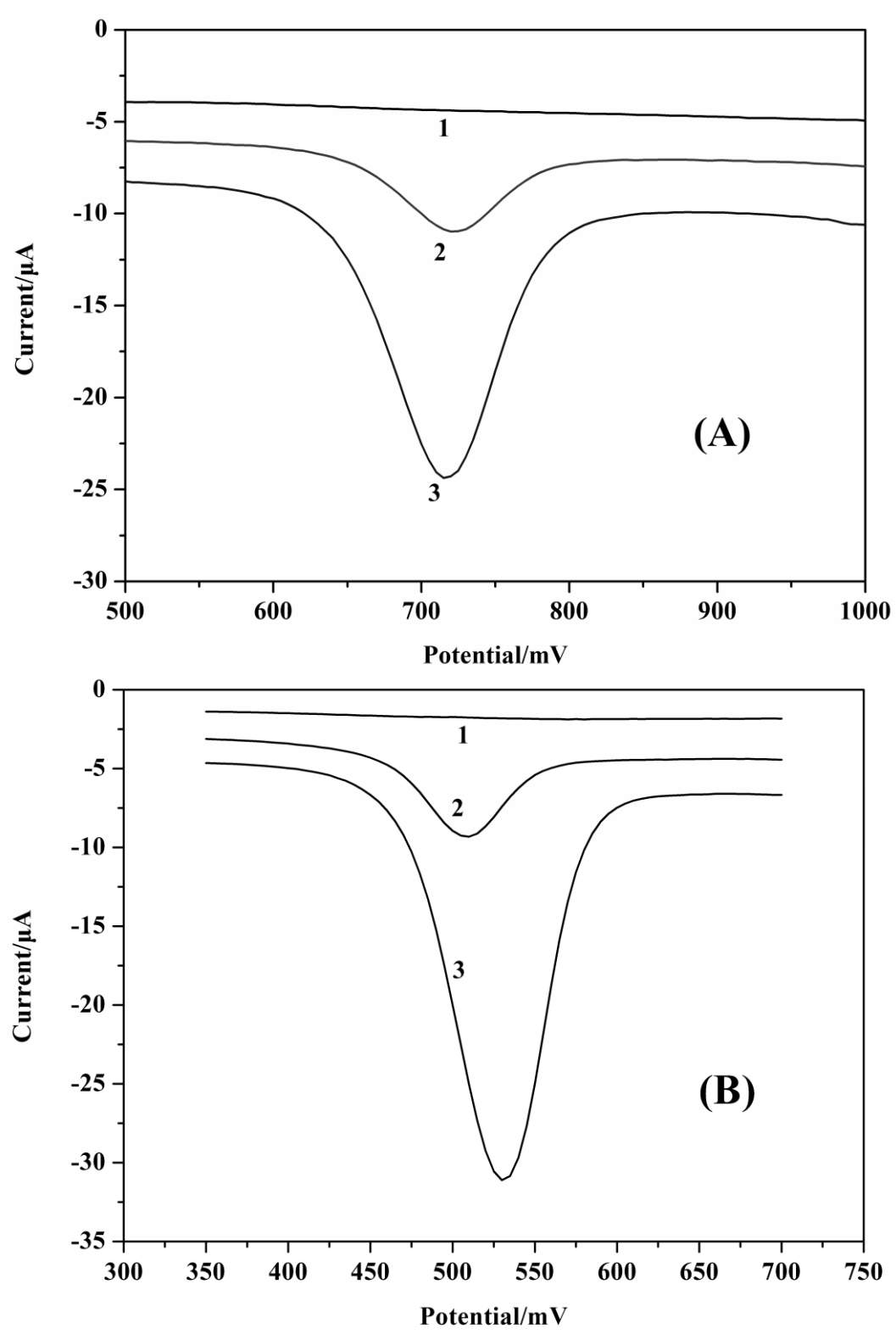

Fig. 2 DPV curves of different electrodes for Trp after adsorbing for 4 min in 0.1 mmol·L^{-1} Trp solution (A) and 5-ASA after adsorbing for 5 min in 0.1 mmol·L^{-1} 5-ASA solution (pH=4.0) (B) (1: GCE, 2: GO/GCE, 3: GO/SiO_2/GCE or GO/MIP/GCE).

These results show that the π-π interaction between GO and aromatic ring of Trp and 5-ASA plays an important role and hydrogen bonds form in the adsorption of Trp and 5-ASA. Also, the high peaks at GO/SiO_2-modified electrode and GO/MIP-modified electrode show that the formation of silica on the GO surface is more effective to the adsorption of Trp and 5-ASA.

Figure 3 and 4 show the calibration curves for Trp and 5-ASA using differential pulse voltammetry. In the determination of Trp, the oxidation peak current of Trp was linearized on the concentration of tryptophan in the range from 5.0×10^{-5} to 2.0×10^{-4} mol·L^{-1} (r^2 = 0.998) by the equation of I(μA)=(95.71 ± 1.73) C (mmol·L^{-1}) + (4.74 ± 0.19) and from 5.0×10^{-7} to 5.0×10^{-5} mol·L^{-1} (r^2=0.985) by the equation of I(μA) = (175.09 ± 8.15)C(mmol·L^{-1}) + (0.41±0.04), with a detection limit of 4.95×10^{-7} mol·L^{-1} (S/N = 3).

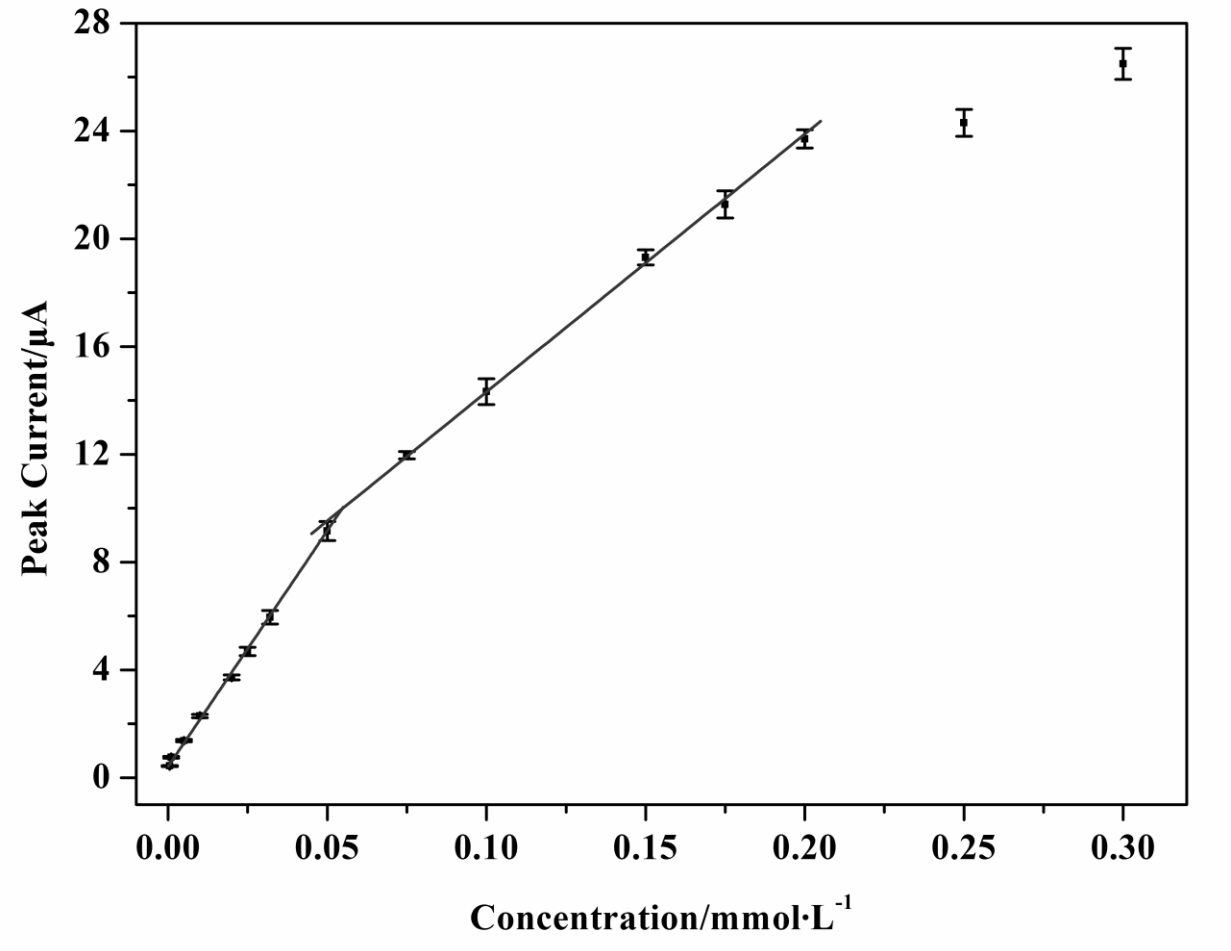

Fig. 3. Relationship between peak current and Trp concentration.

As shown in Fig. 4. the oxidation peak current of 5-ASA is linear with the concentration of 5-ASA in the range from 20 to 120 μmol·L^{-1} (r^2 = 0.9987) by the equation of I (μA) = (0.2187 ± 0.0038) C(μmol·L^{-1}) + (3.8351 ± 0.2329) and from 2 to 20 μmol·L^{-1} (r^2 = 0.9955) by the equation of I (μA) = (0.3919 ± 0.013) C(μmol·L^{-1}) + (0.0335 ± 0.0471), with a detection limit of 0.97 μmol·L^{-1} (S/N = 3).

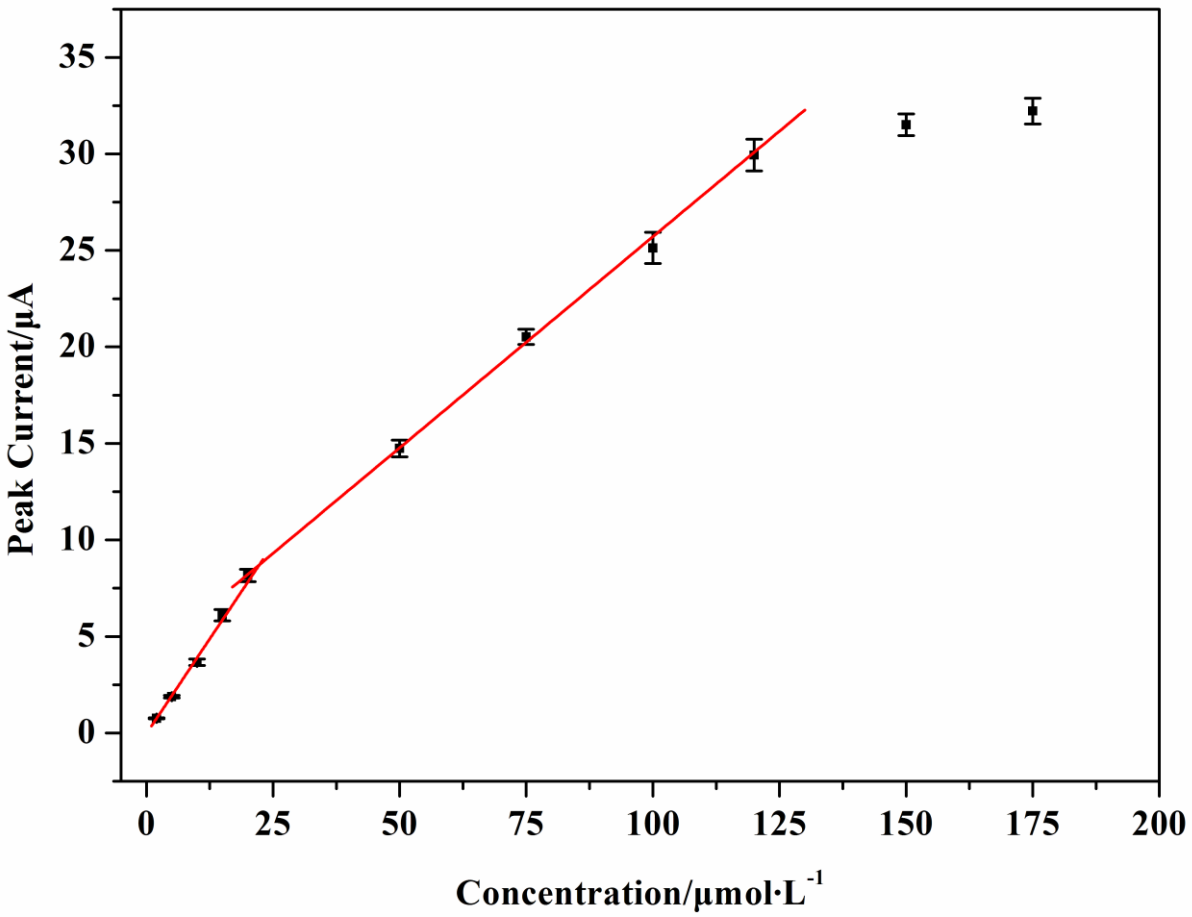

Fig. 4 Calibration curve (A) and DPV curves (B) of 5-ASA at GO/MIP/GCE.

In Fig. 3 and 4, there are two calibration segments related to two concentration ranges and two sensitivities, restively. For Trp, the slopes of the first and the second segments are (175.09 ± 8.15) μA·L·mmol^{-1}, (95.71 ± 1.73) μA·L·mmol^{-1}, respectively and for 5-ASA, are (0.2187 ± 0.0038) μA·L·μmol^{-1}, (0.3919 ± 0.0013) μA·L·μmol^{-1}, respectively. The difference in the sensitivities of the both curves is likely to be due to kinetic limitations [17].

References

1. E. I. Morosanova, Silica and silica–titania sol–gel materials: Synthesis and analytical application, Talanta 102 (2012) 114-122

2. N. Baccile, F. Babonneau, B. Thomas, T. Coradin, Introducing ecodesign in silica sol–gel materials, J. Mater. Chem. 19 (2009) 8537-8559

3. T. Wu, J. Ting, Preparation and characteristics of graphene oxide and its thin films, Surf. Coat. Tech. 231 (2013) 487-491

4. F. Qu, H. Lu, M. Yang, C. Deng, Electrochemical immunosensor based on electron transfer mediated by graphene oxide initiated silver enhancement, Biosens. Bioelectron. 26 (2011) 4810-4814

5. J. Wackerlig, P. A. Lieberzeit, Molecularly imprinted polymer nanoparticles in chemical sensing–Synthesis, characterisation and application, Sensor. Actuat. B-Chem. 207 (2015) 144-157

6. P. S. Sharma, M. Dabrowski, F. D'Souza, W. Kutner, Surface development of molecularly imprinted polymer films to enhance sensing signals, Trends in Anal. Chem. 51 (2013) 146-157

7. V. Suryanarayanan, C. Wu, K. Ho, Molecularly Imprinted Electrochemical Sensors, Electroanalysis 22 (2010) 1795-1811

8. M. Irshad, N. Iqbal, A. Mujahid, A. Afzal, T. Hussain, A. Sharif, E. Ahmad, M. M. Athar, Molecularly Imprinted Nanomaterials for Sensor Applications, Nanomaterials 3 (2013) 615-637

9. J. Luo, J. Cong, R. Fang, X. Fei, X. Liu, One-pot synthesis of a graphene oxide coated with an imprinted sol–gel for use in electrochemical sensing of paracetamol, Microchim. Acta 181 (2014) 1257-1266

10. J. Lei, X. Lu, W. Wang, X. Bian, Y. Xue, C. Wang, L. Li, Fabrication of MnO_2/graphene oxide composite nanosheets and their application in hydrazine detection, RSC Adv. 2 (2012) 2541-2544

11. P. K. Sahoo, B. Panigrahy, S. Sahoo, A. K. Satpati, D. Li, D. Bahadur, In situ synthesis and properties of reduced graphene oxide/Bi nanocomposites: As an electroactive material for analysis of heavy metals, Biosens. Bioelectron. 43 (2013) 293-296

12. W. Lu, Y. Luo, G. Chang, X. Sun, Synthesis of functional SiO_2-coated graphene oxide nanosheets decorated with Ag nanoparticles for H_2O_2 and glucose detection, Biosens. Bioelectron. 26 (2011) 4791-4797

13. Y. Liu, L. Zhu, Y. Zhang, H. Tang, Electrochemical sensoring of 2,4-dinitrophenol by using composites of graphene oxide with surface molecular imprinted polymer, Sensor. Actuat. B-Chem. 171 (2012) 1151-1158

14. L. Liang, G. Chao, Making silica nanoparticle-covered graphene oxide nanohybrids as general building blocks for large-area superhydrophilic coatings, Nanoscale 3 (2011) 519-528

15. X. Wen, K. Wang, P. Pi, J. Yang, Z. Cai, L. Zhang, Y. Qian, Z. Yang, D. Zheng, J. Cheng, Organic–inorganic hybrid superhydrophobic surfaces using methyltriethoxysilane and tetraethoxysilane sol–gel derived materials in emulsion, Appl. Surf. Sci. 258 (2011) 991-998

16. M. Mazloum-Ardakani, M. A. Sheikh-Mohseni, B. F. Mirjalili, Nanomolar detection limit for determination of norepinephrine in the presence of acetaminophen and tryptophan using carbon nanotube-based electrochemical sensor, Ionics 20 (2014) 431-437

17. B. Nigovic, B. Simunic, Determination of 5-aminosalicylic acid in pharmaceutical formulation by differential pulse voltammetry, J. Pharmaceut. Biomed. 31 (2003) 169-174

© Ro Jong Hyok, Ho Kwang Min, 2017 г.

УДК 519.642.2

ПОСТЕРИОРНЫЕ ОЦЕНКИ ПОГРЕШНОСТИ ДВУХСЕТОЧНОГО МЕТОДА КОНЕЧНЫХ ОБЪЕМОВ ЭЛЕМЕНТОВ ДЛЯ КВАЗИЛИНЕЙНЫХ ПАРАБОЛИЧЕСКИХ ЗАДАЧ ВТОРОГО ПОРЯДКА

Тхэ Гын О

канд.м.ф.н., доцент, Педагогический университет
имени Ким Хен Чжика, КНДР, Пхеньян

Ми Гйон Ким

канд.м.ф.н., Педагогический университет
имени Ким Хен Чжика, КНДР, Пхеньян

e-mail: thaegun@mail

Аннотация: *В этой статье мы рассматриваем возможности применения двухсеточного метода конечных объемов элементов для квазилинейных параболических задач второго порядка.*

Ключевые слова*: метод конечных элементов с двумя сетками, квазилинейная параболическая задача второго порядка, уравнение в частных производных второго порядка*

POSTERIORI ERROR ESTIMATES OF TWO-GRID FINITE VOLUME ELEMENT METHOD FOR SECOND-ORDER QUASI-LINEAR PARABOLIC PROBLEMS

Thae Gun O

Faculty of Mathematics, Kim Hyeng Jik education University
Pyongyang, Democratic People's Republic of Korea

Mi Gyong Kim

Faculty of Mathematics, Kim Hyeng Jik education University
Pyongyang, Democratic People's Republic of Korea

Abstract: *In this paper, we are concerned with the two-grid finite volume element methods to the second-order quasi-linear parabolic problems.*

Two-grid finite volume element methods are based on two linear conforming finite element spaces on one coarse grid and one fine grid.

Here, it is proved that the coarse grid can be much coarser than the fine grid.

With the proposed techniques, solving the nonlinear problems is reduced to solving a linear problem on the fine space.

Convergence estimates are derived to justify the efficiency of the proposed two-grid algorithms.

Keywords: *two-grid finite volume element method, second order quasi-linear parabolic problem, second order partial differential equation*

1. Introduction

The finite volume element methods (FVEMs) are a discretization technique for the partial differential equations arising from physical conservation laws including mass, energy.

The finite volume element methods are the special cases of generalized difference methods [1-6].

The finite volume element methods discretize the integral form of conservation law of differential equation by choosing linear or bilinear finite element space as trial space.

They have the simplicity of finite difference methods and the accuracy of finite element methods and have been widely used in computational fluid mechanics because they keep the conservation law of mass or energy.

Cai and Steve Mccormic [1] had presented finite volume element method for diffusion equations on composite grids and provided the error estimates which were relatively complicated.

Afterwards, they gave simple theoretical analysis for diffusion equations on general triangulations.

However, it was constrained to special choosing of control volumes.

Li Qian and his colleagues [7, 8] also had a lot of contributions to the studies of finite volume element methods. Plexousakis and Zouraris [9] derived a class of high order finite volume element methods for solving one dimensional elliptic equation. Cai, Douglas and Park [10] constructed a high order finite

volume element method by mixed variational principle. They presented a ways to derive high order finite volume element method over rectangular meshes.

Mishev [11] has considered the FVEM in the linear conforming finite element space and has established the error estimate in the H^1-norm.

Wu and Li [12] have obtained the H^1 superconvergence and L^p error estimates between the solution of the FVEM and that of the finite element method.

Li [13] has considered the finite volume element method for a nonlinear elliptic problem and obtained the error estimate in the H^1 norm.

Xu [14-16] has studied the two-grid finite element method based on two finite element spaces on one coarse and one fine grid for non-symmetric and nonlinear elliptic problems.

Late on, Xu, Zhou [17] for eigenvalue problems, Axelsson and Layton [18] for nonlinear elliptic problems, Dawson, Wheeler and Woodward [19] for finite difference scheme for nonlinear parabolic equations, Layton and Lenferink [20] and Utnes [21] for Navier-Stokes equations, Marion and Xu [22] for evolution equations have considered the two grid method.

C.J. Bi and V. Ginting [23] have studied two grid finite volume element discretization techniques for the non-selfadjoint and definite linear elliptic problems and the nonlinear elliptic problems based on two linear conforming finite element spaces V_H and V_h with grid size H and h ($H >> h$).

In this paper, we consider two-grid finite volume element method for two-dimensional quasi-linear parabolic equation based on two linear conforming finite element spaces with coarse grid and dense grid.

The rest of the article is organized as follows: In Section 2, we describe the FVEM for the quasi-linear parabolic equation and algorithm of two-grid finite volume element scheme. Section 3 contains the error analysis by two-grid finite volume element method for quasi-linear parabolic equation.

2. Two grid finite volume element scheme

We consider the initial-boundary value problem of quasi-linear parabolic equations

$$\frac{\partial u}{\partial t} - div(\alpha(x,t,u)\nabla u) = f(x,t,u), \qquad (x,t) \in \Omega \times (0,T] , \tag{1.1}$$

$$u(x,t) = 0, \qquad (x,t) \in \partial\Omega \times (0,T] , \tag{1.2}$$

$$u(x,0) = u_0(x), \qquad x \in \Omega \quad , \tag{1.3}$$

where $\Omega \subset R^2$ is a bounded-closed, convex domain.

We assume that $\alpha(x,t,u)$, $f(x,t,u)$ are smooth functions on $\Omega \times (0,T] \times R$ and equations (1.1) - (1.3) have the only unique solution $u \in H_0^1(\Omega)$ on the $\Omega \times (0,T]$.

Writing the variational equations of equations (1.1) – (1.3),

$$\int_\Omega \frac{\partial u}{\partial t} v dx + \int_\Omega (\alpha(x,t,u)\nabla u) \cdot \nabla v dx = \int_\Omega f(x,t,u) v dx, \qquad \forall v \in H_0^1(\Omega) .$$

The weak formulation of (1.1) – (1.3) is

$$(\frac{\partial u}{\partial t}, v) + a(u\,; u, v) = (f(x,t,u), v) , \quad \forall v \in H_0^1(\Omega) , \tag{1.4}$$

where $(\cdot\,,\cdot)$ denotes the $L^2(\Omega)$–inner product and the bilinear $a(\cdot\,,\cdot)$ is defined by

$a(u, v) = \int_\Omega (\alpha(x,t,u)\nabla u) \cdot \nabla v dx$, $\forall u, v \in H_0^1(\Omega)$ and $a(w\,; u, v) = (\alpha(x,t,w)\nabla u, \nabla v)$.

Let T_h be a quasi – uniform triangulation of Ω with $h = \max\{h_k\}$, where h_k is the diameter of the element triangle $k \in T_h$.

We consider a finite element discretization of (1.4) in the standard conforming finite element space V_h of piecewise linear functions, defined on the triangulation T_h,

$$V_h = \{v \mid v \in C(\Omega),\ v|_k \text{ is linear},\ v|_{\partial\Omega} = 0, \quad \forall k \in T_h\} .$$

In order to describe the FVEM for solving equation (1.1) – (1.3), we construct a dual partition T_h^* based upon the original triangulation T_h whose elements are called the control volumes.

We construct the control volume as follows; Let z_k be the barycenter of $K \in T_h$. We connect z_k with line segments to the midpoints of the edges of K, thus partitioning K into three quadrilaterals $K_z, z \in Z_h(K)$, where $Z_h(K)$ are the set of vertices of K.

Then with each vertex $z \in Z_h = \bigcup_{K \in T_h} Z_h(K)$ we associate a control volume w_z, which consists of the union of the subregions K_z, sharing the vertex z. Thus we obtain a group of control volumes covering the domain Ω, which is called the dual partition T_h^* of the triangulation T_h.

We denote the set of interior vertices of Z_h by Z_h^0.

We call the partition T_h^* regular or quasi-uniform, if there exists a positive constant $C > 0$ such that $C^{-1}h^2 \le meas(w_z) \le Ch^2$, $\forall w_z \in T_h^*$.

We formulate the FVEM for the equation (1.1) – (1.3) as follows.

Given the vertex $z \in Z_h$, integrating equation (1.1) – (1.3) over the associated control volume w_z and applying Green's formula, we obtain

$$\int_{w_z} \frac{\partial u}{\partial t} dx + \int_{\partial w_z} (\alpha(x,t,u)\nabla u) \cdot n ds = \int_{w_z} f(x,t,u)\, dx\,, \tag{1.5}$$

where n denotes the unit outer-normal vector on ∂w_z.

The semi-discrete FVE approximation solution of (1.1) – (1.3) is defined as a $u_h(x,t) \in V_h$ $(0 \le t \le T)$, such that

$$\int_{w_h} \frac{\partial u_h}{\partial t} dx + \int_{\partial w_h} (\alpha(x,t,u_h)\nabla u_h) \cdot n ds = \int_{w_h} f(x,t,u_h)\, dx\,. \tag{1.6}$$

Now the interpolation operator $\Pi_h^* : V_h \to V_h^*$ is defined by

$$\Pi_h^* v_h = \sum_{z \in Z_h^0} v_h(z) \chi_z\,, \tag{1.7}$$

where $V_h^* = \{v \mid v \in L^2(\Omega),\ v|_{w_z}$ is constant for all $w_z \in T_h^*;\ v|_{w_z} = 0,$ if $z \in \partial\Omega\}$ and χ_z is the characteristic function of the control volume w_z.

The semi-discrete FVEM (1.6) can be rewritten in a variational form

$$\begin{aligned}(\frac{\partial u_h}{\partial t}, \Pi_h^* v_h) + a_h(u_h; u_h, \Pi_h^* v_h) = (f(x,t,u_h), \Pi_h^* v_h) \\ u_h(x,0) = u_{0h}(x)\end{aligned}, \tag{1.8}$$

where for any $u_h, v_h, w_h \in V_h$ the bilinear form $a_h(\cdot;\cdot,\Pi_h^*\cdot)$ is defined by

$$\begin{aligned}a_h(w_h; u_h, \Pi_h^* v_h) &= -\sum_{z\in Z_h^0} \int_{\partial w_z} (\alpha(\cdot, w_h)\nabla u_h)\cdot n \Pi_h^* v_h ds = \\ &= -\sum_{z\in Z_h^0} v_h(z) \int_{\partial w_h} (\alpha(x,t,w_h)\nabla u_h)\cdot n ds\end{aligned} \tag{1.9}$$

Next we partition off the interval $(0,T]$ in order to derive full discrete FVE scheme.

Let τ be the time step size. $t^k = k\tau$ and $u_h(t_k) = u_h^k$.

Writing the full discrete FVE scheme for equation (1.1) – (1.3),

$$\begin{aligned}(\partial_t u_h^k, \Pi_h^* v_h^k) + a_h(u_h^k; u_h^k, \Pi_h^* v_h^k) = f((x,t^k,u_h^k), \Pi_h^* v_h^k), \qquad \forall v_h^k \in V_h \\ u_h^0 = u_{0h}(x), \qquad x \in \Omega\end{aligned} \tag{1.10}$$

where $\partial_t u_h^k = \dfrac{u_h^k - u_h^{k-1}}{\tau}$.

We shall present the two-grid finite volume element algorithm for the equation (1.10) based on two finite element spaces.

The two-grid method is to reduce the quasi-linear problem on a fine grid into a linear problem by solving a quasi-linear problem on a coarse grid.

Let T_H and T_h be two quasi-uniform triangulations of Ω with two different mesh size H, $h\,(H > h)$.

T_H, T_h will be called the coarse grid, the fine grid, respectively.

V_H, V_h are the corresponding finite element spaces.

The two-grid finite volume element algorithm of the equation (1.10) is as follows.

① Find $u_H^k \in V_H\,(k = 1,2,...)$ such that

$$\begin{aligned}(\partial_t u_H^k, \Pi_H^* v_H^k) + a_H(u_H^k; u_H^k, \Pi_H^* v_H^k) = f((x,t^k,u_H^k), \Pi_H^* v_H^k), \qquad \forall v_H^k \in V_H \\ u_H^0 = u_{0H}(x), \qquad x \in \Omega\end{aligned} \tag{1.11}$$

on the coarse grid T_H.

② Find $u_h^k \in V_h (k=1,2,...)$ such that

$$\begin{aligned} (\partial_t u_h^k, \Pi_h^* v_h^k) + a_h(u_H^k; u_h^k, \Pi_h^* v_h^k) &= f((x,t^k,u_H^k), \Pi_h^* v_h^k), \qquad \forall v_h^k \in V_h \\ u_h^0 &= u_{0h}(x), \qquad x \in \Omega \end{aligned} \tag{1.12}$$

on the fine grid T_h.

This approximate solution u_h^k is called the approximate solution of the two-grid finite volume element method of equations (1.1) – (1.3).

3. Error analysis of approximate solution

In this section, we shall present the error estimate for the two-grid finite volume element method.

To describe error estimates, we first define some discrete norms on V_h.

$$|u_h|_{0,h}^2 = (u_h, u_h)_{0,h}, \ (u_h, u_h)_{0,h} = \sum_{x_i \in Z_h} meas(V_i) u_{h_i} u_{h_i} = (\Pi_h^* u_h, \Pi_h^* u_h)$$

$$|u_h|_{1,h}^2 = \sum_{x_i \in Z_h} \sum_{x_i \in Z_h} meas(V_i)((u_{h_i} - u_{hj})/d_{ij})^2, \ \|u_h\|_{1,h}^2 = |u_h|_{0,h}^2 + |u_h|_{1,h}^2, \ |||u_h|||_0^2 = (u_h, \Pi_h^* u_h) \tag{2.1}$$

We introduce the following bilinear forms

$$a(w_h; u_h, v_h) = \int_\Omega (\alpha(w_h)\nabla u_h) \cdot \nabla v_h dx, \qquad a_c(w_h; u_h, v_h) = \int_\Omega (\overline{\alpha(w_h)}\nabla u_h) \cdot \nabla v_h dx,$$

$$a_h(w_h; u_h, \Pi_h^* v_h) = -\sum_{z \in N_z \partial w_z} \int (\alpha(\cdot, w_h)\nabla u_h) \cdot n \Pi_h^* v_h ds,$$

$$a_{h,c}(w_h; u_h, \Pi_h^* v_h) = -\sum_{z \in N_z \partial w_z} \int (\overline{\alpha(\cdot, w_h)}\nabla u_h) \cdot n \Pi_h^* v_h ds,$$

where $\overline{\alpha(w_h)}|_k = \dfrac{1}{meas(K)} \int_\Omega \alpha(\cdot, w_h) dx$ and $d_{ij} = d(x_i, x_j)$ is the distance between x_i and x_j.

For $u, w \in H_0^1(\Omega)$ we assume that $a_h(w; u, \Pi_h^* u) \geq C_2 \|u\|_1^2$.

Lemma 1. For any arbitrary $u_h, v_h \in V_h$, we have

$$\begin{aligned} a_h(u_h; u_h, v_h) - a_h(u_h; u_h, \Pi_h^* v_h) &= \\ &= \sum_{K \in T_h \partial K} \int (\alpha(x,t,u_h)\nabla u_h + \beta(x,t,u_h)) \cdot n(v_h - \Pi_h^* v_h) ds - \\ &\quad - \sum_{K \in T_h K} \int (\alpha(x,t,u_h)\nabla u_h + \beta(x,t,u_h)) \cdot (v_h - \Pi_h^* v_h) dx \end{aligned} \tag{2.2}$$

Proof. Using the formula of Green,

$$\sum_{k\in T_h}(div(\alpha(x,t,u_h)\nabla u_h, v_h) = \sum_{k\in T}\int_k div(\alpha(x,t,u_h)\nabla u_h)v_h dx =$$
$$= \sum_{k\in T}\int_{\partial k}(\alpha(x,t,u_h)\nabla u_h)\cdot n v_h ds - a_h(u_h;u_h,v_h)$$

Moreover

$$\sum_{k\in T_h}(div(\alpha(x,t,u_h)\nabla u_h), \Pi_h^* v_h) = \sum_{k\in T}\sum_{x_j\in Z_h}(div(\alpha(x,t,u_h)\nabla u_h), \Pi_h^* v_h)_{k\cap w_{x_j}} =$$
$$= \sum_{k\in T}\int_{\partial k}(\alpha(x,t,u_h)\nabla u_h)\cdot n\Pi_h^* v_h ds - \sum_{x_j\in Z_h}\int_{\partial w_{x_j}}((\alpha(x,t,u_h)\nabla u_h)\cdot n\Pi_h^* v_h ds =$$
$$= \sum_{k\in T}\int_{\partial k}(\alpha(x,t,u_h)\nabla u_h)\cdot n\Pi_h^* v_h ds - a_h(u_h;\, u_h,\, \Pi_h^* v_h)$$

From two expressions above

$$a_h(u_h;u_h,v_h) - a_h(u_h;u_h,\Pi_h^* v_h) =$$
$$= \sum_{k\in T_h}\int_{\partial k}(\alpha(x,t,u_h)\nabla u_h)\cdot n(v_h - \Pi_h^* v_h)ds - \sum_{k\in T_h}\int_k(\alpha(x,t,u_h)\nabla u_h)\cdot(v_h - \Pi_h^* v_h)dx.$$

The following lemma is proved in [3].

Lemma 2. For any arbitrary $u_h \in V_h$, there exist a positive constant C_0, C_1 such that

$$\begin{aligned} &C_0|u_h|_{0,h} \le \|u_h\|_0 \le C_1|u_h|_{0,h} \\ &C_0|||u_h|||_0 \le \|u_h\|_0 \le C_1|||u_h|||_0 \\ &C_0\|u_h\|_{1,h} \le \|u_h\|_1 \le C_1\|u_h\|_{1,h} \end{aligned} \tag{2.3}$$

Lemma 3. For any arbitrary $u_h \in V_h$, there exist a positive constant C_1, C_2 such that

$$\begin{aligned} &\|\Pi_h^* u_h\| \le C_1\|u_h\| \\ &a_h(w_h;\, u_h,\, \Pi_h^* u_h) \ge C_2\|u_h\|_1^2 \end{aligned} \qquad \forall u_h,\, w_h \in V_h \tag{2.4}$$

Proof.

From inequality $\|\Pi_h^* u_h\|^2 \le (\Pi_h^* u_h, \Pi_h^* u_h) = \sum_{x_i\in N_h} u_{h_i} u_{h_i}\cdot meas(w_i)$, the first inequality is established.

The second inequality is established from the given condition.

Let $p_h : H^2(\Omega) \to V_h$ be operator defined by equation

$a_h(w; u - p_h u, \Pi_h^* v_h) = 0, \ \forall v_h \in V_h$.

We call elliptic projection of $u \in H^2(\Omega) \bigcap H_0^1(\Omega)$ operator $p_h : H^2(\Omega) \to V_h$.

Now we give the error of the approximate solution of the finite volume element method for the equations (1.1) – (1.3).

Theorem 1. Let u and u_h^k be the solution of equation (1.1) – (1.3) and (1.10), respectively.

Assume that $f(x,t,u)$ satisfies the inequality

$|f(x,t,w) - f(x,t,v)| \le C|w - v|, \ \ \forall w, v \in R$.

Then, there exist a positive constant $\overline{C}$ such that

$$\|u_h^k - u^k\| \le \overline{C}(\|u_0 - u_{0h}\| + h^2\|u_0\|_3 + h^2\|u^k\|_3 + \tau\|u_{tth}^k\|). \tag{2.5}$$

Proof. By ellipse projection operator p_h

$$u_h^k - u^k = (u_h^k - p_h u^k) + (p_h u^k - u) = \xi^k + \eta^k \tag{2.6}$$

From the equation (1.10) and the elliptic operator p_h,

$$\begin{aligned}
&(\partial_t \xi^k, \Pi_h^* v_h) + a_h(u_h^k; \xi^k, \Pi_h^* v_h) = \\
&\quad = (\partial_t p_h u^k, \Pi_h^* v_h) - (f(\cdot, u_h^k), \Pi_h^* v_h) + a_h(u_h^k; p_h u^k, \Pi_h^* v_h) = \\
&\quad = (\partial_t p_h u^k, \Pi_h^* v_h) - (f(\cdot, u_h^k), \Pi_h^* v_h) + [a_h(u_h^k; u^k, \Pi_h^* v_h) - a_h(u^k; u^k, \Pi_h^* v_h)] - \\
&\qquad\qquad - a_h(u^k; u^k, \Pi_h^* v_h) = \\
&\quad = (\partial_t p_h u^k - u_t^k, \Pi_h^* v_h) + [(f(\cdot, u^k) - f(\cdot, u_h^k), \Pi_h^* v_h)] - \\
&-[a_h(u_h^k; u^k, \Pi_h^* v_h) - a_h(u^k; u^k, \Pi_h^* v_h)].
\end{aligned}$$

$\forall v_h \in V_h$

Choosing $v_h = \xi^k$,

$$\begin{aligned}
&(\partial_t \xi^k, \Pi_h^*(\xi^k)) + a_h(u_h^k; \xi^k, \Pi_h^* \xi^k) = \\
&\quad = (\partial_t p_h u^k - u_t^k, \Pi_h^* \xi^k) + [(f(\cdot, u^k) - f(\cdot, u_h^k), \Pi_h^* \xi^k)] + \\
&\qquad\qquad - [a_h(u_h^k; u^k, \Pi_h^* \xi^k) - a_h(u^k; u^k, \Pi_h^* \xi^k)]
\end{aligned}$$

By Lemma 3,

$$\begin{aligned}
\frac{1}{\tau}(\xi^k - \xi^{k-1}, \Pi_h^* \xi^k) &\le (\partial_t p_h u^k - u_t^k, \Pi_h^* \xi^k) + [(f(\cdot, u^k) - f(\cdot, u_h^k), \Pi_h^* \xi^k)] + \\
&\quad - [a_h(u_h^k; u^k, \Pi_h^* \xi^k) - a_h(u^k; u^k, \Pi_h^* \xi^k)]
\end{aligned}$$

Rewriting,

$$\frac{1}{\tau}(\xi^k-\xi^{k-1},\Pi_h^*(\xi^k+\xi^{k-1}))\le(\partial_t p_h u^k-u_t^k,\Pi_h^*(\xi^k+\xi^{k-1}))+$$
$$+[(f(\cdot,u^k)-f(\cdot,u_h^k),\Pi_h^*(\xi^k+\xi^{k-1}))]+$$
$$-[a_h(u_h^k;u^k,\Pi_h^*(\xi^k+\xi^{k-1}))-a_h(u^k;u^k,\Pi_h^*(\xi^k+\xi^{k-1}))]$$

Then

$$\frac{1}{\tau}(\|\xi^k\|^2-\|\xi^{k-1}\|^2)\le\|\partial_t p_h u^k-u_t^k\|\cdot\|\Pi_h^*(\xi^k+\xi^{k-1})\|+$$
$$+\|(f(\cdot,u^k)-f(\cdot,u_h^k)\|\cdot\|\Pi_h^*(\xi^k+\xi^{k-1})\|+c(\|\xi^k\|+\|\eta^k\|)\cdot\|\Pi_h^*(\xi^k+\xi^{k-1})\|\le$$
$$\le(\|\partial_t p_h u^k-u_t^k\|+\|(f(\cdot,u^k)-f(\cdot,u_h^k)\|+c(\|\xi^k\|+\|\eta^k\|))\cdot\|\xi^k+\xi^{k-1}\| \tag{2.7}$$

By Lemma 2

$$\frac{1}{\tau}(\|\xi^k\|^2-\|\xi^{k-1}\|^2)\le(\|\partial_t p_h u^k-u_t^k\|+\|(f(\cdot,u^k)-f(\cdot,u_h^k)\|+c(\|\xi^k\|+\|\eta^k\|))\cdot(\|\xi^k\|+\|\xi^{k-1}\|)$$

Rewriting,

$$\frac{1}{\tau}(\|\xi^k\|-\|\xi^{k-1}\|)\le(\|\partial_t p_h u^k-u_t^k\|+\|(f(\cdot,u^k)-f(\cdot,u_h^k)\|+c(\|\xi^k\|+\|\eta^k\|))$$

Using $\|(f(\cdot,u^k)-f(\cdot,u_h^k)\|\le c_1(\|\xi^k\|+\|\eta^k\|)$ [4],

$$\|\xi^k\|\le\|\xi^{k-1}\|+\tau(\|\partial_t p_h u^k-u_t^k\|+c_2(\|\xi^k\|+\|\eta^k\|)). \tag{2.8}$$

From (2.8) $\|\xi^k\|\le\frac{1}{1-c_2\tau}\|\xi^{k-1}\|+\frac{\tau}{1-c_2\tau}(\|\partial_t p_h u^k-u_t^k\|+c_2\|\eta^k\|)$.

Then

$$\|\xi^k\|\le\frac{1}{1-c_2\tau}\|\xi^{k-1}\|+\left(\frac{1+c_2\tau}{1-c_2\tau}\right)(\|\partial_t p_h u^k-u_t^k\|+c_2\|\eta^k\|)\le$$

$$\le\frac{1}{1-c_2\tau}\|\xi^{k-1}\|+\left(\frac{1+c_2\tau}{1-c_2\tau}\right)^n(\|\partial_t p_h u^k-u_t^k\|+c_2\|\eta^k\|). \tag{2.9}$$

Note that $\tau=\frac{T}{N}$, then $\frac{1}{1-c_2\tau}=\frac{1}{1-c_2\frac{T}{N}}$ $\left(\frac{1+c_2\tau}{1-c_2\tau}\right)^n\le\left(\frac{1+c_2\tau}{1-c_2\tau}\right)^N=\left(\frac{N+c_2T}{N-c_2T}\right)^N$.

Therefore, $\frac{1}{1-c_2\tau}\to1,\left(\frac{N+c_2T}{N-c_2T}\right)^N\to e^{c_2T}<\infty$ ($N\to\infty$).

By the (2.9) we have

$$\|\xi^k\| \le C\|\xi^0\| + \sum_{j=1}^{k}(\|\partial_t p_h u^k - u_t^k\| + c_2\|\eta^k\|) \tag{2.10}$$

In the (2.10)

$$\begin{aligned}
&\|\xi^0\| = \|p_h u_0 - u_{0h}\| \le \|u_0 - u_{0h}\| + \|\eta^0\| \le \|u_0 - u_{0h}\| + ch^2\|u_0\|_3 \\
&\|\eta^k\| \le ch^2\|u^k\|_3 \\
&\|\partial_t p_h u^k - u_t^k\| \le \tau\|u_{tth}^k\|
\end{aligned} \tag{2.11}$$

From (2.11)

$$\|\xi^k\| \le C(\|u_0 - u_{0h}\| + ch^2\|u_0\|_3 + ch^2\|u^k\|_3 + \tau\|u_{tth}^k\|) \tag{2.12}$$

Combining (2.6) – (2.12), we have

$$\begin{aligned}
\|u_h^k - u^k\| &\le \|u_h^k - p_h u^k\| + \|p_h u^k - u^k\| \le \\
&\le C(\|u_0 - u_{0h}\| + h^2\|u_0\|_3 + h^2\|u^k\|_3 + \tau\|u_{tth}^k\|) + C'h^2\|u^k\|_3 \le \\
&\le \overline{C}(\|u_0 - u_{0h}\| + h^2\|u_0\|_3 + h^2\|u^k\|_3 + \tau\|u_{tth}^k\|)
\end{aligned}$$

Next, we give the error of the approximate solution of the two-grid finite volume element scheme (1.11) - (1.12) for the equations (1.1) – (1.3).

Theorem 2. Let u and u_h^k be the solution (1.1) – (1.3) and (1.11) – (1.12), respectively.

Then for h, H sufficiently small , there exists a positive constant c such that

$$\|u^k - u_h^k\|_1 \le c((h + H^2)\|u_h^k\|_2 + \tau\|u_{tth}^k\|) \tag{2.13}$$

Proof. By the equation (1.11) – (1.12) and the elliptic projection operator p_h,

$$\begin{aligned}
a_{h,c}(u_H^k; u_h^k - p_h u^k, \Pi_h^* v_h) &= [a_{h,c}(u_H^k; u_h^k, \Pi_h^* v_h) - a_h(u_h^k; p_h u^k, \Pi_h^* v_h)] + \\
&\quad + [a_h(u_h^k; p_h u^k, \Pi_h^* v_h) - a_{h,c}(u_H^k; p_h u^k, \Pi_h^* v_h)] = \\
&= [a_{h,c}(u_H^k; u_h^k, \Pi_h^* v_h) - a_h(u_h^k; u^k, \Pi_h^* v_h)] + \\
&\quad + [a_h(u_h^k; p_h u^k, \Pi_h^* v_h) - a_{h,c}(u_H^k; p_h u^k, \Pi_h^* v_h)] = \\
&= (\partial_t u_h^k, \Pi_h^* v_h) - (f(\cdot, u_H^k), \Pi_h^* v_h) - (u_{th}^k, \Pi_h^* v_h) + (f(\cdot, u^k), \Pi_h^* v_h) + \\
&\quad + [a_h(u_h^k; p_h u^k, \Pi_h^* v_h) - a_{h,c}(u_H^k; p_h u^k, \Pi_h^* v_h)] = \\
&= (\partial_t u_h^k - u_{th}^k, \Pi_h^* v_h) + (f(\cdot, u^k) - f(\cdot, u_H^k), \Pi_h^* v_h) + \\
&\quad + [a_h(u_h^k; p_h u^k, \Pi_h^* v_h) - a_{h,c}(u_H^k; p_h u^k, \Pi_h^* v_h)] = \\
&= Q_1 + Q_2 + Q_3
\end{aligned}$$

$$|Q_1| = \left|(\partial_t u_h^k - u_{t,h}^k, \Pi_h^* v_h)\right| \le \left\|\partial_t u_h^k - u_{t,h}^k\right\| \cdot \left\|\Pi_h^* v_h\right\| \le c\tau \left\|u_{tth}^k\right\| \cdot \|v_h\|$$

$$|Q_2| = \left|(f(\cdot, u^k) - f(\cdot, u_H^k),\ \Pi_h^* v_h)\right| \le \left|(f(\cdot, u^k) - f(\cdot, u_H^k),\ \Pi_H^*(\Pi v_h))\right| +$$
$$\left|(f(\cdot, u^k) - f(\cdot, u_H^k),\ \Pi_h^*(v_h - \Pi_H v_h))\right| + \left|(f(\cdot, u^k) - f(\cdot, u_H^k),\ \Pi_h^*(\Pi_H v_h) - \Pi_H^*(\Pi_h v_h))\right| \le$$
$$\le cH^2 \|\Pi_H v_h\|_1 + cH \left\|u^k - u_H^k\right\|_1 \cdot \|v_h\|_1 + c(h+H)\left\|u^k - u_H^k\right\|_1 \cdot C \le cH^2 \|v_h\|_1$$

$$|Q_3| = \left|[a_h(u_h^k;\, p_h u^k, C) - a_{h,c}(u_H^k;\, p_h u^k, \Pi_h^* v_h)]\right| =$$
$$= \left| -\sum_z \int_{\partial V_z} (\alpha(\cdot, u_h^k) \nabla p_h u^k) \cdot n\, \Pi_h^* v_h ds + \sum_z \int_{\partial V_z} (\overline{\alpha(\cdot, u_H^k)} \nabla p_h u^k) \cdot n\, \Pi_h^* v_h ds \right| \le$$
$$\le \sum_z \int_{\partial V_z} (\left|\alpha(\cdot, u_h^k) - \overline{\alpha(\cdot, u_H^k)}\right| \nabla p_h u^k) \cdot n\, \Pi_h^* v_h ds \le c\left\|u_h^k - u_H^k\right\| \cdot \left\|p_h u_h^k\right\|_1 \cdot \|v_h\|_1 \le$$
$$\le c(\left\|u_h^k - u^k\right\| + \left\|u^k - u_H^k\right\|) \cdot \left\|u_h^k\right\|_1 \cdot \|v_h\|_1 \le c(h^2 + H^2)\left\|u_h^k\right\|_2 \cdot \|v_h\|_1$$

Therefore

$$a_{h,c}(u_H^k; u_h^k - p_h u^k, \Pi_h^* v_h) \le c(\tau \left\|u_{tth}^k\right\| \cdot \left\|\Pi_h^* v_h\right\| + H^2 \cdot \left\|\Pi_h^* v_h\right\| + (h^2 + H^2)\left\|u_h^k\right\|_2 \cdot \left\|\Pi_h^* v_h\right\| \le$$
$$\le c(\tau \left\|u_{tth}^k\right\| \cdot \|v_h\|_1 + H^2 \cdot \|v_h\|_1 + (h^2 + H^2)\left\|u_h^k\right\|_2 \cdot \|v_h\|_1$$

Choosing $v_h = u_h^k - p_h u^k$, from expression above

$$c\left\|u_h^k - p_h u^k\right\|_1^2 \le a_{h,c}(u_H^k;\, u_h^k - p_h u^k,\ \Pi_h^*(u_h^k - p_h u^k)) \le$$
$$\le c(H^2 + (h^2 + H^2)\left\|u_h^k\right\|_2 + \tau \left\|u_{tth}^k\right\|) \cdot \left\|u_h^k - p_h u^k\right\|$$

Then $\left\|u_h^k - p_h u^k\right\|_1 \le c(H^2 + (h^2 + H^2)\left\|u_h^k\right\|_2 + \tau \left\|u_{tth}^k\right\|)$

Therefore

$$\left\|u^k - u_h^k\right\|_1 \le \left\|u^k - p_h u^k\right\|_1 + \left\|p_h u^k - u_h^k\right\|_1 \le ch \cdot \left\|u^k\right\|_2 + c(H^2 + (h^2 + H^2)\left\|u_h^k\right\|_2 + \tau \left\|u_{tth}^k\right\|) \le$$
$$\le c((h + H^2)\left\|u_h^k\right\|_2 + \tau \left\|u_{tth}^k\right\|)$$

Conclusion

In this paper, we have studied present a full discrete scheme and algorithm of the two – grid finite volume element method for a quasi - linear parabolic equation.

We have estimated the error of the approximate solution by the two – grid finite volume element method.

References

1. Z.Q.Cai, Steve Mccormick, On the accuracy of the finite volume element method for diffusion equations on composite grid, SIAM J. Numer. Anal. 27(3) (1990) 636-655.

2. E. Suli, Convergence of finite volume element methods for Poisson`s equation on nonuniform meshes, SIAM J. Numer. Anal. 28(5) (1991) 1419-1430.

3. R. Li, Z. Chen, W. Wu, Generalized difference methods for differential equations: Numerical analysis of finite volume methods, Marcel Dekker, Inc, 2000.

4. P.Zhu, R.Li, Generalized difference methods for 2nd order elliptic partial differential equations (II), Numer. Math. J. Chinese Univ. 4(4) (1982) 360-375.

5. W.Wu, The mixed generalized differenc method for biharmonic equations, J.Jilin Univer. 1(1986) 14-22.

6. Y.Li, R.Li, Generalized difference methods on arbitrary quadrilateral networks, J. Comput. Math. 17(6) (1999) 653-672.

7. S.H.Chou, Q.Li, Error estimates in L^2, H^1 and L^1 for elliptic and parabolic problems: A unified approach, Math. Comput. 69 (69),2000, 103-120.

8. S.H.Chou, D.Y.Kwat, Q.Li, L^p error estimates and superconvergence for covolume or finite volume element methods, Numer. Methods Partial Differential Equations 19(2003) 463-486.

9. M. Plexousakis, G. Zouraris, On the construction and analysis of high order locally conservative finite volume type methods for one dimensional elliptic problems, SIAM. J. Numer. Anal. 42(2004) 1226-1260.

10. Z. Cai, J. Douglas, M.G. Pak, Development and analysis of higher order finite volume methods over rectangles for elliptic equations, Adv. Comput. Math. 19(2003) 3-33.

11. L.D. Mishev, Finite volume element methods for non-definite problems, Numer. Math. 83(1999), 161-175.

12. H.J.Wu, R.H. Li, Error estimates for finite volume element methods for general second order elliptic problem, Numer. Methods PDEs 19, 693-708 (2003).

13. R.H.Li, Generalized difference methods for a nonlinear Dirichlet problem. SIAM J. Numer. Anal. 24, 77-88 (1987).

14. J.C. Xu, A new class of iterative methods for non-selfadjoint or indefinite elliptic problems. SIAM J. Numer. Anal. 29, 303-319 (1992).

15. J.C. Xu, A novel two grid method for semi-linear equations. SIAM J. Sci. Comput. 15, 231-237 (1994).

16. J.C. Xu, Two grid discretization techniques for linear and nonlinear PDEs. SIAM J. Numer. Anal.33,1759-1777 (1996).

17. J.C. Xu, A.H. Zhou, A two grid discretization scheme for eigenvalue problems. Math. Comp. 70, 17-25 (1999)

18. O. Axelsson, W. Layton, A two level discretization of nonlinear boundary value problem. SIAM J. Numer. Anal. 33, 2359-2374 (1996)

19. C.N. Dawson, M.F. Wheeler, C.S. Woodward, A two grid finite difference scheme for nonlinear parabolic equation. SIAM J. Numer. Anal. 35, 435-452 (1998).

20. W. Layton, W. Lenferink, Two level Picard and modified Picard methods for the Navier-Stokes equation. Appl. Math. Comp. 69, 263-274 (1995).

21. T. Utnes, Two grid finite element formulations of the incompressible Navier-Stokes equation. Comm. Numer. Methods Eng. 34, 675-684 (1997).

22. M. Marion, J. C. Xu, Error estimates on a new nonlinear Galerkin method based on two grid finite element. SIAM J. Numer. Anal. 32, 1170-1184 (1995).

23. C.J. Bi, V. Ginting, Two-grid finite volume element method for linear and nonlinear elliptic problems, Numer. Math. 108, 177-198 (2007).

© Тхэ Гын О, Ми Гйон Ким, 2017 г.

УДК 67.014

ИССЛЕДОВАНИЕ ХАРАКТЕРА НАНОЧАСТИЦ МЕДИ КАК СМАЗОЧНОЙ ДОБАВКИ

Кан Мен Гук
магистрант, ДВФУ, Владивосток
Университет Хванбука, саривон, КНДР
e-mail: kan_menguk@mail.ru
Мансуров Юлбарсхон Набиевич
д.т.н., профессор, ДВФУ, Владивосток
Ким Сен Чхор
аспирант, ДВФУ, Владивосток
Политехнический Университет им. Ким Чака, КНДР

Аннотация. *Наночастицы мягкого металла и их сплавы, особенно, наночастицы меди можно использовать в качестве добавок к смазочному маслу. Было доказано, что они обладают превосходными противоизносными и противозадирными свойствами. Их трибологическое поведение и механизм были изучены и рассмотрены во многих работах. В этой статье описаны эксперименты испытания на износ поверхности трения стальных шаров в смазочном масле без и с добавлением наночастиц меди и рассмотрен механизма поведения наночастиц меди на поверхности трения.*

Ключивые слова*: наночастица меди, смазочная добавка, степень износа, испытания, трения*

INVESTIGATION OF THE CHARACTER AS LUBRICANT ADDITIVE OF COPPER NANOPARTICLES

Kang Myong Guk
Magistracy, FEFU, Vladivostok
Hwangbuk University, sariwon, DPR of Korea
Yulbarskhon N. Mansurov
Professor, Doctor of Technical Sciences, FEFU, Vladivostok
Kim Song Chol
Post graduate student, FEFU, Vladivostok
Kim Chaek University of technology, Pyongyang, DPR of Korea

Abstract. *Nanoparticles is the soft metal, their alloys, especially copper nanoparticles can be used as additives to lubricating oil, it has been proven that they have excellent antiwear, extreme pressure properties and their tribological behavior, its mechanism have been studied and considered in many works. This article describes the process of the wear experiment on the friction surface of steel balls in lubricating oil without / with the addition of copper nanoparticles and consideration of the mechanism of behavior of copper nanoparticles on the friction surface.*

Key words: *copper nanoparticle, lubricant additive, wear rate, test, friction*

В последние несколько лет, наночастицы металлов вызывают значительный интерес в силу своих уникальных физических и химических свойств [1, 2]. Благодаря замечательным трибологическим свойствам наночастиц Cu, вместе с хорошей функцией самовосстановления к изношенной поверхности, они желательны как превосходный кандидат для традиционных присадок к смазочным маслам.

1 Эксперимент испытания

Испытания на истирание поверхности шаров в смазочном масле марки API SJ/ CF 10W-30 без и с добавками наночастиц меди проведены на измельчительном аппарате FRITSCH (Vario-Planetary Mill) с неподвижным корпусом – барабаном, передающими движение шарам в барабане.

Использованы шары стали 45, а твердость поверхности шаров − HRCэ 24,5, скорости вращения – 400 об/мин, время испытания − 2 ч.

Добавлены наночастицы меди, соответственно, от 0,1 г до 1,0 г в 100 г. масла (от 0,1 мас.% до 1,0 мас.%).

1.1 Материалы

− Наночастицы меди (10г)

− Стальные шарики (Ø= 42мм-4ш., Ø= 22мм-4ш., Ø= 12мм-5ш., Твердость: HRCэ= 24,5)

− Смозочное масло (5кг)

− Толуол(2л) и ацетон (1л)

− Машина для испытания на износ: FRITSCH (Vario – planetary Mill)

1.2 Методы

Для проведения эксперимента в два стальных барабана вливают смазку по 100 г и кладут стальные шары по 13 штук. В одном барабане смазочное масло без наночастиц меди, а в другом – смазочное масло с добавлением наночастиц меди.

Барабаны устанавливаются в машину. Время проведения эксперимента составляет 2 часа, в течение которого машина работает по определенной программе. В процессе проведения эксперимента из-за динамического трения шаров друг с другом в результате износа происходит уменьшение их массы. После окончания эксперимента шары очищаются толуолом или ацетоном и взвешиваются на электронных весах.

Таким образом, расчет степени износа C_u можно выполнять по формуле

$$C_u = 100 - Y / X \cdot 100\ (\%) \qquad (1)$$

где X − масса образца перед работой,

Y − масса образца после работы.

Проведено сравнение износа поверхности шаров в маслах без и с добавлением наночастиц меди. Измерена, соответственно, масса шаров перед/после испытания в течение 2 ч. и получены потери массы при использовании масла с добавлением и без добавления наночастиц меди (таблица 1).

Таким образом вычислена степень износа при разных концентрациях.

2 Результаты и обсуждение

2.1 Результаты

Результаты испытания на истирание в смазочных маслах без и с добавками наночастиц меди показаны в таблицах 1 и 2.

Из таблицы 1 видно, что по мере увеличения концентрации наночастиц меди уменьшается степень износа поверхности трения.

Таблица 1.

Результат испытания на истирание в среде смазочного масла

Концентрации добавок, %		без	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5
Масса образца, г	перед	1126,25	1126,42	1125,13	1122,51	1121,55	1120,92
	после	1124,85	1125,13	1124,06	1121,55	1120,74	1120,19
Степень износа, %		0,124	0,11	0,095	0,085	0,072	0,065

Таблица 2.

Результат испытания на истирание в среде смазочного масла

Концентрации добавок, %		0,6	0,7	0,8	0,9	1,0
Масса образца, г	перед	1055,52	1054,79	1054,05	1053,29	1052,51
	после	1054,79	1054,05	1053,29	1052,51	1051,70
Степень износа, %		0,069	0,070	0,072	0,074	0,077

Однако в таблице 2 показано, что концентрация нано-меди увеличивается, но скорость износа не уменьшается, а постепенно увеличивается.

На рис. 1 представлен график изменения величины износа в зависимости от процентного содержания добавки нано-меди в смазке.

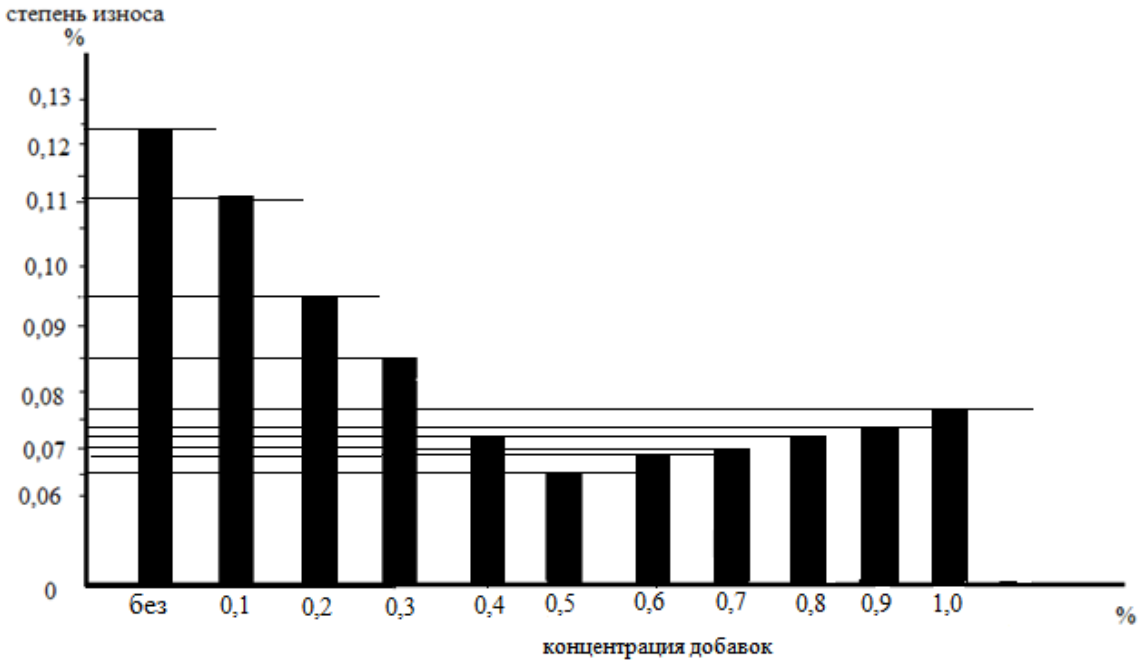

Рис. 1. График пропорций износов при разных концентрациях нано-Cu в смазке

На графике (рис.1) видно, что величина износа принимает наименьшее значение при использовании 0,5 % добавки нано-меди в рабочей смазке.

Результаты, полученные в экспериментах данной работы, подтверждают что одним из эффективных способов снижения потерь на трение и повышения износостойкости трибосистем является добавление наночастиц меди в смазочное масло.

2.2 Обсуждение результатов

Наночастица меди – мягкий металл, у нее низкое сопротивление сдвигу, следовательно, хороший характер скольжения, низкая точка плавления и хорошая теплопроводность, поэтому она считается хорошим смазочным материалом [4−6].

Даже на гладкой поверхности трения, при наблюдении в микроскоп существуют много задиров, трещин и пор.

При введении смазочного масла, содержащего наночастицы меди, между контактирующими стальными поверхностями, происходят процессы, приводящие к наноструктурным превращениям слоев. В данном случае можно рассмотреть, что масло является лишь средством доставки наночастиц меди к месту сопряжения деталей.

Добавки (наночастицы меди) проявляют свое действие в процессе трения сопряжений деталей только при соответствующих нагрузке и температуре. Тогда выделившиеся частицы меди обладают повышенной энергией и активно взаимодействует с подложкой и образуют адсорбционные и хемосорбционные наноструктурные защитные слои с меньшим сопротивлением сдвигу, чем металлические поверхности.

Уменьшение размера частиц приводит к их равномерному распределению в зоне фрикционного контакта, более эффективному физико-химическому взаимодействию с поверхностями трения [7].

Наночастицы меди легко проникают в макро-, микро- и нанонеровности, трещины, поры, эффективно заполняя их, тогда

происходит модифицирование поверхности и образование наноструктурного покрытия с фрагментами от 3 до 700 нм, обладающими повышенной пластичностью [8], за счет чего и повышаются триботехнические характеристики трибоконтакта.

Близкий размерный фактор атомного и ковалентного радиусов меди и железа дает возможность создания сплавов с взаимной растворимостью атомов железа и меди. Следовательно, взаимная растворимость, в свою очередь, обеспечивает возможность создания трущейся пары, использующей эффект перспективного самовосстановительного смазочного материала.

Путем добавления наночастиц меди к смазочному маслу можно уменьшить трение и истирание, повысить мощность двигателя, уменьшить загрязнение воздуха и увеличить ресурс двигателя.

Выводы

Сделаны экспериментальные испытания на износ поверхности трения путем использования шаров для подшипников и измельчительного аппарата FRITSCH.

Подтверждено, что при добавлении наночастиц меди к смазочному маслу снижается истирание поверхности трения, а также влияние наночастиц меди на уменьшение истирания увеличивается по мере увеличения их концентрации в смазочном масле. А количество наночастиц меди лучше всего на 0,5 %.

Путем добавления наночастиц меди к смазочному маслу можно удлинить долговечность двигателя внутреннего сгорания.

Список литературы:

1. Experimental evaluation of engine oil properties containing copper oxide nanoparticles as ananoadditive / Ehsan-o-llah Ettefaghi //International Journal of Idustrial Chemistry. − 2013. − №4. − P. –28

2. Effect of Nano-Cu Lubrication Additive on the Contact Fatigue Behavior of Steel /Yi Dong Zhang // TribolLett. − 2010. − № 37. − P. 203–207

3. Study the efficiency of some compounds as lubricating oil additives / Rasha S. Kamal //Appl Petrochem Res. − 2013. − № 3. − P.1–8

4. A. Vadiraj, G. Manivasagam, K. Kamani, V. S. Sreenivasan. Effect of nano oil additive proportions on friction and wear performance of automotive materials // Tribology in Industry. − 2012. − Vol. − 34. − № 1. − P. 3–10.

5. A. Tamilvanan, K. Balamurugan, K. Ponappa, B. Madhan Kumar. Copper nanoparticles: Synthetic strategies, properties and multifunctional application // Interternational Journal of Nanoscience. − 2014. − Vol. 13. − № 2. − P. 1–22.

6. Juozas Padgurskas, Raimundas Rukuiza, Igoris Prosycevas, Raimondas Kreivaitis. Tribological properties of lubricant additives of Fe, Cu, and Co nanoparticles // Tribology International. 2013. Vol. 60. P. 224–232.

7. Нгуен Хуинь. Идентификация триботехнических характеристик наноразмерных металлоплакирующих присадок. // Дис. к.т.н., Ростов-на-Дону, 2015. – 150 с.

8. Золотухина, Л.В. Формирование нанокристаллической структуры на поверхностях трения в присутствии нанопорошков сплавов меди в смазочном материале. / Л.В. Золотухина, О.К. Батурина, Т.П. Пургина, И.В. Фришберг. Трение и смазка в машинах и механизмах, 2007. − № 3. 7-12 с.

©Кан Мен Гук, Мансуров Ю.Н., Ким Сен Чхор, 2017г.

УДК 54.056

ПОЛУЧЕНИЕ НАНОЧАСТИЦ МЕДИ ЖИДКОФАЗНЫМ ВОССТАНОВИТЕЛЬНЫМ МЕТОДОМ

Ким Мен Сен
преподаватель, кандидат геологических наук
Университет имени Ким Ир Сена, КНДР, Пхеньян
Магистрант ДВФУ, РФ, г. Владивосток
e-mail: kmyongson@mail.ru
Мансуров Юлбарсхон Набиевич
д.т.н., проф. ДВФУ, РФ, г. Владивосток
Ким Сен Чхор
канд. техн. наук, Политехнический университет имени Ким Чака, КНДР, г. Пхеньян
аспирант, ДВФУ, РФ, г. Владивосток
e-mail: sencher.kim@yandex.ru

***Аннотация**: Настоящая статья посвящена методике исследования получения наночастиц меди жидким восстановительным методом. На основе этого произведен выбор оптимальных условий получения наночастиц меди.*

***Ключевые слова**: наночастица меди, жидкий восстановительный метод, оптимальные условия, ортогональное испытание*

MANUFACTURE OF NANOPARTICLES OF COPPER LIQUID-PHASE RECOVERY METHOD

Kim Myong Son
*Lecturer, candidate of geologic science, of **Kim Il Sung** University, Democratic People's Republic of Korea*
Master's Degree student of FEFU, Russia, Vladivostok
Yulbarskhon N. Mansurov
Doctor of sciences, professor, FEFU, Russia, Vladivostok
Kim Song Chol
Candidate of Technical Science, Kim Chaek University of technology, Democratic People's Republic of Korea, Pyongyang

Post graduate student, FEFU, Russia, Vladivostok

***Abstract**: This article is devoted to the methodology of the study for producing nanoparticles of copper liquid recovery method, which detected the selection of the optimal conditions, optimal conditions*

***Key words**: nanoparticle copper, liquid recovery method, optimal conditions, orthogonal test*

1. Методика исследований для получения наночастиц меди жидким восстановительным методом

Жидкий восстановительный метод для получения наночастиц меди является методом, получающим наночастицы путем восстановления иона двухвалентной меди на медь с нулевой валентностью с помощью восстановителя и управления параметрами технологического процесса.

В общем виде уравнение реакции в ионной форме можно записать:

$$2Cu^{2+} + H_2PO_2^- + 2H_2O = 2Cu\downarrow + H_2PO_4^- + 4H^+ \quad (1)$$

Скорость реакции восстановления иона меди очень быстрая, поэтому образование зародыша кристалла получается неровным в системе реакции, что усложняет получение наночастицы меди с необходимыми равномерными размерами. Эту проблему можно решить с помощью комплексообразователя, который позволяет уменьшать скорость реакции восстановления. В данном эксперименте использовали трилон-Б в качестве комплексообразователя.

Наночастицы меди, полученные в результате реакции восстановления иона меди, существуют в водном растворе, поэтому для их сбора должны использовать ультрацентрифугу, при этом возникает явление агрегации наночастиц меди из-за сильной центробежной силы, что также усложняет получение наночастиц с необходимыми размерами.

Для изготовления наночастиц самый важный процесс – сдерживать агрегацию наночастиц и рост нанокристаллов. Для этого необходимо использовать диспергатор и управлять рационально процессом реакции.

Для сбора наночастиц меди без ультрацентрифуги добавлен летучий органический растворитель, удельный вес которого меньше воды. Это позволило получить наночастицы меди равномерного размера и предотвратить их агрегацию и окисление.

В данном эксперименте использовали додецилсульфат натрия (SDS) в качестве диспергатора и бензин в качестве летучего органического растворителя.

Если добавить бензин и SDS к раствору реакции, SDS покрывает поверхность наночастиц меди и предотвращает их контакт и агрегацию друг с другом и позволяет, чтобы наночастицы меди присоединялись к бензину.

После реакции восстановления благодаря разнице в удельном весе раствор реакции разделяется на две части: верхний бензин, захвативший наночастицы меди, и нижний водный раствор.

Если с помощью делительной воронки выделить бензин, захвативший наночастицы меди, и сушить в вакуумном сушильном шкафе, то бензин улетучится с получением остатков только наночастиц меди.

Таким образом можно получить наночастицы меди без использования ультрацентрифуги, следовательно, частицы защищены от агрегации и окисления.

2. Процесс эксперимента

Сначала растворены 0,84 г SDS и 0,84 г ЕДТА в 256 мл растворе $CuSO_4$ (0,0715 М) и проведена калибровка на pH=1.5 с помощью H_2SO_4.

Таким образом, получен раствор А (рисунок 1).

В качестве раствора Б использовано 24 мл NaH_2PO_2 (1,032 М).

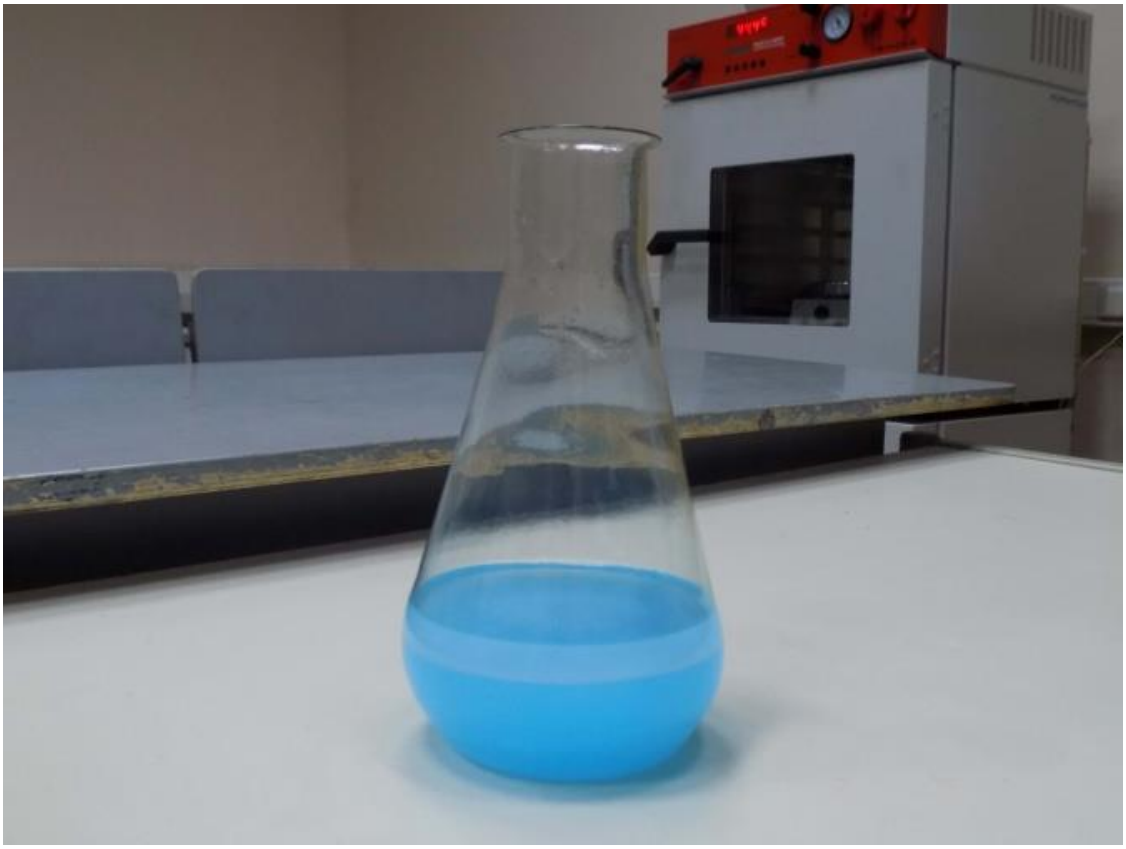

Рис. 1. Раствор перед началом реакции восстановления

При перемешивании раствора А (120 об/мин), в него добавлен 20 мл бензин при температуре 55 ˚С.

К полученному раствору добавлен со скоростью 8 мл/мин раствор Б.

Через 20–30 минут цвет всего раствора постепенно изменился от синего до зеленого, потом до пурпурного (рис 2, 3, 4).

Данный цвет раствора показывает получение наночастиц меди в результате реакции восстановления.

В данной практике, чтобы найти правильный режим реакции восстановления иона меди, добавлен раствор Б к раствору А при комнатной температуре и повышена постепенно температура вся раствора до 55 ˚С.

Рис. 2. Раствор в положении реакции при 43˚С

Рис. 3. Раствор в положении реакции при 50˚С

Рис. 4. Раствор в положении совершения реакции при 50-55° С

На рисунке 5 показаны изменения цвета раствора в ходе получения наночастиц меди.

Как видно, через 20-30 минут цвет раствора постепенно изменился от синего до зеленого, потом до пурпурного.

Это изменение цвета означает, что уже оформились наночастицы меди в растворе.

При комнатной температуре выключена перемешалка, потом раствор разделится на 2 слоя: верхний бензин (захвативший наночастицы меди) и нижний водный раствор (рисунок 6).

Верхний бензин очищен 3 раза дистиллированной водой с помощью делительной воронки и высушен в вакуумном шкафе. Когда бензин улетучился, остаются только наночастицы меди.

Таким образом, без использования ультрацентрифуги можно получить наночастицы меди, которые защищены от агрегации и окисления.

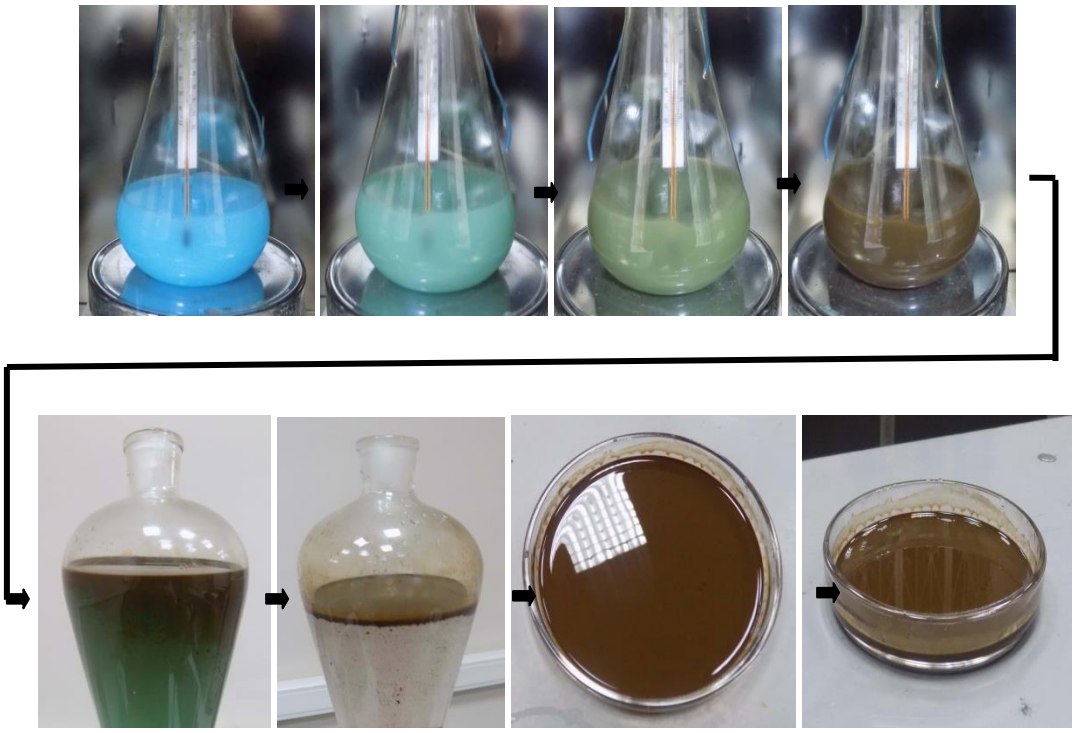

Рис. 5. Изменение цвета раствора в ходе получения наночастиц меди.

На рисунке 6 показан верхний бензин, очищенный 3 раза дистиллированной водой с помощью делительной воронки и остаточные растворы.

3. Анализ продукта реакции

Проведен анализ путем рентгенограммы D8 ADVANCE (Bruker, Германия, 2003).

Из рентгенограммы следует, что продукт реакции состоит из Cu (50 %) и CuO (50 %). По формуле Шеррера (Scherrer formula) [4]

$$d = \frac{0.94 \cdot \lambda}{\beta \cdot \cos\theta} \qquad (2)$$

(где λ – длина волны излучения, θ – угол рассеяния, β – физическое уширение линии на рентгенограмме $\beta = \frac{\omega \cdot \pi}{180}$, ω – ширина дифракционного

максимума на половине его высоты) получена величина размера частицы в среднем 28 нм.

Рис. 6. Разделенный раствор на 2 слоя (верхний – органический раствор, нижний – водный раствор)

Видно, что при получении наночастиц меди методом жидкофазного восстановления возможно выделение наночастиц без использования ультрацентрифуги, что позволить удешевить производство наночастиц меди в качестве добавки к смазочному маслу.

Выводы

1. Путем добавления Трилон-Б (ЕДТА) в качестве комплексообразователя в систему реакции восстановления иона меди регулируется скорость реакции, следовательно, получены наночастицы меди с равномерными размерами.

2. Путем добавления бензина в качестве органического растворителя в систему реакции выполнен сбор полученных наночастиц меди без использования ультрацентрифуги.

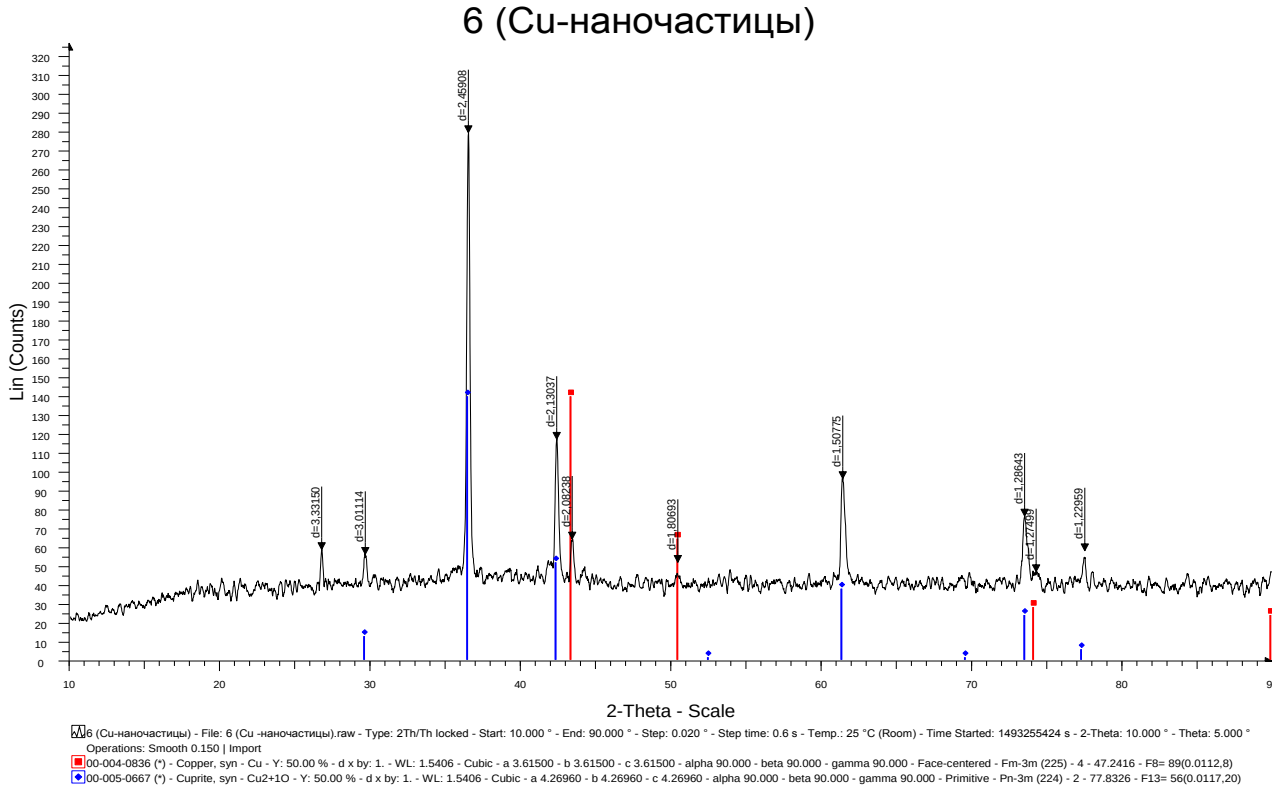

Рис. 6. Результат гранулометрии наночастиц меди

3. Получены наночастицы меди с средними размерами 28 нм жидкофазным восстановительным методом.

Список литературы

1. Шавшукова, С.Ю. Исторические этапы развития микроволновой техники для научных исследований и промышленных процессов: Автореф. дис. канд. техн. наук: Спец.: 07.00.10/ С.Ю. Шавшукова. – Уфа: УГНТУ, 2008. – 48 с.

2. Внукова, Н.Г. Наноматериалы и Нанотехнологии: учеб. пособие / Н.Г. Внукова, Г.Н. Чурилов. – Красноярск: Сибир. фед. ун-т, 2007. – 103 с.

3. Балоян, Б.М. Наноматериалы. Классификация, особенности свойств, применение и технологии применения: учеб. пособие / Б.М. Балоян, А.Г. Колмаков, М.И. Алымов, А.М. Кротов. – М.: 2007. – 107 с.

4. Sulekh Chandra, Avdhesh Kumar, Praveen Kumar Tomar. Synthesis and characterization of copper nanoparticles by reducing agent // Journal of Saudi Chemical Society. 2014. № 18. P. 149–153.

© Ким Мен Сен, Мансуров Ю.Н., Ким Сен Чхор, 2017 г.

Оглавление

Сухорада А.Е., Полуцкий К.А., Стаценко В.Н, Исследование прочности сварного соединения при сварке алюминиевого сплава методом трения с перемешиванием …….……3

Кузьминова Т.А., Лелюхин В.Е., Колесникова О.В. Функциональный подход к формированию системы управления машиностроительным предприятием……10

Корчака А.В Разработка шумозащитных мероприятий для селитебной территории……19

Ким Мун Чхор. Проект внедрения PLM SEARCH в ОАО «Дальрыбтехцентр» ……26

Ван Пэнфэй, Стаценко В. Н. Анализ концентрации и морфологии аэрозолей, получаемых при электродуговой сварке……33

Ro Jong Hyok, Ho Kwang Min. On-pot synthesis of graphene oxide covered with organic-inorganic composite for electrochemical determination of tryptophan and 5-aminosalicylic acid ……42

Тхэ Гын О, Ми Гйон Ким Постериорные оценки погрешности двухсеточного метода конечных объемов элементов для квазилинейных параболических задач второго порядка……52

Кан Мен Гук, Мансуров Ю.Н., Ким Сен Чхор. Исследование характера наночастиц меди как смазочной добавки……66

Ким Мен Сен, Мансуров Ю.Н., Ким Сен Чхор. Получение наночастиц меди жидкофазным восстановительным методом……73

CONTENTS

Alexey E. Sukhorada, Konstantin A. Polutsky, Vladimir N. Statsenko. Investigation of the strength of a welding connection in the welding of the aluminum alloy by the friction method with mixing……3

Tatyana A. Kuzminova, Vladimir E. Lelyukhin, Olga V. Kolesnikova. Functional approach to the formation of manufacturing enterprise management system……10

Anatoliy V. Korchaka. Development the noise protection measures for residential areas……19

Kim Mun Chol. PLM Search introduction project at «Dalybtechcenter» OJSC……26

Wang Pengfei, Vladimir N. Statsenko. Analysis of concentration and morphology of aerosols generated by arc welding……33

Ro Jong Hyok, Ho Kwang Min. On-pot synthesis of graphene oxide covered with organic-inorganic composite for electrochemical determination of tryptophan and 5-aminosalicylic acid……42

Thae Gun O, Mi Gyong Kim. Posteriori error estimates of two-grid finite volume element method for second-order quasi-linear parabolic problems……52

Kang Myong Guk, Yulbarskhon N. Mansurov, Kim Song Chol. Investigation of the character as lubricant additive of copper nanoparticles……66

Kim Myong Son, Yulbarskhon N. Mansurov, Kim Song Chol. Manufacture of nanoparticles of copper liquid-phase recovery method……73

Научное издание
Scientific publication

ИННОВАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

INNOVATIVE TECHNOLOGIES

Сборник статей
Международной научно-практической конференции
24 мая 2017

В авторской редакции

Collection of articles
International scientific and practical conference
24 May 2017

Author's edition

Электронный вариант сборника размещён на сайте издательства
http://dv-cit.ru

Подписано в печать 05.06.2017. Формат 60x84/16. Усл. печ. л. 3,36. Тираж 100.

ООО Дальневосточный центр инновационных технологий

ISBN 978-5-9907644-7-7

9 785990 764477