

the structure showed the complete dissolution of antimony tin dioxide. The calculations showed that the ceramic activation energy of stoichiometric ratio ($SbSn_{47}O_{96}$) = 1.19 eV of ceramics ($VSn_{47}O_{96}$) = 1.33 eV. Experimental studies have shown that increase of concentration of antimony oxide leads to decrease of the band gap from 1.33 eV to 0.75 eV. The difference between the calculated value of the activation energy of antimony-doped tin dioxide and experimental studies is 19 %.

Keywords: ceramics, tin dioxide, conductivity, current-voltage characteristic, band structure, quantum chemical modeling.

© Добросмыслов С. С., Кирко В. И., Нагибин Г. Е., Попов З. И., 2012

УДК 621.924

В. А. Левко

ИССЛЕДОВАНИЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ДАВЛЕНИЯ РАБОЧЕЙ СРЕДЫ ПО ДЛИНЕ КАНАЛА ПРИ АБРАЗИВНО-ЭКСТРУЗИОННОЙ ОБРАБОТКЕ*

Приведены результаты исследований распределения давления рабочей среды по длине канала. Выявлено, что при установившемся течении величина давления рабочей среды зависит от величины давления сдвига на входе в канал и градиента скорости потока среды.

Ключевые слова: абразивно-экструзионная обработка, распределение давления рабочей среды, продольный профиль канала, поверхностный слой, градиент скорости, вязкоупругие свойства.

Для теоретического описания процесса течения рабочей среды при абразивно-экструзионной обработке (АЭО) применяются два подхода. Согласно модели бингамовского пластика [1], сдвиговое течение рабочей среды при АЭО осуществляется за счет перепада давлений среды на входе и выходе обрабатываемого канала. Исходя из этой модели, в каналах большой длины перепад давлений приводит к появлению неравномерности обработки по длине. Это явление существенно ограничивает технологические возможности данного способа финишной обработки.

При АЭО сдвиговое течение имеет доминирующее направление, оказывающее существенное влияние на характер перемещения абразивных зерен. При визуальных исследованиях потока рабочей среды [2] в каналах разных конфигураций установлено, что АЗ перемещаются по траекториям, совпадающими с линиями тока. Это наблюдение позволило сделать предположение о том, что при установившемся режиме течения наблюдается появление совокупностей абразивных зерен, перемещающихся по одной траектории, образованных линиями тока рабочей среды.

Следовательно, наблюдаемую совокупность можно представить в виде цепочки, состоящей из последовательно соединенных одинаковых элементов – сегментов, каждый из которых деформируется независимо от остальных, а условие неразрывности цепочки обеспечивается соединением сегментов вязкоупругой среды в шариках, моделирующих абразивные частицы, окруженные сольватной оболочкой.

Исходя из этого предположения, была разработана модель течения среды, построенная на преобразован-

ной модели Каргина-Слонимского-Рауза (КСР) [3]. На основании теоретических разработок было выявлено, что при установившемся режиме сдвигового течения скорости движения всех шариков (du_i/dt) одинаковы, времена запаздывания системы λ_{μ} достигают своих максимальных значений, упругие деформации приближаются к асимптотическому значению $u_e(\infty)$. Тогда и условия равновесия для всех сегментов цепочки подобны, т. е. не зависят от длины цепочки (обрабатываемого канала). Величина сжатия ε сегментов цепочки на оси канала в данном случае перестает быть зависимой от длины канала – режима вязкоупругого течения. На центральной оси канала поток движется подобно сжатому упругому стрелю.

Для подтверждения данной модели были проведены экспериментальные исследования влияния длины обрабатываемого канала на условия АЭО.

Объектом исследования являлся установившийся поток рабочей среды. Для исследований создано опытное приспособление (рис. 1) и схема измерения параметров процесса (рис. 2).

Корпус 1 и крышка 2 имеют пазы для взаимного расположения. Два переходника 3 обеспечивают соединение корпуса и крышки между собой, а также установку собранного приспособления в рабочие цилиндры опытно-промышленной установки УЭШ-100 М. В паз крышки 2 устанавливается прямоугольный образец 4. В собранном приспособлении имитируется прямоугольный канал 5, имеющий сечение 10×10 мм и длину 108 мм. Материал образца и имитатора – сталь 38ХГС.

*Работа выполнена в рамках научно-исследовательской работы «Развитие научных основ абразивно-экструзионной обработки» (тема № 1.28.11).

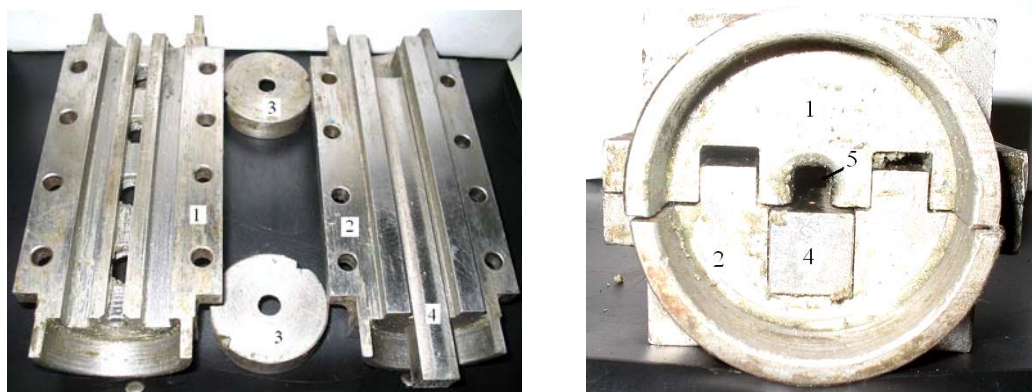


Рис. 1. Приспособление для исследования

Результаты исследования

$P_{вх}$, МПа	Сечение 1			Сечение 2			Сечение 3			Сечение 4		
	P , МПа	Ra , мкм	Δh , мкм	P , МПа	Ra , мкм	Δh , мкм	P , МПа	Ra , мкм	Δh , мкм	P , МПа	Ra , мкм	Δh , мкм
6,0	0,9	0,35	75	0,9	0,37	70	0,89	0,36	70	0,88	0,36	75
9,0	1,4	0,30	100	1,39	0,31	95	1,38	0,32	95	1,38	0,32	100
12,0	1,8	0,25	150	1,79	0,26	145	1,78	0,26	145	1,76	0,25	150

В сечениях 1...4 измерялись шероховатость Ra поверхности и величина изменения глубины реперной точки Δh после 20 циклов АЭО при различных величинах входного давления $P_{вх}$. На осциллограммах фиксировался характер и величина изменения давления среды P . Конструкция приспособления позволила обеспечить перестройку профиля потока в переходниках и исключить влияние перестройки на распределение давления по длине канала.

равномерность съема материала по всей длине канала (рис. 3).

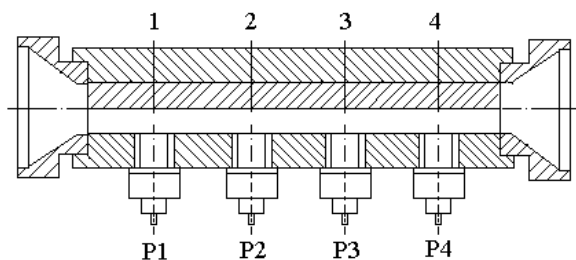


Рис. 2. Схема измерения параметров



Рис. 3. Образцы после обработки

Применялась рабочая среда следующего состава: наполнитель – нормальный электрокорунд 18А зернистостью 320 мкм, весовое содержание 50 %; плотность среды $\rho = 1410,32 \text{ кг/м}^3$, упругие свойства – модуль Юнга $E = 119600$, величина коэффициента Пуассона $\mu = 0,411$. Каждое условие эксперимента повторялось 6 раз. Средние значения результатов экспериментов приведены в таблице. Величина давления P определена по пиковому (максимальному) значению давления на осциллограмме.

Состояние поверхностного слоя образцов после обработки (центральная часть образцов), выявила

Результаты исследования показали, что изменение давления по длине канала при установившемся течении несущественно. Основное влияние на численное значение давления в канале оказывает величина входного давления и коэффициент потерь потока среды при перестройке его профиля на входе в обрабатываемый канал.

Изменение шероховатости и величины удаленного слоя материала при установившемся сдвиговом течении среды (рис. 4) слабо зависят от длины обрабатываемого канала. Результаты этих исследований подтверждают, что для расчетов параметров АЭО нужно применять модели течения среды, построенной на преобразованной модели КСР.

Изменение давления по времени аналогично во всех четырех исследуемых сечениях и практически происходит одновременно по всей длине канала (рис. 5). Изменение величины давления среды связано с условиями течения среды в канале и режимами деформирования вязкоупругих цепочек.

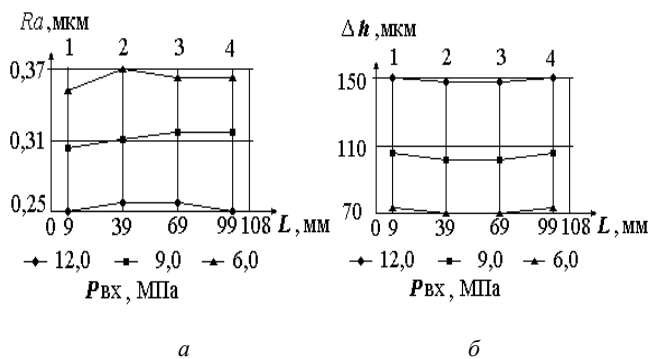


Рис. 4. Изменение параметров поверхностного слоя при АЭО канала большой длины: а – шероховатость Ra ; б – изменение глубины реперной точки Δh

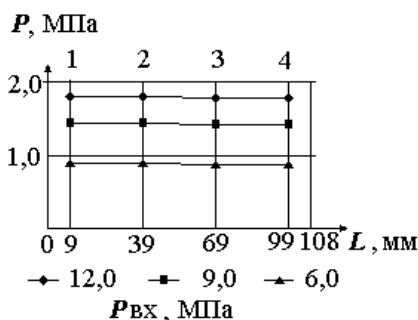


Рис. 5. Изменение давления по длине канала большой длины

По результатам исследований было проведено сравнение двух продольных профилей каналов образцов (рис. 6). Согласно теории бингамовского пластика для случая двунаправленной АЭО в каналах большой длины продольный профиль должен иметь ярко выраженную конусность. Наибольший сьем металла должен наблюдаться на входе в канал в зоне 1. Наименьший сьем – в центральной части канала, т. е. зоне 3 (рис. 6, а).

Профиль обработанной детали без применения направляющего устройства, которое формирует профиль потока на входе в канал, имеет две ярко выраженные зоны: входную зону 1 с максимальным значением удаленного металла и среднюю зону 2 (рис. 6, б).

Профиль обработанной детали, закрепленной в устройстве, которое формирует профиль потока на входе в канал (рис. 1), имеет одну ярко выраженную среднюю зону 2 (рис. 6, в).

Согласно классификации зон течения [4], для случая АЭО по схеме (см. рис. 2), входная зона формируется в рабочем цилиндре установки. Режим деформирования рабочей среды в этой зоне на условия обработки непосредственного влияния не оказывает. Входная зона 1 (рис. 6) формируется на входе в исследуемый канал и в его выходной зоне. В ней перестройка профиля потока максимальна. Далее по длине канала формируется зона установившегося течения. Условия обработки в ней можно отнести к условиям средней зоны, и расчет режимов АЭО вести по методике [3].

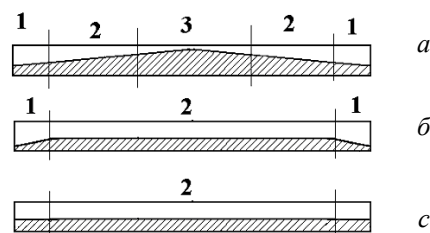


Рис. 6. Продольный профиль обработанной поверхности образца: а – по теории бингамовского пластика; б – экспериментальный; в – экспериментальный с выравниванием профиля потока на входе

Основное влияние на параметры абразивно-экструзионной обработки оказывает градиент скорости сдвига рабочей среды, а не перепад давлений на входе и выходе в обрабатываемом канале.

Этот эффект объясняется высокими вязкоупругими свойствами абразивных рабочих сред. Установленные факты позволяют расширить технологические возможности способа АЭО по обработке каналов большой длины.

Библиографические ссылки

1. Сысоев С. К., Сысоев А. С. Экструзионное хонингование деталей летательных аппаратов: теория, исследования, практика : монография / Сиб. гос. аэрокосмич. ун-т. Красноярск, 2005.
2. Исследование влияния формы обрабатываемого канала на течение рабочей среды при абразивно-экструзионной обработке / В. А. Левко, М. А. Лубнин, П. А. Снетков и др. // Вестник СибГАУ. 2009. Вып. 4 (25). С. 138–145.
3. Левко В. А. Модель течения рабочей среды при абразивно-экструзионной обработке тонких осесимметричных каналов большой длины // Вестник Чебоксар. гос. пед. ун-та. 2008. № 2. С. 85–94.
4. Левко В. А. Абразивно-экструзионная обработка: современный уровень и теоретические основы процесса : монография / Сиб. гос. аэрокосмич. ун-т. Красноярск, 2007.

V. A. Levko

**STUDY OF PRESSURE DISTRIBUTION OF MEDIUM LONGWISE A CHANNEL
UNDER ABRASIVE FLOW MACHINING PROCESSING**

The author presents the results of research of medium pressure distribution longwise a channel. With a steady flow the medium pressure depends on the pressure shift at the inlet to the channel and the velocity gradient of a flow.

Keywords Abrasive flow machining processing medium pressure distribution, longitudinal profile of a channel, surface layer, velocity gradient, visco-elastic properties.

© Левко В. А., 2012

УДК 53.07; 53.05

С. А. Лященко, С. Н. Варнаков, И. А. Тарасов, Д. В. Шевцов, С. Г. Овчинников

**АВТОМАТИЗАЦИЯ МАГНИТОЭЛЛИПСОМЕТРИЧЕСКИХ IN SITU ИЗМЕРЕНИЙ
НА СВЕРХВЫСОКОВАКУУМНОМ КОМПЛЕКСЕ ДЛЯ СИНТЕЗА И ИССЛЕДОВАНИЯ
МАТЕРИАЛОВ СПИНТРОНИКИ***

Представлены результаты модернизации созданного коллективом авторов магнитоэллипсометрического комплекса. Проведена автоматизация процессов управления аппаратной частью и реализованы алгоритмы обработки сигналов магнитоэллипсометра. Возможности созданной системы были продемонстрированы на примере технологического цикла создания и in situ исследования структурных, оптических и магнитных свойств наноструктуры Fe/SiO₂/Si(100).

Ключевые слова: сверхвысоковакуумная технология многослойных наноструктур, спектральная эллипсометрия, эффект Керра.

Методы отражательной одноволновой и спектральной эллипсометрии позволяют с высокой точностью определять оптические свойства различных поверхностей [1]. Одноволновая эллипсометрия хорошо зарекомендовала себя как метод контроля технологии получения наноструктур методом молекулярно-лучевой эпитаксии (МЛЭ), где требуется непрерывный неразрушающий мониторинг процессов формирования [2–6]. В работе [7] нами было показано, что одноволновая эллипсометрия при незначительной модификации схемы измерения позволяет проводить также магнитооптические исследования. Для реализации всех потенциальных возможностей эллипсометрии, которые наиболее полно реализуются при спектральных измерениях, коллективом авторов был создан измерительно-ростовой комплекс для синтеза материалов спинтроники и in situ измерений их оптических и магнитных свойств [8].

Однако использование в разработанном магнитоэллипсометрическом комплексе переменных магнитных полей привело к ряду технологических ограничений на эксперимент.

Так, в связи с высокой индуктивностью электромагнита при частотах даже в единицы герц невозможно было получить достаточную для насыщения железной ферромагнитной пленки величину напряженности магнитного поля. Использование при этом высокого напряжения значительно уменьшало время полезной работы магнитоэллипсометра из-за нагрева обмотки электромагнита. Отсутствие автоматического управления блоком питания не позволяло программировать задание частоты, формы и амплитуды переменного напряжения, что существенно затруднило калибровку и непосредственное измерение величины напряженности магнитного поля. Кроме того, применение переменного магнитного поля затрудняло проведение спектральных магнитооптических измерений.

Также в процессе запуска спектрального магнитоэллипсометра для in situ анализа поверхности образца при разогретом молекулярном источнике была выявлена существенно меньшая интенсивность зондирующего пучка, по сравнению с одноволновыми эллипсометрами.

*Работа выполнена при финансовой поддержке гранта поддержки ведущей научной школы (проект НШ-1044.2012.2), программы ОФН РАН № 2.4, программы Президиума РАН № 24.34, интеграционного проекта СО РАН – ДВО РАН № 85, «У.М.Н.И.К.» (Красноярск, Россия) и при поддержке Министерства образования и науки Российской Федерации, соглашение 14.132.21.1709 «Развитие методологии применения отражательной спектральной эллипсометрии для исследования наноразмерных структур» и соглашение 14.В37.21.1276 «Исследование процессов формирования магнитного порядка в дискретных магнитных сплавах системы Si-Mn».