

55. Наркевич И.И., Наркевич В.И., Жаркевич А.В. Статистическое изучение структурных и термодинамических свойств среды в аморфном и кристаллическом состояниях // Физика и химия стекла. 1999.
56. Наркевич И.И., Клинецвич С.И., Жаркевич А.В. Статистико-механическое описание структурных, термодинамических и механических свойств неоднородной молекулярной среды // Весці НАНБ. 1998. № 4. - С. 111-117.

УДК 537. 84

А.Н. Вислович, доцент

ИССЛЕДОВАНИЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ И МАГНИТНОЙ ПОЛЯРИЗАЦИИ ВЕЩЕСТВА В БГТУ

The main ideas served to development of elektrical and magnetic polarisation of substance investigation at the Belarussian State Technological University have been examined.

Не будет преувеличением утверждение, что исследования явлений, связанных с поляризацией вещества, представляли актуальное направление на протяжении всей истории развития физической науки. Поляризацию здесь следует понимать в широком смысле — как электрическую, так и магнитную (т. е. намагничивание). Эффекты поляризации во многих случаях послужили ключом к разгадке строения материи, они также находят разнообразные практические применения. На кафедре физики БГТУ проблемы поляризованного состояния изучались на протяжении трех последних десятилетий. Целью настоящего обзора является рассмотрение важнейших идей, которые послужили развитию этого направления.

В начале 70-х годов доц. М.А. Олехновичем были проведены первые измерения электрических свойств технологических материалов [1, 2]. В течение последующего десятилетия им в сотрудничестве со специальными кафедрами были исследованы электрические характеристики модифицированной древесины [3], композиционных материалов на основе полиолефинов [4], материалов целлюлозно-бумажной промышленности, керамики, стекла, органических жидкостей и др. Полученные частотные зависимости диэлектрической проницаемости, тангенса угла диэлектрических потерь и статическая проводимость использовались для разработки технологического процесса получения этих материалов и контроля их качества, в частности:

- для сушки и склеивания модифицированной древесины токами высокой частоты, отработки оптимальных режимов отверждения введенных в древесину смол, выяснения особенностей взаимодействия древесины с полимером;

- для подбора вводимых в исходные полиолефины стабилизирующих добавок, контроля за соблюдением технологических режимов при изготовлении композиционных материалов на основе полиолефинов;

- для выбора наполнителей с целью получения радиационно-стойких композиционных материалов.

Новый импульс это направление получило в начале 80-х годов, когда начали проводиться исследования свойств ферроколлоидов, которые известны как магнитные жидкости. Замечательной особенностью этих материалов является то, что в них процессы намагничивания обуславливают уникальные для текучих сред механические свойства. В 1985 году вышла в свет одна из первых в мире монографий, в которой проведено широкое рассмотрение магнито-механических эффектов в магнитных жидкостях [5]. В ней, в частности, представлена теория магнито-механических эффектов, связанных с возникновением в неравновесных условиях диссипативной составляющей намагниченности, которая позволила описать казавшийся в то время весьма необычным новый тип конвективного движения (ротационную конвекцию) и предсказала винтовые неустойчивости течений в однородном магнитном поле. Ротационная конвекция представляет собой макроскопическое движение диэлектрических ферроколлоидов, возникающее под действием вращающегося поля, и используется в вискозиметрических исследованиях, а также для интенсификации теплообмена в электрических машинах. Особенность винтовых неустойчивостей состоит, к примеру, в том, что прямолинейное куэттовское либо пуазейлевское течение при сравнительно невысоких числах Рейнольдса становится винтовым. Этот эффект открывает новый аспект фундаментальной проблемы — переход от ламинарного к турбулентному режиму течения жидкостей. Теоретическому исследованию устойчивости течений ферроколлоидов посвящена также более поздняя работа [6].

В дальнейшем, однако, общая направленность исследований сместилась в сторону эффектов, обусловленных равновесной намагниченностью, имеющих большее практическое значение. В работе [7] дано описание взаимодействия малых тел, взвешенных в магнитной жидкости, что имеет значение: а) для описания свойств полученного и

исследованного позднее нового материала — суспензий слабомагнитных частиц в магнитных жидкостях; б) для объяснения поведения инородных примесей в магнитножидкостных устройствах.

Другим важным итогом работы в первом пятилетии 80-х годов явилось создание методики и оборудования для диагностики ферроколлоидов по магнитным, денситометрическим и реологическим характеристикам. Эта методика имела решающее значение для результатов, полученных в ходе дальнейших исследований. Так, обобщение измерений магнитных характеристик привело к формулировке уравнения статического намагничивания магнитных жидкостей [10], которое было положено в основу моделей, описывающих а) удержание ферроколлоидов неоднородным магнитным полем при дестабилизирующем воздействии силы тяжести [8]; б) гидродинамические силы в смазочном слое [11]; в) движение малых капель ферроколлоидов в неоднородном поле [12] и др. эффекты. По этой методике была проведена [15] диагностика продуктов на различных стадиях технологического процесса получения ферроколлоидов методом пептизации через пасту. При этом обнаружилась новая структурная особенность магнитных жидкостей — возможность получения текучих образцов, обладающих существенной остаточной намагниченностью и коэрцитивной силой, которая открывает перспективы создания текучих магнитов (в то время как традиционные магнитные жидкости имеют намагниченность только в присутствии внешнего магнитного поля). С другой стороны, обнаружение магнитножесткой фракции имеет важное значение для традиционных приложений — эта фракция может оказывать существенное влияние на потребительские свойства магнитных жидкостей, в частности на триботехнические характеристики [14].

Фундаментальные исследования сопровождались прикладными разработками, которые выполнялись в сотрудничестве с коллективом кафедры гидравлики. В 1980-1996 гг. заведующим этой кафедры был проф. В.Ф. Медведев, который заинтересовался проблемами получения и применения магнитных жидкостей и начал активно развивать это направление. Результатом сотрудничества стали а) новые технологии и образцы магнитных жидкостей различного назначения, к примеру [9]; б) новый элемент уплотнительной техники — магнитножидкостный затвор [13]; в) устройства по разделению магнитных эмульсий; г) магнитножидкостные смазочные узлы и др. Эта проблематика послужила хорошей школой для подготовки высококвалифицированных специалистов. Кандидатские диссертации защитили В.Н. Лашкевич и

А.С. Дмитриченко (уплотнения), В.Н. Бакаленко (сепарация), В.В. Дударев (смазочные узлы).

К середине 90-х годов был накоплен большой опыт разработки магнитножидкостных устройств исследовательского и технического назначения, а также ферроколлоидов с требуемыми физическими и потребительскими свойствами. Обобщением этого опыта стала концепция магнитных резервуаров, основные положения которой впервые сформулированы в работах [16, 17]. Появление концепции обусловлено следующими предпосылками.

Действие магнитножидкостных устройств различного назначения основано на использовании закономерностей широкого круга общенаучных и технических дисциплин, таких, как коллоидная химия, теплофизика, электродинамика и механика сплошных сред, электротехника, трибология и др., глубокое освоение которых требует многолетних усилий. Для сокращения времени включения молодых исследователей в практическую работу назрела необходимость введения обобщенных понятий, характеризующих различные магнитножидкостные устройства независимо от их конкретного назначения и систематизации на этой основе разнообразной научно-технической информации. Работа над такой концепцией позволила также сформулировать проблемы [18], на решение которых были направлены усилия во втором 5-лети 90-х годов.

Ключевой проблемой магнитных резервуаров является проблема их стабильности. Ограничения на область стабильности накладывают термическая, гидродинамическая, агрегативная, седиментационная и др. неустойчивости. Одним из наиболее существенных факторов, ограничивающих область применения наиболее распространенных (уплотнительных) резервуаров, является диссипативный разогрев жидкости вследствие ее интенсивного сдвигового течения. В работе [19] развита теория, которая позволяет рассчитать максимальное значение температуры в уплотнительных резервуарах в зависимости от относительной скорости движения поверхностей, геометрических и материальных параметров. Гидродинамический механизм неустойчивости состоит в дестабилизации свободной границы гидродинамическими силами. В работе [20] численными методами на основе гидродинамической модели исследована область устойчивости уплотнительного торроидального резервуара, дестабилизирующим фактором которого являются центробежные силы.

Второй крупной проблемой, решаемой в настоящее время [21], к активной разработке которой подключился асс. А.Б. Сухоцкий [22],

является исследование механо-магнитных эффектов. В монографии [5] и более поздних монографиях других авторов основное внимание уделялось рассмотрению магнитно-механических эффектов, которые являются более очевидными и легко регистрируемыми. Вместе с тем механические процессы, к примеру перемещение магнитных тел в магнитных резервуарах, неразрывно связаны с изменениями магнитного поля в окружающем пространстве, однако этой стороне явлений не уделялось должного внимания. Изучение этой связи открывает новые возможности для приложений, в частности для разработки механо-магнитных преобразователей, исследования структуры магнитных жидкостей.

В заключение отметим, что перспектива развития исследования явлений, связанных с электрической и магнитной поляризацией вещества, в БГТУ, на наш взгляд, состоит в расширении круга рассматриваемых материалов и переходе на более глубокий микроскопический уровень рассмотрения явлений.

ЛИТЕРАТУРА

1. Олехнович А.М., Савиных В.П., Спиридонов В.М. Диэлектрические свойства композиционных древесных пластиков на основе феностиролов // Механическая технология древесины. Минск: Вышэйшая школа, 1971. - № 1 - С. 61 - 67.
2. Ревяко М.М., Олехнович А.М., Маркина А.Я., Полуянович В.Я. Свойства стеклонаполненного полиэтилена // Обмен опытом в радиоэлектронной промышленности. М.: Энергия, 1971. - № 5. - С. 46-49.
3. Олехнович А.М., Туровец Л.Ф., Олехнович Ф.М., Туманов С.Д. Учет электрических и теплофизических свойств модифицированной древесины при выборе области ее рационального использования // Материалы Всесоюзной научной конференции "Рациональное и комплексное использование древесины в д/о промышленности". Минск, 1974. - С. 263-266.
4. Олехнович А.М., Соколов А.Н. Ингибирование окислительной деструкции полиолефинов смесью диоксидфенил пропана // Химия и химическая технология. Минск: Вышэйшая школа, 1977.
5. Баштовой В.Г., Берковский Б.М., Вислович А.Н. Введение в термомеханику магнитных жидкостей. М.: ИВТАН, 1985. -188 с. Bashtovoy V. G., Berkovsky B.M., Vislovich A.N. Introduction to thermomechanics of magnetik fluids. - Washington: Hemisphere Publ. Corp., Berlin: Springer-verlag, 1988. 216 p.

6. Вислович А.Н., Новиков В.А., Сеницын А.К. Влияние магнитного поля на тэйлоровскую неустойчивость в магнитных жидкостях // Журнал прикладной механики и технической физики, 1986, № 1. - С. 79-86.
7. Вислович А.Н., Лобко С.И., Лобко Г.С. Взаимодействие твердых тел, взвешенных в магнитной жидкости // Магнитная гидродинамика, 1986, № 4. - С. 43-51.
8. Medvedev V.F., Vislovich A.N., Bakalenko V.I., Olekhnovich A.M. Magnetic fluid in the field of a plane magnet // J. MMM. - 65 (1987). - P 227-230.
9. Медведев В.Ф., Сулоева Л.В., Лашкевич В.И., Вислович А.Н. Способ получения магнитной жидкости. Ас. 1457687, 1988.
10. Вислович А.Н. Феноменологическое уравнение статического намагничивания // МГ, № 2, 1990. - С.54 - 60.
11. Вислович А.Н., Дударев В.В., Медведев В.Ф. Влияние магнитного поля на гидродинамику магнитножидкостного смазочного слоя между выпуклыми профилями // Трение и износ, 1990. Т. 11, № 4. - С. 689-696.
12. Бакаленко В.И., Вислович А.Н., Медведев В.Ф. Движение капель магнитной жидкости в неоднородном магнитном поле // Весці АН БССР, сер. фіз. энерг. 1990, № 3. - С. 86 - 90.
13. Вислович А.Н., Дмитриченко А.С., Медведев В.Ф. Пределы герметичности магнитножидкостных затворов // МГ, 1990, № 3. - С. 135 - 138.
14. Вислович А.Н., Данилов В.Д., Дударев В.В., Сулоева Л.В. Магнитные и триботехнические свойства магнитных жидкостей // Трение и износ, 1992, т.13, № 2. - С. 271. - 279.
15. Вислович А.Н., Лесникович А.И., Воробьева С.А., Шункевич Т.М. Магнитножесткая фракция в технических ферроколлоидах // Магнитная гидродинамика, 1993, т. 13, № 2. - С. 35 - 42.
16. Вислович А.Н. Магнитные резервуары // Труды БГТУ, сер. физ.-мат. науки, 1995, вып. II. - С. 66 - 76.
17. Вислович А.Н. Точечная модель магнитных резервуаров // Труды БГТУ, вып. IV. Физ.-мат. науки, 1996. - С. 55-65.
18. Vislovich A.N. Some problems of torroidal magneto-fluid reservoirs // The 7-th International Plyos conference on magnetic fluids, Pyos, 1996. - P. 71-72.
19. Вислович А.Н. К теории диссипативного разогрева магнитножидкостных уплотнений // Тепломассобмен-96, III, Минский ме-

- ждународный форум, том I, конвективный теплообмен, часть 1. Минск, 1996. - С. 177-181.
20. Vislovich A.N. and Polevikov V.K. Concerning numerical simulation of the failure of a magnetic fluid seal with a rotary outen profiled cylinder // J. of Engineering Physics and Thermophysics, 1997, V. 70, № 1. - P. 105-110.
 21. Vislovich A.N. Interaction of currents and magnets in magnetic fluids // Eight Int. conf. on magnetic fluid. Timisoare, Romania, 1998. - P. 279-280.
 22. Вислович А.Н., Сухоцкий А.Б. Отражение пространственной гармоник магнитостатического поля от намагничивающего слоя // Труды БГТУ, сер. физ.-мат. науки. 1999, вып. VII. - С. 78-91.

УДК 539.23.234

И. С. Ташлыков, профессор

ИОННО-АССИСТИРОВАННОЕ В УСЛОВИЯХ САМОРАДИАЦИИ ОСАЖДЕНИЕ ПОКРЫТИЙ

The development in the structure and composition of metal-based films on substrate formed by self ion assisted deposition of metal ($Me=Ti, Cr, Zr, Mo, W$) onto silicon, aluminium and aluminium alloys, steel, elastomer using a method in which Me deposition was accompanied by bombardment by 5, 10, or 20 keV is reported. Analysis was carried out using RBS, TEM, EDS, SIMS, PIN PULL TEST, and NMA methods. The films are found to have a uniform thickness, are amorphous in the interface region and include small (up to 10 nm) polycrystalline Me precipitates. Elemental analysis of the coatings shows a high content of oxygen, carbon, hydrogen and elements from substrate.

1. Введение

Осаждение тонких пленок на изделия широко используется для производства защитных, функциональных, а также декоративных покрытий. Среди множества методов вакуумное напыление таких покрытий представляется сравнительно простым, дешевым и поэтому достаточно широко применимым методом. Вместе с тем адгезионная устойчивость таких покрытий не всегда отвечает предъявляемым требованиям, а сами покрытия испытывают высокое внутреннее напряжение и, как следствие, имеют ограниченный срок службы.

Известно, что во многих случаях требуемой адгезии покрытия к изделию можно достичь его физическим «сшиванием» с подложкой, используя метод ионно-ассистированного осаждения тонкой пленки, в