

МАГНИТНАЯ ГИДРОДИНАМИКА – ОТ ПРОБЛЕМ МЕТАЛЛУРГИИ ДО ГАЛАКТИК



*П.Г. Фрик,
доктор физико-
математических наук,
заведующий лабораторией
физической гидродинамики,
Институт механики сплошных
сред УрО РАН*



*С.Ю. Хрипченко,
доктор технических наук,
ведущий научный сотрудник,
Институт механики сплошных
сред УрО РАН*

Уже несколько лет в лаборатории физической гидродинамики Института механики сплошных сред реализуется программа развития экспериментальной базы для работы с жидкими металлами. Создана база для экспериментов с жидким галлием, жидким магнием и жидким натрием, позволившая значительно активизировать работы по прикладной магнитной гидродинамике, а также развернуть исследования центральной фундаментальной проблемы магнитной гидродинамики – явления МГД-динамо.

Институтом механики сплошных сред Уральского отделения Российской академии наук ведутся работы, в которых органично сочетаются исследования фундаментальных проблем магнитной гидродинамики и решения важных прикладных задач, направленных на создание новых технологических устройств для промышленности.

В лаборатории физической гидродинамики этого института разработаны оригинальные подходы к описанию процессов генерации магнитных полей в движущихся турбулентных потоках проводящей жидкости, позволяющие лучше понять происхождение космических магнитных полей (полей планет, звезд, галактик). Совместно с радиоастрономами ведется обработка наблюдательных астрофизических данных, позволяющих получить характеристики космических магнитных полей. В лаборатории создается уникальная экспериментальная установка для изучения механизмов генерации магнитного поля космических объектов.

В области прикладных исследований разрабатываются МГД-насосы и перемешиватели для жидких металлов, таких как галлий, олово, свинец, магний, натрий и др. МГД-насосы для магния и МГД-перемешиватели для алюминия уже созданы и испытаны в производственных условиях. Эти устройства, не имея подвижных частей и электрических обмоток, работают, используя принцип взаимодействия электромагнитных полей с жидким металлом.

Вопреки расхожему мнению, что академическая наука занимается только фундаментальными проблемами, далекими от реальных приложений, ученые Академии наук, безусловно, понимают, что практические результаты – это логическое продолжение фундаментальных разработок. Примером успешного сочетания фундаментальных и прикладных исследований может служить деятельность лаборатории физической гидродинамики Института механики сплошных сред. Уже несколько лет здесь реализуется

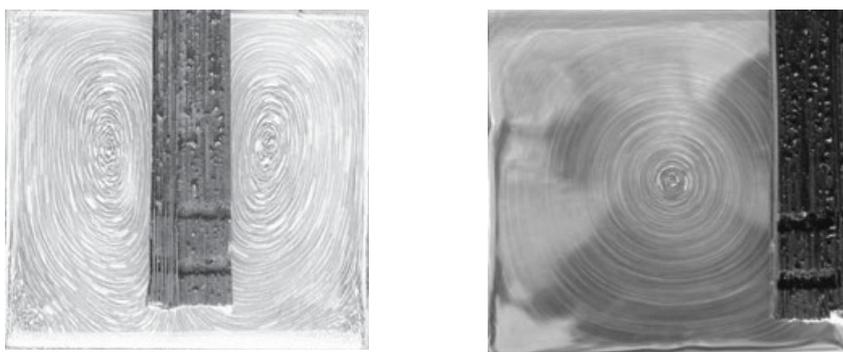


Рис.1. Электровихревые течения жидкого металла в лабораторных установках. Течение обусловлено взаимодействием протекающего по металлу тока с собственным магнитным полем, искаженным ферромагнитными брусками, расположенными по центру и сбоку кюветы

ся программа развития экспериментальной базы для работы с жидкими металлами, поддержанная грантами Международного научно-технического центра и Российского фонда фундаментальных исследований. В рамках этой программы создана база для экспериментов с жидким галлием, жидким магнием и жидким натрием, позволившая значительно активизировать и работы по прикладной магнитной гидродинамике, а также развернуть исследования центральной фундаментальной проблемы магнитной гидродинамики – явления МГД-динамо.

Аббревиатурой МГД обозначают магнитную гидродинамику – науку о движении жидкостей и газов с хорошей электрической проводимостью. К последним, безусловно, относятся жидкие металлы, а также ионизированные газы (плазма), составляющие основу не только звезд, но и межзвездной среды. Эффект МГД-динамо заключается в том, что при достижении определенных критических па-

раметров движущаяся проводящая среда может самопроизвольно генерировать магнитное поле. По современным представлениям, магнитные поля планет, звезд и галактик обусловлены именно эффектом МГД-динамо.

Теория МГД-динамо активно развивается в течение последнего полувека, но до полного понимания этого чрезвычайно сложного нелинейного явления еще очень далеко, и наряду с теоретическими моделями необходимы все новые наблюдательные данные о структуре и эволюции реальных космических магнитных полей, а также лабораторные эксперименты. Проведение экспериментов в лабораторных условиях осложняется тем, что динамо относится к критическим явлениям и возникает только при достижении критических режимов, возможных лишь при течении больших масс хорошо проводящей жидкости с высокими скоростями, да еще и характеризующихся достаточно сложной топологией.



Рис. 2. Галактика М31 (Туманность Андромеды) – как и многие другие галактики, она имеет собственное магнитное поле, возникновение которого возможно только благодаря эффекту МГД-динамо



Рис. 3. Канал экспериментальной динамо-установки. Этот канал будет заполнен жидким натрием и раскручен до 2000 оборотов в минуту. Резкое торможение канала вызывает в нем винтовой поток жидкого металла, который и должен обеспечить эффект генерации магнитного поля



Рис. 4. Процесс непрерывного литья алюминиевых слитков с использованием МГД-перемешивателя, разработанного и изготовленного в Институте механики сплошных сред УрО РАН. Процесс литья осуществляется в ВАМИ

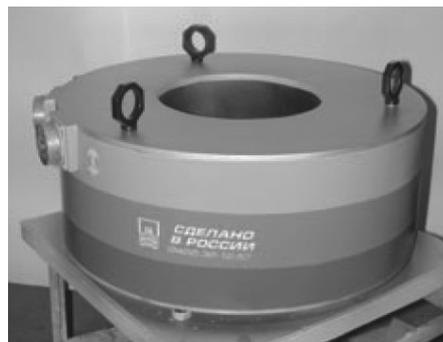


Рис. 5. МГД-перемешиватель для производства цилиндрических полунепрерывных слитков из алюминия и его сплавов и производства композитных материалов на основе алюминия. Перемешиватель осуществляет отдельно регулируемое перемешивание металла в двух плоскостях

Динамо-эксперименты долгое время оставались мечтой специалистов, и только в последнее десятилетие начались работы по реализации динамо в лабораториях. Соответствующие динамо-проекты ведутся сегодня в Германии, Франции, США и Латвии. Создаются установки, стоящие миллионы долларов и потребляющие большое количество энергии.

В Перми предложили свой оригинальный путь решения проблемы, отказавшись от идеи реализации динамо в стационарном потоке металла. Пермский проект направлен на изучение эффекта динамо в импульсном режиме. Жидкий натрий заключен в тороидальный канал, который раскручивается до больших скоростей, накапливая тем самым значительный запас кинетической энергии. После разгона канал резко останавливается, и силы инерции, прогоняя жидкий металл через специальные крыльчатки-диверторы, обеспечивают в канале ин-

тенсивное течение с заданной геометрией. При достижении расчетных параметров поток металла должен обеспечить генерацию магнитного поля в течение короткого (порядка секунды) времени, достаточного для регистрации эффекта и его исследования. Идея была опробована на установках-прототипах и вызвала большой интерес в кругу специалистов. В начале 2005 года в Перми состоялось представительное международное совещание по проблеме МГД-динамо, на котором были представлены результаты всех экспериментальных групп, работающих в мире над этой проблемой, а также физиков-теоретиков и астрофизиков, специализирующихся на изучении природы космических магнитных полей.

Исследование эффекта самопроизвольного возникновения магнитного поля важно с практической точки зрения. Охлаждение атомных реакторов происходит с помощью жидкого натрия. При увели-



Рис. 6. Электровихревой МГД-насос установлен на тигель с жидким магнием для разлива металла в крупногабаритные слитки на Соликамском магниевом заводе



Рис. 7. Момент розлива магния в изложницы на конвейере при помощи насоса

чении размера реакторов, соответственно, увеличиваются объемы жидкого металла, который движется с большой скоростью, и проводимость которого очень высока. В результате может самопроизвольно возникнуть магнитное поле, которое способно изменить процесс тепломассопереноса в реакторе. Такую возможность надо предвидеть и предотвратить.

Исследования в области магнитной гидродинамики имеют и другие практические приложения, особенно актуальные в металлургии. Дело в том, что электромагнитное поле активно воздействует на жидкий металл. Меняя величину магнитного поля и его конфигурацию, а также величину электрического тока, который пропускается через жидкий металл, можно управлять его потоками.

В лаборатории ведутся работы по изучению и применению так называемых электровихревых течений. Сущность явления в том, что при протекании по жидкому проводнику электрического тока в нем возникают силы, обусловленные взаимодействием электрического тока с собственным магнитным полем. При достаточно сильных электрических токах электромагнитные силы могут генерировать различного рода течения жидкого металла, по которому ток и протекает.

На основе исследований электровихревых течений в лаборатории были разработаны различные насосы, перемешиватели, сепараторы для перекачивания, перемешивания и очистки жидких металлов. Достоинством этих устройств является отсутствие специальных электрических обмоток для создания магнитного поля, которые чувствительны к воздействию различных агрессивных факторов литейного производства. Кроме того, отсутствие обмоток позволяет опускать такие насосы ниже уровня жидкого металла, делая их погружными. Погружные насосы удобны в эксплуатации, так как для запуска они не нуждаются в вакуумировании при предварительном заполнении канала металлом.

В настоящее время процесс розлива магния в слитки осуществляется в основном традиционным способом: из цеха производства к месту розлива в слитки магний транспортируется при помощи вакуумных ковшей, перевозимых на кадрах и вагонетках. Розлив в литейные формы в основном производится ручным ковшом или переливом из раздаточного тигля при помощи специальных гидравлических механизмов, наклоняющих тигель. Применение МГД-установок (имеющих в составе МГД-насос) для подачи металла на конвейер разливки магниевых слитков позволит перекачивать магний по трубам, тем самым снизить его окисление и забирать металл более чистым из-под поверхности расплава. МГД-установка с МГД-насосом не имеет движущихся частей, поэтому металл не перемешивается с донными осадками и поступает на конвейер более чистый. Кроме того, МГД-установка позволяет просто управлять процессом розлива слитков и максимально изолировать металл от внешней атмосферы, не допуская попадания вредных газов в атмосферу литейного цеха и снижая риск профессиональных заболеваний.

В лаборатории физической гидродинамики создан новый класс электровихревых насосов для перекачивания цветных металлов. Они прошли опытную эксплуатацию на Березниковском титаномагниево-комбинате и Соликамском магниево-заводе. Разработанный и изготовленный в лаборатории перемешиватель жидкого алюминия для приготовления полунепрерывных слитков нашел применение во Всероссийском алюминиево-магниево-институте, на Каменск-Уральском металлургическом заводе, в Исследовательском центре ROSSENDORF (Германия) и в фирме CIDAUT (Испания). В настоящее время в лаборатории разрабатываются новые МГД-устройства, а также ведутся работы по исследованию процесса МГД-сепарации с целью создания оборудования для очистки жидкого металла.