

ни, а эффективный ток электронов через мишень, пропорциональный числу прохождений, будет максимальным.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. V.V. Kaplin, L. Lombardo, A.A. Mihal'chuk, M.A. Piestrup, S.R. Uglov, Nucl. Inst. and Meth. in Phys. Res. B145, 244-252 (1998).
2. V.V. Kaplin, S.R. Uglov, O.B. Bulaev, V.J. Goncharov, M.A. Piestrup and C.K. Gary, Nucl. Inst. and Meth. in Phys. Res. B173, 3-15 (2001).
3. M.I. Ter-Mikaelian, High Energy Electromagnetic Processes in Condensed Media, Wiley, New York (1972).

УДК 534.6.08

В. Я. ГРОШЕВ

ЭФФЕКТИВНОСТЬ ЭМА ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯ КАК ГЕНЕРАТОРА УЛЬТРАЗВУКОВЫХ КОЛЕБАНИЙ

В предлагаемой статье сделана попытка объяснить причины низкой эффективности ЭМА преобразователей, которая не может быть существенно увеличена за счет совершенствования их конструкции.

Как известно, эффективность возбуждения ультразвука с помощью электромагнитно-акустического преобразователя (ЭМАП) определяется двумя процессами – процессом возбуждения вихревого тока в поверхности изделия и процессом взаимодействия постоянного магнитного поля и объема вещества в материале изделия с протекающим по нему вихревым током.

Эффективность первого процесса можно оценить по уменьшению напряжения на возбуждающей катушке ЭМАП при ее приближении к поверхности изделия. На рис. 1 представлена снятая экспериментально зависимость амплитуды напряжения на возбуждающей катушке ЭМАП в зависимости от зазора между этой катушкой и поверхностью изделия (рабочая частота 1,25 МГц, начальная амплитуда – 280 В).

Из этой зависимости следует, что электромагнитная энергия достаточно эффективно поглощается материалом изделия (причем при весьма слабой зависимости от ρ контролируемого металла) – почти 30% излучаемой энергии поглощается в изделии при минимальном зазоре и примерно 1,5% – при зазоре в 2 мм. Если допустить, что процесс приема электромагнитной волны столь же эффективен, то общий коэффициент преобразования, обусловленный потокоцеплением катушек и изделия, должен был бы изменяться в этих условиях от $9 \cdot 10^{-2}$ до $2,25 \cdot 10^{-4}$. Допустим, что коэффициент трансформации от возбуждающей к приемной катушке равен 1. Допустим также, что всего 10% электрической энергии, поглощенной в изделии, преобразуется в механическую энергию ультразвуковых колебаний. В таком случае при начальной амплитуде напряжения на возбуждающей катушке 280 В амплитуда полезного выходного сигнала при изменении немагнитного зазора между ЭМАП и изделием должна была бы изменяться в пределах от 2,5 В

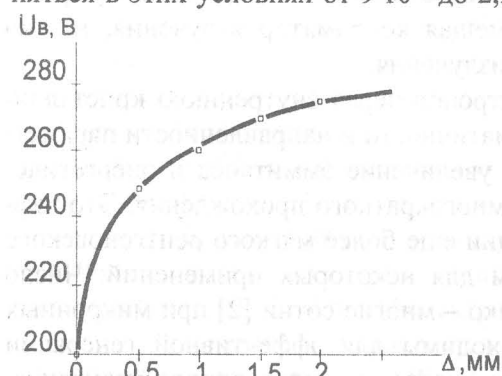


Рис.1

($280 \times 9 \cdot 10^{-2} \times 0,1$) до примерно 6 мВ, что соответствует уровню выходных сигналов, снимае-

мых с пьезоэлектрических преобразователей.

Однако реальные выходные сигналы даже оптимально выполненных ЭМАП, размещенных над поверхностью алюминиевых изделий, по нашим измерениям имеют меньшую амплитуду примерно в $(1-3) \cdot 10^3$ раз. При возбуждении ультразвука в стальных изделиях указанные амплитуды уменьшаются еще примерно втрое. Аналогичные данные приводятся в [1]. При увеличении коэффициента трансформации между возбуждающей и приемной катушками удастся увеличить коэффициент преобразования примерно на порядок (дальнейшее увеличение коэффициента трансформации ограничивается ухудшением частотных свойств ЭМАП). Нами поставлена задача установить, является ли крайне малый коэффициент преобразования результатом ошибок в конструкции ЭМАП, сводящих на нет возможности используемого способа преобразования электрической энергии в энергию механических колебаний, или сам этот способ, основанный на взаимодействии вихревого тока в поверхности изделия и поля постоянного магнита, не позволяет обеспечить эффективное возбуждение ультразвука.

Рассмотрим модель ЭМА преобразователя в момент возбуждения колебаний (рис. 2).

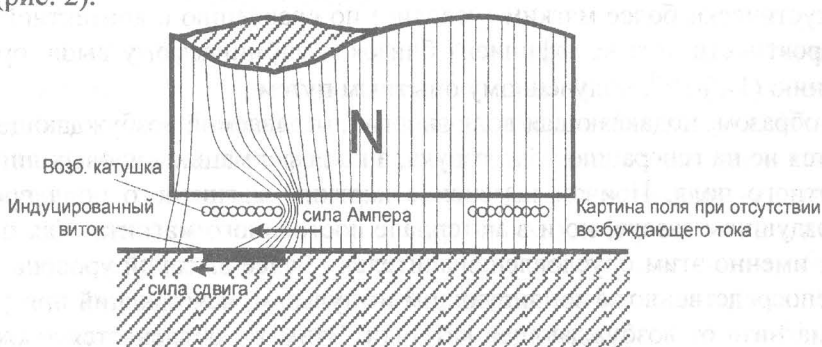


Рис. 2

Обычно силой, создающей ультразвуковые колебания, считают силу Лоренца, воздействующую на электроны в проводящем материале. Однако такая модель неудобна, так как взаимодействие с практически безынерционными электронами не определяет напрямую возникновение механической силы в изделии. Мы будем рассматривать в качестве механической силы, возбуждающей ультразвуковые колебания, силу Ампера, которая действует на индуцированный в изделии возбуждающей катушкой виток с переменным током, обладающий вполне конкретной массой. Следует отметить, что сила Ампера является статической и приложена между витком тока в изделии и массой постоянного магнита. При этом, если бы магнит был жестко закреплен на изделии, а ток в индуцированном витке не изменялся бы по величине достаточно длительное время, то сила сдвига, действующая на индуцированный виток и, в конечном итоге, порождающая ультразвуковую волну, была бы равна силе Ампера.

Однако такая картина противоречит сущности ЭМА преобразователя, у которого механический контакт между постоянным магнитом и изделием отсутствует из-за наличия воздушного зазора, а трансформаторный способ возбуждения тока в поверхности изделия не позволяет обеспечить его постоянство в течение длительного времени. Поэтому сила сдвига (то есть та сила, которая возбуждает механические колебания в изделии) не равна силе Ампера, так как последняя приложена между изделием и постоянным магнитом не непосредственно, а через силовые линии постоянного магнитного поля, которое обладает упругими свойствами. В этом можно убедиться, сближая два магнита одноименными полюсами, причем нет никаких оснований предполагать, что упру-

гие свойства постоянного магнитного поля зависят от частоты (по крайней мере, до частот в несколько МГц, т.е. до рабочих частот ЭМАП).

С учетом этого, механизм возбуждения силы сдвига в изделии можно представить следующим образом – при возникновении импульса тока в возбуждающей катушке силовые линии постоянного магнитного поля смещаются в пространстве в одну сторону, а индуцированный в поверхности изделия виток тока – в противоположную. При этом картина в общих чертах напоминает процесс перехода волны из одной среды в другую, однако в рассматриваемом случае исходной является не материальная среда, а магнитное поле.

Следовательно, при возбуждении ультразвука с помощью ЭМА преобразователя механическое усилие передается через упругую среду, и в этом отношении он подобен пьезоэлектрическому генератору ультразвука, возбуждающему ультразвуковую волну в металлическом изделии через воздушный промежуток. При этом первый настолько же эффективнее второго, насколько магнитное поле можно считать акустически более твердым по сравнению с воздухом, и настолько же уступает в эффективности пьезо-преобразователю с жидкостным акустическим контактом, насколько магнитное поле является акустически более мягким (условно) по сравнению с контактной жидкостью. По всей вероятности этот коэффициент близок к упоминаемому выше ориентировочному значению $(1-3) \cdot 10^{-3}$, полученному опытным путем.

Таким образом, подавляющая доля энергии, отдаваемой возбуждающей катушкой, затрачивается не на генерацию ультразвука, а на деформацию силовых линий постоянного магнитного поля. Причем изменение картины магнитного поля происходит не только в воздушном зазоре, но и в материале постоянного магнита. Как показали эксперименты, именно этим обусловлен значительно более высокий уровень шума в зоне 4 - 6 мкс непосредственно за зондирующим импульсом, исчезающий при удалении постоянного магнита от возбуждающей катушки. Этим же объясняется также различная зависимость чувствительности ЭМА преобразователя от величины воздушного зазора между катушками и изделием при использовании разных постоянных магнитов с одинаковым значением $B_{ст}$, поскольку при увеличении зазора шунтирующее действие изделия на переменную составляющую магнитного поля уменьшается, а энергия, поглощаемая в теле постоянного магнита, увеличивается. При этом магниты худшего качества (только с точки зрения применения в ЭМА преобразователях) позволяют получить меньший сигнал, который быстрее уменьшается при увеличении воздушного зазора. По нашим исследованиям, например, магниты **Nd-Fe-B** в значительно меньшей степени взаимодействуют с переменным магнитным полем, нежели магниты **Sm-Co**.

Еще одной причиной, способствующей снижению эффективности ЭМАП, может являться смещение катушки возбуждения относительно постоянного магнита или изделия при прохождении импульса тока. Очевидно, что вихревой ток в поверхности изделия будет смещаться вслед за катушкой возбуждения, а как известно, удар по удаляющемуся объекту всегда имеет меньшую силу, нежели по неподвижному.

Таким образом, низкая эффективность возбуждения ультразвука и, как следствие, крайне низкий коэффициент преобразования определяется физическим принципом функционирования ЭМАП, скомпенсировать недостатки которого вряд ли возможно за счет совершенствования конструкции преобразователя. Это делает попытки применения ЭМА преобразователей для решения широкого класса задач контроля совершенно неоправданными, особенно в переносной аппаратуре, поскольку они более чем на три порядка уступают по чувствительности пьезоэлектрическим преобразователям при равной мощности зондирующего импульса. Поэтому областью применения ЭМАП может быть только решение узкоспециальных задач, когда применение жидкостного аку-

стического контакта совершенно невозможно, а мощность зондирующего импульса не ограничивается соображениями экономичности и возможностями постоянных магнитов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Й. Крауткремер, Г. Крауткремер. Ультразвуковой контроль материалов: Справочник. – М.: Изд-во Металлургия, 1991.

УДК 681.2:532.14

А.И. ЧЕПРАСОВ, Н.В. ШАВЕРИН

СИСТЕМА ИЗМЕРЕНИЯ ПЛОТНОСТИ НЕФТЕПРОДУКТОВ В ТРУБОПРОВОДАХ “УЛЬТРАЗОНД-50”

В работе предлагается новая измерительная система, предназначенная для автоматизированного контроля плотности нефтепродуктов.

Контроль плотности нефтепродуктов (НП) с регламентированной периодичностью и точностью входит обязательным элементом в большинство технологических процессов на предприятиях нефтепереработки и нефтепродуктообеспечения. Поэтому до настоящего времени актуальной задачей является разработка новых автоматизированных средств измерения плотности, обеспечивающих регламентированную точность, способных работать в жестких климатических условиях, удовлетворяющих необходимым требованиям безопасности и доступных по цене для отечественного потребителя.

В последнее время российскими производителями средств измерительной техники выпускались несколько разновидностей автоматических плотномеров [1], однако используемые в большинстве из них несовершенные методы контроля (в основном механические) существенно уменьшают надежность первичных датчиков, усложняют монтаж на объекте контроля и зачастую не обеспечивают необходимую точность измерения. Наиболее перспективными из описанных в [2] методов автоматизированного измерения плотности НП являются радиационный и ультразвуковой, но существенными недостатками первого являются необходимость в специальных мерах защиты окружающей среды и обслуживающего персонала от поражения проникающим излучением, а также обязательное наличие на объекте контроля специальных служб радиационного контроля. Поэтому для создания новой измерительной системы выбран ультразвуковой метод, основанный на измерении скорости распространения акустической волны в НП, отвечающий требованиям безопасности, надежности и точности. Обычно высокая стоимость ультразвуковых измерительных преобразователей, работающих непосредственно в НП, значительно снижена оригинальностью их конструкции.

В предлагаемой измерительной системе оптимально разделены функции управления, измерения и вычисления. На рис. 1 приведена функциональная схема системы, на которой выделены два основных блока: операторская и объект контроля (магистральный трубопровод с НП).

В операторской находится центральный пульт управления, который поочередно включает установленные в трубопроводах датчики плотности, принимает данные измерения, обрабатывает их по описанному в [3] алгоритму и выдает значения плотности на встроенном электронном табло. При необходимости данные передаются в компьютер управления технологическим процессом.