

БОРИРОВАНИЕ ИЗ ПАСТ (ОБМАЗОК)

Нестеренко Е.А. – аспирант

Алтайский государственный технический университет (г. Барнаул)

В настоящее время борирование является одним из наиболее эффективных и перспективных методов химико-термической обработки, применяемых с целью повышения долговечности изделий из сплавов железа. Толщина и структура полученных диффузионных покрытий, а также лежащих под ним переходных зон зависят от химического состава стали, и метода борирования.

Борирование из паст (обмазок) целесообразно применять при упрочнении массивных крупногабаритных изделий, а также при необходимости местного борирования.

Развитие этого направления в борировании стимулируется также возможностью совмещения борирования с существующими на предприятиях режимами термической обработки упрочняемых изделий.

Технология процесса борирования из паст предусматривает выполнение следующих операций: приготовление обмазки, подготовку упрочняемой поверхности к насыщению, нанесение и сушку обмазки, нагрев и выдержку подготовленных к насыщению деталей по заданному режиму, охлаждение и очистку деталей от пасты.

Рекомендуемые составы паст и режимы борирования приведены в таблице 1.

Основные компоненты пасты тщательно смешивают в специальных смесителях и разбавляют связующим до требуемой консистенции. В качестве связующих материалов используют гидролизованный этилсиликат, жидкое стекло, сульфитно-спиртовую барду, раствор клея БФ-2 в ацетоне, цапонлак, декстриновый клей и т. д. консистенция пасты в основном определяется выбранной технологией нанесения ее на детали: пульверизацией, окунанием, кистью. При борировании мелких деталей пасту целесообразно наносить окунанием, на крупные и сложные по конфигурации изделия – кистью или пульверизатором. Толщина обмазки должна составлять 1,5 – 2,5 мм. Обмазку можно наносить в несколько приемов.

В случае использования для реализации режима насыщения скоростных методов нагрева (индукционный нагрев ТВЧ, электроконтактный нагрев ТПЧ и др.), не предусматривающих длительных выдержек при температуре насыщения, дополнительной подготовки деталей к борированию не требуется.

Без какой-либо длительной подготовки подвергают детали борированию и при печном нагреве в вакууме или защитных атмосферах (сухой водород, азот, аргон).

В случае печного нагрева в обычной окислительной среде детали со слоем обмазки требуют специальной защиты от окисления. До недавнего времени такая защита осуществлялась путем упаковки деталей в герметизируемые контейнеры или подобные им приспособления.

Более прогрессивной является технология насыщения из обмазок: на изделия методом окунания наносят слой активной пасты толщиной 1,5-2мм, просушивают его при 40-60°C в течение 10-15 мин, после чего наносят (также методом окунания) слой 1,5-2мм защитной обмазки: 50%B₂O₃+50%SiO₂, замешанной на гидролизованном этилсиликате или смеси ацетона с клеем БФ-2 (4:1), и просушивают защитную обмазку на воздухе в течении 190-15ч. или в сушильном шкафу при температуре 100-250°C в течение 0,5-2ч. Подготовленные таким образом детали можно нагревать любым известным в настоящее время способом. После завершения режима насыщения детали охлаждают на воздухе или подвергают непосредственной закалке.

Очистка изделия от остатков пасты проводится путем кипячения их в воде или растворителя, механическими способами (дробеструйной или гидropескоструйной обработкой).

Таблица 1.Рекомендуемые составы паст и режимы борирования

Методы борирования	Способ борирования	Состав паст, % по массе	Режим насыщения		Толщина слоя мкм	Фазовый состав слоя
			t, °C	τ, ч		
Из обмазок	С использованием: контактного электронагревателя (50 град/сек)	50%B ₄ C+50%Na ₃ AlF ₆ 40%B ₄ C+60%Na ₂ B ₄ O ₇	1000	0.25	40-60	FeB+ +Fe ₂ B
	скоростного печного нагрева (10 град/сек)	70%B ₄ C=30%Na ₃ AlF ₆ (связующее в обоих случаях – раствор нитроцеллюлозной пленки в смеси бутилацетата и ацетона (1:1))	950-1050	0,2-0,3	35-80	FeB+ +Fe ₂ B
	радиационного нагрева	40-60%B ₄ C=60-40%NaF (связующее – сульфитно-спиртовая барда)	1100	0.15-0.2	90-120	FeB+ +Fe ₂ B
	печного нагрева (в герметических контейнерах или с защитными обмазками)	1.80%B ₄ C+20%Na ₃ AlF ₆	800-1050	2-4	50-200	FeB+ +Fe ₂ B
		2.80%(50%Al ₂ O ₃ +50%B ₄ C)+20%Na ₃ AlF ₆	859-1050	2-4	40-220	FeB+ +Fe ₂ B
3.98%[50-80%Al ₂ O ₃ +50-20%(60-70%B ₂ O ₃ +40-30%Al)]+2%NaF (связующее – смесь ацетона с клеем БФ-2)		850-1050	2-4	40-220	FeB+ +Fe ₂ B	
нагрева выделяющей энергo-пастой:	84%B ₄ C+16%Na ₂ B ₄ O ₇	950-1100	-	20-70	FeB	
	22%Al+58%Fe ₂ O ₃ +10%B ₄ C+5%NaNO ₃ +5%SiO ₂	90-95%B+10-5%MgF ₂	950-1100	-	15-60	FeB

Список литературы

1. Ворошнин Л.Г. Борирование промышленных сталей и чугунов. – Мн.: Беларусь, 1981. – 205 с.

ПОВЫШЕНИЕ СТОЙКОСТИ ЖЕЛЕЗОУГЛЕРОДИСТЫХ СПЛАВОВ
ПОВЕРХНОСТНЫМ ЛЕГИРОВАНИЕМ В ПРОЦЕССЕ ЛИТЬЯ ПО
ГАЗИФИЦИРУЕМЫМ МОДЕЛЯМ

Гурьев М.А. - студент, Иванов С.Г. – к.т.н.

Алтайский государственный технический университет (г. Барнаул)

Развитие современных технологий в большинстве случаев тормозится высоким уровнем требований к материалам. К ним предъявляются следующие требования: высокие прочность, твердость, износостойкость с одной стороны и низкие вес, материалоемкость – с другой. В ряде случаев требуются еще и специальные свойства.

Повышения эксплуатационных характеристик сталей можно добиться легированием их другими элементами. Однако в ряде случаев данный способ либо неприменим (легирование бором, азотом), так повышая такие свойства стали как твердость и износостойкость, снижаются другие не менее важные свойства как например пластичность и вязкость. В случае легирования такими металлами как хром, никель, молибден, вольфрам и др., растет стоимость стали. В большинстве случаев детали машин и инструмент работают только поверхностными слоями, поэтому как альтернатива объемному легированию наиболее эффективны будут способы поверхностной обработки сталей и сплавов, такие как химико-термическая обработка (ХТО).

ХТО можно получать упрочненные поверхностные слои на различных сталях и сплавах как на основе традиционных легирующих элементов, так и на основе азота, бора, титана, ниобия, ванадия и других элементов. Наибольшей износостойкостью обладают диффузионные слои на основе бора. Но наряду с высокой твердостью и износостойкостью, боридные слои отличаются и высокой хрупкостью, что мешает их более широкому распространению в качестве износостойких покрытий.

Боридные слои имеют характерное игольчатое строение, что отличает их от цементованных, хромистых, и многих других диффузионных слоев. Игольчатая граница раздела энергетически более выгодна по сравнению с «гладкой» при износе трением ввиду того, что имеет большую поверхностную энергию. При борировании возможно получение как двухфазных боридных слоев, состоящих преимущественно из боридов железа состава FeB и Fe_2B , так и однофазных слоев, состоящих из борида Fe_2B . Моноборид железа FeB обладает более высокой твердостью по сравнению с гемиборидом Fe_2B (до 21000 МПа и 17000 МПа соответственно), одновременно при этом он имеет и более высокую хрупкость: в 2,5–3 раза по сравнению с гемиборидом. Поэтому однофазные диффузионные слои более предпочтительны с точки зрения комплекса эксплуатационных свойств.

В однофазных покрытиях распределение микронапряжений наиболее благоприятно, тогда как в двухфазных покрытиях имеет место резкий перепад микронапряжений на межфазной границе. Причем напряжения, возникающие в фазе FeB , являются растягивающими, тогда как в фазе Fe_2B – сжимающие. Растягивающие напряжения существенно снижают пластичность покрытия. Уже при небольших изгибных, сжимающих и особенно ударных нагрузках происходит разрушение покрытия вплоть до его практически полного отслаивания.

Исследования показали, что фазовый состав борохромированных слоев при одновременном комплексном насыщении бором и хромом получается следующий: на поверхности диффузионного слоя присутствует в основном борид хрома CrB_2 , по мере удаления от поверхности диборид хрома сменяется боридом CrB , появляются карбиды хрома и железа. На глубине около 10–40 мкм в зависимости от состава насыщаемой стали, диффузи-

онный слой представлен в основном диборидом железа Fe_2B , смешанных боридов и карбоборидов железа и хрома.

Проведено насыщение бором и другими элементами непосредственно при изготовлении литой детали. Для осуществления данного эксперимента был выбран метод литья по газифицируемым моделям (основные стадии процесса показаны на рисунке 1), насыщающая обмазка наносилась непосредственно на модель, после чего модель с нанесенной обмазкой просушивалась до получения твердой корки и засыпалась кварцевым песком в специальном контейнере (рисунок 1 а). После засыпки контейнер подключался к вакуумному насосу (рисунок 1 б). Далее следовала заливка жидкого металла. После чего вся система остывала на открытом воздухе, полученные отливки извлекались из формовочной смеси (рисунок 1 в).

В данных условиях образуется боридная эвтектика, которая обладает более высокой вязкостью и пластичностью. Твердость диффузионного боридного слоя, полученного методом литья несколько ниже, чем при твердофазном насыщении стали, однако достаточна для повышения износостойкости упрочненного изделия. Диффузионный слой получался в процессе затвердевания жидкого металла и его охлаждения и имел размеры от 0,5 до 5 мм в зависимости от заливаемого металла (сталь или чугун), температуры заливки и т.д. Размеры переходной зоны находятся в пределах 3–12 мм. Литые диффузионные слои позволят изделию работать в условиях значительных ударных нагрузок. Микроструктура литых диффузионных слоев представляет собой литую боридную эвтектику, дополнительно насыщенную бором, диффундировавшим во время остывания уже затвердевшего металла.



Рисунок 1. Способ литья по газифицируемым моделям.

ТЕРМОДИНАМИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ СОЗДАНИЯ БОРИРУЮЩИХ ОБМАЗОК И ЗАКОНОМЕРНОСТИ ИХ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ

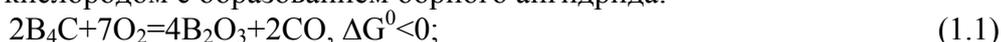
Нестеренко Е.А. – аспирант

Алтайский государственный технический университет (г. Барнаул)

Одним из наиболее эффективных и распространенных способов поверхностного упрочнения является химико-термическая обработка (ХТО). Несомненным достоинством ХТО с помощью обмазок является возможность осуществления упрочнения рабочих поверхностей изделий практически любой формы и габаритов без использования специального оборудования. При этом, используя обмазки различных составов, можно изменять свойства поверхностных слоев изделий, одновременно защищая их от окисления и обезуглероживания. При разработке обмазок основное внимание было уделено борированию как процессу, обеспечивающему наиболее существенное повышение твердости, износостойкости, коррозионной стойкости и других показателей свойств поверхностных слоев изделий из сплавов на основе железа. При этом, важное значение имеет выбор поставщика активных атомов бора, присутствие которого в обмазке должно в решающей мере определять механизм ее функционирования [2].

В качестве боросодержащих компонентов используют карбид бора, феробор, аморфный бор, буру, борный ангидрид и др. из перечисленных веществ первые три имеют сравнительно высокую температуру плавления и часто используются при осуществлении ХТО в порошковых смесях. Бура и борный ангидрид, как вещества, температура плавления которых значительно ниже, чем температуры, при которых обычно проводится Борирование, при твердофазном насыщении используются довольно редко. Естественно, что они не могут являться основой каркасных борлирующих обмазок. При выборе составляющих порошковой части обмазок был проанализирован химизм образования активных атомов бора в окислительной печной среде при температурах 900-1100 °С с использованием в качестве основного боросодержащего компонента В₄С, имеющего наиболее высокую температуру плавления (2470 °С), сравнительно недорогого и широко применяемого в промышленности [2].

Термодинамический анализ показывает, что карбид бора интенсивно взаимодействует с кислородом с образованием борного ангидрида:

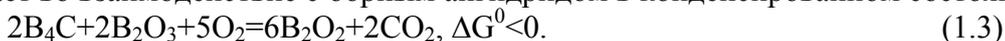


Об этом свидетельствуют значительные по абсолютной величине отрицательные значения энергии Гиббсона.

Приведенные реакции дают основание для вывода о том, что при насыщении в присутствии большого объема кислорода карбид бора довольно быстро превращается в борный ангидрид. В связи с этим при химико-термической обработке сплавов в порошковых смесях на основе В₄С необходимо использовать герметичные контейнеры, которые изолируют компонент от контакта с кислородом. В то же время в случае нанесения на поверхность изделия карбида бора, перемешанного с водой до тестообразной консистенции, в процессе нагрева обмазки вода испаряется, а ее слой при 800-1100 °С образует прочный каркас, хорошо удерживается даже на вертикальных плоскостях. На поверхности обмазки образуется тонкая стеклообразная пленка расплавленного борного ангидрида, изолирующая основную массу обмазки от кислорода печной среды и препятствующая интенсивному окислению карбида бора. Эта пленка расплывается по всей верхней части обмазки. Она образуется непрерывно весь период нахождения изделия в печи, частично при этом испаряясь. В связи с этим толщина обмазки постепенно уменьшается до тех пор, пока не потеряет защитные свойства, после чего наступает прогар поверхностных слоев изделий. Установлено, что обмазка на основе карбида бора толщиной 3мм эффективно действует примерно 4 ч при температуре 930 °С. Поэтому, если продолжительность нагрева обмазки при 900-950 °С меньше, чем 4 ч, ее толщина должна быть 3-4 мм, при выдержке в печи 5-6

ч она составляет 4-5 мм. Присутствие в период нагрева в порах обмазки кислорода благоприятно сказывается на образовании каркаса, так как появившийся среди зерен B_4C легкоплавкий B_2O_3 выполняет роль связующего, прочно удерживающего обмазку на упрочняемой поверхности. Очевидно, что в результате контакта обмазки с атмосферой печи за счет диффузионных процессов возможно проникновение кислорода в глубь обмазки, что играет положительную роль. Следует отметить, что в техническом карбиде бора, используемом при химико-термической обработке, присутствует до 3% борного ангидрида, что положительно сказывается на образовании каркаса обмазки[2].

В присутствии кислорода образование B_2O_3 возможно, даже если карбид бора вступает во взаимодействие с борным ангидридом в конденсированном состоянии:



Однако кислород в сравнительно больших долях присутствует в порах обмазки только в начальный период ее функционирования, затем он вступает во взаимодействие с карбидом бора по реакциям (1.1), (1.2). поэтому, очевидно, реакция (1.3) происходит за счет кислорода, проникающего в среду карбида бора вследствие его диффузии через оболочку из борного ангидрида на поверхности обмазки. Диспропорционирование газообразного соединения B_2O_2 позволяет подводить активные атомы бора к насыщаемой поверхности со всего объема обмазки. Следует отметить, что, хотя при использовании обмазок на основе карбида бора и образуются боридные слои, толщина их настолько мала, что они почти непригодны для борирования в производственных условиях. Низкая активность таких обмазок может быть обусловлена незначительной долей образующей газовой фазы – переносчика бора. При борировании в герметичном контейнере в порошках на основе B_4C с небольшими добавками B_2O_3 , когда используется большой объем смеси, насыщение идет довольно интенсивно. При этом именно появление B_2O_2 определяет процесс диффузионного упрочнения в порошковых смесях на основе карбида бора [1]. Следует отметить, что, несмотря на низкую скорость насыщения бором, обмазка на основе B_4C , препятствуя проникновению кислорода к поверхности металла, эффективно защищает его от окисления и обезуглероживания.

Список литературы

1. Деркач В.Д. и др. Исследование состава газовой фазы над системой $B_4C - B_2O_3$ // Порошковая металлургия. – 1971. - №4. – С. 58-60.
2. Ситкевич М.В., Бельский Е.И. Совмещенные процессы химико-термической обработки с использованием обмазок. – Мн.: Выш. шк., 1987. – 156 с.: ил.

ПРИМЕНЕНИЕ СВЕРХМИНИАТЮРНЫХ ВИХРЕТОКОВЫХ
ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ

ДЛЯ НЕРАЗРУШАЮЩЕГО КОНТРОЛЯ НАНОМАТЕРИАЛОВ

Панов С.Г. – студент, *Дмитриев С.Ф. – к.т.н., Ишков А.В. – к.х.н., д.т.н.

*Алтайский государственный университет (г. Барнаул),

Алтайский государственный технический университет (г. Барнаул)

В современной неразрушающих методах контроля широко используются вихрековые преобразователи (ВТП), которые, возбуждая вихревой ток в исследуемой среде, фиксируют параметры, создаваемого им поля. И если для однородных сред и макроразмерных объектов теоретические расчеты зависимости импеданса от реальной части комплексного вносимого напряжения для таких датчиков известны и описаны в литературе [1, 2, 4], то аналогичная задача для композитных сред и наноразмерных материалов по-прежнему окончательно не решена. Незначительные структурные и физико-химические изменения в таких объектах вызывают малые изменение обобщенного параметра, учитывающего сумму характеристик материала, датчика и самого метода, поэтому для ответа на вопрос о возможности применения ВТП для неразрушающего контроля наноматериалов требуется решение основной задачи вихрековой дефектоскопии для малого значения обобщенного параметра. В [3], авторами была предложена такая модель для случая сплошной среды, которая и используется в представленной работе для аналогичного расчета в случае композитного многослойного материала с наноразмерными параметрами слоев (рис. 1).

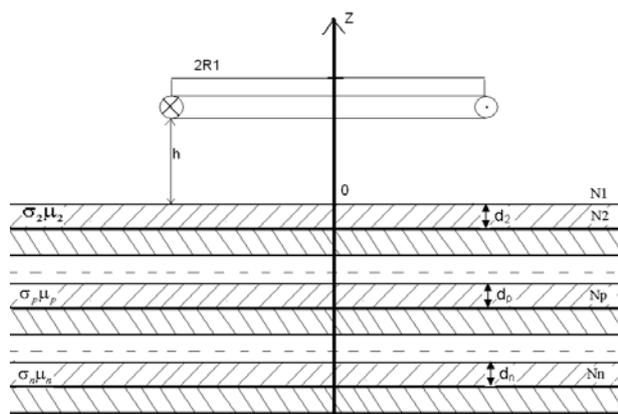


Рис. 1. Использованная модель многослойной нанокompозитной среды.

При нависании витка с током над многослойной средой в плоскости, параллельной границам раздела слоёв, уравнения Максвелла для среды принимают вид:

$$\text{rot } \vec{H} = \vec{J}_{\text{ст}}; \quad \text{rot } \vec{E} = -\partial \vec{B} / \partial t \quad (1, 2)$$

где \vec{H} и \vec{E} – векторы напряженности соответственно магнитного и электрического полей; \vec{B} – вектор магнитной индукции; $\vec{J}_{\text{ст}}$ – вектор плотности полного тока.

Уравнения Максвелла можно свести к уравнению Гельмгольца для векторного потенциала \vec{A} [1, 2], определяемого выражением $\vec{B} = \text{rot } \vec{A}$, которое в монохроматическом поле примет вид:

$$\nabla^2 \vec{A} + k^2 \vec{A} = -\mu_a \vec{J}_{\text{стоп}}, \quad (3)$$

где $k^2 = -j\omega\mu_a\sigma$; $j = \sqrt{-1}$.

Решение уравнение (3) находится в цилиндрической системе координат методом интегрального преобразования Фурье-Бесселя.

$$A^* = \frac{\mu_a}{2q} \left[\exp(qz) \left(B - \int_0^z j_{ct} \exp(-q\xi) d\xi + \exp(-qz) \left(C + \int_0^z j_{ct} \exp(q\xi) d\xi \right) \right) \right], \quad (4)$$

где ξ - переменная интегрирования; В и С – величины, определяемые из граничных условий для векторного потенциала:

$$A_p(\rho z) \Big|_{z=z_p} = A_{p+1}(\rho z) \Big|_{z=z_p}; \quad \frac{1}{\mu_p} \frac{\partial A_p}{\partial z} \Big|_{z=z_p} = \frac{1}{\mu_{p+1}} \frac{\partial A_{p+1}}{\partial z} \Big|_{z=z_p}.$$

Несобственный интеграла из (4) можно получить в виде бесконечной суммы, которую можно аппроксимировать экспоненциальным рядом, с учётом существования некоторого коаксиального витка радиусом R_2 . Тогда выражение для векторного потенциала каждого слоя примет вид:

$$A_p = \mu_0 \mu_p I \frac{34\eta - 10}{8\pi^2} \sqrt{\frac{R_1}{R_2}} \exp\left(-\frac{3h}{2R}\right) \frac{\lambda}{q_p} (f_p \exp(q_p z) + \varphi_p \exp(-q_p z)) \int_{\lambda=\frac{3}{2R}}^{\lambda=\frac{3}{2R}} + \frac{0.42\lambda * \exp\left(-\frac{h}{R}\right)}{q_p} (f_p \exp(q_p z) + \varphi_p \exp(-q_p z)) \int_{\lambda=\frac{1}{R}}^{\lambda=\frac{1}{R}} \quad (5)$$

С учетом такого предположения нами были проведены расчёты напряжений, вносимых в измерительную обмотку ВТП, для модели, представленной здесь, для малых R_1 , R_2 , h , x и для несущественности магнитных потерь и определяющем влиянии гистерезисных потерь с $tg\delta$ в магнитопроводе датчика.

Расчёты проводились при следующих параметрах датчика: $\mu_{\max}=5 \times 10^2$ Гн/м, $\sigma=22,5 \times 10^6$ См/м, $f=3 \times 10^3$ Гц, сила тока в обмотке датчика $J_{mo}=30$ мА, число витков измерительной обмотки $W_1=20$, число витков токовой обмотки $W_2=400$, средний радиус измерительной обмотки $R_1=0,5 \cdot 10^{-4}$ м, средний радиус токовой обмотки $R_2=1,3 \cdot 10^{-4}$ м, расстояние от датчика до поверхности $h_1=0 \div 0,2 \times 10^{-3}$ м расстояние от эквивалентного витка, заменяющего возбуждающую обмотку трансформаторного датчика отраженного поля, до изделия $h_2=0 \div 0,2 \times 10^{-3}$ м. Результаты расчетов приведены в таблице 1.

Таблица 1. Результаты расчета промежуточных параметров, наводимого напряжения и его абсолютных значений, в зависимости от взаимного расположения обмоток ВТП и обобщенного параметра

Параметр	Значение						
h_1 , м	0	0,0001	0,0002	0,0002	0,0002	0,0001	0
h_2 , м	0,0002	0,0002	0,0002	0	0,0001	0,0001	0
β_0	0,1898	0,2993	0,4088	0,4088	0,4088	0,2993	0,1898
$\xi = \frac{h_1 + h_2}{D_s}$	0,77	0,73	0,71	0,36	0,54	0,48	0
$\text{Re} \varphi_1(\lambda) \times 10^4$	69	100	160	160	160	100	69
$\text{Im} \varphi_1(\lambda) \times 10^4$	1	2	6	6	2	2	1
U_0 , В	1,1	0,536	11,08	3,79	6,57	11,08	11,08
$\text{Re}(U_{\text{вн}}) \times 10^2$	0,756	1,25	2,12	5,99	0,353	2,68	7,65
$\text{Im}(U_{\text{вн}}) \times 10^4$	1,1	2,5	0,794	2,26	1,35	2,68	11,1

Были также построены соответствующие годографы вносимого напряжения для различных значений обобщенного параметра и вариантов расположения катушек ВТП относительно контролируемой среды (рис. 2).

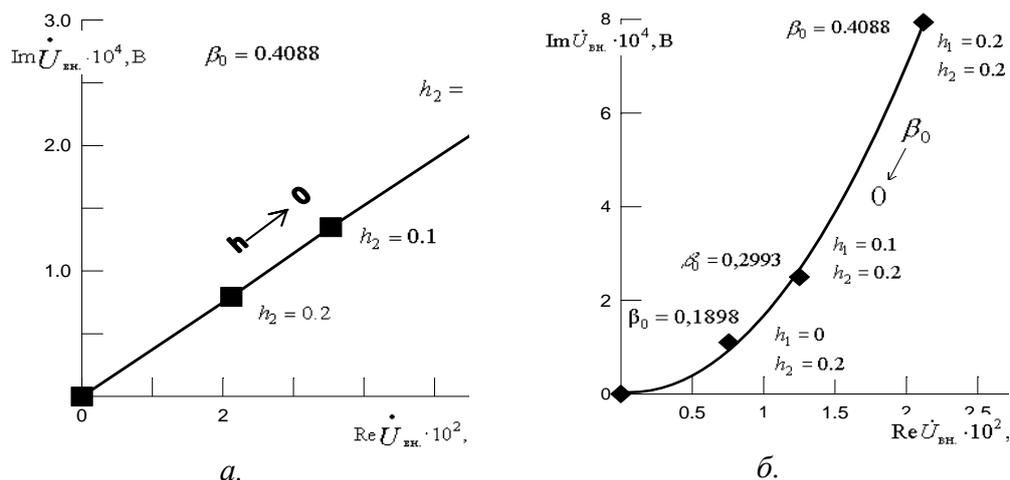


Рис. 2 Годограф напряжения, вносимого в измерительную обмотку ВТП:
 а – при увеличении расстояния между катушками и большом значении параметра β_0 ;
 б – при фиксированных расстояниях между катушками и различных значениях β_0

Хорошо видно, что соответствующий годограф для высоких значений обобщенного параметра линейно зависит от параметров нависания ВТП над объектом (рис. 2а), а в области малых значений – нелинейно (рис. 2б).

Таким образом, использование предложенной модели с соответствующими допущениями, сделанными при решении уравнения Гельмгольца, позволило численно рассчитать промежуточные параметры, напряжение, наводимое в измерительной обмотке вихретокового преобразователя и его абсолютное значение, а также зависимость импеданса от реальной части комплексного вносимого напряжения для многослойной композитной среды в зависимости от взаимного расположения обмоток датчика и обобщенного параметра.

Литература

1. Гинзбург В.Л. Электродинамика М.: Наука. 2004г.78с.
2. Герасимов В.Г., Ключев В.В., Шатерников В.Е. Методы и приборы электромагнитного контроля промышленных изделий. –М.: Энергоатомиздат. 1983.
3. Ханина Т.М., Дмитриев С.Ф. // В сб. «Алтайский университет – науке». –Барнаул: Изд-во АГУ, 1993. С. 40–45.
4. Vernon S.N. A single-sided eddy current method to measure electrical resistivity. // Mater. Eval. 1988. 46. №12. P.1581-1587.
5. Дмитриев С.Ф., Сагалаков А.М. // В сб. трудов второй междунар. н.-т. конф. «Экспериментальные методы в физике структурно-неоднородных конденсированных сред. ЭМФ-2001.». –Барнаул: Изд-во АГУ, 2001. С. 7378.