

УДК 620.179.14

МАГНИТОДИНАМИЧЕСКАЯ И ЭЛЕКТРОМАГНИТНАЯ ТОЛЩИНОМЕТРИЯ РАЗЛИЧАЮЩИХСЯ ПО СТРУКТУРЕ НИКЕЛЕВЫХ ПОКРЫТИЙ

Шарандо В.И., Чернышёв А.В., Кременькова Н.В.

Государственное научное учреждение «Институт прикладной физики НАН Беларуси»
Минск, Республика Беларусь

В настоящее время для толщинометрии никелевых покрытий, нанесённых на бронзовый подслоя внутри камер сгорания ракетных двигателей, успешно применяется магнитодинамический метод. Однако в процессе длительного использования разработанных на его основе приборов и многочисленных сопутствующих исследований была установлена необходимость учёта структурного состояния никеля, влияющего на его магнитные характеристики. Игнорирование этого фактора может привести к существенным, а в ряде случаев и недопустимым погрешностям контроля. В работе [1], выполненной в лаборатории металлофизики ИПФ НАН Беларуси, исследовано влияние внутренних напряжений в никелевых покрытиях на измеряемые сигналы при их толщинометрии магнитодинамическим и термоэлектрическим методами. Измерения проводились на отожжённых и деформированных на 33 % образцах электролитического никеля. В магнитодинамических приборах использованы три первичных преобразователя со стержневыми магнитами из материала NdFeB, различающимися по величине намагничивающего поля (энергия магнита 15, 55 и 180 мДж). Показано, что внутренние напряжения в никеле значительно снижают уровень измеряемого сигнала, и это приводит к возрастанию погрешности измерений. По мере усиления намагничивающего поля ситуация улучшается, при этом также расширяется диапазон измерений. Наибольшее сближение зависимостей измеряемого сигнала от толщины для отожжённого и деформированного никеля достигается при максимальной энергии магнита, однако и в этом случае погрешность может остаться существенной, что особенно заметно в верхней части диапазона толщин. Кроме того, использование магнита с энергией 180 мДж приводит к появлению нового источника погрешностей, связанного с появлением чувствительности измеряемого сигнала к находящемуся позади бронзовой прослойки ферромагнитному корпусу камеры сгорания ракетного двигателя. Таким образом, вопрос снижения погрешностей при магнитодинамическом контроле толщин напряжённых никелевых покрытий сохраняет актуальность.

В настоящем сборнике приведена также посвящённая указанной теме наша работа "Изучение процесса отжига деформированного никеля с применением магнитодинамического и электромагнитного методов неразрушающего контроля".

Из неё следует, что деформированный и отожжённый никель можно надёжно разделять с помощью магнитодинамического толщиномера МТЦ-3-2, магнитодинамического измерителя остаточной намагниченности ИОН-4 и электромагнитного прибора ПКТ-2, фиксирующего третью гармоническую составляющую выходной ЭДС преобразователя.

Целью настоящей работы является оценка практических возможностей толщинометрии никелевых покрытий в разном структурном состоянии с помощью указанных магнитодинамических и электромагнитных методов неразрушающего контроля, а также при их возможном комплексном применении.

Для выполнения работы использован магнитодинамический толщиномер МТЦ-3-2 [2, 3]. При этом признано целесообразным применение преобразователя, снабжённого магнитом с энергией 45 мДж, гарантирующего отсутствие влияния на результат измерений стального корпуса камеры сгорания и позволяющего в то же время получить достаточную чувствительность к толщине никеля в области используемого на практике диапазона от 200 до 700 мкм. Измерителем остаточной намагниченности ИОН-4 [3], использующим устанавливаемую на поверхность ферромагнетика и затем удаляемую от него катушку без магнита, определялся поток индукции от магнитного пятна, оставленного преобразователем толщиномера МТЦ-3-2 после его снятия с поверхности никеля. Исследования при переменном магнитном поле возбуждения производились с помощью прибора ПКТ-2 [4]. Измерялась амплитуда третьей гармонической составляющей выходной ЭДС накладного преобразователя.

Поскольку никелевые покрытия в ракетных двигателях наносятся на немагнитное основание (бронзу), при исследованиях они могут быть заменены пластинками из соответствующего материала, с которыми и проводятся необходимые технологические действия. Изменение структуры исследуемых образцов (пластины электролитического никеля) обеспечивалось их пластической деформацией. Отожжённые в течение 3 часов на воздухе при 700°C образцы прокатывали на 33 %, затем отрезанные от них части снова отжигали в течение 1 часа при тех же условиях. Размеры каждого образца составляли 32×22 мм. В итоге у одной серии образцов внутренних напряжений практически не было, тогда как у

другой они оказались близки к возможным на практике.

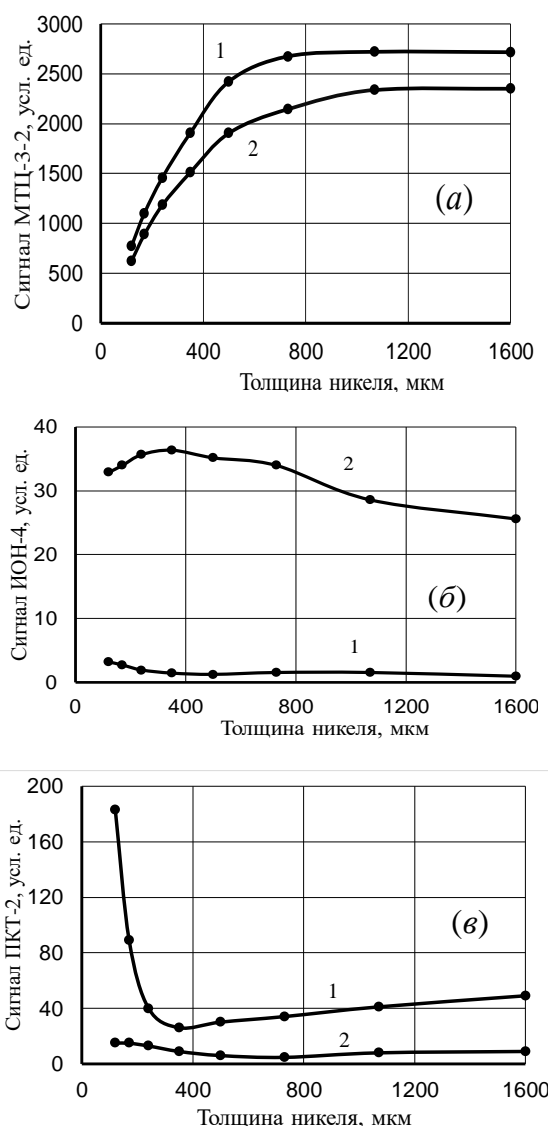


Рисунок 1 – Зависимость показаний приборов: МТЦ-3-2 (а), ИОН-4 (б), ПКТ-2 (в) от толщины: 1 – отожжённых; 2 – деформированных никелевых образцов

Результаты измерений на никелевых образцах сигналов указанных выше приборов показаны на рисунке 1. Показания во всех случаях снимались в безразмерных условных единицах.

Из рисунка следует, что прибор МТЦ-3-2 обеспечивает однозначные зависимости от толщины как для отожжённых, так и деформированных никелевых покрытий, но не позволяет создать общую для них градуировку толщиномера. Это необходимо иметь в виду при практическом использовании: для предотвращения неприемлемых погрешностей следует только после определения состояния никеля использовать соответствующую ему градуировочную кривую.

Остаточная намагниченность близка к нулевому значению практически для всех рассмотренных толщин отожжённых покрытий. Для покрытий в деформированном состоянии она зависит от их толщины, но изменение в используемом на производстве диапазоне 200÷700 мкм оказывается достаточно слабым. Это делает возможным применение измерений этой магнитной характеристики для корректировки показаний магнитодинамического толщиномера в плане выбора необходимой для определения толщины покрытия градуировочной кривой.

Для прибора ПКТ-2 показания на деформированном никеле характеризуются относительно небольшой величиной сигналов и слабой их зависимостью от толщины. На отожжённых покрытиях измеряемый сигнал изменяется более сильно, с резким возрастанием в области низких толщин и неоднозначностью в целом по диапазону. Но в практически значимой области толщин колебания показаний не слишком велики, и они, как и остаточная намагниченность, могут быть использованы для выбора градуировочной кривой магнитодинамического толщиномера.

Совместное использование рассмотренных методов контроля позволит осуществлять достоверную оценку проведенной термообработки никелевых покрытий, указывать на их выход из магнитного состояния, создавшегося при нанесении, а также вводить другие необходимые корректировки в показания при толщинометрии. Имеет перспективы разработка многопараметровых приборов контроля, например, создаваемых по принципам, изложенным в [5, 6].

Литература

1. Лухвич А.А., Булатов О.В., Шарандо В.И. Толщинометрия неоднородных по структуре никелевых покрытий магнитодинамическим и термоэлектрическим методами // Приборостроение-2015: материалы 8-й Международной научно-технической конференции, Минск, 26–27 ноября 2015 г. – С. 117–118.
2. Лухвич А.А. Магнитные толщиномеры нового поколения // Неразрушающий контроль и диагностика. – 2010. – № 4. – С. 3–15.
3. Разработки лаборатории металлофизики ИПФ АН Беларуси в области неразрушающего контроля [Электронный ресурс] // Режим доступа: <http://iaph.basnet.by/lab1/products/> – Дата доступа: 24.09.2019.
4. Гусак, Н.О. Прибор для контроля твердости ПКТ-2 / Н.О. Гусак, А.В. Чернышев, В.Л. Цукерман // Дефектоскопия. – 1991. – № 10. – С. 92.
5. Патент РБ на полезную модель № 7359, МПК G 01R 33/02. / Устройство для контроля ферромагнитных изделий. Чурило В.Р., Шарандо В.И. (бюл. №3, 2011, с. 219).
6. Патент РБ на полезную модель № 8112, МПК G 01R 33/02. / Устройство для контроля толщины покрытий и остаточной намагниченности. Чурило В.Р., Шарандо В.И. (бюл. № 2, 2012, с. 265).