

УДК 620.179.14+537.3222.11

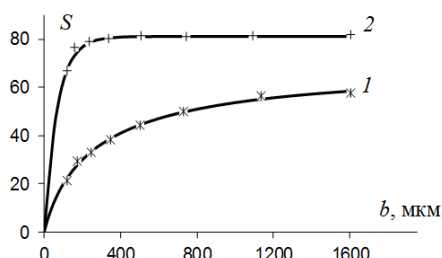
ТОЛЩИНОМЕТРИЯ НЕОДНОРОДНЫХ ПО СТРУКТУРЕ НИКЕЛЕВЫХ ПОКРЫТИЙ МАГНИТОДИНАМИЧЕСКИМ И ТЕРМОЭЛЕКТРИЧЕСКИМ МЕТОДАМИ

Лухвич А.А., Булатов О.В., Шарандо В.И.
Институт прикладной физики НАН Беларуси
Минск, Республика Беларусь

Для решения задач по толщинометрии никелевых покрытий широко используются магнитные методы, при этом в ряде случаев возникает дополнительная погрешность, обусловленная зависимостью магнитных характеристик никеля от состояния его структуры. Когда никель нанесён на стали, практически идентичные ему по магнитным свойствам, целесообразно применять термоэлектрический метод [1-3]. Цель данной работы – оценить практические возможности указанных методов при толщинометрии никелевых покрытий в разном структурном состоянии.

Изменение структуры исследуемых образцов (пластины электролитического никеля) обеспечивалось их деформацией. Отожжённые 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 32x22 мм. В итоге у одной серии образцов внутренних напряжений практически не было, тогда как у другой они оказались близки к максимально возможным на практике.

Измерения в очень слабом магнитном поле выполнены пондеромоторным толщиномером МТА-2 [4], оснащённым магнитом диаметром 2,5 мм из сплава AlNiCo. Так как данный прибор предназначен для контроля никелевых покрытий толщиной менее 100 мкм, при проведении измерений между окончанием названного магнита и каждым образцом размещалась неферромагнитная прокладка толщиной 5,5 мм, значительно снижающая уровень намагниченности образцов. Полученные кривые приведены на рисунке 1.

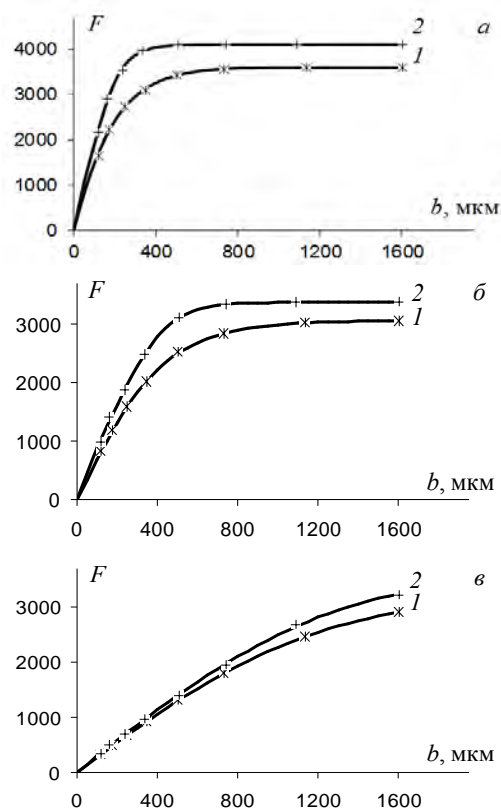


1 – деформация 33 % (*), 2 – отжиг при 700 °С (+)

Рисунок 1 – Зависимость показаний S пондеромоторного толщиномера от толщины b никелевых пластин

Из рисунка следует, что при очень слабой намагниченности никеля влияние его структурного состояния на показания магнитного толщиномера может достигать сотен процентов.

Измерения в более сильных полях выполнены магнитодинамическим методом [5, 6] с помощью трёх первичных преобразователей со стержневыми магнитами из сплава NdFeB, различающимися по величине намагничивающего поля (энергия магнита 15, 55 и 180 мДж). Полученные кривые показаны на рисунке 2.



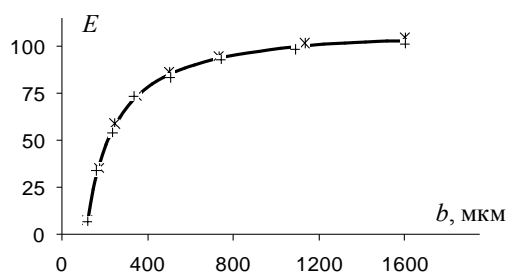
1 – деформация 33 % (*), 2 – отжиг при 700 °С (+)

Рисунок 2 – Зависимость сигнала F магнитодинамического преобразователя от толщины b никелевых пластин: а – энергия магнита 15 мДж, б – 55 мДж, в – 180 мДж

Рисунок показывает, что по мере роста толщины b никеля измеряемый сигнал F достигает максимального значения, соответствующего верхнему пределу диапазона измерений, и далее не меняется. Преобразователь с энергией маг-

нита 15 мДж позволяет контролировать никелевые покрытия в диапазоне измерений до 400 мкм, 55 мДж – до 800 мкм, а с энергией 180 мДж – более 1600 мкм [5]. Внутренние напряжения значительно снижают уровень измеряемого сигнала, если создаваемое преобразователем поле невелико; это приводит к возрастанию погрешности измерений. Так, при использовании первого преобразователя максимальная разность сигналов достигает 25 %. По мере усиления намагничивающего поля ситуация улучшается: для второго преобразователя максимальная разность сигналов составляет 20 %, для третьего же она вдвое меньше, что позволяет использовать его для контроля покрытий с любым структурным состоянием. Кроме того, внутренние напряжения меняют форму зависимости $F = f(b)$, т. е. разрешающая способность на начальном участке диапазона измерений ухудшается, а на конечном улучшается; в итоге диапазон измерений расширяется, что наиболее заметно при наименьшей энергии магнита.

Термоэлектрические измерения выполнялись прибором типа ПИТ [3]. Полученные результаты приведены на рисунке 3.



* – деформация 33 %, + – отжиг при 700 °С

Рисунок 3 – Зависимость показаний E термоэлектрического прибора от толщины b никелевых пластин

Зависимость измеряемого сигнала от толщины образцов обеспечивается за счёт изменения температуры контакта, связанной с теплопроводностью контролируемого материала и условиями теплорассеяния. Деформация никеля может привести к изменению его абсолютной дифференциальной термоЭДС и теплопроводности. В случае, если это произойдёт, ход кривой должен измениться. Однако точки, соответствующие как деформированным, так и отожжённым образцам, в пределах разброса показаний прибора укладываются на одну кривую; следовательно, при термоэлектрической толщинометрии никелевых покрытий состояние их структуры учитывать не требуется.

Полученные результаты подтверждают чувствительность магнитных методов толщиномет-

рии к структурному состоянию никелевых покрытий. Уменьшение структурной составляющей погрешности измерений обеспечивается усилением первичного намагничивающего поля; в предельном случае, когда намагниченность информативной зоны достигает намагниченности насыщения никеля, названная составляющая практически исчезает, при этом диапазон измерений максимально расширяется. По указанным причинам, а также в силу преимуществ магнитодинамического метода толщинометрии перед другими магнитными [5] при производстве камер сгорания жидкостных ракетных двигателей единственным практическим решением является использование преобразователя с энергией магнита порядка 180 мДж, обеспечивающего контроль никелевых покрытий толщиной до 1000 мкм независимо от их структурного состояния [6]. Термоэлектрический метод малочувствителен к структуре никеля и перспективен в тех случаях, когда магнитные свойства покрытия и основания практически идентичны.

1. Суворов Л.М. Термоэлектрический метод измерения толщины гальванических покрытий / Л.М. Суворов // Заводская лаборатория. – 1964. – Т. 30. – № 8. – С. 959-962.
2. Шарандо В.И. Перспективы термоэлектрического метода в исследовании свойств металлов и поверхностных слоев / В.И. Шарандо // Достижения физики неразрушающего контроля: сборник научных трудов, посвященный 40-летию ИПФ НАН Беларуси. – Минск: 2003. – С. 99-118.
3. Приборы термоэлектрические типа ПИТ // ИПФ НАН Беларуси [Электронный ресурс]. – 2015. – Режим доступа: <http://iaph.basnet.by/~lab1/ru/pit.html>. – Дата доступа: 07.09.2015.
4. Актуальные проблемы неразрушающего контроля качества космической техники: монография / Ю.Н. Макаров, А.А. Лухвич, В.Г. Шипша и др. – СПб.: Альтеор. – 2008. – 333 с.
5. Лухвич, А.А. Возможности магнитодинамического метода контроля толщины двухслойных покрытий / А.А. Лухвич, О.В. Булатов // Дефектоскопия. – 2008. – № 10. – С. 26-34.
6. Лухвич, А.А. Возможности магнитодинамического метода контроля толщины покрытий с неоднородными свойствами (эксперимент) / А.А. Лухвич, О.В. Булатов, А.Л. Лукьянов // Дефектоскопия. – 2009. – № 11. – С. 46-53.