

УДК 620.179.1

## **ОТСТРОЙКА ОТ ВЛИЯНИЯ СТРУКТУРЫ ПРИ КОНТРОЛЕ НИКЕЛЕВЫХ ПОКРЫТИЙ ТОЛЩИНОМЕРАМИ ТИПА МТЦ**

***В. И. ШАРАНДО, А. В. ЧЕРНЫШЁВ, Н. В. КРЕМЕНЬКОВА***

Институт прикладной физики НАН Беларуси  
Минск, Беларусь

UDC 620.179.1

## **ELIMINATION THE INFLUENCE OF THE STRUCTURE DURING CONTROL OF THE NICKEL COATINGS WITH HELP THICKNESS METER MTC TYPE**

***V. I. SHARANDO, A. V. CHERNYSHEV, N. V. KREMENKOVA***

**Аннотация.** Обоснована возможность применения серийных приборов МТЦ-3-1 и МТЦ-3-2 для измерения толщины никелевых покрытий на ферромагнитных основаниях с учётом условий их нанесения и термической обработки. Предложена методика устранения погрешностей контроля, связанных с различиями в структуре никеля, а также оценки уровня механических напряжений в контролируемых покрытиях.

**Ключевые слова:** никелевые покрытия, толщина покрытий, степень деформации, магнитные толщиномеры, диапазон измерений, погрешности контроля.

**Abstract.** The possibility of using serial devices MTC-3-1 and MTC-3-2 for measuring the thickness of nickel coatings on non-ferromagnetic substrates is substantiated, taking into account the conditions of their application and heat treatment. The proposed method of eliminating errors in control, arising from differences in the structure of nickel, as well as for evaluating the level of mechanical stress in controlled coating.

**Key words:** nickel coatings, coating thickness, degree of deformation, magnetic thickness meter, measurement range, errors of control.

В ИПФ НАН Беларуси разработан и серийно выпускается ряд приборов, основанных на магнитодинамическом принципе измерений и используемых для толщинометрии немагнитных покрытий на ферромагнитных основаниях и никелевых покрытий на немагнитных основаниях [1–3]. Для решения задач в области контроля толщин покрытий широкое применение находят магнитные толщиномеры МТЦ-3, получившие сертификат Республики Беларусь об утверждении типа средств измерений № 6932 и декларацию об их соответствии требованиям технических регламентов Таможенного союза № ТС ВУ/112 11.01. ТР020 003 16640. Они основаны на регистрации изменения магнитного потока в индукционной катушке, охватывающей стержневой магнит, при его контакте и затем удалении от ферромагнетика; при этом уровень измеряемого сигнала зависит от величины немагнитного зазора, т. е. толщины покрытия (хром, цинк, лак, краска и т. п.). В случае нанесённых на ферромагнетик никелевых покрытий измеряемый сигнал характеризует изменение количества магнитного материала в рабочей зоне преобразователя с изменением толщины покрытия. В первичных

преобразователях приборов используются стержневые магниты различных размеров из материала NdFeB с энергией от 15 до 180 мДж.

Выполненные исследования, в частности, в рамках программ Союзного Государства «Космос-НТ» и «Мониторинг-СГ», показали высокую эффективность применения магнитодинамических приборов для контроля толщин гальванических никелевых покрытий на основаниях из бронзы, используемых в ракетной технике [3]. В то же время выявлена зависимость результатов контроля от условий нанесения и дальнейшей обработки никелевого покрытия. Присутствующие в никеле внутренние структурные напряжения, возникшие в процессе нанесения покрытия, а также при последующей механической обработке (выравнивание поверхности и т. п.), значительно снижают измеряемые приборами сигналы. При этом было установлено, что сигнал на гальванически осаждённом никеле имеет такую же величину, как и на никелевых пластинках аналогичной толщины, подвергнутых деформации до 30...35 %. При наличии в технологических картах операций последующей термической обработки указанные напряжения могут быть сведены к минимуму или неким промежуточным значениям. Это приводит к изменению магнитных характеристик никеля, что вызывает появление погрешностей при измерениях толщины магнитными толщиномерами. С усилением намагничивающего поля (энергия магнита 180 мДж) происходит сближение зависимостей измеряемого сигнала от толщины для отожжённого и деформированного никеля, однако и в этом случае погрешности полностью не устраняются. Кроме того, измеряемый сигнал начинает испытывать влияние близлежащих ферромагнитных объектов. Поэтому актуальной задачей является разработка технологий толщинометрии указанных покрытий с учётом структуры никеля; измерения предпочтительно вести приборами с относительно невысокой энергией магнита.

Целью работы являлось создание методики контроля никелевых покрытий на немагнитных основаниях, обеспечивающей получение информации о структурном состоянии нанесённого материала и позволяющей снизить погрешности определения его толщины.

Для достижения поставленной цели было решено использовать комплексные измерения с помощью двух модификаций магнитодинамического толщиномера МТЦ-3: прибора МТЦ-3-1, снабжённого магнитом диаметром 3 мм (энергия около 15 мДж) и прибора МТЦ-3-2, снабжённого магнитом диаметром 5 мм (энергия около 45...55 мДж).

Покрытия на немагнитном основании имитировались пластинками соответствующей толщины, изготовленными из никеля марки **Н-1у** производства комбината «Североникель» со следующим содержанием химических элементов, представленных в табл. 1.

Табл. 1

Элемент	Ni	Co	Cu	Fe	Si	S	C	Pb
%	99,77	0,021	0,007	0,008	0,0009	0,0005	0,0041	0,0003

Продолжение табл. 1

Элемент	Sb	As	Sn	Bi	P	Zn	Cd	Mg	Mn
%	<0,0005	0,0005	–	–	<0,001	0,0006	–	<0,001	–

Отожжённые в течение 3 ч на воздухе при 700 °С никелевые заготовки разных толщин подвергли прокатке со степенью деформации 33 %, затем отрезанные от них части снова отожгли при 700 °С в течение 1 ч. Размер каждого образца составил 32 × 22 мм. В итоге у одной серии образцов внутренние напряжения отсутствовали, а у другой они оказались близкими к возможным на практике.

Указанными толщиномерами на образцах проведены измерения сигналов, снятых с индукционных катушек. Они фиксировались в условных единицах, без пересчёта по каким-либо градуировкам в значения толщин. Для повышения наглядности условные единицы обоих приборов с помощью коэффициента усиления приведены к единым значениям, характеризующим область насыщения для отожжённого никеля при его толщине около 1000 мкм.

На рис. 1 представлены зависимости показаний магнитного толщиномера МТЦ-3-1 от толщины никелевых образцов в отожжённом и деформированном до 33 % состояниях.

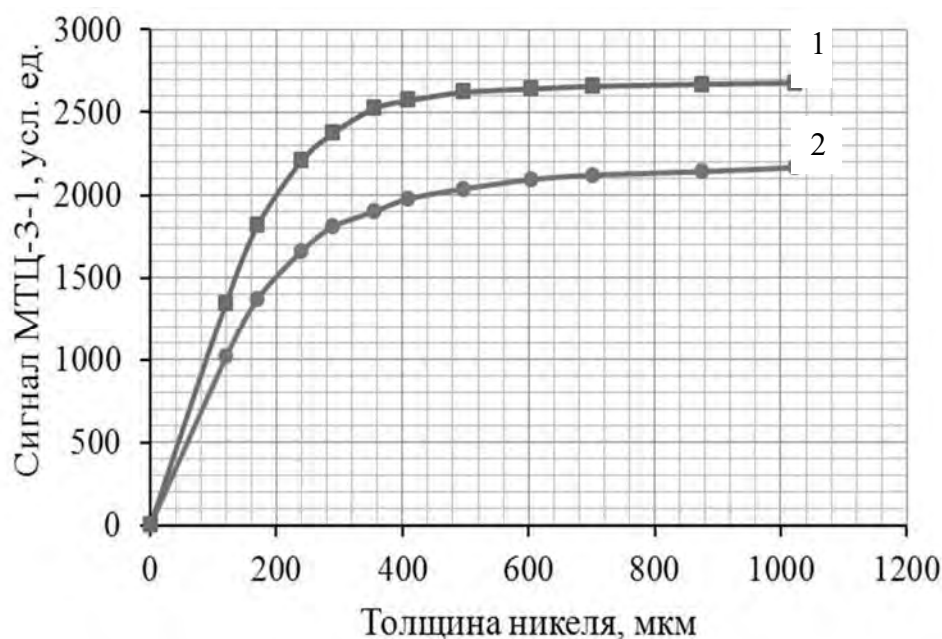


Рис. 1. Зависимости показаний толщиномера МТЦ-3-1 от толщины никелевых образцов в отожжённом (1) и деформированном (2) состояниях

Из рисунка следует, что прибор МТЦ-3-1 обеспечивает однозначные зависимости показаний от толщины как для отожжённых, так и деформированных никелевых образцов, но не позволяет создать для них единую градуировку. Сигналы этого прибора, полученные на материале с напряжённой структурой, оказываются значительно более низкими. При практической толщинометрии для предотвращения погрешностей необходимо определять состояние никеля и использовать соответствующую ему градуировочную кривую.

На рис. 2 представлены зависимости показаний магнитного толщиномера МТЦ-3-2 от толщины никелевых образцов в отожжённом и деформированном до 33 % состояниях.

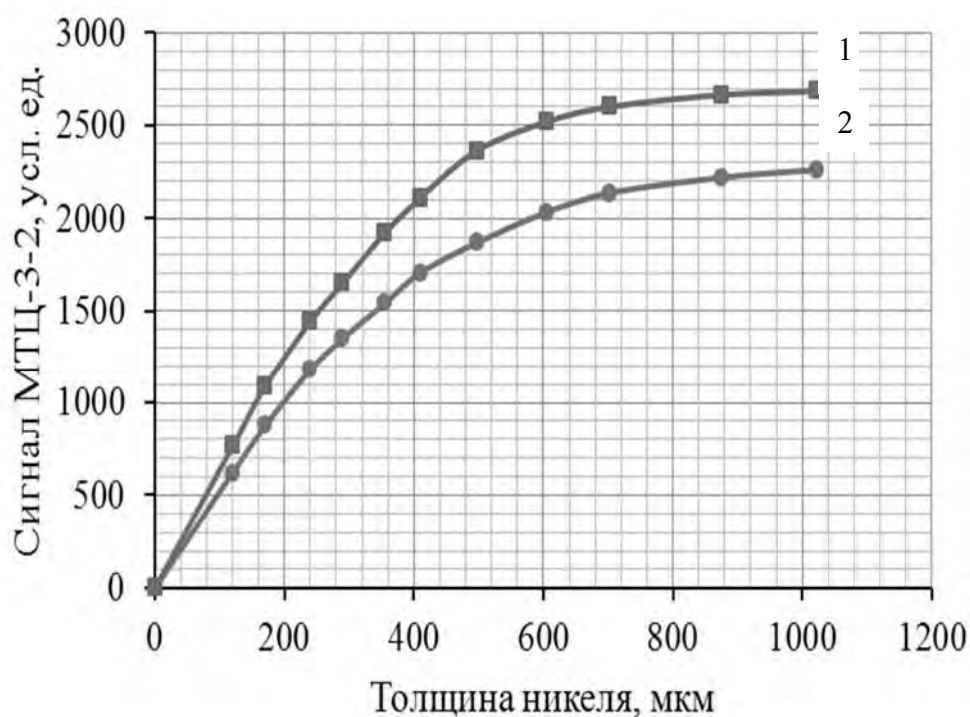


Рис. 2. Зависимости показаний толщиномера МТЦ-3-2 от толщины никелевых образцов в отожжённом (1) и деформированном (2) состояниях

Рисунок показывает, что имеющий магнит большего диаметра толщиномер МТЦ-3-2 позволяет обеспечить чувствительность к покрытиям более широкого диапазона толщин, чем снабжённый магнитом малого диаметра толщиномер МТЦ-3-1. Однако и в этом случае существует сильная зависимость показаний от состояния структуры никеля. При этом, как и на предыдущем рисунке, измеряемый прибором магнитный поток для образцов деформированного никеля оказывается существенно меньшим, чем для образцов после отжига.

Совместный анализ рис. 1 и 2 позволяет сделать вывод о возможности использования характерных для них различий в ходе кривых для взаимной

корректировки результатов контроля толщины никеля. Это осуществляется следующим образом. Полученные зависимости закладываются в качестве градуировок в программное обеспечение соответствующих толщиномеров. При контроле промышленного изделия необходимо обоими толщиномерами провести измерения в заданной точке нанесённого покрытия. Обработка полученных сигналов ведётся с использованием градуировок для одинакового состояния структуры никеля. Результат контроля должен считаться достоверным, если имеет место совпадение значений толщины для обоих толщиномеров при выбранных на них градуировках. При отсутствии совпадения значений толщины на индикаторах толщиномеров необходимо для обработки сигналов на их обоих выбрать градуировки, соответствующие другому состоянию структуры никеля.

Например, ведётся контроль толщины никеля с неизвестным состоянием структуры. Выполнены измерения информативных сигналов обоими рассмотренными толщиномерами. Сигналы приборов МТЦ-3-1 и МТЦ-3-2 составляют соответственно 2000 и 1700 усл. ед. На обоих толщиномерах включены градуировки, соответствующие отождествлённому никелю (кривая 1 рис. 1 для МТЦ-3-1 и кривая 1 рис. 2 для МТЦ-3-2). При этом прибор МТЦ-3-1 выводит на свой индикатор значение толщины покрытия 200 мкм, а прибор МТЦ-3-2 – значение толщины покрытия 300 мкм. Значения не совпадают, и, следовательно, оба являются ошибочными. Необходим переход к градуировкам, соответствующим другому состоянию структуры никеля. В данном случае это зависимости для деформированного материала (кривая 2 рис. 1 для МТЦ-3-1 и кривая 2 рис. 2 для МТЦ-3-2). При данных градуировках оба толщиномера выводят на свои индикаторы одинаковое значение толщины покрытия 400 мкм. Оно и является действительным для данного изделия. Кроме того, установлено состояние структуры никеля (степень присутствующих в нём напряжений).

Могут быть изучены другие степени деформации с записью в память прибора нескольких кривых или соответствующей номограммы.

Таким образом, в результате выполненной работы показано, что контроль толщин различающихся по структуре никелевых пластинок и гальванических никелевых покрытий на немагнитных основаниях может осуществляться при совместном использовании магнитодинамических толщиномеров МТЦ-3-1 и МТЦ-3-2. При этом достаточно несложным путём могут быть устранены погрешности, связанные с присутствием в никеле внутренних напряжений, а также дана оценка уровня этих напряжений.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Лухвич, А. А. Магнитные толщиномеры нового поколения / А. А. Лухвич // Неразрушающий контроль и диагностика. – 2010. – № 4. – С. 3–15.
2. Приборы неразрушающего контроля [Электронный ресурс] / Гос. науч. учреждение «Институт прикладной физики Национальной академии наук Беларуси». – Режим доступа: <http://iaph.bas-net.by/mtc-3/>.
3. Магнитодинамические и термоэлектрические приборы для измерения толщины покрытий изделий космической техники / В. И. Шарандо [и др.] // Материалы 7 Белорусского космического конгресса, Минск, 24–26 окт. 2017 г.: в 2 т. – Минск: ОИПИ НАН Беларуси, 2017. – Т. 1. – С. 143–146.

E-mail: [lab1@iaph.bas-net.by](mailto:lab1@iaph.bas-net.by).