

УДК 621.771.8:620.179

EDN: UKTTXU

**\*Горецкий Ю. В., Коробко Т. Б.***Донбасский государственный технический университет**\*E-mail: goreckiy-28@mail.ru*

## ИССЛЕДОВАНИЕ ВОЗМОЖНОСТИ НЕРАЗРУШАЮЩЕГО КОНТРОЛЯ ТОЛЩИНЫ ПЛАКИРУЮЩЕГО СЛОЯ БИМЕТАЛЛИЧЕСКИХ ЛИСТОВ

*Исследована и установлена возможность контроля толщины плакирующего слоя из аустенитных сталей двухслойных листов на основе магнитного метода. При разработке метода, для повышения его точности, учтено влияние ферромагнитной пленки на поверхности плакирующего слоя.*

**Ключевые слова:** *двухслойный лист, неразрушающий контроль, толщина, плакирующий слой, магнитный метод, механические свойства.*

**Проблема и её связь с научными и практическими задачами.** Биметаллический толстолистовой прокат находит широкое применение для производства деталей и оборудования предприятий химической, нефтяной, сельскохозяйственной, транспортной, энергетической и других отраслей машиностроения. Одним из направлений снижения затрат на изготовление биметаллического проката является применение неразрушающего контроля (НК) толщины плакирующего слоя, изготовленного из немагнитной стали.

**Объект исследования** — сталь листовая горячекатаная двухслойная коррозионно-стойкая.

**Предмет исследования** — применение магнитного метода для контроля толщины плакирующего слоя биметаллических листов.

Технология производства биметаллических листов освоена на Алчевском металлургическом комбинате (АМК). Технология представляет собой прокатку двухслойного листа из пакета: сляб (основной слой, рядовая сталь) и плакирующий слой — сталь аустенитного класса [1]. На АМК освоено производство листов от 8 до 24 мм. Толщина плакирующего слоя находится в пределах 2,0–4,0 мм, в зависимости от толщины листа.

Поставка листовой двухслойной коррозионно-стойкой стали проводится по

ГОСТ 10885-85, который определяет сортамент листов, сочетание марок сталей основного и плакирующего слоев и технологические требования к качеству стали.

Выполнение требований стандарта подтверждается на значительном числе образцов, большое число разнообразных испытаний характеризуется высокой трудоемкостью; значительные затраты труда и времени на отбор и изготовление образцов увеличивают длительность общего технологического цикла, возможны задержки в отгрузке металла потребителям. Кроме того, отбор большого числа различных образцов обуславливает повышенный расход металла для проведения испытаний. Для проверки толщины плакирующего слоя ГОСТ 10885-85 предусматривает отбор двух образцов шириной 30 и длиной не менее 30 мм, взятых от поперечного темплета листа. При этом один образец отбирают из середины поперечного темплета, а второй — у кромки. Толщину коррозионно-стойкого слоя измеряют с помощью лупы или микроскопа с погрешностью измерения не более 0,1 мм.

Поэтому **целью** исследования является изучение вопроса о возможности сокращения прямых испытаний и замены их неразрушающим контролем, что представляет большой практический интерес.

Для неразрушающего контроля толщины защитных покрытий на изделиях из

ферромагнитных материалов разработаны разнообразные приборы [2]. Для контроля толщины немагнитных покрытий на ферромагнитной основе широкое распространение получили индукционные толщиномеры; их действие основано на определении изменения магнитного сопротивления (проводимости) магнитной цепи, состоящей из ферромагнитной основы, преобразователя прибора и немагнитного зазора между ними, который является объектом измерения (широкое распространение получил прибор МИП-10). Подобные приборы имеют погрешность измерения от 3 до 10 %, так как на результаты последних влияют такие факторы, как колебание магнитных свойств покрытия или основы, состояние поверхности, геометрия изделия и др. Несмотря на сравнительно большое число разработок, посвященных проблеме измерения толщины защитных покрытий неразрушающим методом, последний для сдаточного контроля толщины плакирующего слоя биметаллических листов на металлургических заводах не применяется. В ГОСТ 10885-85 применение неразрушающего метода для контроля толщины плакирующего слоя не оговорено.

Применение магнитного метода для неразрушающего контроля толщины плакирующего слоя двухслойной стали основывается на том, что плакирующий слой из сталей аустенитного класса практически немагнитен, в связи с чем изменение его толщины должно быть равнозначно изменению величины зазора между датчиком толщиномера и ферромагнитной основой биметаллического листа. Надо учитывать, что при наличии в самом слое или на его поверхности ферромагнитных фаз ( $\alpha$ -фазы, оксидов) последние должны приводить к погрешностям измерения, которые необходимо было изучить, а при разработке методики свести до возможного минимума.

Для проведения контроля толщины плакирующего слоя в заводских условиях выбраны приборы, выпускавшиеся серийно: МИП-10, МФ-10И. Первый из них

предназначен для измерения немагнитных слоев толщиной до 3 мм, что меньше предельной толщины (4 мм) для листов, выпускаемых АМК. Второй прибор (МФ-10И) является ферритометром — прибором для определения ферритной фазы в сталях аустенитного и аустенито-ферритного классов.

Оба прибора снабжены преобразователями с однополюсными сердечниками. Магнитный полюс преобразователя выполнен в виде полусферы, что обеспечивает идентичность результатов измерения при случайном наклоне преобразователя от нормали к контролируемой поверхности на угол до  $10^\circ$ . Преобразователи изготовлены в виде авторучек, что удобно при проведении измерений. Замер толщины производится в пятне контроля площадью менее  $1 \text{ мм}^2$ .

Для практического применения указанных приборов необходимо внести некоторые изменения в их конструкцию и провести соответствующую градуировку. Предложения по расширению диапазона измерений приборов, градуировке и переградуировке их шкал подробно рассмотрены в работе [3].

Измерение толщины проводилось на биметаллическом листе, имеющем плакирующий слой из аустенитной стали. При этом необходимо учитывать, что в плакирующем слое может содержаться некоторое количество ферромагнитной составляющей, в связи с этим поверхностный слой не является идеально немагнитным.

Оценка толщины проводилась согласно требованиям сдаточного контроля, с использованием вышеуказанных приборов и с помощью металлографического микроскопа МИМ-7 при увеличении в 100 раз. Первоначально проверка толщины плакирующего слоя проводилась на неподготовленной поверхности образца и сопоставлялась с результатами прямых замеров толщины слоя, проведенных в механической лаборатории комбината с помощью микроскопа Бринелля МПБ-2. Значения толщины, полученные магнитным мето-

дом, на 0,5 и до более 1 мм оказались ниже, чем определенные при сдаточном контроле.

Так, большинство экспериментальных точек лежит ниже биссектрисы прямого угла (рис. 1), которая отвечает равенству сопоставляемых величин.

После зачистки поверхности плакирующего слоя до металлического блеска (не более 0,05 мм) проводились замеры толщины. Полученные данные указывают на увеличение толщины плакирующего слоя по данным магнитных испытаний и их приближению к данным, полученным прямым методом при сдаточном контроле (рис. 2). Это связано с тем, что в результате зачистки удаляется ферромагнитная составляющая, приводящая к занижению результатов магнитных измерений. Проводить зачистку на глубину более 0,05 мм нецелесооб-

разно, так как это приведет к занижению результатов магнитных измерений толщины плакирующего слоя. При прокатке листов в пакетах интенсивно происходят процессы окисления и на поверхности плакирующего слоя образуются пленки, содержащие оксиды. Одним из соединений является ферромагнитный оксид железа — магнетит ( $Fe_3O_4$ ), а также за счет растворения в магнетите хрома возможно наличие оксида —  $Fe(Fe,Cr)_2O_4$ . Наличие данных ферромагнитных фаз и является причиной погрешности измерений, проводимых магнитным методом. Более точный химический фазовый состав поверхностной пленки плакирующего слоя может быть определен рентгеноструктурным анализом, но данный вопрос требует специального изучения, что не входит в круг задач настоящей работы.

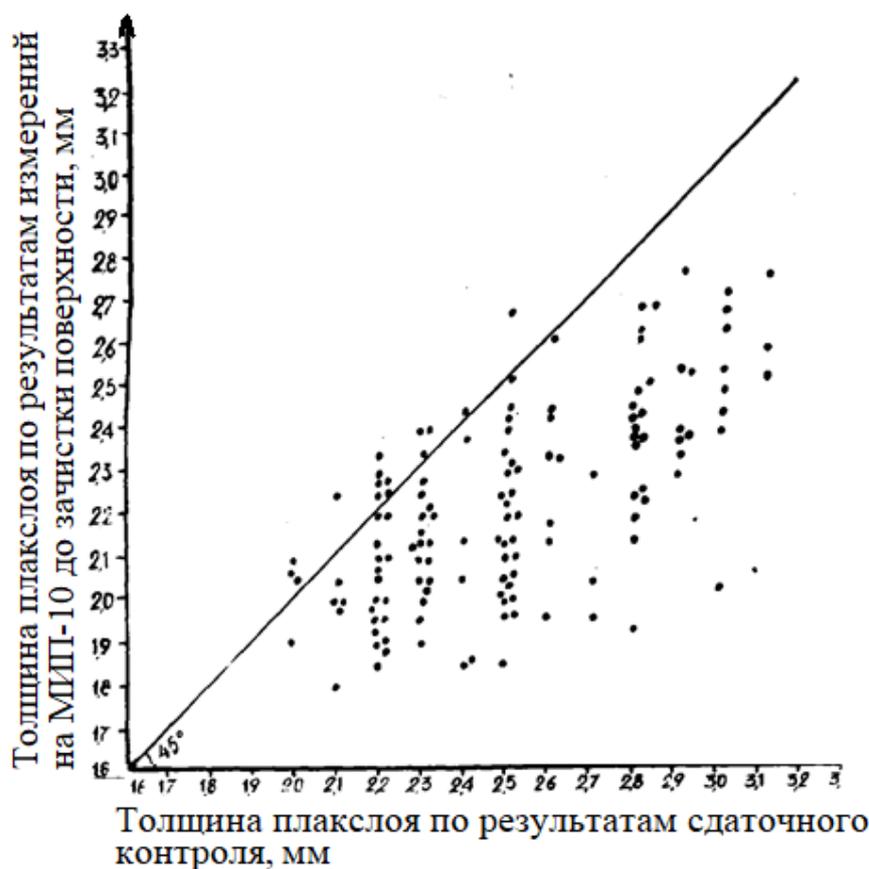


Рисунок 1 — Сопоставление результатов измерений толщины плакирующего слоя прибором МИП-10 без зачистки поверхности с результатами сдаточного контроля

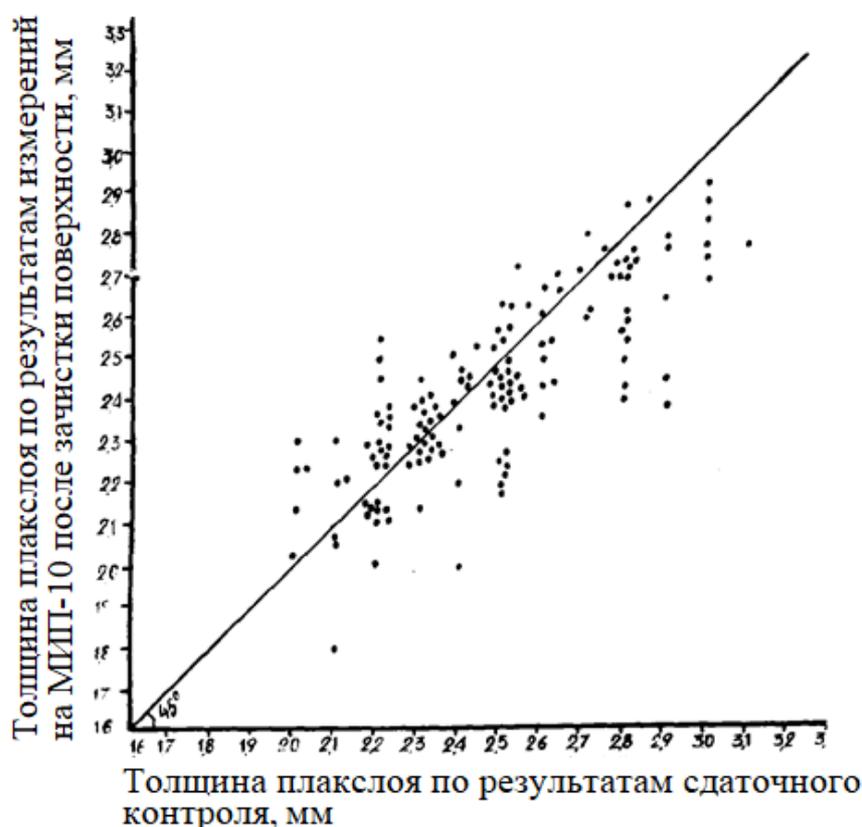


Рисунок 2 — Сопоставление результатов измерений толщины плакирующего слоя прибором МИП-10 после зачистки поверхности с результатами сдаточного контроля

Анализируя полученные данные, можно видеть значительный разброс экспериментальных точек, который обусловлен величиной случайных погрешностей сопоставляемых методов (рис. 1, 2). Так, прямой метод измерения толщины плакирующего слоя при сдаточном контроле не обладает достаточной точностью. Его результаты определяются субъективными факторами, а именно: опытом лаборанта, его внимательностью при проведении испытаний, стабильностью условий проведения испытаний и т. п. Для повышения точности измерений результаты, полученные магнитным методом, сопоставлялись со значениями толщины плакирующего слоя, измеренными на металлографическом микроскопе МИМ-7. Перед проведением измерений сечение темплата подвергалось шлифовке и травлению в 4%-ном растворе азотной кислоты с целью четкого выявления границы между слоями.

Для сопоставления точности разных методов сравнивались результаты, полученные магнитным методом, с данными контроля толщины плакирующего слоя, измеренного на микроскопе МИМ-7 (эти значения принимались в качестве базовых), а также результаты контроля на микроскопе с результатами прямого сдаточного контроля (рис. 3–5). Следующим этапом работы будет получение количественных оценок при обработке экспериментальных данных с применением корреляционно-регрессионного анализа.

Анализ полученных данных свидетельствует, что магнитные измерения на неподготовленной поверхности плакирующего слоя приводят к занижению толщины по сравнению с действительными значениями, полученными на микроскопе МИМ-7 (рис. 4). Большинство полученных точек концентрируется вблизи от биссектрисы прямого угла, но отдельные точки

(обозначены звездочкой) имеют значительные отклонения, причем это характерно для больших толщин плакирующего слоя. Данная погрешность измерения может быть объяснена тем, что с увеличением толщины плакирующего слоя увеличивается и толщина ферромагнитной пленки на его поверхности, это и приводит к занижению результатов измерения. Зачистка поверхности приводит к значительному повышению точности магнитных измерений по сравнению с измерениями на неподготовленной поверхности и с существующим методом сдаточного контроля, применяемого в механической лаборатории. Удаление ферромагнитных фаз с поверхности плакирующего слоя приводит к повышению точности результатов измерения. Так, точки, отвечающие образцам с большой погрешностью (отмечены звездочкой на рисунке 4), после зачистки поверхности переместились вверх и расположились среди остальных, группирующихся возле линии

биссектрисы (рис. 5). Это свидетельствует об уменьшении систематической погрешности, вызванной наличием ферромагнитной пленки, также уменьшается разброс точек вокруг линии биссектрисы.

Проведенные исследования показывают, что применение неразрушающего метода (магнитного) для контроля толщины плакирующего слоя позволяет отказаться от отбора специальных образцов, на которых в соответствии с ГОСТ 10885-85 должны производиться измерения. Провести испытания можно на образцах, предназначенных для испытания на изгиб.

Для снижения расходов на проведение испытаний были выполнены замеры толщины плакирующего слоя на образцах для испытаний на изгиб. При сопоставлении результатов измерений толщины плакирующего слоя на специально отбираемых образцах и образцах для испытаний на изгиб установлена идентичность полученных данных (рис. 6).

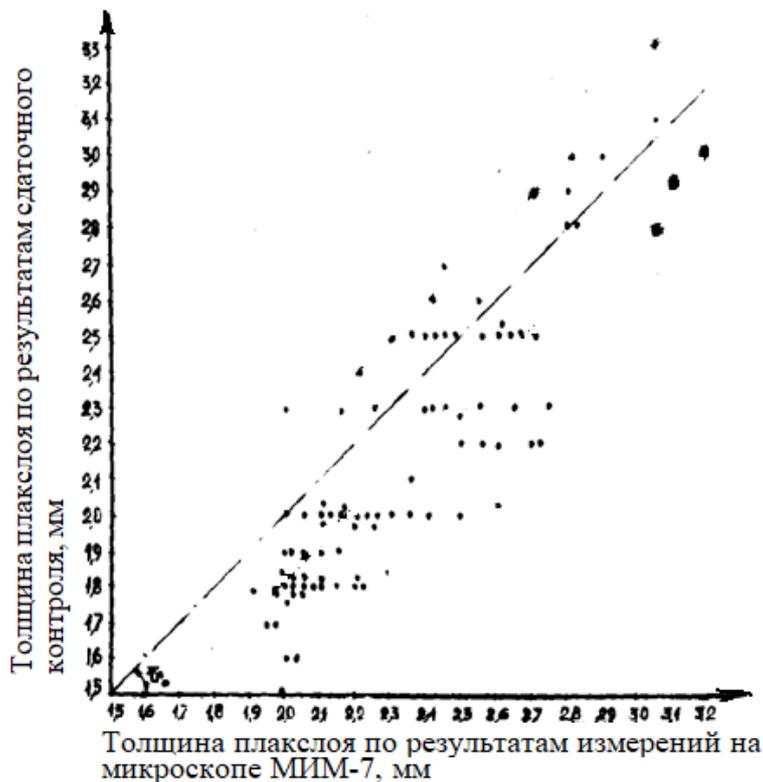


Рисунок 3 — Сопоставление результатов измерения толщины плакирующего слоя на микроскопе МИМ-7 с результатами, полученными при сдаточном контроле

МЕТАЛЛУРГИЯ

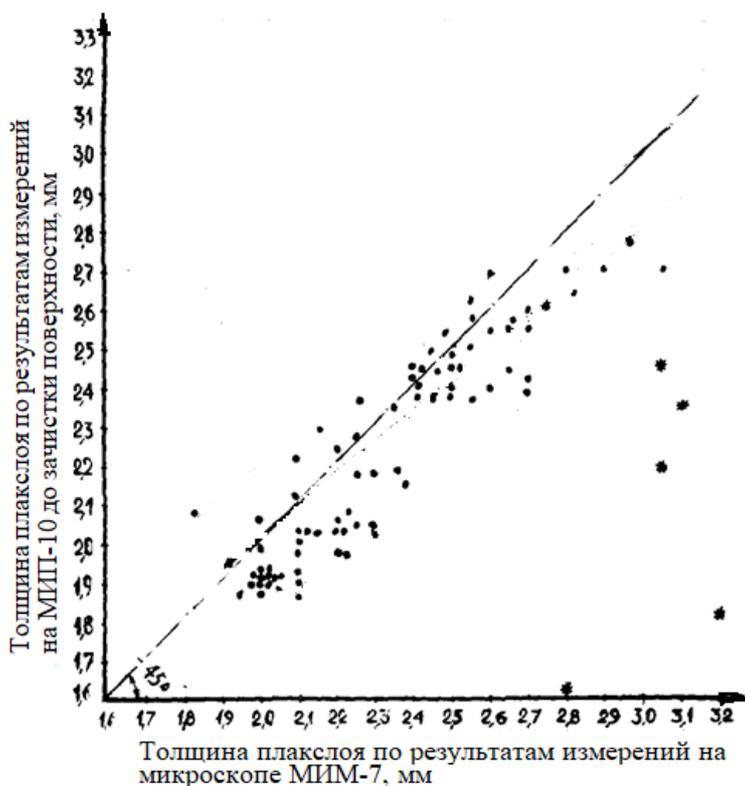


Рисунок 4 — Сопоставление результатов измерения толщины лакирующего слоя на микроскопе МИМ-7 с результатами, полученными при контроле прибором МИП-10 до зачистки

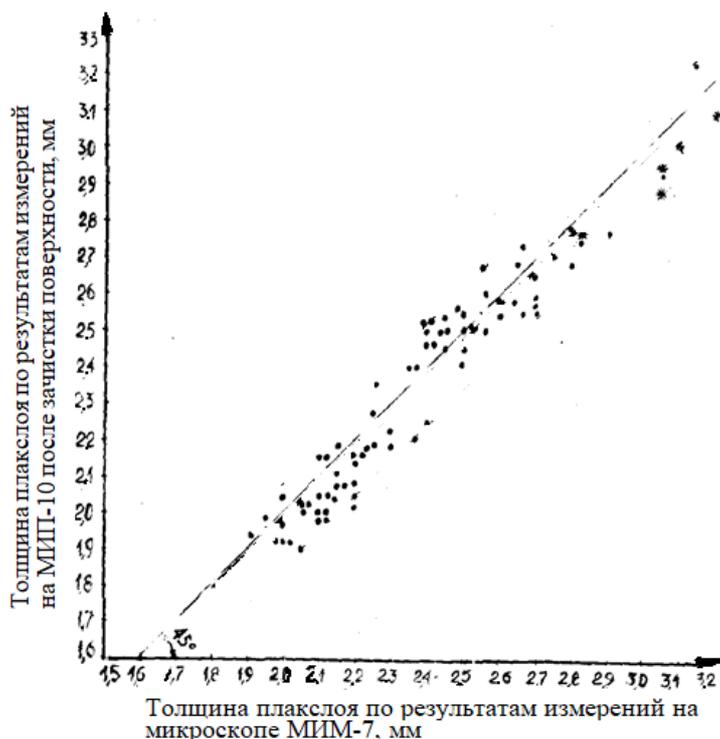


Рисунок 5 — Сопоставление результатов измерения толщины лакирующего слоя на микроскопе МИМ-7 с результатами, полученными при контроле прибором МИП-10 после зачистки

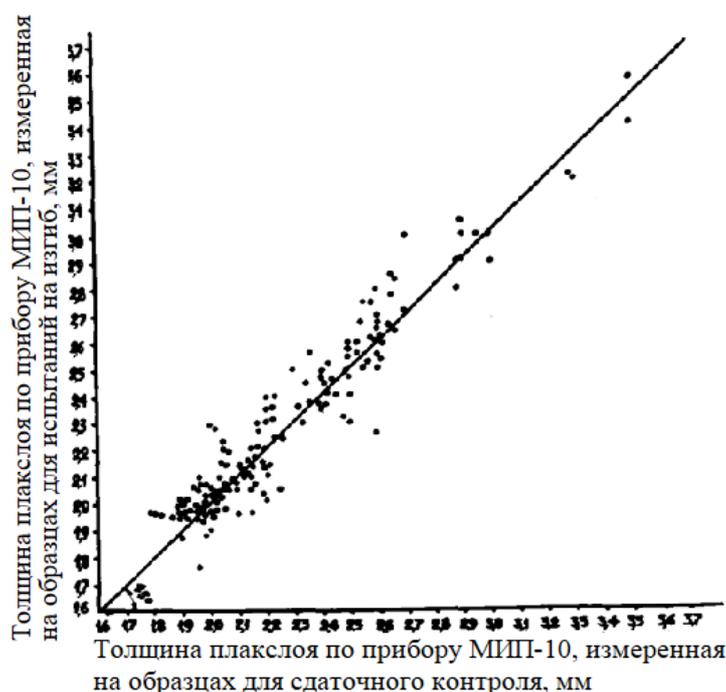


Рисунок 6 — Сопоставление результатов измерений толщины лакирующего слоя на образцах для испытания на изгиб с результатами, полученными на специально отобранных образцах по ГОСТ 10885-85

**Выводы.** Результаты проведенных исследований свидетельствуют о возможности и целесообразности применения магнитного метода для контроля толщины лакирующего слоя биметаллических листов. Так, магнитный метод измерения толщины лакирующего слоя показывает меньший разброс экспериментальных данных по сравнению с данными, полученными прямым методом, применяемым при сдаточном контроле.

Выявлено влияние поверхностных оксидов на результаты измерений, что опреде-

ляет необходимость предварительной зачистки места замера. Внедрение неразрушающего контроля исследованной характеристики позволит металлургическим предприятиям ускорить проведение сдаточных испытаний и отгрузку продукции потребителям, уменьшить материальные и трудовые затраты на проведение контроля продукции, сократить затраты и расход металла на пробы, улучшить условия труда.

#### Список источников

1. Луценко В. А., Беседин А. И., Сатонин А. Б. Производство двухслойных листов : монография. Алчевск : ДонГТУ, 2010. 423 с.
2. Герасимов В. Г., Покровский А. Д., Сухоруков В. В. Электромагнитный контроль. М. : Высшая школа, 1990. 317 с.
3. Исследовать и разработать методику неразрушающего контроля механических свойств и толщины слоев при производстве двухслойных листов на КомМЗ : 1618 : отчет о НИР (заключ.) / КГМИ, науч. рук. С. А. Пикулин ; исполн. : С. А. Пикулин, В. В. Таратухин, Л. В. Смаглова. Коммунарск, 1982. 75 с. : ил.

© Горецкий Ю. В., Коробко Т. Б.

*Рекомендована к печати к.т.н., проф. каф. МТ ДонГТУ Денищенко П. Н.,  
зам. начальника толстолистового цеха № 2 по технологии ООО «ЮГМК» Осипенко А. А.*

Статья поступила в редакцию 28.10.2024.

#### СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

**Горецкий Юрий Владимирович**, старший преподаватель каф. металлургических технологий  
Донбасский государственный технический университет,  
г. Алчевск, Россия,  
e-mail: goreckiy-28@mail.ru

**Коробко Тамара Борисовна**, канд. техн. наук, доцент каф. металлургических технологий  
Донбасский государственный технический университет,  
г. Алчевск, Россия

\***Goretskiy Yu. V., Korobko T. B.** (Donbass State Technical University, Alchevsk, Russia, \*e-mail: :  
goreckiy-28@mail.ru)

#### INVESTIGATING THE POSSIBILITY OF NON-DESTRUCTIVE CONTROL OF THE CLADDING LAYER THICKNESS OF BIMETALLIC SHEETS

*The possibility to control cladding layer thickness of austenitic steels of double-layer sheets based on magnetic method has been investigated and determined. In method developing, to improve its accuracy, the influence of ferromagnetic film on surface of the cladding layer was taken into account.*

**Key words:** double-layer sheet, non-destructive control, thickness, cladding layer, magnetic method, mechanical properties.

#### References

1. Lucenko V. A., Besedin A. I., Satonin A. B. Production of double-layer sheets : a monograph [Proizvodstvo dvuhslojnyh listov : monografiya]. Alchevsk : DonSTU, 2010. 423 p. (rus)
2. Gerasimov V. G., Pokrovskij A. D., Suhorukov V. V. Electromagnetic control [Elektromagnitnyj kontrol']. M. : Vysshaya shkola, 1990. 317 p. (rus)
3. Investigate and develop a methodology for non-destructive control of mechanical properties and layer thickness in the production of double-layer sheets at KMMZ : 1618 : research report (concluded). KGMI, scientific supervisor S. A. Pikulin; executors : S. A. Pikulin, V. V. Taratukhin, L. V. Smaglova [Issledovat' i razrabotat' metodiku nerazrushayushchego kontrolya mekhanicheskikh svojstv i tolshchiny sloev pri proizvodstve dvuhslojnyh listov na KomMZ : 1618 : otchet o NIR (zaklyuch.)]. Kommunar'sk, 1982. 75 p.

#### INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

**Goretskiy Yury Vladimirovich**, Senior Lecturer of the Department of Metallurgical Technologies  
Donbass State Technical University  
Alchevsk, Russia,  
e-mail: goreckiy-28@mail.ru

**Korobko Tamara Borisovna**, PhD in Engineering, Assistant Professor of the Department of  
Metallurgical Technologies  
Donbass State Technical University  
Alchevsk, Russia