DOI: 10.34031/2618-7183-2018-1-3-4-10

*Бондаренко Н.И. *, кандидат технических наук, доцент,
Бондаренко Д.О., аспирант,
Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова, Россия,
Кочурин Д.В., магистрант,
Белгородский университет кооперации, экономики и права, Россия,
Брагина Л.Л., доктор технических наук, профессор,
Харьковский политехнический институт, Украина,
Варфоломеева С.В., магистрант,
Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова, Россия*
*Ответственный автор E-mail: pe@intbel.ru

ТЕХНОЛОГИЯ ПЛАЗМЕННОЙ МЕТАЛЛИЗАЦИИ ДРЕВЕСНО-ВОЛОКНИСТОЙ ПЛИТЫ

Аннотация: разработаны научно-технологические принципы металлизации изделий на основе древесины с использованием плазменного высокотемпературного распыления. С целью предотвращения воздействия высших температур плазменной струи на лицевую поверхность древесно-волоконной плиты (ДВП) наносили промежуточный слой.

Разработан состав промежуточного защитного слоя, включающая смесь эпоксидной смолы с тугоплавким наполнителем. Операция нанесения защитного промежуточного слоя включала несколько специально разработанных технологических стадий. Для последующей металлизации использовали такие цветные металлы, как медь и алюминий в виде проволоки. Определены оптимальные параметры плазменного напыления металлов на лицевую поверхность ДВП.

Защитно-декоративное покрытие на основе цветных металлов обладало высокими эстетико-потребительскими и эксплуатационными свойствами. Покрытие обладало повышенным коэффициентом диффузионного отражения и высокой прочностью сцепления с матрицей. Установлена зависимость влияния толщины напыленного металлического покрытия на прочность сцепления покрытия с подложкой.

Разработанная технология металлизации изделий из древесины по сравнению с традиционными технологиями, позволяет существенно снизить время металлизации и энергозатраты и повысить конкурентоспособность изделий как на внутреннем, так и на внешнем рынках.

Ключевые слова: древесно-волоконная плита, промежуточный слой, металлизация, плазменное распыление

Введение

Одним из перспективных направлений повышения качества и конкурентоспособности различных строительных материалов является нанесение на их лицевую поверхность тонкого металлического слоя цветных металлов и сплавов, или металлизация [1-3]. Различные защитно-декоративные покрытия на строительных материалах, в том числе и металлические не только позволяют повысить эстетическое восприятие всего здания или отдельных его элементов но и, что очень важно- повысить сроки эксплуатации за счёт высоких показателей надёжности, сохраняемости и долговечности [4-6]. Одним из перспективных направлений нанесения или получения различных защитно-декоративных покрытий является использование в качестве высокотемпературного источника плазменной струи [7-9]. Значительные температуры плазмы (более 5000оС) обеспечивают высокую производительность технологического процесса нанесения покрытия в том числе и металлического [10-12]. Покрытие, полученное по технологии плазменного напыления и оплавления по сравнению с покрытиями, полученными по ранее известным традиционным технологиям, обладают высокими физико-механическими показателями [13-15]. При плазменной обработке лицевого слоя происходит микрозакаливанию покрытия, повышается его микротвёрдость, истираемость, сопротивляемость ударным нагрузкам, а также повышается его химическая устойчивость к агрессивным средам [16-18]. Следует также отметить, что в отличие от классических технологий, плазменные технологии являются энергосберегающими, экологически чистыми и высокопроизводительными [18-20]. В свете вышеизложенного, разработка плазменной технологии металлизации древесно-стружечной плиты, используемой в жилищном строительстве, является актуальным направлением исследований.

Материалы и методы

Для металлизации использовали древесноволокнистую плиту толщиной 4 мм, изготовленную на ЗАО «Изоглит» (Курская обл., г. Обоянь), по ГОСТ 53208-2008 Технические характеристики древесноволокнистой плиты представлены в табл. 1.

Таблица 1

Технические характеристики древесно-волоконной плиты (ДВП)

Table 1

Technical specifications of wood fiber board (DVP)

№ п/п	Параметр	Ед. измерения	Показатели
			ДВП марка Т-350
1.	Толщина	мм	4
2.	Плотность	кг/м ³	850
3.	Разбухание по толщине	%	20
4.	Влажность	%	8
5.	Предел прочности при изгибе	МПа	38
6.	Предел прочности при растяжении перпендикулярно пластине плиты	МПа	0,30

Для плазменного напыления использовали цветные металлы медь, алюминий и нихром в виде проволоки диаметром 1-2 мм.

Характеристика металлов и сплавов, используемых для металлизации ДВП, представлена в табл. 2.

Таблица 2

Характеристика проволок, используемых при напылении

Table 2

Characterization of wires used in spraying

Металл	Диаметр проволоки, мм	Марка проволоки	ГОСТ	Расход при толщине 200мкм, кг/м ²
алюминий	1,2-2,0	АД-1, А-1, АМЦ	7876-63	1,2
Медь	1,0-1,4	М-1, М-2	2112-62	3,3
Нихром	1,2-2,0	Х-20Н80	12766-67	3,0

Для плазменной металлизации использовали электродуговую плазменную установку УПУ-8М с плазменной горелкой ГН 5р. Оптимальная мощность работы плазматрона составляла 12 кВт. В качестве плазмообразующего газа использовали аргон марка А, расход которого составлял 1,5 м³/час. Параллельно с плазменной горелкой был установлен проволоочный аппарат, позволяющий в автоматическом режиме подавать проволоку в плазменную струю. Среднемассовая температура плазменной струи составляла 7500 К.

С целью защиты от высокотемпературного воздействия плазменной струи на древесную матрицу перед плазменным напылением наносили промежуточное защитное покрытие.

Промежуточное покрытие для ДВП готовили на основе смеси эпоксидной смолы и тонкомолотого стекла порошка из боя сортовых стёкол. Смесь готовили в пропеллерной лабораторной установке в течение 20 минут. Затем смесь валиком наносили на лицевую поверхность ДВП. После полимеризации эпоксидной смолы на разрывной машине R-0,5 определяли прочность сцепления покрытия с основой.

Разработана технология нанесения защитного промежуточного покрытия на лицевую поверхность ДВП. Из стандартных листов ДВП выпиливание образцы размером 300х300х4мм.

Предварительно лицевую поверхность ДВП обували сжатым воздухом с помощью воздушного компрессора фирмы SKDPRANA, изготовленного в Чехии. На подготовленную лицевую поверхность наносили валиком тонкий слой эпоксидной смолы. После полимеризации на лицевую поверхность наносили смесь эпоксидной смолы с тонко молотым стеклом порошком.

Результаты и обсуждение

Разработанная технология нанесения промежуточного защитного покрытия на лицевую поверхность ДВП представлен на рис. 1

После нанесения защитного промежуточного слоя проводили плазменное напыление стекло порошков фракционного состава 60-120 мкм.

Рис. 1. Технология нанесения промежуточного слоя на ДВП

Fig. 1. The technology of applying an intermediate layer on wood fiber board

Для проведения исследований готовили образцы из ДВП размером 60х60х4 мм. На лицевую поверхность наносили защитный промежуточный слой (рис. 1).

Как показали результаты исследований с увеличением толщины покрытия с 60 до 350 мкм прочность сцепления снижается с 1,8 МПа до 0,5 МПа. Это связано с накоплением напряжений в покрытии и подложке и различными значениями их термического коэффициента линейного расширения.

Открытая и закрытая пористость напыленных металлов обуславливает более низкую, чем у исходных, плотность покрытий. Нами исследованы плотность металлизированных покрытий (табл. 2)

Как видно из табл. 2 плотность напыленных металлизированных покрытий ниже, чем исходного металла.

Как известно, плазменные металлические покрытия существенно меняют свои свойства по сравнению со свойствами исходного металла. После определения прочности сцепления покрытия с основой исследовали эксплуатационные свойства покрытий. Результаты исследований представлены в табл. 3, 4 и 5.

Таблица 3

Плотность металлизированных покрытий после плазменного напыления

Table 3

The density of metallized coatings after plasma spraying

№ п/п	Наименование металла	Плотность напыленного металла	
		кг/м ³	% от исходного
1	Алюминий	2410	90
2	Медь	7535	85

Нами определены основные физико-механические характеристики напыленных покрытий: прочность на растяжение и сжатие, а также твердость по Бринеллю.

Физико-механические свойства напыленных покрытий представлены в табл. 4.

Таблица 4

Физико-механические свойства напыленных покрытий

Table 4

Physical and mechanical properties of sprayed coatings

№ п/п	Наименование металла	Предел прочности, МПа		Твердость по Бринеллю
		При растяжении	При сжатии	
1	Алюминий	0,51	1,32	27
2	Медь	0,74	3,05	68

Для алюминиевого покрытия были исследованы такие физические свойства как, термический коэффициент линейного расширения, удельная теплоёмкость, теплопроводность и удельное сопротивление.

Таблица 5

Физические свойства покрытия из алюминия

Table 5

Physical properties of aluminum coatings

№ п/п	Наименование металла	ТКЛР, град ⁻¹ 10 ⁻⁶		Удельная теплоёмкость кДЖ/кг*К		Теплопроводность Вт/(м*К)		Удельное сопротивление Ом*мм ² /м (толщина слоя 250 мкм)	
		Покр-тия	Литого изделия	Покр-тия	Литого изделия	Покр-тия	Литого изделия	Покр-тия	Литого изделия
1	Алюминий	13,2	23,1	0,806	0,898	79,8	158,2	0,309	0,0319

Как видно из табл. 5 наиболее существенное отличие имеют значения ТКЛР и теплопроводности. Это объясняется наличием пор и дефектов в покрытии.

Показатели качества металлизированных покрытий на ДВП представлены в табл. 6.

Таблица 6

Показатели качества и технологические параметры разработанной технологии

Table 6

Quality indicators and technological parameters of the developed technology

№п/п	Показатели	Ед. измерения	Предлагаемы способ
1	Энергозатраты (мощность работы плазматрона)	кВт	12
2	Скорость прохождения плазменной горелки	мм/с	10-12
3	Прочность сцепления защитно-декоративного покрытия с основой	МПа	1,30
4	Качество оплавленного слоя	-	Беспористое
5	Плазмообразующий газ		аргон
6	Средняя толщина оплавленного слоя	мм	250 мкм
7	Напыляемый материал		Алюминий, медь, никром

В процессе исследований определены оптимальные параметры плазменного напыления металлов и сплавов на лицевую поверхность ДВП. Разработанная технология за счет высокой эффективности и энергосбережения рекомендуется к высокому промышленному внедрению.

Выводы

Установлена закономерность формирования металлизированных защитно-декоративных покрытий на лицевой поверхности ДВП, заключающееся в предварительном нанесении промежуточного защитного слоя на основе смеси эпоксидной смолы с огнеупорным наполнителем, и плазменном напылении металлов и сплавов при мощности работы плазматрона 12 кВт, расходе плазмообразующего газа 1,5 м³/час и скорости прохождения плазменной горелки по лицевой поверхности ДВП 10-12 мм/с.

Благодарность

Работа выполнена при финансовой поддержке Гранта Президента для научных школ НШ-2724.2018.8

Литература

1. Зубенко С.Н., Кочурин Д.В. Инновационная технология получения защитно-декоративных покрытий на изделиях из древесины // В книге: Образование, наука и современное общество: актуальные вопросы экономики и кооперации: Тезисы докладов международной научно-практической конференции профессорско-преподавательского состава и аспирантов. Белгородский университет кооперации, экономики и права. 2013. С. 138 – 139.
2. Ковальченко Н.А., Здоренко Н.М., Бурлаков Н.М., Карайченцев Р.С. Плазменное напыление цветных металлов на изделиях стеновой керамики // Международный журнал экспериментального образования. 2016. №11-1. С. 81.
3. Здоренко Н.М., Бессмертный В.С., Дюмина П.С. и др. Плазмохимическое модифицирование блочных теплоизоляционных материалов // Фундаментальные исследования. 2018. №6. С. 9 – 14.
4. Bessmertny V.S., Min'ko N.I., Bondarenko N.I. and ets. Evaluation of the competitiveness of wall building materials with glassy protective-decorative coatings obtained by plasma fusing // Glass and Ceramics. 2015. V. 72. I. 1-2. P. 41 – 46.
5. Буянтуев С.Л., Былкова Н.В., Заяханова М. Е. Защитно-декоративные покрытия на строительных изделиях с использованием сырьевых материалов Бурятии // Строительные материалы. 2002. №8. С. 22 – 23.
6. Bondarenko D.O., Bondarenko N.I., Bessmertnyi V.S. and ets. Plasma-chemical modification of concrete processed by colorific metal salts // Advances in Engineering Research. 2017. V. 133. P. 128 – 134.
7. Bessmertnyi V.S., Krokhn V.P., Panasenko V.A., Nikiforov V.M., Shvyrkina O.N. Glazed wall ceramics using krawaste // Glass and ceramics. 1998. V. 55. I. 7-8. P. 222 – 223.
8. Akulova M.V., Fedosov S.V. Atmospheric and corrosion resistance ingrease of concrete by plasma spaying of zink // Problemy naukowobadawczebudownietwa: XLIII Konferencjanaukowa. Poznan: Krynica, 1997. V. VI. P. 5 – 7.
9. Федосов С.В., Акулова М.В., Щепочника Ю.А. и др. Плазменное оплавление строительных компози- тов. М.: Изд-во АСВ; Иваново: ИГАСУ, 2009. 228 с.
10. Бессмертный В.С., Зубенко С.Н., Антропова И.А. и др. Инновационная технология получения защитно-декоративных покрытий на древесине и изделий из неё // Успехи современного естествознания. 2014. №5-1. С. 181.
11. Ковальченко Н.А., Здоренко Н.М., Гащенко Э.О. и др. Плазменная технология получения блочного пеностекла // Международный журнал экспериментального образования. 2017. №4-2. С. 147.
12. Bessmertnyi V.S., Min'ko N.I., Glaz V.N. and ets. The effect of argon plasma on reduction of variable-valence oxides in synthesis of minerals // Glass and Ceramics. 2004. T. 61. №1-2. С. 63 – 64.
13. Здоренко Н.М., Изотова И.А., Строкова В.В. и др. Плазмохимическое модифицирование стеклокристаллического композиционного материала // Международный журнал экспериментального образования. 2017. №8. С. 50.
14. Федосов С.В., Акулова М.В., Кошелев Е.В. Закрепление плазмооплавленного стекловидного декоративного слоя на бетоне с помощью пропиток // Научный Вестник Воронежского государственного архитектурно-строительного университета. 2008. №3. С. 44 – 49.
15. Здоренко Н.М., Ильина И.А., Бондаренко Н.И. и др. Формирование качества и конкурентоспособности стеновых строительных материалов автоклавного твердения // Современные наукоемкие технологии. 2014. №10. С. 120.
16. Баженов Ю.М., Федосов С.В., Щепочкина Ю.А., Акулова М.В. Высокотемпературная отделка бетона стекловидными покрытиями. М.: Изд-во АСВ, 2005. 128 с.
17. Zdorenko N.M., Kovalchenko N.A., Izofatova D.I. Innovative plasma technology of receipt of protective and decorative coverings on the block foamglass // International Journal of Applied and Fundamental Research. 2016. №2. P. 19.
18. Здоренко Н.М., Ильина И.А., Бондаренко Н.И. и др. Защитно-декоративные покрытия для стеновых строительных материалов автоклавного твердения // Международный журнал экспериментального образования. 2015. №9. С. 81 – 82.
19. Бондаренко Н.И., Бессмертный В.С., Борисов И.Н. и др. Бетоны с защитно-декоративными покрытиями на основе алюминатных огнеупоров, оплавленные плазменной струей // Вестник Белгородского государственного технологического университета им. В. Г. Шухова. 2016. №2. С. 181 – 185.
20. Федосов С.В., Акулова М.В., Федосов С.В. и др. Свойства огнеупорных композитов на механоактивированном растворе силиката натрия // Вестник МГСУ. 2012. №1. С. 57 – 62.

References

1. Zubenko S.N., Kochurin D.V. Innovacionnaya tekhnologiya polucheniya zashchitno-dekorativnyh pokrytij na izdeliyah iz drevesiny. V knige: Obrazovanie, nauka i sovremennoe obshchestvo: aktual'nye voprosy ehkonomiki i kooperacii: Tezisy dokladov mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoy konferencii professorsko-prepodavatel'skogo sostava i aspirantov. Belgorodskij universitet kooperacii, ehkonomiki i prava. 2013. P. 138 – 139. (rus.)
2. Koval'chenko N.A., Zdorenko N.M., Burlakov N.M., Karajchencev R.S. Plazmennoe napylenie cvetnyh metallov na izdeliyah stenovoj keramiki. Mezhdunarodnyj zhurnal ehksperimental'nogo obrazovaniya. 2016. 11-1. P. 81. (rus.)
3. Zdorenko N.M., Bessmertnyj V.S., Dyumina P.S. i dr. Plazmohimicheskoe modifitsirovanie blochnykh teploizolyacionnykh materialov. Fundamental'nye issledovaniya. 2018. 6. P. 9 – 14. (rus.)
4. Bessmertny V.S., Min'ko N.I., Bondarenko N.I. and ets. Evaluation of the competitiveness of wall building materials with glassy protective-decorative coatings obtained by plasma fusing. Glass and Ceramics. 2015. 72 (1-2). P. 41 – 46.
5. Buyantuev S.L., Bylkova N.V., Zayahanova M. E. Zashchitno-dekorativnye pokrytiya na stroitel'nyh izdeliyah s ispol'zovaniem syr'evykh materialov Buryatii. Stroitel'nye materialy. 2002. 8. P. 22 – 23. (rus.)
6. Bondarenko D.O., Bondarenko N.I., Bessmertnyi V.S. and ets. Plasma-chemical modification of concrete processed by colorific metal salts. Advances in Engineering Research. 2017. 133. P. 128 – 134. (rus.)
7. Bessmertnyi V.S., Krokhin V.P., Panasenkov V.A., Nikiforov V.M., Shvyrkina O.N. Glazed wall ceramics using krawaste. Glass and ceramics. 1998. 55 (7-8). P. 222 – 223.
8. Akulova M.V., Fedosov S.V. Atmospheric and corrosion resistance ingrease of concrete by plasma spaying of zink. Problemy nauko- i badawczego budownictwa: XLIII Konferencja naukowa. Poznan: Krynia, 1997. VI. P. 5 – 7.
9. Fedosov S.V., Akulova M.V., SHCHepochnika YU.A. i dr. Plazmennoe oplavlenie stroitel'nykh kompozitov. M.: Izd-vo ASV; Ivanovo: IGASU, 2009. 228 p. (rus.)
10. Bessmertnyj V.S., Zubenko S.N., Antropova I.A. i dr. Innovacionnaya tekhnologiya polucheniya zashchitno-dekorativnyh pokrytij na drevesine i izdelij iz neyo. Uspekhi sovremennogo estestvoznaniya. 2014. 5-1. P. 181. (rus.)
11. Koval'chenko N.A., Zdorenko N.M., Gashchenko E.H.O. i dr. Plazmennaya tekhnologiya polucheniya blochnogo penostekla. Mezhdunarodnyj zhurnal ehksperimental'nogo obrazovaniya. 2017. 4-2. P. 147. (rus.)
12. Bessmertnyi V.S., Min'ko N.I., Glaz V.N. and ets. The effect of argon plasma on reduction of variable-valence oxides in synthesis of minerals. Glass and Ceramics. 2004. 61 (1-2). P. 63 – 64.
13. Zdorenko N.M., Izotova I.A., Stokova V.V. i dr. Plazmohimicheskoe modifitsirovanie steklokristallicheskogo kompozicionnogo materiala. Mezhdunarodnyj zhurnal ehksperimental'nogo obrazovaniya. 2017. 8. P. 50. (rus.)
14. Fedosov S.V., Akulova M.V., Koshelev E.V. Zakreplenie plazmooplavlennogo steklovidnogo dekorativnogo sloya na betone s pomoshch'yu propitok. Nauchnyj Vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo arhitekturno-stroitel'nogo universiteta. 2008. 3. P. 44 – 49. (rus.)
15. Zdorenko N.M., Il'ina I.A., Bondarenko N.I. i dr. Formirovanie kachestva i konkurentosposobnosti stenovykh stroitel'nykh materialov avtoklavnogo tverdeniya. Sovremennye naukoemkie tekhnologii. 2014. 10. P. 120. (rus.)
16. Bazhenov YU.M., Fedosov S.V., SHCHepochkina YU.A., Akulova M.V. Vysokotemperaturnaya otdelka betona steklovidnymi pokrytiyami. M.: Izd-vo ASV, 2005. 128 p. (rus.)
17. Zdorenko N.M., Kovalchenko N.A., Izofatova D.I. Innovative plasma technology of receipt of protective and decorative coverings on the block foamglass. International Journal of Applied and Fundamental Research. 2016. 2. P. 19.
18. Zdorenko N.M., Il'ina I.A., Bondarenko N.I. i dr. Zashchitno-dekorativnye pokrytiya dlya stenovykh stroitel'nykh materialov avtoklavnogo tverdeniya. Mezhdunarodnyj zhurnal ehksperimental'nogo obrazovaniya. 2015. 9. P. 81 – 82. (rus.)
19. Bondarenko N.I., Bessmertnyj V.S., Borisov I.N. i dr. Betony s zashchitno-dekorativnymi pokrytiyami na osnove alyuminatnykh ogneuporov, oplavlennye plazmennoj struej. Vestnik Belgorodskogo gosudarstvennogo tekhnologicheskogo universiteta im. V. G. SHuhova. 2016. 2. S. 181 – 185. (rus.)
20. Fedosov S.V., Akulova M.V., Fedosov S.V. i dr. Svoystva ogneupornykh kompozitov na mekhanoaktivirovannom rastvore silikata natriya. Vestnik MGSU. 2012. 1. P. 57 – 62. (rus.)

Bondarenko N.I. *, *Candidate of Engineering Sciences (Ph.D.), Associate Professor,*
Bondarenko D.O., *Postgraduate,*
Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov, Russia,
Kochurin D.V., *Master Student,*
Belgorod University of Cooperation, Economics and Law, Russia,
Bragina L.L., *Doctor of Engineering Sciences (Advanced Doctor), Professor,*
Kharkiv Polytechnic Institute, Ukraine,
Varfolomeeva S.V., *Master Student,*
Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov, Russia
*Corresponding author E-mail: pe@intbel.ru

TECHNOLOGY OF PLASMA METALLIZATION OF THE WOOD AND FIBROUS BOARD

Abstract: the scientific and technological principles of metallization of products on the basis of wood with use of plasma high-temperature dispersion are developed. For the purpose of prevention of impact of the highest temperatures of a plasma stream on a front surface wood and fibrous board (fibreboard) an intermediate layer was put.

The structure of an intermediate protective layer, the including mix of epoxy resin with refractory filler is developed. Operation of drawing a protective intermediate layer included several specially developed technological stages. For the subsequent metallization such non-ferrous metals as copper and aluminum in the form of a wire are used. Optimum parameters of plasma dusting of metals on a front surface of a fibreboard are determined

The protective and decorative covering on the basis of non-ferrous metals had high aesthetic consumption and performance properties. The covering possessed the increased coefficient of diffusive reflection and high durability of coupling with a matrix. The dependence of influence of thickness of the raised dust metal covering on durability of coupling of a covering with a substrate is established.

The developed technology of metallization of products from wood in comparison with traditional technologies, allows to lower significantly time of metallization and energy consumption and to increase competitiveness of products both on internal, and on external the markets.

Keywords: fiber board, intermediate layer, metallization, plasma dispersion

Для цитирования: Бондаренко Н.И., Бондаренко Д.О., Кочурин Д.В., Брагина Л.Л., Варфоломеева С.В. Технология плазменной металлизации древесно-волоконистой плиты // Строительные материалы и изделия. 2018. Том 1. №3. С. 4 – 10. DOI: 10.34031/2618-7183-2018-1-3-4-10

For citation: Bondarenko N.I., Bondarenko D.O., Kochurin D.V., Bragina L.L., Varfolomeeva S.V. Technology of plasma metallization of the wood and fibrous board. Construction Materials and Products. 2018. 1 (3). P. 4 – 10. DOI: 10.34031/2618-7183-2018-1-3-4-10

Поступила в редакцию 12 февраля 2018 г.
Принята в доработанном виде 3 мая 2018 г.
Одобрена для публикации 9 августа 2018 г.

Received: February 12, 2018.
Revised: May 3, 2018.
Accepted: August 9, 2018.