

УДК 691.328

## БЕТОННЫЕ ПОЛИРОВАННЫЕ ПОЛЫ С УПЛОТНИТЕЛЯМИ

ШПИРЬКО Н.В.<sup>1</sup>, д.т.н., доц.,  
БОНДАРЕНКО С.В.<sup>2</sup>, к.т.н., доц,  
СЕВАСТЬЯНОВА О.Э.<sup>3</sup>, к.т.н., доц,  
БОНДАРЕНКО А.С.<sup>4</sup>

<sup>1</sup> ГВУЗ «Приднепровская государственная академия строительства и архитектуры», ул. Чернышевского, 24<sup>а</sup>, г. Днепропетровск, Украина, 49005.

**Анотация.** В настоящее время широкое распространение получили покрытия из полированного бетона, обладающие высокими физико-механическими свойствами. Это достигается пропиткой поверхности бетона уплотнителями, которые обычно наносятся между этапами полировки. Основным принципом работы данных уплотнителей служит их проникновение в тело пористого цементного камня с последующим его уплотнением В этой статье авторы изучали бетоны пропитанные уплотнителями.

**Ключевые слова:** бетон, полированный пол

## БЕТОННІ ПОЛІРОВАНІ ПІДЛОГИ З УЩІЛЬНЮВАЧАМИ

ШПИРЬКО Н.В.<sup>1</sup>, д.т.н., доц.,  
БОНДАРЕНКО С.В.<sup>1</sup>, к.т.н., доц,  
СЕВАСТЬЯНОВА О.Е.<sup>1</sup>, к.т.н., доц,  
БОНДАРЕНКО А.С.<sup>1</sup>

<sup>1</sup> ДВНЗ «Придніпровська державна академія будівництва та архітектури», вул. Чернишевського, 24а, м Дніпропетровськ, Україна, 49005.

**Анотація.** В даний час широке поширення одержали покриття з полірованого бетону, що володіють високими фізико-механічними властивостями. Це досягається просоченням поверхні бетону ущільнювачами, які зазвичай наносяться між етапами полірування. Основним принципом роботи даних ущільнювачів слугує їх проникнення в тіло пористого цементного каменю з подальшим його ущільненням. У цій статті автори вивчали бетони просочені ущільнювачами

**Ключові слова:** бетон, полірована підлога

## CONCRETE POLISHED FLOORS WITH SEAL

SPIRKO N., *Dr. Sc. (Tech.), Ass. Prof.*  
BONDARENKO S., *Cand. Sc. (Tech.) Ass. Prof.*  
SEVASTYANOVA O., *Cand. Sc. (Tech.) Ass. Prof.*  
BONDARENKO A.

<sup>1</sup> SHEI "Prydniprovskaya State Academy of Civil Engineering and Architecture", Chernyshevsky str., 24a, Dnepropetrovsk, Ukraine, 49005..

**Abstract.** В настоящее время широкое распространение получили покрытия из полированного бетона, обладающие высокими физико-механическими свойствами. Это достигается пропиткой поверхности бетона уплотнителями, которые обычно наносятся между этапами полировки. Основным принципом работы данных уплотнителей служит их проникновение в тело пористого цементного камня с последующим его уплотнением В этой статье авторы изучали бетоны пропитанные уплотнителями.

**Keywords:** concrete, polished floors

Строительство новых логистических комплексов и складских помещений связано с увеличением объёмов хранения за счёт увеличения их высоты и скорости обработки грузов. При этом применяются

многоярусные стеллажные системы, стойки которых передают на пол нагрузку до 25 тон через опоры площадью порядка 100 см<sup>2</sup> [1]. Увеличение скорости обработки грузов приводит к увеличению

интенсивности знакопеременной нагрузки на полы через стойки стеллажных систем. При перемещении грузов подъёмно-транспортными механизмами полы подвергаются воздействию ударов, истиранию и динамическим нагрузкам. Полы в приведенных зданиях, как правило, устраивают из монолитного армированного бетона.

Бетон в полах является основой и его свойства в значительной мере определяют их долговечность. Поэтому, учитывая особенности эксплуатации промышленных полов бетон должен иметь высокую механическую прочность, плотность, повышенные требования к истираемости и обладать при определённых условиях, достаточной морозостойкостью и водонепроницаемостью.

В настоящее время широко распространение получили покрытия из полированного бетона, обладающие высокими физико-механическими свойствами. Это достигается пропиткой поверхности бетона уплотнителями, которые обычно наносятся между этапами полировки. Основным принципом работы данных уплотнителей служит их проникновение в тело пористого цементного камня с последующим его уплотнением. Сам процесс уплотнения происходит при химическом взаимодействии компонентов уплотнителя с гидроксидом кальция, в результате чего образуются гидросиликаты кальция, заполняющие микропоры и микротрещины в цементном камне.

Поверхность бетонных конструкций имеет капиллярно пористую структуру. В процессе эксплуатации это приводит к проникновению в верхний слой влаги как агрессивной так и не агрессивной, что вызывает физико-химическую коррозию. Наличие на поверхности пор и микротрещин снижает прочность поверхностного слоя, долговечность поверхности конструкции и увеличивает затраты на ремонт. Для повышения долговечности поверхности плоских конструкций и придания ей высоких эстетических качеств её пропитывают различными жидкими пропитками (полимерными, неорганическими).

Пропитки, использованные для проведения исследований относятся к неорганическим. Все жидкие пропитки, применяются при высохшем поверхностном слое бетона, когда поверхностные поры и микротрещины свободны от влаги (влажность поверхностного слоя 4-5%). В большинстве случаев нанесение пропитки на поверхность бетона пола (при производстве полированных полов) выполняется после шлифовки поверхности.

Жидкая пропитка по капиллярным порам проникает в поверхностный слой бетона и вступает в реакцию с компонентами (фазового состава) цементного камня. В результате реакций образуются соединения, которые коагулируют поры, повышая плотность поверхностного слоя, что приводит к увеличению его прочности, снижению истираемости и пыления. Результаты пропитки будут зависеть от характера пористости поверхности, фазового состава

цементного камня в бетоне, ингредиентов, зернового состава и концентрации твёрдых компонентов. Снижение вязкости, размера частиц кремнезёма позволяет пропитке более глубоко проникать в поверхностный слой бетона.

В качестве основы неорганических пропиток применяется золь кремнезёма (коллоидный кремнезём, стабилизированный в воде одним из щелочных катионов металла), а также могут вводиться комплексные полимерные добавки.

Авторы изучали истираемость и водопоглощение образцов бетона пропитанных уплотнителями Bauhard plus 1, Bauhard plus 2, Bauhard plus XL согласно технологии Bauhard с проектным классом C25/30 S4 на цементе ПЦ II/A-III-500 и ПЦ II/A-III-400.

Истираемость бетонов пропитанных уплотнителями и контрольных образцов определяли в соответствии с требованиями ДСТУ Б В.2.7-212:2009 «Бетони. Методи визначення стираності» на круге истирания ЛКИ-3. Наиболее высокие показатели имел уплотнитель Bauhard plus XL, затем следовали Bauhard plus 2, Bauhard plus 1 не зависимо от марки цемента.

Водопоглощение определяли в соответствии с требованиями ДСТУ Б В.2.7-170:2008 «Бетони. Методи визначення середньої густини, вологості, водопоглинання, пористості і водонепроникності». Определение водопоглощения бетонных образцов производили после покрытия парафином всех поверхностей образца кроме полированной и пропитанной уплотнителем. Результаты испытаний подтвердили преимущество уплотнителя Bauhard plus XL, затем следовали Bauhard plus 2 и Bauhard plus 1.

Для выявления влияния уплотнителей на взаимодействие с компонентами цементного камня были проведены термические исследования – дифференциально-термический (ДТА) и термогравиметрический (ТГ) анализы.

Для проведения термических анализов с поверхности бетонных образцов пропитанных коллоидными растворами уплотнителей с люминофором и контрольных образцов пропитанных водой с люминофором, соскабливали тонкий слой материала в виде порошка массой 4-5г которые подвергались исследованию.

Проведенными исследованиями выявлено, что в контрольных образцах бетона без пропитки уплотнителями изготовленных с применением цемента ПЦ II/A-III-400 имеются следы разложения люминофора определённые по переломам кривой ДТА при температурах 240, 320, 360 °С. Присутствуют карбонат кальция (эндоэффект при 770 °С), кремнезём (перелом кривой ДТА с небольшим эндоэффектом при 573 °С), а также в небольшом количестве СаОН (эндоэффект при 460 °С и перелом кривой ТГ в интервале 460-530 °С).

Во всех образцах бетона изготовленных с использованием цемента ПЦ II/A-III-400 пропитанных уплотнителями Bauhard plus 1, Bauhard plus 2, Bauhard plus XL согласно технологии Bauhard в качестве основной связки присутствует тоберморитовый гель (гидросиликаты кальция). Присутствие его определено по убыванию массы на кривой TG в интервале 160-610 °С. Установлено так же присутствие карбоната кальция (эндоэффект при 730, 750, 760 °С), примеси кварца (эндоэффект при 575 °С). В образцах отсутствует  $\text{Ca}(\text{OH})_2$ , но присутствует кремнегель определённый по экзоэффектам при 350 °С на кривых ДТА вызванных его конденсационной полимеризацией.

Глубина пропитки поверхностного слоя и взаимодействие её с цементным камнем бетона, исследовали на образцах изготовленных из бетонной смеси C25/30 S4 пропитанных уплотнителями Bauhard plus 1, Bauhard plus 2, Bauhard plus XL согласно технологии Bauhard. Для выявления глубины пропитки поверхностного слоя бетона коллоидным раствором уплотнителей в него вводили люминофор.

Для определения глубины пропитки образцы кубы с ребром 70мм распиливали с помощью алмазного круга на пластины толщиной 20мм, в направлении отшлифованной и пропитанной поверхности. Глубина пропитки определялась по толщине окрашивания поверхностного слоя бетона на измерительном микроскопе при подсвечивании образца.

Исследования показали, что пропитка коллоидным раствором уплотнителей всех образцов бетона неравномерна по толщине слоя и колеблется от 5 до 300 мкм вне зависимости от применяемого цемента (ПЦ II/A-III-500 или ПЦ II/A-III-400). Глубина пропитки при постоянном зерновом составе твёрдой части уплотнителя в основном определяется характером пористости цементного камня и его толщиной в поверхностном слое бетона.

С целью выявления микроструктуры поверхностного слоя бетона пропитанного коллоидным раствором уплотнителей проводили электронно-микроскопические исследования на сканирующем электронном микроскопе.

Анализ термограмм фазового состава поверхностного слоя бетона с использованием цемента ПЦ II/A-III-500 после его пропитки уплотнителями показывает, что в отличие от поверхностного слоя бетона на цементе ПЦ II/A-III-400 в нём значительно в меньшем количестве (почти в 3 раза) содержится кремнегеля. Это определено сравнением интенсивности экзоэффектов при 350 °С относящихся к конденсационной полимеризации кремнегеля.

В поверхностном слое бетона пропитанного коллоидным раствором уплотнителя наблюдается отсутствие  $\text{Ca}(\text{OH})_2$ . В то же время отмечается присутствие  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  в образцах без пропитки. Во всех образцах присутствует карбонат кальция но в

большем количестве он наблюдается в непропитанном бетоне, определённом по эндоэффектам при 760-780 °С. Следует отметить, что наибольшее количество гидросиликатов кальция в поверхностном слое бетона образуется при его пропитке раствором уплотнителя Bauhard plus XL, а наименьшее в бетоне с непропитанным поверхностным слоем. Относительная оценка содержания гидросиликатов кальция проводилась по потере массы в интервале 180-600 °С.

На снимках микроструктуры поверхностного слоя бетона на цементе ПЦ II/A-III-400 без пропитки уплотнителем рис. 1 А видны зёрна мелкого уплотнителя склеенные между собой в монолит с неоднородным каркасом цементного камня, имеющим различную толщину. Зёрна цемента в цементном камне склеены между собой наночастицами гидросиликатов кальция, кристаллами  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  в местах их контактов, образуя при этом бугристую плёнку геля рис. 1 А.

Необходимо отметить, что на поверхность бетона выходит незначительное количество капиллярных пор. На рис. 1 А видны гидратированные поверхности зёрен цемента представленные  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  и гидросиликатами кальция, а так же контакты их срастания и поры. В основном в поверхностном слое непропитанного уплотнителем бетона преобладают нанопоры.

Пропитка поверхностного слоя бетона на цементе ПЦ II/A-III-400 уплотнителем Bauhard plus 1 приводит к проникновению его на различную глубину от 5 до 90 мкм рис. 1 Б. При этом по всей поверхности образуется плотная и прочная поверхностная корка толщиной 2,5-3 мкм рис. 1Б.

Пропитка поверхностного слоя бетона уплотнителем Bauhard plus 2 так же как Bauhard plus 1 приводит к его проникновению на различную глубину от 12 до 40 мкм рис. 1 В с образованием поверхностной корки. Образующаяся в процессе реакции плёнка геля тоже представлена гидросиликатами кальция, а в структуре присутствуют гранулы не прореагировавшего кремнегеля рис. 1 В.

Глубина проникновения уплотнителем Bauhard plus XL в поверхностный слой бетона на цементе ПЦ II/A-III-400 достигает 325 мкм рис. 1 Г. При этом толщина верхнего уплотнённого слоя составляет 6 мкм рис. 1 Г. В пропитанном уплотнителем Bauhard plus XL поверхностном слое присутствуют гранулы не прореагировавшего кремнегеля рис. 1 Г и плёнка геля из гидросиликатов кальция.

Структура поверхностного слоя, не пропитанного уплотнителями бетонного образца на цемента ПЦ II/A-III-500 представлена на рис. 18, где видны зёрна песка, выемка от зерна песка и соединительный слой цементного камня толщиной 100 мкм. Микроструктура соединительного слоя представлена гидратированными зёрнами цемента соединёнными наноагрегатами гидросиликатов кальция с вкраплениями  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  и капиллярными порами.

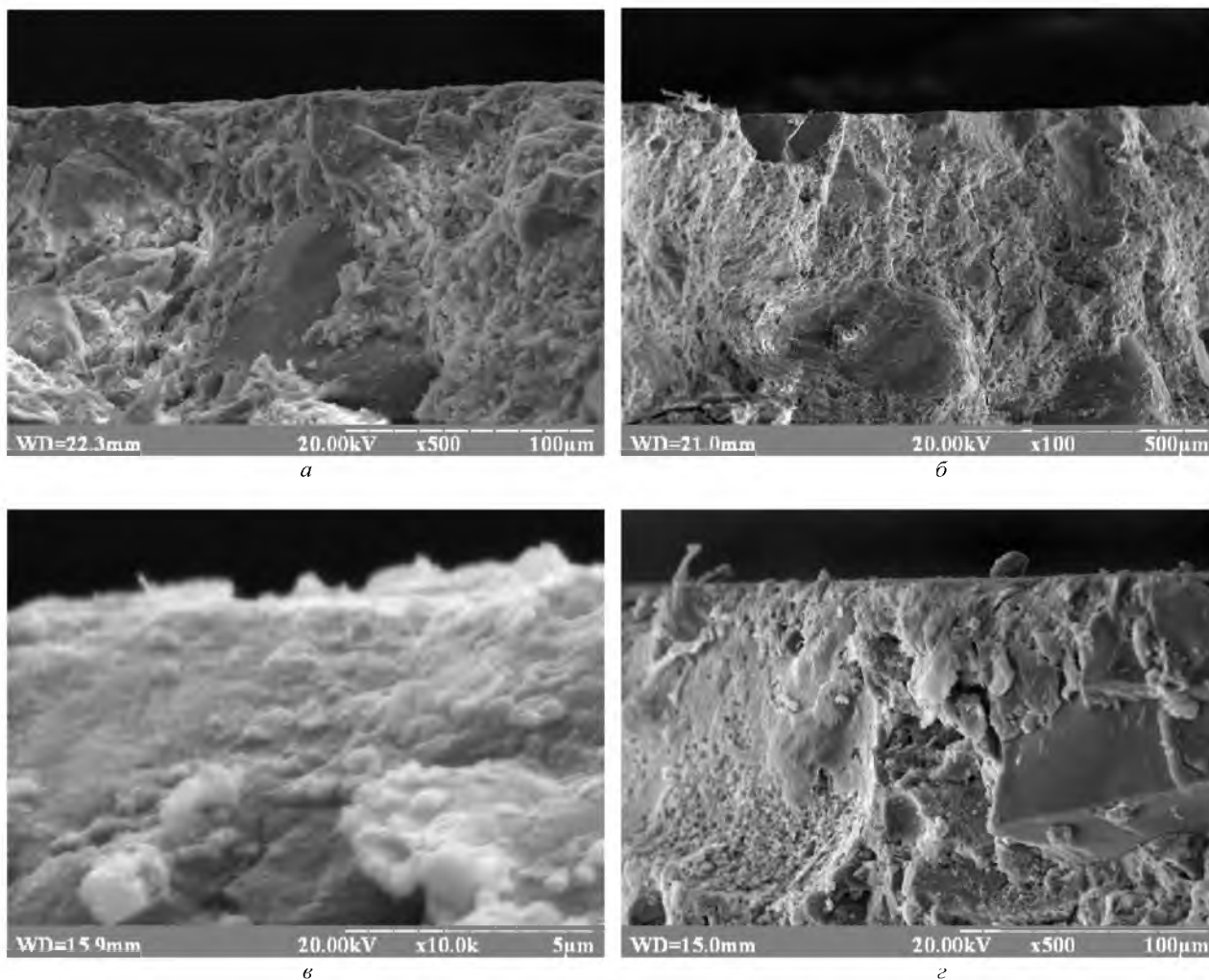


Рис. 4 Микроструктура поверхностного слоя бетона на цементе ПЦ П/А-III-400:  
 а - без пропитки уплотнителем; б - пропитанного уплотнителем Bauhard plus 1; в - пропитанного уплотнителем Bauhard plus 2; г - пропитанного уплотнителем Bauhard plus XL

Микроструктура поверхностных слоёв образцов бетона на цементе ПЦ П/А-III-500 пропитанных уплотнителями Bauhard plus 1, Bauhard plus 2, Bauhard plus XL согласно технологии Bauhard, аналогична микроструктуре поверхностных слоёв бетона на цементе ПЦ П/А-III-400 пропитанных теми же уплотнителями.

Для подтверждения результатов термических исследований и электронной микроскопии бетонов были проведены рентгенофазовые исследования поверхности бетонных образцов пропитанных уплотнителями Bauhard plus 1, Bauhard plus 2, Bauhard plus XL. Для этого с поверхности бетонных образцов с пропиткой и без неё были соскоблены тонкие слои отвердевшей растворной части бетона. Для проведения рентгенофазовых исследований отбирались навески одинаковой массы. Исследования проводились на дифрактометре ДРОН - 4. Результаты исследований предоставлены в виде дифрактограмм и таблиц с указанием межплоскостных расстояний и относительных интенсивностей дифракционных максимумов.

Анализ результатов исследований свидетельствует, что в образцах бетона не пропитанных уплотнителями присутствует в незначительном количестве  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  идентифицированный на рентгенограмме, образцы на цементе ПЦ П/А-III-400 по межплоскостным расстояниям равным 0,495; 0,262; 0,191 Нм, а также в образце на цементе ПЦ П/А-III-500 идентифицированный по тем же межплоскостным расстояниям. Следует отметить в образце на цементе ПЦ П/А-III-500 содержание  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  несколько выше чем на цементе ПЦ П/А-III-400. Это определено по относительной интенсивности дифракционных максимумов с межплоскостными расстояниями равными 0,262 Нм. На дифрактограммах всех остальных образцов бетона пропитанных уплотнителями Bauhard plus 1, Bauhard plus 2, Bauhard plus XL  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  не обнаружено, что определено по отсутствию характерных для  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  дифракционных максимумов. Во всех образцах с пропиткой и без неё присутствует  $\text{CaCO}_3$  идентифицированный по межплоскостным расстояниям; 0,303; 0,187; 0,191; Нм. Во всех

образцах присутствует микроклин, идентифицированный по межплоскостным расстояниям 0,323; 0,216; 0,18; Нм. Следует отметить, что наиболее рациональным является использование пропиток для бетонов, приготовленных на цементе ПЦ II/A-III-500 так как большее количество составляющих цементный камень вступает в реакцию с уплотнителем, что

приводит к образованию плотного поверхностного слоя и кальматации пор.

#### СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ / REFERENCES

1. Пивинский Ю.В. Керамические вяжущие и керамобетоны. -М.: Металлургия, 1990.- 272 с.

*Статья рекомендована к публикации докт. техн. наук, проф. В. И. Большаковым (Украина); докт. техн. наук, проф. Д. В. Лаухиным (Украина)*

Поступила в редколлегию 21.01.2015

Принята к печати 24.03.2015