

4. Abramov E.I. Hydraulic drive component parts. / E.I. Abramov, K.A. Kolesnichenko, B.T. Maslov: Spravochnik. Izd. 2-e, pererab i dop. Kiev: «Tekhnika», 1977. 320 p.
5. Anur'yev V.I. Reference-book for a mechanical engineer. Anur'yev V.I. V 3-kh t. T. 1. Izd. 5-e, pererab. i dop. M.: Mashinostroeniye, 1980. 728 p.
6. Frolov I.O. Operational damages impact on the hydraulic actuators working capacity and the ways of their reliability improvement in respect to single-bucket excavators: diss. ... kand. tekhn. nauk. L., 1984. 221 s.
7. Kobzov D.Yu. Analysis of feedback alternatives for probable initial deformation of hydraulic actuator long-length component parts./ Kobzov D.Yu., Voytov V.G. Dep. v MASH-MIR №47-сд92. Bratsk, 1992. 17 p.
8. Kobzov D.Yu. The search technique of diagnostic variables limiting values of hydraulic actuators load-carrying ability. Kobzov D.Yu., Reshetnikov L.L. Povysheniye effektivnosti ispol'zovaniya mashin v stroitel'stve: Sb. tr. LISI, L., 1987. P. 118-120.
9. Kobzov D. Yu., Tarasov V.A., Trofimov A.A. Hydrocylinders for road-making and building machines. P. 2. Application environment, operation, operating mode and loading parameters. Bratsk, 1999. 108 s. Dep. v VINITI № 3552-1399. 108 p.
10. Pisarenko G.S. Reference-book on strength of materials. G.S. Pisarenko, A.P. Yakovlev, V.V. Matveev. Kiev: «Naukova dumka», 1988. 736 p.
11. Vasil'chenko V. A. Hydraulic equipment of mobile machines. M.: Mashinostroeniye, 1983. 301 p.
12. Kobzov D. Yu. Deformation assessment of a hydraulic actuator rod and body. Kobzov D. Yu., Khyutte V.I. Dep. v MASH-MIR № 52-сд92. Bratsk, 1992. 11 p.
13. Rybasenko V.D. Elementary functions: formulas, tables, diagrams. Rybasenko V.D., Rybasenko I.D. M.: Nauka, 1987. 416 p.
14. Kobzov D.Yu. Hydrocylinders for road-making and building machines. P. 1. Design. Reliability. Development prospects. Ch. 1. Bratsk, 1998. 59 p. Dep. v MASHMIR № 2-sd 98.
15. Puntsag D.O. On the diagnostics of road-building machines. / Puntsag D., Lkhanag D., Kobzov D.Yu., Tiguntsev A.M. Uchenye zapiski/ GK NTVO MNR. Ulaan-Baatar, 1988, № 2. P. 41-45.
16. Kobzov D.Yu. Technical aiding in hydraulic actuators improvement of single-bucket excavators operational equipment. Mamaev L.A., Kobzov D.Yu., Kalashnikov L.A. i dr. Otchet o NIR; GR 01900052221, IN 02900039190. Bratsk. industr. in-t, Bratsk, 1990. 81 p.
17. Alekseenko P.D. [Device for monitoring hydraulic actuators rod curvature. / Alekseenko P.D., Kobzov D.Yu., Gubanov V.G. Inform. listok №1058-86/LTsNTI, L., 1986.
18. Voytkevich V.B. Diagnostic device to control load-carrying ability of building machines hydraulic actuators. / Voytkevich V.B., Kobzov D.Yu. Inform. listok №980-88/ LTsNTI, L., 1988.
19. Kobzov D.Yu. Diagnostic technique for hydraulic actuators of road-building machines. Kobzov D.Yu., Mamaev L.A. Inform. listok №89-44/ Irkutsky mezhtrassovoy territorial'ny TsNTI. Irkutsk, 1989.

УДК 630

Исследование прочности сцепления композиционных покрытий, полученных методом ЭКН

В.В. Балихин¹, В.А. Марков¹, А.А. Мальцев¹

¹Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет им. С.М. Кирова, Институтский 5, Санкт-Петербург, Россия. E-mail: mactor85@mail.ru

Статья поступила 13.01.2012, принята 25.05.2012

В данной статье произведено исследование влияния факторов технологического процесса электроконтактного припека на прочность сцепления композиционного металлопокрытия с основой. В ходе исследований выявлены факторы, оказывающие наибольшее влияние на процесс нанесения композиционных покрытий электроконтактным методом. В работе представлены методика проведения исследования, необходимое оборудование и лабораторные образцы. Для повышения точности проведения исследований и накопления статистических данных эксперимент в каждом режиме включал в себя не менее двух опытов. Для определения τ (прочности сцепления) используется ПЭФ типа 2³ второго порядка. Результатом данного исследования является уравнение регрессии, позволяющее оценить влияние каждого из факторов на один из важнейших показателей долговечности – прочность сцепления основного материала с основой. В завершающей части статьи произведена оптимизация полученной зависимости методом Монте-Карло. Суть данного метода заключается в многократном подставлении в уравнение регрессии различных значений факторов в установленных пределах с целью получения оптимального (максимального или минимального) значения функции. В результате оптимизации получены следующие значения параметров технологического процесса: $I = 14$ кА, $U = 4В$ и $Rz = 90$ мкм при $\tau = 525$ МПа. Исходя из требований, предъявляемых к высоконагруженным деталям (согласно классификации проф. М.А. Масино), прочность сцепления покрытия с основным материалом должна превышать 500 МПа. В нашем случае данное условие выполняется, что свидетельствует о высокой прочности сцепления покрытия с основным материалом и соответствии материала ПК40Х2 условиям эксплуатации высоконагруженных соединений лесозаготовительной техники.

Ключевые слова: прочность сцепления, адгезия, образцы для исследования, пресс, оптимизация.

Research of composition coatings adhesion strength by electrical contact bake-on method

V.V. Balikhin¹, V.A. Markov¹, A.A. Mal'tsev¹

¹St. Petersburg State Forestry Engineering University, 5 Institutsky lane, St. Petersburg, Russia. E-mail: mactor85@mail.ru
The article received 13.01.2012, accepted 25.05.2012

The given article presents the study of the factors influencing the technological process of electrical contact bake-on on adhesion strength between metal coating and the base. In the course of the research, the factors having the greatest impact on the process of

composition coatings application by electrical contact bake-on method have been revealed. The article proposes the research procedure, the equipment needed and the laboratory patterns. To increase the research accuracy and gather statistical data, the experiment consisted of not less than two experiments in every mode. To value τ (adhesion strength), a full factorial experiment type 2^3 of the second order is used. The result of this research is the regression equation allowing assessing the effect of each factor on one of the most important life ratios - adhesion strength of the basic material and the base. In the final part of the article the optimization of the obtained dependence by Monte Carlo method has been performed. The principle of the method consists of a repeated substitution of different factor values into the regression equation within the set limit in order to get the optimal value of the function (maximum or minimum). As a result of the optimization, the following technological process parameters values have been obtained: $I = 14 \text{ kA}$, $U = 4 \text{ V}$ and $R_z = 90 \text{ microns}$ at $\tau = 525 \text{ MPa}$. Based on the requirements produced to the high-loaded components (according to the classification by prof. M.A. Masino), adhesion strength to the basic material should exceed 500 MPa . This condition has been met for the given instance, and this indicates the high degree of adhesion strength with the basic material and the compliance of ПК40Х2 material with the service conditions for high-loaded junctions of logging machinery.

Key words: adhesion strength, adhesion, laboratory patterns, press, optimization.

Прочность сцепления покрытия с основным материалом является одним из важнейших параметров долговечности восстановленной или изготовленной детали с использованием покрытий. В зависимости от условий эксплуатации и ряда других факторов требования к прочности сцепления могут отличаться. Исследования в данном направлении были проведены проф. М.А. Масино. Исходя из предложенной им классификации, прочность сцепления для малонагруженных деталей должна составлять не менее 50 МПа ; для деталей, испытывающих средние нагрузки – 200 МПа , а для высоконагруженных – не менее 500 МПа . Деталь «ось катка» относится к классу высоконагруженных, и, соответственно, прочность сцепления покрытия с основой в нашем случае должна составлять $\geq 500 \text{ МПа}$.

В настоящее время существуют различные методы оценки прочности сцепления покрытия с основным материалом. Среди наиболее распространенных методов испытания следующие: сдвиг, срез, смятие, кручение, динамические испытания и так далее.

В нашем случае наиболее целесообразно провести исследование прочности сцепления методом «на сдвиг». Схема проведения исследования прочности сцепления на сдвиг представлена на рис. 1.

Данный метод заключается в исследовании адгезионной прочности сцепления. Суть метода заключается в воздействии на поверхность покрытия нагрузкой до момента его отрыва от основного материала. Зная значение нагрузки, при которой произошел отрыв покрытия от основы, и, соответственно, площадь контакта покрытия с основным материалом, определяют величину напряжений в зоне их соединения. Исследования проводились на гидравлическом лабораторном прессе ПСУ-10 завода ЗИМ с инвентарным номером 852 с погрешностью измерений не более 10 Н .

Прочность сцепления (τ) определяется как отношение нагрузки, при которой происходит отрыв покрытия от основы (P), к площади двух материалов (S):

$$\tau = \frac{P}{S}, \quad (1)$$

$$S = \pi D \cdot h, \quad (2)$$

где D – диаметр соединения покрытия с основой, m ; h – высота исследуемой поверхности образца, m .

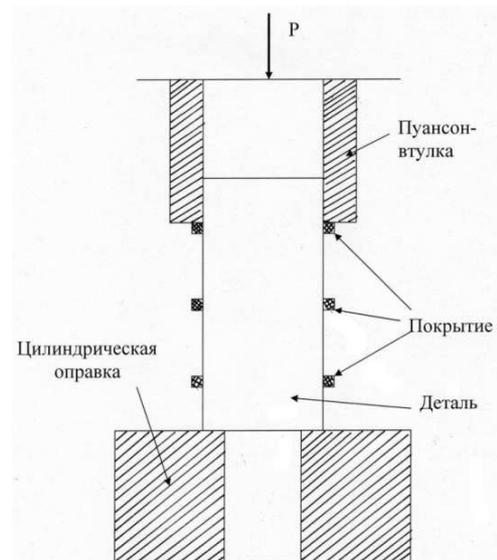


Рис. 1. Схема проведения исследования прочности сцепления.



Рис. 2. Образец для проведения исследования.

Для повышения точности проведения исследований и накопления статистических данных эксперимент в каждом режиме включал в себя не менее двух опытов. Образец для исследования прочности сцепления представлен на рис. 2. Из рисунка видно, что образец включает в себя три зоны соединения основного материала с покрытием, из них два используются для проведения опытов, а третье изготовлено на случай срыва одного из опытов по техническим причинам, чтобы не нарушать статистику [1, с. 6-7].

Основные факторы, влияющие на процесс электроконтактного припекания композиционных материалов, определяем из априорных литературных источников: $I = 10-14$ кА; $U = 2-4$ В; $Rz = 20-160$ мкм. В качестве порошкового материала используем ПК40Х2 [2, с. 25-26].

Для определения τ (прочности сцепления) используется ПЭФ типа 2^3 второго порядка. Кодировем переменные факторы и заносим их значения в таблицу 1.

Из таблицы находим:

$$X_1 = 2 \times (\ln x_1 - 2,3) / [2,3 - 2,64] + 1 = -5,88 \ln x_1 + 14,5$$

$$X_2 = 2 \times (\ln x_2 - 0,69) / [0,69 - 1,39] + 1 = -2,86 \ln x_2 + 5,83$$

$$X_3 = 2 \times (\ln x_3 - 2,99) / [2,99 - 5,08] + 1 = -0,96 \ln x_3 + 3,86$$

Запишем уравнение с введением членов, учитывающих взаимодействие факторов, и представим в кодированных переменных:

$$Y = \tau = b_0 + \sum_{i=1}^3 b_i x_i + \sum_{i,j} b_{ij} x_i x_j + b_{123} x_1 x_2 x_3 + \sum_{i=1}^3 b_i x_i^2 \quad (3)$$

Для более точной воспроизводимости результатов эксперимента выбираем число повторных опытов $r = 2$ в каждой точке плана.

Результаты проведенного эксперимента кодируем и сводим в таблицу 2. Для большей достоверности к восьми основным опытам добавляем еще семь вспомогательных. Это производится с целью выявления центра плана и «звездных точек» (α). Коэффициент «звездных точек» принимаем в соответствии с таблицей 3.

Таблица 1

Уровни факторов

Уровень фактора	I, кА		U, В		Rz, мкм	
	x_1	$\ln x_1$	x_2	$\ln x_2$	x_3	$\ln x_3$
Нижний (-1)	10	2,30	2	0,69	20	2,99
Основной (0)	12	-	3	-	90	-
Верхний (+1)	14	2,64	4	1,39	160	5,08
$-\alpha$	7,85	-	1,57	-	15,7	-
$+\alpha$	17,01	-	4,86	-	194,4	-

Таблица 2

№ опыта	X_1	X_2	X_3	Для r_1	Для r_2	$\bar{\tau}$, МПа	$\bar{Y} = \ln \bar{\tau}$
	код	код	код	τ' , МПа	τ'' , МПа		
1	+	+	+	520	540	530	6,27
2	-	+	+	350	320	335	5,81
3	+	-	+	390	400	395	5,98
4	-	-	+	270	275	272,5	5,60
5	+	+	-	530	520	525	6,26
6	-	+	-	360	335	347,5	5,85
7	+	-	-	385	400	392,5	5,97
8	-	-	-	240	255	247,5	5,51
9	$-\alpha$	0	0	190	200	195	5,27
10	$+\alpha$	0	0	230	250	240	5,48
11	0	$-\alpha$	0	180	175	177,5	5,18
12	0	$+\alpha$	0	260	245	252,5	5,53
13	0	0	$-\alpha$	290	300	295	5,69
14	0	0	$+\alpha$	310	315	312,5	5,74
15	0	0	0	300	320	310	5,73

Таблица 3

Значения параметров ОЦКП при числе факторов n

n	2	3	4	5	6	7	8
α	1	1,215	1,414	1,596	1,761	1,909	2,015
a	0,667	0,73	0,8	0,86	0,91	0,946	0,968
N	9	15	25	43	77	143	273

Подставив значения b_i в уравнение 4.1, получим:

$$Y = 5,9 + 0,21X_1 + 0,14X_2 - 0,009X_3 + 0,004X_1X_2 - 0,004X_1X_3 - 0,02X_2X_3 + 0,02X_1X_2X_3 + 0,1X_1^2 + 0,18X_2^2 - 0,03X_3^2 \quad (4)$$

Определим дисперсию воспроизводимости опытов:

$$S_y^2 = \frac{\sum (\bar{Y}_u - Y_{uq})^2}{N - (r - 1)} \quad (5)$$

где Y_{uq} – значение Y_u в q-ом повторном опыте. Результаты расчетов сведем в таблицу 4.

Таблица 4

№ опыта	$\bar{Y}_u - Y_{uq}$	$(\bar{Y}_u - Y_{uq})^2$	№ опыта	$\bar{Y}_u - Y_{uq}$	$(\bar{Y}_u - Y_{uq})^2$
1	6,25-6,27=-0,02	0,0004	5	6,27-6,26=0,01	0,0001
1	6,29-6,27=0,02	0,0004	5	6,25-6,26=-0,01	0,0001
2	5,86-5,81=0,05	0,0025	6	5,89-5,85=0,04	0,0016
2	5,77-5,81=-0,04	0,0016	6	5,81-5,85=-0,04	0,0016
3	5,97-5,98=-0,01	0,0001	7	5,95-5,97=-0,02	0,0004
3	5,99-5,98=0,01	0,0001	7	5,99-5,97=0,02	0,0004
4	5,57-5,6=-0,03	0,0009	8	5,48-5,51=-0,03	0,0009
4	5,62-5,6=-0,02	0,0004	8	5,54-5,51=0,03	0,0009

$$S_y^2 = 0,0124 / 8 \cdot (2-1) = 0,00155$$

$$S_y = 0,124$$

Произведем проверку однородности дисперсии по критерию Кохрена:

$$G_{расч} = \frac{S_{y_{\max}}^2}{\sum S_{y_i}^2} = \frac{0,0025}{0,0124} = 0,201 \quad (6)$$

Для $N = 8$; $\alpha = 0,05$; $f = r-1 = 1$ по таблице определяем критическое значение критерия Кохрена: $G_{кр} = 0,6798$. Так как $G_{расч} < G_{кр}$, то гипотеза принимается.

Далее проведем проверку значимости коэффициентов регрессии:

$$S_{b_i}^2 = S_y^2 / (N \cdot r) = 0,00155 / (8 \cdot 2) = 0,000097; S_{b_i} = 0,0098.$$

Критическое значение критерия Стьюдента находим из таблицы: $t_{кр} = 2,306$.

Определяем половину длины доверительного интервала:

$$\Delta b_i = t_{кр} \cdot S_{b_i} = 2,306 \cdot 0,0098 = 0,023 \quad (7)$$

Коэффициент значащий, если $|b_i| \geq \Delta b_i$. Запишем уравнение регрессии, отсеяв незначимые коэффициенты:

$$Y = 5,9 + 0,21X_1 + 0,14X_2 + 0,1X_1^2 + 0,18X_2^2 - 0,03X_3^2.$$

Проверка адекватности модели. Дисперсия адекватности:

$$S_{Ад}^2 = r / (N - k) \cdot \sum (\bar{Y}_u - \hat{Y}_u)^2 \quad (8)$$

где k – число членов полинома; \hat{Y}_u – расчетное значение параметров (проведем при помощи программы SPSS v13.0).

Результаты расчетов сведем в таблицу 4.

$$S_{Ад}^2 = 2 / (8 - 5) \cdot 0,022 = 0,0147$$

Критерий Фишера определяется:

$$F = S_{Ад}^2 / S_y^2 = 0,0147 / 0,00155 = 9,46.$$

Находим по таблице $F_{кр} = 19,37 > 9,46$, соответственно, модель адекватна.

Переходим к натуральным переменным:

$$\tau = 5,9 + 0,21(-5,88 \ln I + 14,5) + 0,14(-2,86 \ln U + 5,83) + 0,1 \times (-5,88 \ln I + 14,5)^2 + 0,18(-2,86 \ln U + 5,83)^2 - 0,03 \times (-0,96 \ln Rz + 3,86)^2,$$

или

$$\tau = 36,42 - 1,23 \ln I - 0,37 \ln U + 3,46 \ln^2 I + 1,47 \ln U^2 - 0,03 \ln Rz^2.$$

Потенцируя, получим:

$$\tau = 36,42 - 1,23I - 0,37U + 3,46I^2 + 1,47U^2 - 0,03Rz^2. \quad (9)$$

Из данного уравнения можно судить, что наиболее значимыми параметрами, определяющими прочность сцепления основного материала с покрытием, являются сила тока (I) и напряжение (U). Шероховатость же оказывает значительно меньший эффект, так как ее влияние проявляется лишь при учете квадратичного влияния фактора.

Оптимизация параметров технологического процесса является важной частью обработки экспериментальных данных, которая может существенно снизить себестоимость проведения технологического процесса.

В данной ситуации оптимизацию можно провести несколькими методами: классическим – методом крутого восхождения, заключающимся в выборе независимой переменной и пошаговом повышении значений факторов с целью поиска точки экстремума – и современным программным методом «Монте-Карло». Произведем оптимизацию методом «Монте-Карло» с использованием программы SPSS v.13. Суть данного метода заключается в многократном подставлении в уравнение регрессии различных значений факторов в установленных пределах с целью получения оптимального (максимального или минимального) значения функции.

В результате оптимизации получены следующие значения параметров технологического процесса:

$$I = 14 \text{ кА}, U = 4 \text{ В} \text{ и } Rz = 90 \text{ мкм при } \tau = 525 \text{ МПа.}$$

Определим коэффициент прочности сцепления:

$$K_{сц} = \frac{\tau_{экс}}{\tau_{доп}} = \frac{525}{500} = 1,05.$$

Таблица 4

№ опыта	\bar{Y}_u	\hat{Y}_u	$\bar{Y}_u - \hat{Y}_u$	$(\bar{Y}_u - \hat{Y}_u)^2$
1	6,27	6,21	0,06	0,0036
2	5,81	5,83	-0,02	0,0004
3	5,98	6,02	-0,04	0,0016
4	5,60	5,60	0	0
5	6,26	6,35	-0,09	0,0081
6	5,85	5,8	0,05	0,0025
7	5,97	6,01	-0,04	0,0016
8	5,51	5,52	-0,01	0,0001

Итого: $\sum = 0,022$

Исходя из требований, предъявляемых к высоконагруженным деталям (исходя из классификации проф. М.А. Масино), прочность сцепления покрытия с основным материалом должна превышать 500 МПа. В нашем

случае данное условие выполняется, что свидетельствует о высокой прочности сцепления покрытия с основным материалом и соответствии материала ПК40Х2 условиям эксплуатации высоконагруженных соединений лесозаготовительной техники.

Литература

1.Зубарев Ю.М. Применение методов теории планирования многофакторных экспериментов в технологии машиностроения. СПб: ОП ПИМаш, 2000. 130 с.

2. Клименко Ю.В. Электроконтактная наплавка М.: Metallurgiya, 1978. 127 с.

References

1. Zubarev Yu.M. Application of the methods of multifactorial experiments planning theory in mechanical engineering. / Yu.M. Zubarev. SPb: OP PIMash, 2000. 130 p.

2. Klimenko Yu.V. Electrocontact overlaying. Yu.V. Klimenko. M.: Metallurgiya, 1978. 127 p.

УДК 621.311

Изменение реологических свойств незатвердевшей бетонной поверхности при магнитной активации

Л.А. Мамаев¹, В.С. Федоров¹, С.Н. Герасимов¹, Р.М. Фарзалиев¹

¹Братский государственный университет, Братск, Россия. E-mail: slavik_vip1982@mail.ru
Статья поступила 16.02.2012, принята 13.05.2012

Магнитному способу водоподготовки в период 1945-1990 гг. в литературе уделено большое внимание, однако большинство информации сводится к описанию опыта применения магнитного способа на том или ином предприятии, в той или иной стране. Теоретическая же сторона вопроса рассматривается лишь в немногих работах. Все гипотезы, выдвигаемые для объяснения механизма влияния магнитного поля на воду и дисперсные системы, можно разделить на две группы. Одни исследователи считают, что причина необычного действия магнитного поля заключается в структурных остаточных изменениях в воде и растворах, вызванных магнитным полем. Другие полагают, что сущность намагничивания состоит во влиянии магнитного поля на коллоидные частицы. В статье рассмотрены научные подходы З.П. Шульмана и В.И. Кордонского, которые наблюдали куэтовские течения седиментационно устойчивой магнито-реологической суспензии, состоящей из ньютоновской дисперсионной среды и ферромагнитной дисперсной фазы при взаимно перпендикулярной ориентации гидродинамического и магнитного полей. Именно такой эффект наблюдается при финишной обработке поверхности незатвердевшего бетонного изделия бетоноотделочными машинами, содержащими магнитные активаторы. В статье рассмотрено влияние магнитного поля на реологические свойства бетонной смеси. Получена зависимость для определения предельного напряжения сдвига бетонной смеси при магнитной активации в момент финишной обработки ее поверхности.

Ключевые слова: реология, магнитная активация, магнитодипольное взаимодействие, намагничивание, дисперсные среды, удобоукладываемость.

Change of rheological properties of the unconsolidated concrete surface at magnetic activation

L.A. Mamaev¹, V.S.Fedorov¹, S.N.Gerasimov¹, R.M. Farzaliev¹

¹ Bratsk State University 40, , Bratsk. Russia. E-mail: slavik_vip1982@mail.ru
Received 16.02.2012; Accepted 13.05.2012

To magnetic way of water preparation, in 1945-1990 in literature it is paid much attention, however the majority of information is reduced to the description of experience of application of a magnetic way at this or that enterprise, in this or that country. The theoretical party of a question is considered only in few works. All hypotheses which are put forward for an explanation of the mechanism of influence of a magnetic field on water and disperse systems, it is possible to divide into two groups. One researchers consider that the reason of unusual action of a magnetic field consists in structural residual changes in water and the solutions caused by a magnetic field. Others believe that the essence of magnetization consists in influence of a magnetic field on colloidal particles. In article Schulman Z.P. scientific approaches are considered., Kordonsky V.I. which observed kuetovskiy currents sedimentatsionno steady a magnet – the rheological suspension consisting of the Newtonian dispersive environment and a ferromagnetic disperse phase at mutually perpendicular orientation hydrodynamic and magnetic water. Such effect can is observed at finishing processing of a surface of the unconsolidated concrete product, betonootdelochny cars containing magnetic activators. In article influence of a magnetic field on rheological properties of a concrete mix is considered. Dependence for determination of limiting tension of shift of a concrete mix is received, at magnetic activation at the moment of finishing processing of its surface.

Keywords: rheology, magnetic activation, magnetodipolny interaction, magnetization, disperse environments, udoboukladyvayemost