

всех исследованиях в качестве контрольной принимали бетонную смесь без добавки на основе песка средней крупности.

Для назначения рациональных составов бетонов, улучшения его структуры и повышения долговечности важно обосновать выбор определённого мелкого заполнителя в составе бетона. Были исследованы обычные и пластифицированные бетонные смеси с каждым видом мелкого заполнителя. При различном соотношении $r = \Pi_1 / (\Pi_2 + \text{Щ})$ (где Π_1 , Π_2 и Щ – расходы мелкого и крупного заполнителей). Влияние этого фактора на свойства оценивали по величине водопотребности бетонной смеси и коэффициенту расхода цемента $K_{\text{ц}} = \Pi_1 / (10R_6)$ (где Ц – расход цемента, R_6 – прочность бетона), учитывающему одновременно влияние рассматриваемого фактора на свойства бетонной смеси и бетона.

Оптимальное значение r по отношению к песку средней крупности в равноподвижных смесях при одинаковом Ц/Б снижается для очень мелкого песка на 15 %, отсева дробления – на 10 % и для смеси отсева дробления и очень мелкого песка – на 7 %.

В пластифицированных бетонных смесях на основе С-3 оптимальное значение r увеличивается на 15 % по сравнению с обычными смесями на том же мелком заполнителе. Такое содержание мелкого заполнителя в бетоне обеспечивает достижение минимальных значений водопотребности бетонной смеси и коэффициента $K_{\text{ц}}$. Исследования проводили на бетонах с оптимальным содержанием каждого вида мелкого заполнителя.

Одним из важнейших показателей оценки эффективности использования данного вида мелкого заполнителя является расход цемента для бетонной смеси и бетона с требуемыми свойствами, поэтому важно определить его влияние на водопотребность бетонной смеси и на прочность бетона.

Использование отсевов дробления из промытых пород без введения пластификатора повышает водопотребность бетонной смеси на 15–20 %, а очень мелких песков – на 10 % и более.

Применение таких видов мелкого заполнителя совместно с суперпластификатором С-3 позволяет не только устранить перерасходы цемента и воды, но и обеспечить пониженную водопотребность по сравнению с контрольной бетонной смесью. Однако смеси на естественных отсевах дробления с высоким содержанием фракции менее 0,16 мм, объёмом до 20 % и пылевидных частиц объёмом до 25 % обладают настолько повышенной водопотребностью (до 30 %), что даже пластификатор не устраняет перерасход цемента и воды. Введение пластификатора снижает водопотребность в контрольных смесях на 10–12, а в смесях на отсевах дробления и очень мелких песках – на 15–20 %. В пластифицированных бетонных смесях относительное влияние вида мелкого заполнителя на водопотребность смеси сглаживается.

Использование смеси обогащённого отсева дробления и очень мелкого песка в рациональном соотношении позволяет существенно устранить повышение водопотребности, а в сочетании с пластификатором С-3 – снизить расход воды до 10 %. Применение смеси отсевов и очень мелких песков в бетонах с добавкой С-3 обеспечивает экономию до 10–15 % цемента для бетонов классов В25 – В40.

Результаты исследований нашли широкое применение при формировании железобетонных колонн из бетона класса В25 и выше на заводе “Гомельжелезобетон”.

Рациональное использование в пластифицированных бетонных смесях различных видов мелких заполнителей позволяет расширить их сырьевую базу, экономно расходовать цемент и повысить качество и долговечность железобетонных конструкций.

Более существенного улучшения свойств бетонной смеси и бетона можно добиться при применении гиперпластификаторов нового поколения. Как правило, современные очень эффективные пластификаторы являются химическими добавками комплексного действия. К таким химическим модификаторам, разрешённым к применению на территории Беларуси, относятся “Полипласт”, “Реламикс”, “Стахепласт”, “Вибропор”, “Комплекс – 5”, “Стахелбел”, “Хидетал”, “Универсал” (разных модификаций).

УДК 62-762-036.4

РЕЖИМЫ ЭКСПЛУАТАЦИИ МОДИФИЦИРОВАННЫХ РЕЗИНОВЫХ УПЛОТНЕНИЙ

С. В. ПЕТРОВ, Е. А. МЕДВЕДЕВА

Белорусский государственный университет транспорта

В настоящее время одной из проблем развития техники является повышение ресурса работы резиновых уплотнений и улучшение их эксплуатационных характеристик. Неверный выбор уплотнений или их низкое качество и неправильная эксплуатация могут привести к отклонениям показателей работы машин, снижению их надёжности, большим экономическим потерям.

Ряд технологических методов повышения ресурса резиновых уплотнений заключаются в целенаправленном изменении структуры и свойств поверхностных слоев в результате различного по своей природе энергетического воздействия, приводящего, как правило, к формированию композиционных покрытий. К ним относится метод электронно-лучевого диспергирования полимеров в вакууме. Однако процессы, протекающие на поверхности модифицированных данным методом уплотнений при трении, их физико-механические свойства изучены недостаточно. Отсутствует также информация об оптимальных условиях и режимах эксплуатации модифицированных уплотнений, что затрудняет их использование на практике.

Целью работы являлся подбор составов покрытий для резиновых уплотнений, работающих при различных нагрузочно-скоростных режимах. Для этого были проведены триботехнические испытания на машине трения СМТ-1 по схеме «вал – вкладыш». В качестве индентора применялись резиновые вкладыши из маслобензостойкой резины 3826. Модифицирование осуществлялось методом электронно-лучевого диспергирования исходного полимера в вакууме. С помощью данного метода на резиновых образцах были получены комбинированные покрытия из ПУ, ПЭ и ПТФЭ. Толщина покрытий составляла 0,5 мкм. В качестве контртела использовался ролик из стали 40Х с шероховатостью $R_a = 0,8$ мкм и твердостью поверхности 52–55 НРС. Давление в зоне трения изменялось с 0,175 до 0,5 МПа. Скорость скольжения варьировалась с 0,25 до 0,75 м/с. Для каждого покрытия определялась поверхностная энергия по Фоуксу.

Было установлено, что все покрытия значительно изменяют поверхностную энергию резинового уплотнения. Так, комбинированные покрытия ПЭ + ПТФЭ и (ПУ+ПТФЭ)+ПТФЭ уменьшают ее в 2 раза, покрытие (ПУ + ПТФЭ) + ПТФЭ – почти в 5 раз, однако покрытие ПУ+ПТФЭ увеличивает поверхностную энергию на 50 % по сравнению с исходной. Полученный эффект сказывается на характере смазывания данных резинометаллических пар при испытании, при этом изменяется количество смазки в зоне трения.

Триботехнические испытания показали, что при скоростях скольжения 0,5–0,75 м/с и давлении в зоне трения 0,5 МПа наиболее эффективным является комбинированное покрытие из ПУ + ПТФЭ. При данных режимах коэффициент трения пары снижается с 0,25 у исходной резины до 0,15 у модифицированной. Это можно объяснить высокой температурой деструкции полиуретана, а также его прочностью и устойчивостью к действию высоких температур. В зону трения попадает больше смазочного материала из-за более высокой поверхностной энергии данного комбинированного покрытия, что благоприятно сказывается на процессе трения. Одновременно с этим входящий в состав комбинированного покрытия ПТФЭ оказывает смазочное действие, снижая тем самым коэффициент трения пары при данных режимах.

При скоростях скольжения до 0,5 м/с и давлениях в зоне трения до 0,3 МПа лучшие триботехнические характеристики были получены у резин с покрытием, содержащим ПЭ и ПТФЭ, при этом происходит уменьшение коэффициента трения в 3 раза. Эта композиция имеет низкий коэффициент трения и значительно снижает коэффициент трения модифицированной пары, несмотря на меньшее количество смазочной жидкости в зоне трения из-за низкой поверхностной энергии данного покрытия. При скоростях более 0,5 м/с покрытие ПЭ + ПТФЭ малоэффективно из-за низкой температуры деструкции полиэтилена. ПТФЭ, дополнительно нанесенный на поверхность комбинированных покрытий, не оказал значительного влияния на коэффициент трения. Это происходит, по-видимому, из-за того, что ПТФЭ в несвязанном состоянии – материал достаточно мягкий и малопрочный и даже при малых скоростях и нагрузках быстро удаляется из зоны трения.

Было установлено, что при износе резиновых уплотнений более 10 мкм эффект модифицирования присутствует, что выразилось в значительном, в отдельных случаях до двух раз, снижении коэффициента трения резинометаллических трибосопряжений. Толщина же покрытий составляла в среднем 0,5 мкм. Это можно объяснить тем, что при нанесении полимерных покрытий электронно-лучевым диспергированием исходного полимера в вакууме модифицированный слой получается не только на поверхности резинового уплотнения, а проникает в многочисленные поры на поверхности резины. При истирании резинового уплотнения элементы покрытия, находящиеся в порах, оказываются на поверхности и оказывают благоприятное смазывающее действие.

Анализируя данные триботехнических испытаний, можно сделать вывод, что все покрытия оказывают влияние на работу резинометаллического узла трения. Они снижают коэффициент трения от 20 до 300 %. Поскольку значения коэффициента трения модифицированных резин колеблются в меньшем диапазоне при разных режимах испытаний, то их работа будет более стабильной, без заметных скачков. Коэффициент трения таких пар будет меняться незначительно при разных режимах работы, что особенно важно в узлах точных измерительных приборов. Наименьшие изменения коэффициента трения при разных режимах испытаний были получены для пар с комбинированным покрытием ПЭ + ПТФЭ.

По полученным результатам были определены оптимальные нагрузочно-скоростные режимы эксплуатации резиновых уплотнений с различными комбинированными покрытиями и предложен технологический процесс получения модифицированных резиновых уплотнений.