

**Филип Верхоеев, Винсент Вермеерш,  
Питер Персуне  
и Вальтер Ван Раемдонк  
из компании NV Bekaert SA  
обсуждают результаты  
своих исследований**

# Термостойкие цветные покрытия для пружинных проволок нового поколения

**В** последние годы компания Bekaert разработала новую линейку оцинкованных и алюминизированных стальных проволок, предназначенных для применения в ответственных узлах. В этой статье освещаются результаты испытаний и свойства этих проволок. В ней также содержится информация о разработке конкурентного с точки зрения затрат полимерного покрытия, которое в перспективе сделает ненужным нанесение дополнительного покрытия на пружины, благодаря его устойчивости к температурам снятия механических напряжений и коррозионной стойкости, гибкости и стабильности окраски.

Пружинная проволока Bekaert нового поколения предназначена для изготовления высокотехнологичных пружин, для которых важна размерная устойчивость, и имеет два основных состава: ■ Bezinal® XC<sup>[1,3-4]</sup> обладает не только превосходной коррозионной стойкостью и катодной защитой по сравнению с имеющимися продуктами, но также превосходными технологическими возможностями и размерной устойчивостью. Дополнительными преимуществами являются уменьшение растрескивания, благодаря чему повышается производительность пружинонавивочной машины вследствие меньшего количества перерывов, и снижение коэффициента производственного брака, что позволяет повысить скорость изготовления.

Подобные свойства обусловлены уменьшенной толщиной покрытия и улучшенным химическим составом.

■ Второй состав, Bezinal® XP<sup>[2-4]</sup>, был разработан для случаев, когда коррозия является основной причиной преждевременного выхода узлов из строя. Этот продукт имеет тот же состав, но большую массу покрытия, что позволяет выпускать изготовленные из него пружины для использования во влажных и щелочных средах, особенно в автомобилестроении и промышленности.

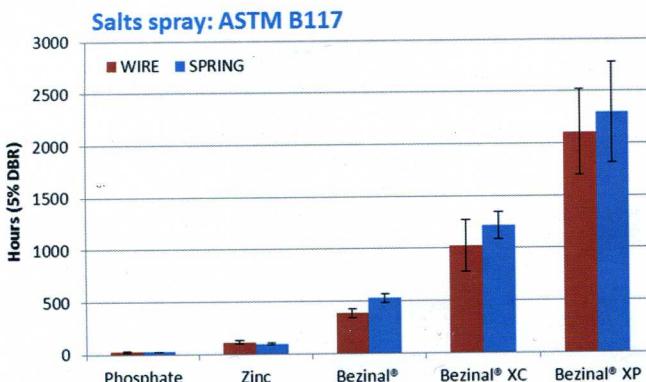


Рисунок 1. Испытание проволок и пружин в солевом тумане (ASTM B117)

Диаграммы иллюстрируют поведение соответствующих поколений продуктов Bezinal® (Bezinal®, Bezinal® XC и Bezinal® XP) по сравнению со светлыми (т. е., фосфатированными) и оцинкованными проволоками и пружинами при стандартных условиях испытаний в солевом тумане и испытаний на влагостойкость.

■ Испытание в солевом тумане проводится в соответствии со стандартом ASTM B117 для проволок (диаметром 1,2–5 мм) и пружин (диаметром 10xD и с шагом 1xD). Испытания в камере с изменяемой влажностью проводятся в соответствии со стандартами ISO6270-2 для проволок и пружин аналогичных размеров, указанных выше.

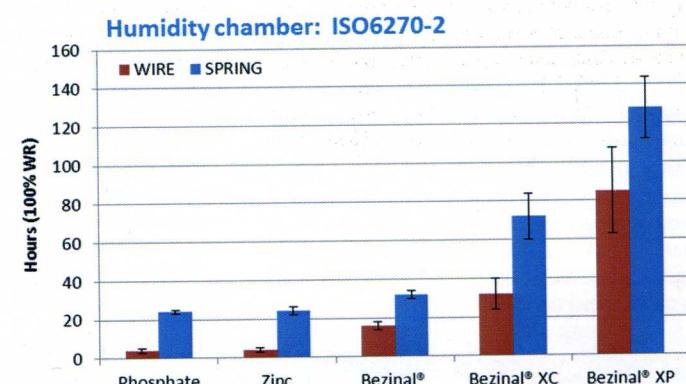


Рисунок 2. Испытание в камере с изменяемой влажностью (ISO6270-2) для проводов и пружин

На рисунке 1 отчетливо видно, что проволоки и пружины показывают превосходную устойчивость к воздействию солевого тумана (количество часов до появления 5 % темно-коричневой ржавчины). На рисунке 2 показана та же картина, но в этот раз для испытаний на влагостойкость (количество часов до появления 100 % белой ржавчины).

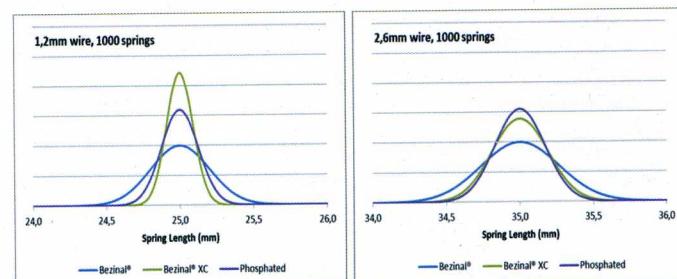


Рисунок 3. Проверка на скручиваемость — среднее стандартное отклонение длины пружины

На рисунке 3 показано среднее стандартное отклонение длины пружины на 1000 единиц продукции, а также соотношение размерной устойчивости пружин из Bezinal® XC и фосфатированной проволоки.

## Гибридное полимерное покрытие

Для эксплуатации в условиях коррозионного воздействия, в случаях, когда важен эстетический вид пружин и (или) необходимо избегать образования белой ржавчины, обычно наносят на пружины дополнительное покрытие или используют пружины из нержавеющей стали. Оба метода, как правило, являются дорогостоящими для клиента. В некоторых случаях использование нержавеющей стали — единственное возможное решение, но при этом изделие имеет завышенные технические характеристики.

По этой и подобным причинам Bekaert разрабатывает конкурентоспособное по стоимости гибридное полимерное покрытие [5] для линейки Bezinal®, которое может сделать ненужным нанесение дополнительного покрытия.

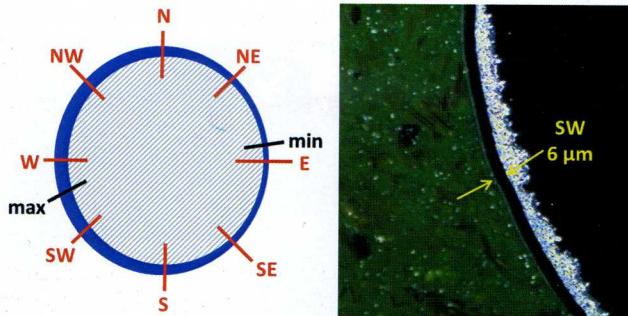


Рисунок 4. Центричность гибридного полимерного покрытия

Покрытие наносится на движущуюся проволоку из Bezinal® жидким эпоксидным спреем, который затем сразу же отверждается. Таким образом, на поверхности проволоки из Bezinal® образуется защитное покрытие толщиной менее 8 мкм с очень высокой центричностью. Центричность покрытия определяется с помощью оптической микроскопии на поперечном сечении проволоки с покрытием, как показано на рисунке 4. Толщина покрытия измеряется в восьми местах (W, NW, N, NE, E, SE, S и SW) по внешнему краю проволоки с покрытием, а центричность определяется как отношение максимальной и минимальной толщины. Обычно она выше чем 70 % для проволок Bezinal® с гибридным полимерным покрытием.

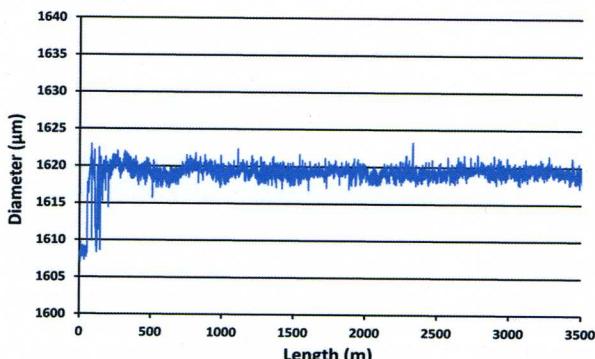


Рисунок 5. Корректность процесса (изменение диаметра)

Корректность процесса на опытной установке показана на рис. 5, где приведено изменение диаметра проволоки с покрытием длиной почти 3,5 км. Диаметр определялся одновременно с процессом напыления и отверждения с помощью измерения тени от лазера и, как показывает график, он изменился незначительно. Диаметр проволоки Bezinal® без покрытия на рис. 5 составлял 1,608 мм, диаметр с покрытием — 1,619 мм. Таким образом толщина покрытия составляла около 5,5 мкм. Другим преимуществом гибридного полимерного покрытия является возможность окрашивать покрытие в любой цвет, включая черный и



Рисунок 6. Пружинная проволока с цветным гибридным полимерным покрытием

прозрачный, простым добавлением пигмента в систему. На рис. 6 показаны примеры.

В одном испытании пружины диаметром 10xD и шагом 3xD были изготовлены из проволоки Bezinal® диаметром 1,6 мм и имели черное

гибридное полимерное покрытие. После навивки пружины подвергались жестким условиям снятия напряжений: 30 минут при температуре 250 °C. Гибридное полимерное покрытие сохранилось как в процессе навивки, так и при нагреве, что видно на фотографии состояния пружины после испытания (рис. 7). Отзывы клиентов об эксплуатационных испытаниях были позитивными и очень многообещающими. Процесс навивки с использованием проволоки с покрытием также давал пружины с единообразными размерами.

## Результаты испытания коррозионной стойкости — защита от ржавчины

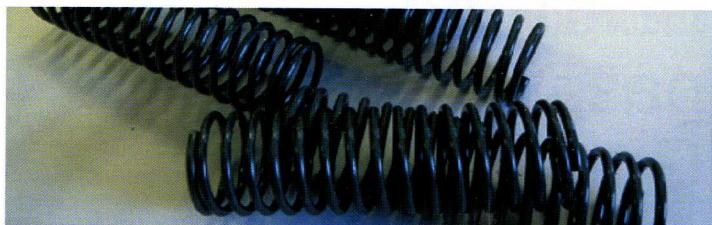


Рисунок 7. Предварительно обработанные черные пружины

Из рис. 2 видно, что проволока и пружины из Bezinal®, Bezinal® XC и Bezinal® XP полностью покрыты белой ржавчиной после 20–120 часов в камере с изменяемой влажностью.

Однако на проволоке и пружинах с гибридным полимерным покрытием белая ржавчина отсутствует по истечении 1,5 лет (более 14 000 часов) при тех же условиях. Условия в стандартной камере с изменяемой влажностью (35 °C и относительная влажность 100 %) не являются достаточно жесткими для повреждения проволоки и пружин с нанесенным покрытием. Поэтому для провоцирования образования белой ржавчины было проведено более жесткое ускоренное испытание, а именно испытание в солевом тумане (ASTM B117), обычно используемое для анализа появления темно-коричневой ржавчины на оцинкованных проволоках или проволоках из углеродистой стали с покрытием из Bezinal®.

Результат испытаний проволоки и пружин Bezinal® с покрытием в солевом тумане показан на рис. 8. Этalonная проволока Bezinal® продержалась всего восемь часов, другими словами к этому времени она была полностью покрыта белой ржавчиной. Разгруженные пружины с покрытием обеспечили 100 % защиту от образования белой ржавчины в течение от 700 до 1000 часов. Результаты испытаний подтвердили, что

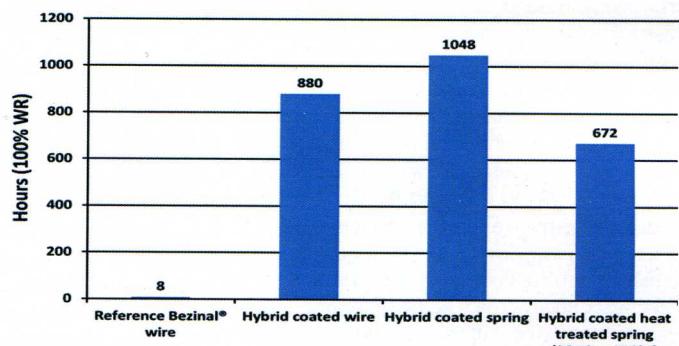


Рисунок 8. Испытание черных проволок и пружин с гибридным покрытием в солевом тумане (ASTM B117)

новое гибридное полимерное покрытие для пружинной проволоки Bezinal® обладает очень многообещающей стойкостью к образованию белой ржавчины и теплостойкостью. Это покрытие имеет потенциал для замены пружин с дополнительным покрытием, используемых во многих узлах, подвергающихся коррозионному воздействию.

Продукт еще находится в разработке и дальнейшие исследования для расширения диапазона диаметров и областей применения продолжаются, но первоначальные результаты и отзывы клиентов были весьма обнадеживающими.

## Использованная литература

Verhoeve F., «Bezinal® XC coated wire for high-end, critical springs». Комерческая брошюра, [www.bekaert.com](http://www.bekaert.com)

Verhoeve F., «Bezinal® XP coated wire for reliable, superior corrosion-resistant springs». Комерческая брошюра, [www.bekaert.com](http://www.bekaert.com)

De Craemer S., «Next Generation of Pre-Coated Spring Wires». Wire Forming Technology International. Зима 2015 г., 55

Verhoeve F., «Bezinal® XC and Bezinal® XP coated wire. Improved coilability and corrosion resistance for critical spring applications». Конференция IST, Лемингтон-Спа, Великобритания; 9–10 сентября 2015 г.

Persoone P. et al, подана заявка на патент