

загрузки оборудования и отсутствия ограничивающих факторов на последующих операциях.

Не стоит забывать и то, что в нынешних условиях, когда приходится браться за исполнение «неудобных» заказов, которые зачастую имеют большую номенклатуру при малых объемах, решение проблемы быстрой переналадки оборудования позволит более быстро и с меньшими непроизводственными расходами осуществлять исполнение заказов потребителя.

Инструменты «бережливого производства» часто недооцениваются российскими предприятиями, хотя позволяют достичь реальных целей: снижения трудозатрат, сокращения времени простоев, создания корпоративной культуры, вовлечения персонала в процесс улучшения, повышения трудовой дисциплины, снижения травматизма и т.д. Цели использования данных инструментов просты и понятны рабочим, что повышает их самооценку и мотивацию и позволяет реализовать свои амбиции.

Не стоит пренебрегать этими инструментами, так как в их применении на практике скрыт огромный потенциал совершенствования производства и адаптации его к быстро меняющимся условиям современного рынка, причем без использования дополнительных ресурсов, силами самих же работников предприятия.

Список литературы: 1. Левинсон У., Рерик Р. Бережливое производство: синергетический подход к сокращению потерь / пер. с англ. А.Л. Раскина; под науч. ред. В.В. Брагина. – М.: РИА «Стандарты и качество», 2007. – 272с. 2. Имаи М. Гемба кайдзен: Путь к снижению затрат и повышению качества / Масааки Имаи; пер. с англ. – 3-е изд. – М.: Альпина Бизнес Букс, 2007. – 345с.

УДК 621.778.5

В.А. ХАРИТОНОВ, канд. техн. наук, проф., МГТУ, г. Магнитогорск
М.В. ЗАРЕЦКИЙ, старший преподаватель, МГТУ, г. Магнитогорск
Л.М. ЗАРЕЦКИЙ, канд. техн. наук, дир. ООО «АрМон», г. Магнитогорск

РЕШЕНИЕ ЗАДАЧИ УСТОЙЧИВОГО ПОЗИЦИОНИРОВАНИЯ ПРОВОЛОК В НЕПОЛНОМ СЛОЕ ПОВИВА ПУТЕМ РАСЧЕТА И ПРИМЕНЕНИЯ РАЦИОНАЛЬНЫХ ПАРАМЕТРОВ ИХ ПРЕФОРМАЦИИ

Предложен новый продукт, при изготовлении которого может проявляться проблема точной преформации, не имеющая сейчас общего решения. Выработана и обоснована методика расчета оптимальных параметров преформации, получен и подтвержден численный результат. Ключевые слова: арматурный канат, свивка, качество, преформация, упругая отдача, изгибающий момент.

We propose a new product in the manufacture of which can be manifested preformation exact problem, not having now the general solution. Elaborated and justified method for calculating the optimal parameters preformation, obtained and confirmed by numerical results.

Keywords: reinforcing rope, lay, quality, preformation, elastic recoil, the bending moment.

Запропоновано новий продукт, при виготовленні якого може виявлятися проблема точної преформації, яка не має зараз загального рішення. Вироблено і обґрунтовано методику розрахунку оптимальних параметрів преформації, отриманий і підтверджений чисельний результат.

Ключові слова: арматурний канат, звивання, якість, преформація, пружна віддача, момент, що вигинає.

В процессе создания технических решений для эффективного армирования канатами предварительно напряженных железобетонных конструкций авторами было получено оригинальное решение, создающее широчайшие возможности как для преднапряженного, так и для ненапряженного армирования железобетона канатами с повышением эффективности относительно существующих видов арматуры.

Как известно, канатная арматура является наиболее выгодной из всех видов арматуры по удельной стоимости (в соотношении с прочностью), а также обладает еще целым рядом преимуществ [1 – 3].

Однако применение канатов в армировании бетона ограничивается преднапряженным армированием из-за двух взаимосвязанных факторов: многократно меньшего, чем у стержневой арматуры, коэффициента относительной площади смятия, а также обусловленного большей удельной прочностью меньшего контура обволакивания. В силу этой совокупности факторов канат просто не может эффективно реализовать свою прочность при ненапряженном армировании, когда раскрытие трещин в бетоне должно предотвращаться не за счет натяжения арматуры, а лишь за счет ее сцепления.

Анализируя возможные подходы к реализации высокой прочности канатов не только в преднапряженном, но и в ненапряженном армировании, авторы особо отметили возникшее еще в 60-х гг., но не нашедшее применения решение – треугольное сечение каната [4]. Легко отметить, что при приближенном к треугольнику форме сечения его площадь составляет порядка половины площади внутри описанной окружности. При этом спиральная форма подразумевает, что контур обволакивания такого изделия соответствует контуру обволакивания цилиндра с диаметром, равным описанному вокруг треугольника, а промежутки между цилиндрической внешней образующей и фактической поверхностью, заполняемые бетоном, полностью проецируются в поперечном направлении на изделие, что позволяет рассматривать каждую из трех граней как высокий кольцеобразный выступ, перед которым формируется чрезвычайно протяженный в продольном направлении, и, соответственно, прочный гребень бетона.

При анализе достоинств и недостатков существующего решения было выявлено, что трехгранная или сходная спиральная форма сама по себе не является достаточной для обеспечения высокого сцепления, так как не исключает ввинчивания каната по собственному оттиску в бетоне.

Более того, в предложенном в известных работах виде канат физически не мог изготавливаться промышленно, так как обладал несколькими неполными слоями повива, в которых все или некоторые проволоки не имели опоры в тангенциальном направлении. Соответственно, при приложении усилия в

радиальном и/или тангенциальном направлении к одиночной проволоке внешнего слоя последняя неизбежно должна была бы сместиться в следующий неполный слой повива; такое усилие же неизбежно должно было возникнуть уже на вытяжном кабестане канатовьющей машины.

Соответственно, фасонному спиральному канату необходимо наличие элементов, создающих механическое сцепление в направлении ввинчивания, при этом наиболее рациональным вариантом такого элемента представляется периодический профиль. Также необходимо, чтобы в канате присутствовал только один неполный слой повива, а одиночные проволоки этого слоя должны быть расположены на минимально возможном радиусе относительно оси каната, чтобы в случае любого их сдвига при изгибе и/или воздействии критической нагрузки они оказывались на большем радиусе и, соответственно, упруго удлинившись, дабы за счет упругой разгрузки возвращаться в конструктивно заданное положение.

В качестве решения авторами был предложен канат следующей конструкции: трехгранный за счет расположения проволок в сечении в форме треугольника по схеме 1+6+3; пластически обжатый с сопутствующим заглублением угловых проволок-ребер в пазы между проволоками предшествующего слоя и увеличением тех пазов, в которые уложены данные проволоки, а также уменьшением свободных пазов; имеющий на внешней поверхности периодический профиль (рис. 1).



Рис. 1. Внешний вид трехгранного периодического арматурного каната.

Данное техническое решение обладает промышленной реализуемостью и исключает как недостатки, делавшие невозможным применение канатов как таковых в качестве ненапряженной арматуры, так и недостатки, препятствовавшие практической реализации идеи трехгранного каната.

Однако необходимо отметить, что для полноценной замены классической стержневой арматуры канат, помимо обеспечения технико-экономического эффекта, должен быть, как минимум, не менее технологичен в применении, то есть не создавать каких-либо специфических дополнительных затруднений в работе.

Таковым затруднением может стать раскручивание свободных концов каната. Данное явление имеет место даже на стабилизированных арматурных

канатах классических конструкций и допускается соответствующими стандартами [5].

И еще более критично данное явление для предложенной конструкции: при раскручивании угловых проволок они могут потерять устойчивое положение на участке неопределенной протяженности. В этом случае канат либо самоустанавливается в более компактную форму с расположенными друг возле друга проволоками внешнего слоя, либо даже теряет структурную целостность – в любом случае он становится полностью нефункциональным, так как утрачивает свои основные свойства – высокую агрегатную прочность и эффективную передачу ее бетону.

Конечно, предотвратить раскручивание можно и за счет обвязывания концов перед резкой, но такая мера увеличит продолжительность и себестоимость работ, т.е. – снизит технико-экономический эффект.

Таким образом, нераскручиваемость является одной из важнейших характеристик созданного арматурного каната, а ее достижение – основной задачей в обеспечении его качества.

Нераскручиваемость может достигаться за счет пластического обжатия, однако требующиеся для этого режимы обжатия проблематично совместить с обеспечением прямолинейности, качественного периодического профиля и отсутствия дефектов прокатки в разъемах калибра. В связи с этим нераскручиваемость необходимо обеспечивать точной преформацией свиваемых в канат проволок.

Следует отметить, что для свивки большинства существующих конструкций канатов задача преформации не имеет критически важного значения, так как преформируемые перед свивкой проволоки или пряди укладываются вплотную друг к другу в замкнутый слой повива, т.е. опираются друг на друга в тангенциальном направлении. Кроме того, свитые канаты подвергаются процессу рихтовки, что значительно снижает напряжения, в частности – устраняет растягивающие напряжения на внешней стороне проволок повива, потенциально способные приводить к раскручиванию свитого каната. Таким образом, применительно к типовым канатам, имеющих приближенное к кругу сечение, параметры преформации не очень критичны для обеспечения качества продукции.

Поэтому в большинстве случаев при свивке каната используются преформаторы в виде наборов сменных трехроликовых планок, в которых задающий величину преформации прогиб подобран эмпирическим путем и используется для широкого диапазона типоразмеров и механических характеристик изделия.

Однако в нашем случае преформация приобретает критическое значение, поскольку:

а) изделие имеет вид спирально закрученной трехгранной призмы, в связи с чем его рихтовка затруднительна и требует сложных устройств, причем в силу наличия периодического профиля на поверхности – интенсивная рихтовка крайне нежелательна;

б) внешний слой повива заполнен всего на 25%, т.е. его проволоки не имеют опоры в тангенциальном направлении и к тому же находятся в положениях, при которых описанный диаметр каната является наибольшим из возможных для данного количества проволок – то есть их положение потенциально неустойчиво.

Таким образом, при изготовлении нашего изделия эффективная преформация проволок, обеспечивающая их устойчивость в заданных положениях, является критически важной для качества изделия.

Непосредственно деформация свивки в случае использования скоростных крутильных машин представляет собой практически чистый изгиб проволок.

Технологические напряжения, возникающие в наружных проволоках каната при свивке, появляются вследствие изгиба и определяются по относительным изменениям длины, составляющим [6]:

$$\varepsilon_{cv} = \frac{y}{\rho},$$

где y – расстояние от нейтрального сечения изгибаемой проволоки до рассматриваемой точки,

ρ – радиус кривизны проволоки, вычисляемый по формуле:

$$\rho = \frac{d_0}{2 \sin^2 \alpha}.$$

В этой формуле d_0 – средний диаметр рассматриваемого концентрического ряда спирального каната,

α – угол свивки проволок (угол их наклона к продольной оси каната).

Значение α находится из геометрического соотношения:

$$\sin \alpha = \frac{\pi \cdot d_0}{\sqrt{t^2 + (\pi \cdot d_0)^2}},$$

где t – шаг свивки каната.

Следовательно, относительное удлинение крайних волокон составляет:

$$\varepsilon_{cv-d} = \frac{d_{np} \cdot \sin^2 \alpha}{d_0}.$$

Далее, необходимо учесть, что проволока подвергается преформации. После изгиба в процессе преформации в проволоке сохраняются напряжения реакции, которые вызывают упругую деформацию в направлении, противоположном направлению изгиба при свивке (рис.2., а).

Согласно теореме разгрузки А.А. Ильюшина, при снятии внешней нагрузки с изогнутой проволоки в наиболее удаленных от нейтрального сечения волокнах, подвергавшихся при изгибе пластической деформации, формируются упругие напряжения противоположного знака. В то же то время в участках, упруго продеформированных при изгибе, и в примыкающих к ним участках, получивших пластическую деформацию, упругие напряжения имеют тот же знак, что и при изгибе (рис.2., б).

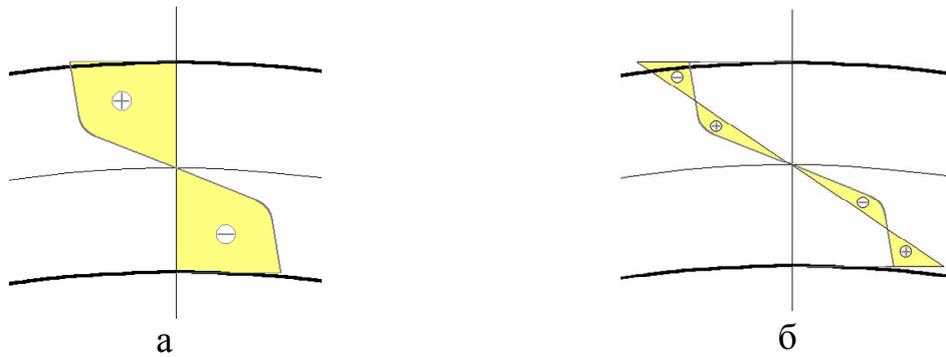


Рис. 2. Распределение напряжений по сечению проволоки: а) при изгибе, б) при упругой разгрузке.

При разгрузке результирующий момент изогнутой проволоки становится равным 0:

$$\int_0^r y \cdot \sigma_y \cdot 2\sqrt{r^2 - y^2} dy = 0,$$

где y – расстояние от нейтрального сечения до рассматриваемой точки изгибаемой проволоки,

$2\sqrt{r^2 - y^2}$ – ширина сечения проволоки в рассматриваемой точке,

σ_y – продольное напряжение в рассматриваемой точке.

Фактически проволока в процессе преформации подвергается изгибу на некоторый радиус кривизны ρ_{np} с такими соответствующими ему деформациями ϵ_{np} , чтобы в результате наложения на них деформаций ϵ_{omd} последующей упругой разгрузки сформировать деформации свивки ϵ_{cv} , соответствующие расчетному радиусу кривизны ρ :

$$\epsilon_{np} - \epsilon_{omd} = \epsilon_{cv}$$

Естественно, для любого расстояния от нейтрального сечения проволоки соотношение деформаций преформации, разгрузки и свивки одинаково. Соответственно, первые две величины можно выразить через соотношение с известной нам величиной ϵ_{cv} , введя новую переменную a

$$\epsilon_{np} = (1 + a) \times \epsilon_{cv};$$

$$\epsilon_{omd} = a \times \epsilon_{cv}.$$

Далее, задаваясь значениями деформаций преформации и разгрузки, определяем для проверяемых значений знак и величину продольных напряжений, исходя из того, что при преформации они соответствуют диаграмме растяжения для соответствующего металла, а при разгрузке в тех слоях, где напряжения преформации превысили предел текучести, возникают напряжения обратного знака.

При этом напряжения разгрузки также оцениваются по диаграмме растяжения, т.е. учитывается, что в крайних волокнах деформация в направлении разгрузки может превысить порог упругой зоны.

Поскольку вычисление момента через интегрирование сопряжено со значительными трудностями, вызываемыми отсутствием аналитического выражения для диаграмм растяжения, заменяем интегрирование разбиением радиуса проволоки на некоторое количество n слоев и вычислением суммы моментов, равных произведению продольного напряжения в середине слоя на площадь слоя и удаление его середины от нейтрального сечения:

$$M_y = \sum_0^n \left(1 - \frac{i}{n}\right) \times r \times F_i \times \sigma_i$$

Соответственно, в границах от радиуса кривизны, соответствующего свивке, до вдвое меньшего радиуса кривизны (это достаточно для тех радиусов кривизны, которые могут иметь место в канате) численными методами определяем такую величину преформации, при которой данная сумма моментов имеет наименьшую величину.

Решали описанную задачу для проволок внешнего неполного слоя повива разработанного арматурного каната, обладающего следующими характеристиками: условный диаметр 14 мм, диаметр проволоки 3 мм, шаг свивки 80 мм, средний диаметр внешнего слоя – 10,6 мм.

В первом приближении для упрощения задачи приняли допущение, что пластическая деформация начинается при удлинении высокопрочной углеродистой стальной проволоки на 1% и далее происходит пластическое течение без увеличения напряжения.

Вычислен требуемый радиус кривизны при преформации, равный 25 миллиметрам. При использовании преформации на данный радиус кривизны получили полностью нераскручивающийся канат с устойчиво расположенными угловыми проволоками, не смещающимися со своих мест даже при разрезании незафиксированного каната.

Это позволяет утверждать, что в результате применения описанной расчетной методики были получены достоверные результаты, позволяющие обеспечить высокое и стабильное качество изготавливаемого изделия.

Безусловно, приведенная методика может и будет совершенствоваться в направлении более точной интерпретации диаграммы растяжения, однако уже в актуальной форме она позволяет получать корректные данные, которые могут успешно применяться в реальном технологическом процессе для обеспечения качества изготавливаемой продукции.

Список литературы: 1. Звездов, А.И., Михайлов, К.В. Предварительно напряженный железобетон: состояние и перспективы развития [Текст] / А.И. Звездов, К.В. Михайлов // Бетон и железобетон. – 2000. – №5. – С 2 – 4. 2. Алехин, В.К. Канатная арматура предварительно напряженных железобетонных конструкций. Исследования и производство [Текст] / В.К. Алехин - Челябинск, Юж-Уральское кн. изд-во:, 1971. – 110 с. 3. Мадатян, С.А. Арматура железобетонных конструкций [Текст] / А.С. Мадатян - М.: Воентехлит, 2000. – 256 с. 4. Беринский, И.Ц. Стальные трехгранные пряди для преднапряженных железобетонных конструкций [Текст] / И.Ц. Беринский // Стальные канаты: сб. науч. тр. Вып. 4. – Киев: Техника, 1967. – С 232 – 235. 5. ГОСТ 13840 – 68. Канаты стальные арматурные 1 × 7. Технические условия. – М.: Государственный комитет по стандартам, 1968 6. Боголюбский, В.И., Голубев, И.М., Амитин, И.И. Проволочные канаты [Текст]/ В.И. Боголюбский, И.М. Голубев, И.И. Амитин. - М.: Металлургиздат, 1950. – 784 с.