

Список литературы: 1. Импульсная резка горячего металла [Текст] / В. С. Кривцов, А. Ю. Боташев, А. Н. Застела и др. – Харьков: Нац. аэрокосм. ун-т «ХАИ», 2005. – 476 с. 2. Планковский, С. И. Перспективы применения импульсной резки в машинах непрерывного литья заготовок [Текст] / С. И. Планковский, С. А. Мазниченко, Е. Е. Хитрых // Вопросы проектирования и производства конструкций летательных аппаратов: сб. науч. тр. Нац. аэрокосм. ун-та им. Н. Е. Жуковского «ХАИ». – Вып. 43 (4). – Х., 2005. – С. 85 – 91. 3. Хитрых, Е. Е. Задание свойств деформируемого металла при численном решении задач импульсной резки непрерывных слитков [Текст] / Е. Е. Хитрых // Вопросы проектирования и производства конструкций летательных аппаратов: сб. науч. тр. Нац. аэрокосм. ун-та им. Н. Е. Жуковского «ХАИ». – Вып. 2 (62). – Х., 2010. – С. 63 – 67. 4. Планковский, С. И. Расчет ножа-пластины с клиновой заточкой машины импульсной резки металла [Текст] / С. И. Планковский, А. Н. Застела, Е. Е. Хитрых // Открытые информационные и компьютерные интегрированные технологии: сб. науч. тр. Нац. аэрокосм. ун-та им. Н. Е. Жуковского «ХАИ». – Вып. 47. – Х., 2010. – С. 92 – 97. 5. Планковский, С. И. Расчет инструмента для импульсной резки проката по комбинированной схеме [Текст] / С. И. Планковский, А. Н. Застела, Е. Е. Хитрых // Обработка материалов давлением: сб. науч. тр. Донбасской гос. машиностр. академии. – Вып. 3 (24). – Краматорск, 2010. – С. 185 – 189. 6. Форум САПР2000 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://fsapr2000.ru/index.php?showforum=179>. – 31.10.2011 г.

УДК 621.778.5

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

РАСЧЕТ ДЕФОРМАЦИИ ИЗГИБА ПРИ ПЛАСТИЧЕСКОМ ОБЖАТИИ ПРОВОЛОКИ В НЕПОЛНОМ СЛОЕ ПОВИВА КАНАТА С ЦЕЛЬЮ ТОЧНОГО ПОЗИЦИОНИРОВАНИЯ

Сформулирована задача точного позиционирования проволок каната за счет совокупного воздействия преформации и пластического обжатия в очаге свивки. Выработана и обоснована методика расчета оптимальных параметров преформации, получен и подтвержден численный результат.

Ключевые слова: арматурный канат, свивка, качество, преформация, упругая отдача, изгибающий момент, пластическое обжатие, глубина проникновения деформации.

Сформульовано задачу точного позиціонування дрітків канату через допомогу сукупної дії преформації й пластичного обтиснення в осередку звивання. Вироблено та обґрунтовано методику розрахунку оптимальних параметрів преформації, отриманий й підтверджений чисельний результат.

Ключові слова: арматурний канат, звивання, якість, преформація, пружна віддача, момент, що вигинає, пластичне обтиснення, глибина проникнення деформації.

The problem of precise positioning of the wires of the rope through the combined effects of preformation and plastic reduction in the hearth of lay has been formulated. Developed and justified method of calculating the optimal parameters of preformation was obtained and confirmed by numerical results.

Keywords: reinforcing rope, lay, quality, preformation, elastic recoil, bending moment, plastic reduction, depth of penetration of deformation/

Постановка проблемы. В работе [1] нами рассматривалась задача расчета точных параметров преформации свиваемых проволок. Задача определения параметров преформации в нашем случае осложняется тем, что необходимо точно позиционировать проволоки в неполном слое повива, в отличие от большинства существующих конструкций канатов, где преформация

обеспечивает лишь их нераскручиваемость совокупно с выполняемой после свивки рихтовкой, которая является не менее существенным фактором достижения указанного результата. В канатах классических конструкций проблема точного позиционирования проволок отсутствует при равном их диаметре в слое и единообразном расположении.

Авторы столкнулись с необходимостью решения данной задачи при разработке конструкции и технологии промышленного производства нового вида канатной продукции — трехгранного арматурного каната, имеющего широкие перспективы в нескольких сегментах рынка арматуры. В связи с наличием в данном канате неполного слоя повива оказалось необходимым устойчиво располагать проволоки, не имеющие выраженной опоры в тангенциальном направлении и имеющие склонность при неточном позиционировании смещаться из желаемого взаимоположения, характеризуемого максимально возможным удалением друг от друга, в более компактную структуру с проволоками неполного слоя повива, расположенными в непосредственной близости друг от друга.

Задача осложняется тем, что общепринятый способ обеспечения устойчивого положения проволок — рихтовка — в данных условиях приведет к противоположному результату, а именно к нарушению желаемого взаимоположения проволок и формированию более компактной структуры неправильной формы.

Была поставлена и решена задача расчета параметров преформации, обеспечивающих радиус кривизны разгруженной проволоки, равный ее радиусу кривизны при укладке в заданное положение в канате. В первом приближении этого оказалось достаточно, чтобы с приемлемой для изготовления опытных партий погрешностью задавать параметры преформации проволок, обеспечивающие нераскручиваемость каната и взаимоположение проволок в нем.

Однако в процессе подготовки к созданию серийной технологии было сочтено необходимым оценить влияние следующего по значимости фактора изменения напряженно-деформированного состояния проволоки — пластического обжатия в очаге свивки. Решение было связано с теоретической возможностью смещения не полностью уравновешенных проволок при значительных усилиях вытяжки на стабилизационной линии.

Анализ литературы. В существующих работах, включая современные [2-4], задача преформации проволок в совокупности с пластическим обжатием не ставится, что не позволяет применить их для решения рассматриваемой прикладной задачи.

Цель статьи. Разработка методики оценки влияния пластического обжатия в очаге свивки на изменение напряженно-деформированного состояния проволоки.

Теоретическое исследование и расчеты. Очевидно, что при незначительных обжатиях, не предполагающих проникновения пластической деформации по всему сечению проволоки, интенсивно деформируемая поверхность контакта проволоки с инструментом, расположенная на внешней стороне изгиба, удлиняется, тем самым создавая дополнительный изгиб. Радиус

кривизны уменьшается и, будучи изначально задан равным радиусу кривизны при укладке, перестает ему соответствовать, что в сочетании с большими усилиями вытяжки и скоростями может привести к нарушению структуры каната.

Для решения технической задачи позиционирования проволок в неполном слое повива разработан описанный ниже метод расчета.

Приняты следующие допущения:

- 1) при обжатии каната в очаге свивки пластическая деформация распространяется от поверхности контакта в нормальном направлении на глубину, соответствующую таковой для известных методик оценки, рассматривающих прокатку толстых полос [5];
- 2) деформацией на поверхностях контакта проволоки внешнего слоя повива с проволоками внутреннего слоя пренебрегаем ввиду ее меньшей величины, обусловленной тем, что сжимающее усилие между проволоками воспринимается поверхностью, длина которой на порядок больше длины очага деформации;
- 3) внеконтактную деформацию свободных поверхностей проволок и влияние на процесс протяжки периодического профиля, наносимого на обжимаемый канат, не учитываем;
- 4) упрощенно считаем механизм изменения радиуса кривизны следующим: получившая избыточную длину продеформированная область находится в состоянии сжатия, а остальное сечение проволоки — в состоянии растяжения, при этом проволока получает такую дополнительную деформацию изгиба относительно крайней точки на внутренней по отношению к изгибу стороне, при которой созданные данными напряжения моменты уравниваются друг друга.

Безусловно, последнее из приведенных допущений нельзя считать корректным описанием происходящих в реальности процессов. Однако фактическая картина чрезвычайно сложна и требует учета множества факторов, которые не имеют достоверной оценки, пригодной для прикладных расчетов. Данная же упрощенная схема отображает величины, области приложения и направления действия возникающих при обжатии нагрузок с достаточной достоверностью для прикладного расчета влияния фактора, на порядок уступающего основному.

Таким образом, исходными данными для расчета являются геометрические характеристики рассчитываемого каната и радиус кривизны проволок при преформации, определенный в работе [1].

Задавшись величиной линейного обжатия каната роликами, с учетом исходных допущений принимаем, что максимальная глубина внедрения ролика относительно исходной поверхности проволоки равна этой величине. Рассчитываем поперечное расстояние от плоскости симметрии очага деформации до границы зоны контакта проволоки с роликом:

$$y_{max} = \sqrt{r^2 - (r - h_{max})^2}, \quad (1)$$

где r — радиус проволоки,

h_{max} — максимальная глубина внедрения ролика относительно исходной поверхности проволоки.

Далее определяем глубину внедрения ролика в зависимости от расстояния до плоскости симметрии очага деформации:

$$h(y) = \sqrt{r^2 - y^2} - r + h_{max}, \quad (2)$$

где y , $0 \leq y \leq y_{max}$ — текущее расстояние от плоскости симметрии очага деформации до границы зоны контакта проволоки с роликом.

Получив эти данные, определяем длину очага деформации в зависимости от расстояния до плоскости симметрии очага деформации. При этом необходимо учесть, как расположена поверхность деформируемой проволоки относительно инструмента в данном процессе.

Очевидно, что в случае, если бы цилиндрическая рабочая поверхность ролика была перпендикулярна радиусу каната, — проекция поверхности проволоки на плоскость вращения ролика представляла бы собой дугу с радиусом, равным радиусу кривизны проволоки (точнее — ее наружной поверхности). Если бы рабочая поверхность ролика была параллельна радиусу каната — проекция поверхности проволоки на плоскость вращения ролика представляла бы собой прямую.

Учитывая заданный угол расположения рабочей поверхности ролика к радиусу каната — рассчитываем радиус кривизны поверхности проволоки в плоскости вращения ролика. Его значение изменяется по ширине очага деформации, но, ввиду незначительности изменения, для упрощения расчета применяем значение, равное радиусу кривизны в центре очага деформации:

$$r_{пов} = \left(\rho + \frac{r}{2} \right) / \sin \alpha, \quad (3)$$

где r — радиус проволоки,

ρ — радиус кривизны проволоки [1],

α — угол между условной плоскостью изгиба проволоки и плоскостью вращения ролика, $\alpha = 60^\circ$.

В других точках очага деформации радиус кривизны проекции поверхности проволоки в плоскости вращения ролика отличается, однако это различие столь незначительно, что учитывать его представляется нерациональным.

В этой связи, задавшись диаметром роликов, рассчитанным для центра радиусом кривизны поверхности и глубиной внедрения ролика, рассчитываем длину очага деформации в зависимости от поперечного расстояния до плоскости симметрии очага деформации:

$$l(y) = \sqrt{r_{пов}^2 - (r_{пов} - a(y))^2}, \quad (4)$$

где

$$a(y) = \frac{2 \cdot r_{рол} \cdot h(y) - h^2(y)}{2 \cdot (r_{пов} + r_{рол} - h(y))}, \quad (5)$$

$r_{рол}$ — радиус ролика.

Для определения глубины проникновения пластической деформации согласно [5] вычисляем угол скольжения:

$$\beta = \frac{1}{2} \arccos \frac{2 \cdot f_{\text{тр}}}{\sqrt{2 \cdot (1 + \mu)}}, \quad (6)$$

где $f_{\text{тр}}$ — коэффициент трения,
 μ — коэффициент Пуассона.

В наших расчетах были заданы значения: $f_{\text{тр}} = 0,15$, $\mu = 0,3$.

Определяем глубину проникновения пластической деформации в зависимости от поперечного расстояния до плоскости симметрии очага деформации:

$$h_{\text{пл}}(y) = l(y) \cdot \text{ctg} \beta, \quad (7)$$

Зная данные значения, определяем численными методами поперечную площадь зоны проникновения пластической деформации. Определяем относительную деформацию этой зоны как соотношение исходной деформируемой площади (площадь зоны проникновения пластической деформации и площадь смещенного металла, вытесненного роликом) к площади зоны проникновения пластической деформации.

Исходя из полученного удлинения, определяем дополнительный изгиб сечения (считая его изгибом-растяжением, т.е. поворотом относительно крайней внутренней точки сечения, согласно допущению 4), при котором напряжения сжатия деформированной зоны и напряжения растяжения остального сечения уравниваются друг друга.

В результате расчета получаем уравновешенное состояние при удлинении крайних внешних волокон на 0,8%. Учитывая то, что принято допущение об отсутствии сжатия на внутренней стороне изгиба, данная деформация эквивалентна дополнительному изгибу относительно нейтральной линии с изменением длины крайних волокон на 0,4%.

Зная конечный радиус кривизны проволок при расположении на заданных местах в канате (35 мм) и соответствующую ему относительную деформацию крайних волокон (4,3%), получаем значение оптимального радиуса кривизны, отнимая от конечной деформации крайних волокон полученное значение дополнительной деформации изгиба при обжати. Таким образом, относительная деформация крайних волокон проволоки после преформации и перед пластическим обжатием должна составлять 3,9%.

Исходя из этого, оптимальный радиус кривизны перед пластическим обжатием составляет 38 мм. Соответственно, расчет преформации производим, исходя из данного значения радиуса кривизны после упругой разгрузки.

Легко заметить, что полученные значения весьма близки к значениям, получаемым при расчете преформации без учета последующего обжата. Кроме того, на практике применение как тех, так и других значений позволяло получить — при отсутствии термообработки — качественно свитый канат.

Отсюда видно, что влияние пластического обжата значительно меньше по сравнению с преформацией — в этой связи дальнейшее уточнение методики расчета обжата не представляется значимым для решения прикладных технологических задач.

Сам учет данного фактора, как уже было сказано, имеет значение для сохранения структурной целостности при воздействии критических нагрузок в процессе стабилизации — в частности, при укладке каната на вытяжной шкив с усилием, при котором в проволоках возникает пластическая деформация.

При протяжке изготовленного каната на созданной для опытных партий установке поточной низкотемпературной термомеханической обработки с натяжением порядка 2000 кгс был получен длинномерный образец с плотной, не нарушенной давлением на вытяжном шкиве структурой.

Образец не расплетается при разрезании маятниковым отрезным станком, в том числе при изготовлении демонстрационных образцов длиной менее одного шага свивки (65-70 мм) — т.е. в условиях, когда проволоки, не имеющие опоры в продольном и, в связи с особенностями конструкции каната, в тангенциальном направлении, могут сохранять свое положение только будучи полностью уравновешены (рис.).



Рис. Внешний вид образца трехгранного арматурного каната длиной 70 мм (шаг свивки составляет 82 мм).

Вывод. Уточненная методика расчета деформации изгиба была опробована на практике и подтверждена фактическими свойствами изготовленного продукта.

Список литературы: 1. Харитонов В.А. Решение задачи устойчивого позиционирования проволок в неполном слое повива путем расчета и применения рациональных параметров их преформации / В.А. Харитонов, М.В. Зарецкий, Л.М. Зарецкий // Вісник Національного технічного університету «ХПІ». Збірник наукових праць. Тематичний випуск: Нові рішення в сучасних технологіях. — Харків: НТУ «ХПІ», 2010. - № 42. С. 106 – 112. 2. Бреславцева И.В. Напряженно-деформированное состояние проволок каната при свивке и метод расчета параметров преформаторов: автореф. дис. На соиск. Уч. степени канд. техн. наук: спец. 05.03.05 «Технология и машины обработки давлением» / И.В. Бреславцева, - Новочеркасск, 2007. — 21 с. 3. Хромов И.В. Натяжение проволоки в процессе упругопластического изгиба в преформаторе / И.В. Хромов // Вісник СевНТУ. Вип. 38: Механіка, енергетика, екологія: зб. наук. пр. — Севастополь: Вид-во СевНТУ, 2002. — С. 48-52. 4. Хромов Е.В. Конфигуратор технологических устройств для предварительной деформации стальных канатов / Е.В. Хромов, В.В. Леонтьев, А.В. Быкова, В.Г. Хромов // Вісник СевНТУ. Вип. 106: Механіка, енергетика, екологія: зб. наук. пр. — Севастополь: Вид-во СевНТУ, 2010. — С. 19-25. 5. Алдунин А.В. Проникновение пластической деформации по толщине прокатываемой полосы / А.В. Алдунин, Л.С. Кохан // Известия высших учебных заведений. Черная металлургия. -2007. - № 11. — С. 34 – 37.