

Бреславцева И. В., Туркеничева Л. А.

**ОСОБЕННОСТИ МАТЕМАТИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА  
СВИВКИ СПИРАЛЬНЫХ КАНАТОВ**

Адрес статьи: [www.gramota.net/materials/1/2009/6/9.html](http://www.gramota.net/materials/1/2009/6/9.html)

Статья опубликована в авторской редакции и отражает точку зрения автора(ов) по рассматриваемому вопросу.

Источник

**Альманах современной науки и образования**

Тамбов: Грамота, 2009. № 6 (25). С. 31-36. ISSN 1993-5552.

Адрес журнала: [www.gramota.net/editions/1.html](http://www.gramota.net/editions/1.html)

Содержание данного номера журнала: [www.gramota.net/materials/1/2009/6/](http://www.gramota.net/materials/1/2009/6/)

**© Издательство "Грамота"**

Информация о возможности публикации статей в журнале размещена на Интернет сайте издательства: [www.gramota.net](http://www.gramota.net)

Вопросы, связанные с публикациями научных материалов, редакция просит направлять на адрес: [almanac@gramota.net](mailto:almanac@gramota.net)

**Таблица 3.** Расчетные значения температуры резания

Ширина резца, мм	Температура резания, С°		
	С учетом теплообмена при $\ell_p$ , мм		Без учета теплообмена при $\ell_p=0,4$ мм
	0,15	0,4	
0,5	1236(+130)	1032(-4347)	981
0,8	1140(+88)	940(-3163)	-
1,0	1085(+55)	892(-3140)	852
5,0	720(+30)	672(-610)	536

В скобках приведена интенсивность теплового потока на задней поверхности в кал/см<sup>2</sup>\*сек. Знак (+) указывает на то, что этот поток направлен в тело инструмента, знак (-) - в тело заготовки.

**Таблица 4.** Влияние подачи на термо-ЭДС

Ширина резца, мм	Термо-ЭДС(mv) при V=74мм/мин и S, мм/об			
	0,035	0,042	0,055	0,070
0,5	6,1	6,4	6,5	6,7
0,8	6,4	6,7	6,9	7,2

**Таблица 5.** Влияние скорости резания на термо-ЭДС

Ширина резца, мм	Термо-ЭДС(mv) при S=0,055мм/об и V, м/мин				
	40	63	80	100	127
0,5	5,5	6,5	6,6	6,8	6,9
0,8	5,8	6,6	7,1	7,2	7,1

Во всех случаях увеличение ширины канавочного резца (глубины резания) приводит к уменьшению температуры резания, что не согласуется с общепринятыми положениями в теории резания. Так, экспериментальное определение термо-ЭДС для СМП форм 10ER0.5FD и 10ER0.8FD (см. Таблицы 4 и 5) показывает, что при работе резцов шириной 0,8мм ЭДС (а, следовательно, и температура резания) больше, чем у резцов шириной 0,5мм. Однако, несмотря на это, большему износу подвержены резцы шириной 0,5мм (см. Таблицу 1). Данное противоречие можно объяснить лучшими условиями теплоотвода из зоны резания у более широкого резца.

#### Список использованной литературы

1. Резников А. Н. Теплофизика резания. М.: Машиностроение, 1969. 288 с.
2. Бобров В. Ф. Основы теории резания металлов. М.: Машиностроение, 1975. 344 с.
3. Сорокин Е. В. Повышение стойкости токарных резцов на основе учета формы передней поверхности и кривизны поверхности резания: дис. ... канд. техн. наук. Тула: ТулГУ, 2006. 168 с.
4. Справочник технолога машиностроения / под ред. А. Г. Косиловой и Р. К. Мещерякова. М.: Машиностроение, 1996. 4-е изд., перер. и доп.. 496 с.

## ОСОБЕННОСТИ МАТЕМАТИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА СВИВКИ СПИРАЛЬНЫХ КАНАТОВ

Бреславцева И. В., Туркеничева Л. А.

Шахтинский институт Южно-Российского государственного технического университета (НПИ)

Подъемно-транспортные машины играют огромную роль в развитии производства. Современные технологии требуют применения разнообразных типов подъемно-транспортных машин и механизмов, обеспечивающих непрерывность и ритмичность производственных процессов. Развитие современных технологий предъявляет повышенные требования к качеству канатов.

Однако, несмотря на достигнутые в вопросах конструирования стальных канатов и технологии их изготовления успехи, практика эксплуатации показывает, что срок службы канатов обычно не превышают 2-3 лет. Как известно, при свивке каната его элементы испытывают упруго - пластические деформации. Внутренние силовые факторы в сечении проволок канатов вызывают появление свивочных напряжений и создают в сечении каната большие моменты упругой отдачи, раскручивающие канат и нарушающие его структурную плотность, что способствует изменению изначально установленных технологических параметров свивки. Изучение свивочных напряжений и разработка методов их нейтрализации является одной из основных задач канатного производства. Таким образом, задача разработки метода расчета напряженно-деформированного состояния проволок каната, на основе математической модели технологического процесса свивки каната является весьма актуальной.

Нами была разработана комплексная математическая модель напряженно-деформированного состояния проволок в канате, позволяющая аналитически исследовать влияния технологических факторов на параметры свивки канатов [1]. В данной статье приведена математическая модель технологического процесса свивки каната с учетом и без учета преформации применительно к спиральным канатам, которые широко используются на практике. На Рисунке 1 приведена блок-схема алгоритма расчета напряженно-деформированного состояния проволок при свивке в канат с учетом преформации проволок. Для описания напряженно-деформированного состояния проволок каната, отыскания параметров технологического процесса изготовления каната, были составлены программы на языке «Паскаль», а также была использована математическая система Mathcad.

В соответствии с приведенной блок-схемой в блоке 1 мы вводили начальные данные, к числу которых относятся:  $K$  - коэффициент кратности свивки каната,  $m$  - число проволок каната, диаметр каната. Остальные геометрические параметры каната ( $h$  - шаг свивки,  $\alpha$  - угол свивки, радиус свивки) вычислялись в блоке 2. Так как основу алгоритма расчета напряженно-деформированного состояния проволок при свивке канатов положена дискретизация напряженного состояния проволок [2]. Поперечное сечение каждой проволоки в сечении пряди разбивалось полярной сеткой координат на  $n$  значений по радиусу и  $m$  значений по углу. Экспериментальными расчетами было определено, что с достаточной для целей практики точностью, можно ограничиться 40 сечениями по радиусу и 360 по углу. В каждой точке поперечного сечения определялось напряженное состояние (блок 3), после каждого этапа деформирования, которое характеризуется нормальным  $\sigma$  и касательным напряжением, в соответствии с формулами (1, 2). Для описания напряженно-деформированного состояния проволок каната использовалась теория малых упруго-пластических деформаций, которая учитывала все этапы нагружения. При исследовании напряженного состояния проволок круглопрядных канатов было принято, что в сечениях проволок реализуется одноосное растяжение (сжатие) со сдвигом и, кроме того, материал проволок подчиняется диаграмме с линейным упрочнением. При растяжении и кручении канатов относительные смещения элементов получаются незначительными, а вместе с этим работа внутренних сил трения несравненно мала по отношению к работе упругих сил.

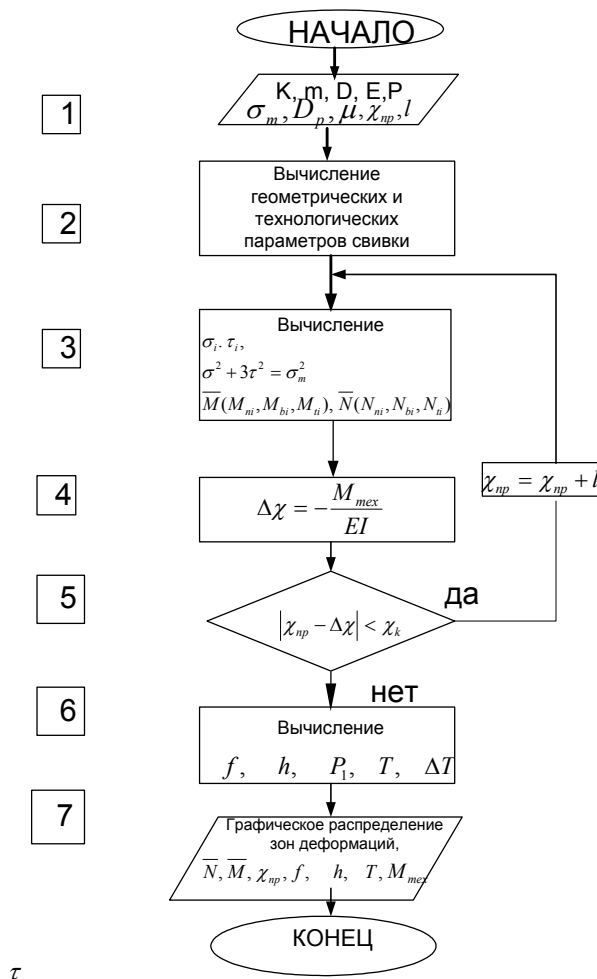


Рис. 1. Блок-схема алгоритма расчета напряженно-деформированного состояния проволок при свивке в канат с учетом преформации проволок

При исследовании НДС проволок канатов свитых без преформации считали, что проволоки геометрически равноценные являются равноправными в каждом поперечном сечении каната и в силовом отношении. Натяжение всех проволок в канате предполагается одинаковым.

$$\left. \begin{aligned}
 &\text{а) в упругой зоне сечения} && \text{б) в пластической зоне сечения} \\
 &\sigma = \pm E \left( \frac{\sin^2 \alpha}{r_1} (y+z) + \varepsilon \right) \leq \sigma_T, \\
 &\tau = G \sqrt{y^2 + z^2} \frac{\sin \alpha \cos \alpha}{r_1} \leq \tau_T, \quad 0 < \sqrt{y^2 + z^2} < \rho_T
 \end{aligned} \right\} (1)$$

$$\left. \begin{aligned}
 &\sigma_p = \pm \sigma_T + E_1 \left( \frac{\sin^2 \alpha}{r_1} (y+z) \mp \varepsilon_T \right), \\
 &\tau_p = \tau_T + G_1 r \frac{\sin \alpha \cos \alpha}{r_1}
 \end{aligned} \right\} (2)$$

где  $y, z$ - координаты точки в плоскости поперечного сечения проволоки;  $E$  - модуль упругости первого рода;  $G$  - модуль сдвига,  $\alpha$  - угол свивки;  $r_1$  - радиус свивки,  $\varepsilon_T$ - деформация, соответствующая пределу текучести.

Зная напряжения в сечении проволок, определяли внутренние усилия в сечении проволок каната согласно формулам.

$$\left. \begin{aligned}
 M_n &= \int_{F_y} \sigma^y \rho \sin w dF + \int_{F_p} \sigma^p \rho \sin w dF; \\
 M_b &= - \left( \int_{F_y} \sigma^y \rho \cos w dF + \int_{F_p} \sigma^p \rho \cos w dF \right); \\
 M_t &= \int_{F_y} \tau^y \rho dF + \int_{F_p} \tau^p \rho dF; \\
 N_t &= \int_{F_y} \sigma^y dF + \int_{F_p} \sigma^p dF.
 \end{aligned} \right\} (3)$$

Для описания взаимодействия внутренних сил в канате использовали известные дифференциальные уравнения Кирхгофа для тонкого стержня, записанные применительно к винтовому элементу каната и взятые в проекциях на оси триэдра (b,n,t). В свою очередь составляющие вектора полной угловой скорости вращения внутреннего триэдра -  $\omega_t$  кручение,  $\omega_n$  - кривизна в плоскости (t, b),  $\omega_b$  кривизна оси проволоки в плоскости (t, n) при свивке проволок в прядь (канат) определяли по формулам:

$$\left. \begin{aligned}
 \frac{dN_n}{ds} + w_t N_b - w_b N_t = -f_n; \\
 \frac{dN_b}{ds} + w_n N_t - w_t N_n = -f_b; \\
 \frac{dN_t}{ds} + w_b N_n - w_n N_b = -f_t.
 \end{aligned} \right\} (4)$$

$$\left. \begin{aligned}
 \frac{dM_n}{ds} + w_t M_b - w_b M_t = -N_b - m_n; \\
 \frac{dM_b}{ds} + w_n M_t - w_t M_n = N_n - m_b; \\
 \frac{dM_t}{ds} + w_b M_n - w_n M_b = -m_t.
 \end{aligned} \right\} (5)$$

$$\left. \begin{aligned}
 \omega_t &= \frac{\sin \alpha \cos \alpha}{r_1}; \\
 \omega_n &= -\frac{d\alpha}{ds}; \\
 \omega_b &= \frac{\sin^2 \alpha}{r_1}.
 \end{aligned} \right\}$$

Внешние усилия в элементах каната определялись по следующим зависимостям. Чтобы установить связь внутренних сил с внешними силами, приложенными к канату, необходимо перейти к системе координат, связанной с поперечным сечением каната, при соответствующей замене обозначений. Суммируя все внутренние силы и моменты в поперечном сечении каната, можно найти проекции главного вектора  $\bar{Q}$  и главного момента  $\bar{L}$ .

При свивке канатов по технологиям с учетом преформации для анализа НДС проволок каната необходимо вычислить рациональное значение кривизны преформации проволоки  $b, n, t$  к. Так как в процессе преформации оси проволоки каната должна быть задана кривизна  $\chi_{np}$ , обеспечивающая при свивке в прядь остаточную кривизну в зоне пластических деформаций  $\chi_k$ , равную кривизне проволоки в канате и в зоне упругих деформаций остаточная деформация должна соответствовать пределу текучести  $\varepsilon_T$ . Для определения кривизны преформации надо знать величину необходимой деформации для точек упругой и пластической зон деформации в сечении проволоки пряди (каната). Таким образом, необходимая деформация (6) при преформации в точках упругой зоны и деформация (7) в точках зоны пластических деформаций в поперечном сечении проволоки каната определялась по следующим зависимостям:

$$\left. \begin{aligned}
 \varepsilon_{np} &= \varepsilon_{ост.} + \varepsilon_p, \\
 \varepsilon_{ост} &= \varepsilon_T, \\
 \varepsilon_p &= \varepsilon_T + \frac{\varepsilon_T}{\lambda - 1}
 \end{aligned} \right\} (6)$$

$$\left. \begin{aligned}
 \varepsilon_{np} &= \varepsilon_{ост.} + \varepsilon_p, \\
 \varepsilon_{ост} &= \varepsilon_k, \\
 \varepsilon_p &= \varepsilon_T + \frac{\varepsilon_k}{\lambda - 1}
 \end{aligned} \right\} (7)$$

При свивке спирального каната с учетом преформации необходимо знать рациональное значение кривизны преформации  $\chi_{np}$ . Процесс вычисления рационального значения кривизны преформации (блоки 3, 4, 5) продолжается, пока значение остаточной кривизны  $(\chi_{np} - \Delta\chi)$  проволоки не будет равно кинематическому значению кривизны проволоки в готовом канате  $\chi = \sin^2 \alpha / r_1$ . Что соответствует минимуму функции изменения кривизны осевой линии проволоки каната (8):

$$\Delta\chi = -M_{mex} / EI \quad (8)$$

С другой стороны данную функцию можно определить как функцию многих переменных,  $\Delta\chi = F(E, \sigma_m, D, m, K, h, \chi_{np})$  зависящую от физико-механических свойств материала канатной проволоки, диаметра каната, коэффициента кратности свивки каната, кривизны преформации проволоки.

Как показали проведенные расчеты НДС, соответствующие оптимальному значению кривизны преформации  $\chi_{np}$  проволоки соответствует такое напряженное состояние спирального каната (пряди), при котором зона разгрузки из пластической зоны, занимает максимальную часть поперечного сечения проволоки пряди. Такое распределение напряжений в сечении проволоки является более равномерным и соответствует минимальному значению момента упругой отдачи в сечении пряди.

Полученные соотношения позволяют решать задачу нахождения деформаций в проволоках, прядях и канате по известным значениям внешней нагрузки.

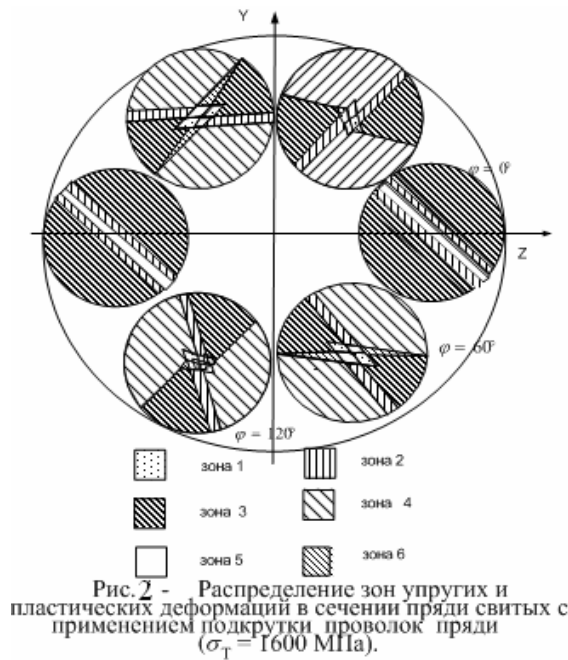
При свивке спирального каната без преформации (исключаем блоки 3, 4, 5) и с применением открутки, когда влиянием кручения можно пренебречь зона упругих деформаций имеет вид полосы, ширина которой в большей степени зависит от величины угла свивки пряди. В случае свивки прядей без открутки зона упругих деформаций имеет форму эллипса. При увеличении коэффициента кратности свивки зоны упругих деформаций увеличиваются до 30-42% в случае свивки с откруткой и составляют 7-10% от сечения проволок при свивке без открутки.

При исследовании НДС проволок канатов свитых с учетом преформации считали, что проволоки или пряди не будут равноправны в силовом отношении. Поэтому кроме контактной силы на винтовой элемент каната будет действовать тангенциальная нагрузка  $f_b$ . Преформация проволоки (пряди) сопровождается изменением параметров свивки каната и компонента  $\omega_n$  угловой скорости  $\omega$  вращения триэдра  $(b, n, t)$  будет отлична от нуля. Однако, действием сил трения можно пренебречь, вследствие чего для круглого элемента будет справедливо равенство нулю следующих компонент  $f_t = 0, m_n = m_b = m_t = 0$ . Учитывая, при этом, что натяжение проволоки, угол преформации проволоки (пряди) в преформаторе, изгибающие моменты  $M_b, M_n$  постоянны решение систем уравнений (1-7, 8) примут вид

$$\left. \begin{aligned} N_b &= \omega_b M_t - \omega_t M_b; \\ N_n &= \omega_n M_t - \omega_t M_n; \\ f_b &= \omega_n N_t + \omega_t N_n; \\ f_n &= \omega_b N_b - \omega_t N_t, \end{aligned} \right\} \quad \left. \begin{aligned} \omega_t &= \frac{\sin \alpha_1 \cos \alpha_1}{r_1} + \chi_{np} \sin \alpha_1 \cos \alpha_1 \cos \phi; \\ \text{где } \omega_n &= \chi_{np} \cos \alpha_1 \sin \phi - \frac{d\alpha_1}{ds}; \\ \omega_b &= \frac{\sin^2 \alpha_1}{r_1} - \chi_{np} \cos^2 \alpha_1 \cos \phi. \end{aligned} \right\}$$

Для проволок спирального каната плоскости преформации, дополнительной и суммарной деформации совпадают. Но смещение нейтральных линий друг относительно друга в плоскости преформации, дополнительной и суммарной обуславливает наличие в поперечном сечении пров  $f_n$  олок пряди зон упругой догрузки и разгрузки, величина, которых также зависит и от величины разности кривизны свивки пряди от оптимального значения кривизны преформации проволок пряди. При этом зона упругой разгрузки занимает около 80% сечения проволок спирального каната (пряди).

В сечении проволок пряди свитой с применением подкрутки проволок число зон возрастает до шести, из которых пять зон упругих деформаций (Рис. 2). В этом случае для проволок спирального каната плоскости преформации, дополнительной и суммарной деформации не совпадают. Суммарная площадь зон упругой догрузки 1, пластической разгрузки 2, упругой разгрузки 3 составляет около 20% от зоны упругих деформаций в проволоках пряди, свитой без подкрутки ее проволок. Зона 1 образована за счет несовпадения нейтральных линий первичных и вторичных деформаций в сечении проволоки пряди. И при этом на 60-70% уменьшились ее размеры по отношению к соответствующей зоне в сечении проволоки пряди, изготовленной без дополнительной подкрутки проволок.



Также нами был проведен расчет, и анализ силовых характеристик процесса преформации проволок, прядей каната. Величина деформации проволок и прядей регулируется изменением расстояния  $S$  между крайними роликами и величиной смещения  $h$  среднего ролика относительно линии центров крайних роликов в преформаторе. В наших расчетах проволока (прядь) рассматривалась, как балка на трех опорах с заданной кривизной  $\chi_{пр}$  на средней опоре и величина отклонения оси среднего ролика нами принята  $h < 0$ . Задача состояла в том, чтобы при заданном значении  $S$ , диаметра ролика в зависимости от конструкции каната, от их размеров, кратности свивки, предела прочности составляющих канат проволок определить неизвестную величину смещения  $h$  среднего ролика относительно линии центров крайних роликов. Как известно, для сохранения цикла преформации в точках контакта ролика и проволоки следует, чтобы длина  $S$  преформируемой проволоки (пряди) была равна длине пряди, идущей на построение одного шага свивки каната. На канатных заводах расстояние  $S$  между крайними роликами принимается на 4-6% меньше шага свивки каната. Стрелу прогиба  $f$  элемента каната определяли согласно выражению  $f = D + d \pm h$ .

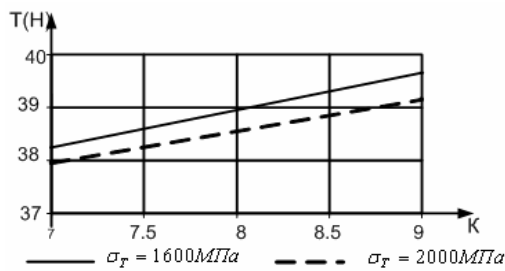


Рис. 3 - Графики изменения усилий вытяжки в зависимости от кратности свивки проволок в прядь.

С другой стороны необходимую величину прогиба  $f$  проволоки (пряди) в преформаторе определяет оптимальное значение кривизны преформации в соответствии с выражением  $f = 1/\chi_{пр}$ . Для удобства определения параметров настройки преформатора в зависимости от стрелы прогиба  $f$  проволоки (пряди) на канатных заводах используют коэффициент  $K_n = \frac{f}{d_k}$  фициента настройки преформатора

$K_n$  существенно влияет изменение кратности свивки прядей в канат и практически не влияет изменение кратности свивки проволок в прядь. Значения диаметра роликов брали из интервала  $d \leq D_p \leq 3d$ .

Усилие вытяжки проволок, прядей определяли согласно выражению  $T = T_0 + 2\mu P + \Delta T$ , где  $T_0$ - натяжение проволок (пряди) на входе в деформатор, при этом  $P = 4 \text{ Мб/С}$ - давление проволоки (пряди) на ролик, которое принимали равными на всех опорах,  $\mu$  - приведенный коэффициент трения, равный  $\mu = 0.1$ ,  $\Delta T = \chi_k \text{ Мб}$  - дополнительное усилие за счет работы пластической деформации изгиба проволоки.

Проведенные исследования показали, что с уменьшением коэффициента кратности свивки проволок в прядь величина вытяжки преформируемых проволок уменьшается. С учетом введенных ограничений и допущений уравнения (1-7, 8) примут вид:

$$\left. \begin{aligned} w_t N_b - w_b N_t &= -f_n \\ w_t M_b - w_b M_t &= -N_b \end{aligned} \right\} w_t = \frac{\sin \alpha \cos \alpha}{r_1}; \quad w_b = \frac{\sin^2 \alpha}{r_1}.$$

Значения изгибающего момента в проволоках прядей, отличающихся значениями технологических параметров изменяются в пределах 3-5%. А значения изгибающего момента  $M_b$  при изменении предела текучести (1600-2000) МПа материала проволок изменяются в пределах 28-30%. Сравнительный анализ величин остаточных осевых усилий в сечении проволок спиральных канатов, крутящего технологического момента в пряди, изгибающего момента в сечениях проволок прядей свитых как с применением, так и без преформации проволок пряди позволил установить, что степень нейтрализации величин остаточных осевых усилий составляет в среднем 70-80%, крутящего технологического момента в пряди - 40-58%, изгибающего момента в сечениях проволок прядей соответственно составляет 20-30%.

Проведенные результаты исследований напряженно-деформированного состояния проволок в канате при свивке имеют большое практическое значение, которое состоит в том, что разработанная методика расчета рациональных технологических параметров свивки канатов, и соответствующее программное обеспечение могут применяться на канатных заводах для расчета технологических параметров свивки канатов различных ГОСТов и настройки преформаторов.

#### Список использованной литературы

1. **Бреславцева И. В., Рыжиков В. А.** Математическая модель и алгоритм расчета напряженно-деформированного состояния проволок в канате // Изв. вузов Тульского государственного университета. 2001. Вып. 1. С. 55-59.
2. **Бреславцева И. В.** Алгоритм расчета НДС проволок спирального каната при его свивке с применением преформации проволок // Экология, технология и оборудование: межвузовский сборник научных трудов. Ростов-Дон, 2003. Ч. 2. С. 16-18.

## АНАЛИЗ ПАРАМЕТРОВ УСТОЙЧИВОСТИ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ СВАРОЧНОЙ ДУГИ

*Бурдаков С. М.*

*Волгодонский институт (филиал) ГОУ ВТО «Южно-Российский государственный технический Университет» (Новочеркасский политехнический институт)*

Современные исследования процессов сварки показали, что основное количество дефектов зарождается в объеме сварочной ванны и определяется сложными тепловыми, гидродинамическими процессами, проходящими в ее объеме и напрямую зависящими от устойчивости горения дуги. Устойчивость горения сварочной дуги считается главным требованием к процессу сварки плавлением.

Известны следующие способы воздействия на электрическую сварочную дугу с целью повышения устойчивости и ее технологических свойств [Чернов, 2000, с. 7-9].

В состав покрытия электродов вводят элементы с низким потенциалом ионизации (*K, Na, Ba, Ca*). Повышение устойчивости достигается за счет увеличения количества ионов. Однако этот способ имеет и недостаток - падает скорость плавления катода, что снижает эффективность сварочного процесса.

Повышения устойчивости горения сварочной дуги можно добиться путем подбора статической вольт-амперной характеристики источника питания. Однако при слишком большой крутизне внешней статической характеристики источника питания происходит ухудшение условий проведения сварочного процесса.

Один из способов повышения устойчивости горения и сварочно-технологических свойств дуги осуществляется в импульсно-дуговой сварке [Букаров, 1990, с. 30-32]. Развитие импульсно-дуговой сварки плавающим электродом в активных газах, начатое в 70-х годах Н. Г. Дюргеровым, Х. Н. Сагировым, В. А. Левинкиным, сделало этот процесс перспективным при изготовлении конструкций из малоуглеродистых и легированных сталей, а также некоторых цветных металлов.

Улучшение сварочно-технологических свойств и устойчивости горения дуги наблюдается при воздействии на динамические характеристики источника питания. В данном случае необходимо разработать такую структурную схему сварочного контура, параметры которой учитывали бы специфику динамических процессов в сварочной ванне и способствовали минимизации вероятности образования дефектов сварного соединения.

К наиболее распространенным источникам питания для дуговой сварки относятся универсальные сварочные выпрямители серии ВДУ.

Динамические свойства серийных источников питания ограничивают их использование для регулирования быстродействующих тепловых процессов при плавлении электрода и гидродинамических процессов в сварочной ванне.

Повышение быстродействия современных источников питания имеет две отчетливо выраженные тенденции. Первая из них основана на использовании быстродействующей инверторной техники, а вторая связана с совершенствованием управления. Использование инверторной техники связано со значительным усложнением схемы управления и удорожания источников в целом.

Следовательно, наиболее перспективным путем повышения устойчивости дугового разряда может быть осуществлено за счет внешнего импульсного, квазигармонического воздействия на сварочный контур.