

9. *James, M. McClelland. Proven FASTMET Process: Right For India / M. James // Midrex Technologies Incorporated. Originally presented at the Conference on Direct Reduction and Smelting on October 5-th&6-th in Jamehedpur, India.*

10. *Recycling Of CST By-Products By Tecnored Ironmaking / José Henrique Noldin [et al.] // Technical contribution to the 2nd International Meeting on Ironmaking, Theme «Environment / wastes recycling», September 12 to 15, 2004 – Vitória - ES – Brazil.*

11. *José Henrique Noldin. Tecnored Process - High Potential in Using Different Kinds of Solid Fuels / José Henrique Noldin [et al.] // Received: July 19, 2004; Revised: April 25, 2005.*

12. *Marcheze, E. S. A biomassa no processo tecnored / E. S. Marcheze [et al.] // In International Congress on Biomass for Metal Production & Electricity. 1st, ISS Brazilian section. Belo Horizonte. – Brazil, 2001.*

13. *José Henrique Noldin. Tecnored Process Low Cost Pig Iron Production / José Henrique Noldin, Marcos de Albuquerque Contrucci, Lose Carlos D'Abreu // Scrap Substitutes And Alternative Ironmaking IV // 2004, 11, Baltimore.*

14. *Fruehan, R. J. Sustainable Steelmaking Using Biomass And Waste Oxides / R. J. Fruehan // Final Report. Carnegie Mellon University Pittsburgh PA September 30, 2004. Work performed under Cooperative Agreement No. DE-FC36-97ID13554. Prepared for U.S. Department of Energy.*

15. *Gobind Jagtiani. Evaluation of Sustainable Steelmaking Using Biomass and Waste Oxides / Gobind Jagtiani // Center for Ironmaking & Steelmaking Research, Pittsburgh, PA.*

УДК 669.187

**В. И. ТИМОШПОЛЬСКИЙ, д-р техн. наук (БНТУ),  
А. В. ВЕДЕНЕЕВ (РУП «БМЗ»)**

## **КОЛИЧЕСТВЕННЫЙ МЕТОД ОЦЕНКИ ГЕОМЕТРИЧЕСКОГО РАСПОЛОЖЕНИЯ ПРОВОЛОК В СТРУКТУРЕ МЕТАЛЛОКОРДА**

Производство металлокорда является промежуточным звеном в изготовлении резинотехнических изделий, в частности автомобильных шин. Основными критериями оценки качества изготавливаемого металлокорда являются его физико-механические характеристики, которые в полной мере должны обеспечивать требуемую ходимость шин при эксплуатации и снижение расходов в процессе изготовления шин, что в свою очередь предъявляет высокие требования

к методам испытаний корда. Условно все методы испытаний можно разделить на стандартные (минимально достаточные), применяемые на приемо-сдаточных испытаниях, и нестандартные, которые могут использоваться при разработке новых видов металлокорда или отработке технологии его изготовления. На сегодняшний день к стандартным требованиям относятся нормы по разрывному усилию, удлинению при разрыве, величине адгезии металлокорда с резиной, диаметру, весу металлокорда и шагам свивки, которые оговорены в различных нормативных документах [1, 2] или спецификациях.

При разработке новых конструкций металлокорда существующих приемочных испытаний явно недостаточно, чтобы спрогнозировать его поведение в шинах. Как правило, нестандартные испытания металлокорда для шин являются очень продолжительными и дорогостоящими и определяют узконаправленную характеристику из широкого набора требований для различных условий эксплуатации шин. К таким характеристикам для металлокорда можно отнести: модуль упругости, выносливость (как в обрешиненном, так и в необрешиненном состоянии); усилие анкеровки внутренних слоев, геометрическое расположение проволок; удлинение при частичной нагрузке, жесткость и эластичность.

До настоящего времени оценка положения проволок в структуре металлокорда определялась визуальным осмотром, в результате которого невозможно было определить в числовом выражении отклонение от идеальной формы расположения проволок и плотности свивки конструкции. Это особенно важно при изготовлении компактных конструкций металлокорда, который предназначен для использования в каркасном слое грузовых ЦМК шин.

В настоящей работе предложена методика определения компактности и асимметричности расположения проволок в компактных конструкциях металлокорда. Согласно методике фактическое расположение проволок, полученное с поперечного шлифа, сравнивается с идеальной геометрически построенной структурой. В качестве примера в табл. 1 приведены геометрические параметры расположения проволок в слоях металлокорда компактных конструкций исходя из геометрических построений.

Таблица 1. Выражения для определения радиуса свивки слоя проволок и наружного диаметра металлокорда в зависимости от конструкции

Конструкция	Структура	Диаметр свивки проволок наружного повива $D_{св}$	Радиус свивки проволок наружного повива $R$	$D_{св} + d_{оп}$
$3 \times d$	$3 \times d$	$2d / \sqrt{3}$	$d / \sqrt{3}$	$\frac{(2 + \sqrt{3})d}{\sqrt{3}}$
$3 \times d_1 / 6 \times d_2$	$3 \times d_1$	$2d_1 / \sqrt{3}$	$d_1 / \sqrt{3}$	$\frac{(2 + \sqrt{3})d_1}{\sqrt{3}}$
	$3 \times d_1 / 3 \times d_2$ $3 \times d_1 / 3 \times d_2 / 3 \times d_2$	$\sqrt{d_2^2 + 2d_1d_2}$ $d_1 + d_2 + \frac{2d_1}{\sqrt{3}}$	$\frac{\sqrt{d_2^2 + 2d_1d_2}}{2}$ $\frac{1}{2}(d_1 - d_2) + \frac{d_1}{\sqrt{3}}$	$d_2 + \sqrt{d_2^2 + 2d_1d_2}$ $d_1 + 2d_2 + \frac{2d_1}{\sqrt{3}}$
$1 \times 12 \times d$	$3 \times d$	$2d / \sqrt{3}$	$d / \sqrt{3}$	$\frac{(2 + \sqrt{3})d}{\sqrt{3}}$
	$3 \times d / 3 \times d$	$4d / \sqrt{3}$	$2d / \sqrt{3}$	$\frac{(4 + \sqrt{3})d}{\sqrt{3}}$
	$3 \times d / 3 \times d / 6 \times d$	$2d \sqrt{\frac{7}{3}}$	$d \sqrt{\frac{7}{3}}$	$3d \sqrt{\frac{7}{3}}$
$d_1 + 18 + d_2$	$d_1 / 6 \times d_2$	$d_1 + d_2$	$\frac{d_1 + d_2}{2}$	$d_1 + 2d_2$
	$d_1 / 6 \times d_2 / 6 \times d_2$	$\frac{d_1^2 + 9d_2^2 - d_1d_2}{2}$	$\frac{d_1^2 + 9d_2^2 - d_1d_2}{4}$	$\frac{d_1^2 + 9d_2^2 - d_1d_2 + 2d_2}{2}$
	$d_1 / 6 \times d_2 / 6 \times d_2 / 6 \times d_2$	$d_1 + 3d_2$	$\frac{d_1 + 3d_2}{2}$	$d_1 + 4d_2$
$1 \times 27 \times d$	$3 \times d$	$2d / \sqrt{3}$	$d / \sqrt{3}$	$\frac{(2 + \sqrt{3})d}{\sqrt{3}}$
	$3 \times d / 3 \times d$	$4d / \sqrt{3}$	$2d / \sqrt{3}$	$\frac{(4 + \sqrt{3})d}{\sqrt{3}}$
	$3 \times d / 3 \times d / 6 \times d$	$2d \sqrt{\frac{7}{3}}$	$d \sqrt{\frac{7}{3}}$	$3d \sqrt{\frac{7}{3}}$
	$3 \times d / 3 \times d / 6 \times d / 6 \times d$	$2d \sqrt{\frac{13}{3}}$	$d \sqrt{\frac{13}{3}}$	$3d \sqrt{\frac{13}{3}}$
	$3 \times d / 3 \times d / 6 \times d / 6 \times d / 3 \times d$	$8d / \sqrt{3}$	$4d / \sqrt{3}$	$\frac{(8 + \sqrt{3})d}{\sqrt{3}}$
$3 \times d / 3 \times d / 6 \times d / 6 \times d / 3 \times d / 6 \times d$	$2d \sqrt{\frac{19}{3}}$	$d \sqrt{\frac{19}{3}}$	$3d \sqrt{\frac{19}{3}}$	

Исследования начинают с изготовления поперечного шлифа металлокорда известными в настоящее время методами. Для последующего анализа поперечное расположение проволок фотографируют с увеличением не менее 50:1.

Все известные конструкции компактного металлокорда имеют симметричное расположение проволок в структуре поперечного сечения. Поэтому фактическое соответствие положения проволок в структуре (т. е. ее дефектность) в данной методике предложено

оценивать через коэффициент асимметрии  $Ka_{стр}$ . Для этого по фотографии на полученном изображении с помощью линейки и карандаша проводятся касательные двух соседних проволок слоя до точек пересечения. В результате образуются треугольники попарных касательных (рис. 1) с катетами  $a$ ,  $b$ ,  $c$ , длина которых замеряется линейкой с точностью до 0,5 мм.

С целью исключения возможного влияния овальности проволок проводятся 4-кратные замеры диаметра каждой проволоки и определяются усредненный  $\bar{d}$ , минимальный  $d_{min}$  и максимальный  $d_{max}$  диаметры.

Согласно выражению (1) определяется коэффициент асимметрии слоя из-за овальности диаметров проволок

$$Ka_{д} = \frac{d_{max} - d_{min}}{\bar{d}}. \quad (1)$$

При замере катетов полученного треугольника попарных касательных определяются средняя  $\bar{l}$ , минимальная  $l_{min}$  и максимальная  $l_{max}$  длины катета и рассчитывается по формуле коэффициент общей асимметрии

$$Ka_{общ} = \frac{l_{max} - l_{min}}{\bar{l}}. \quad (2)$$

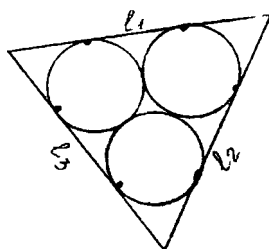


Рис. 1. Схема построения треугольника попарных касательных

Отсюда вычисляется

$$Ka_{стр} = Ka_{общ} - Ka_{д}. \quad (3)$$

При  $Ka_{стр} = 0$  структура считается недеформированной, с симметричным расположением проволок.

Для определения плотности укладки проволок в структуре вводится понятие коэффициента некомпактности  $K_3$ .

С этой целью с учетом диаметра проволок в слоях  $d$  вычисляется идеальный радиус свивки проволок слоя  $R_{ид}$  по формулам тригонометрических зависимостей, приведенных в табл. 1. Затем на фотграфиях строится треугольник радиальных касательных (рис. 2) с катетами  $a'$ ,  $b'$ ,  $c'$ .

Согласно методике определяется радиус вписанной в полученный треугольник окружности по формуле (4) [3]

$$R_{вп.окр} = \frac{1}{2} \sqrt{\frac{(a+b+c)(a+c-b)(b+c-a)}{a+b+c}}, \quad (4)$$

тогда коэффициент некомпактности расположения проволок слоя вычисляется по формуле

$$K_3 = \frac{2\pi(R_{вп.окр} - R_{ид})}{n\bar{d}}, \quad (5)$$

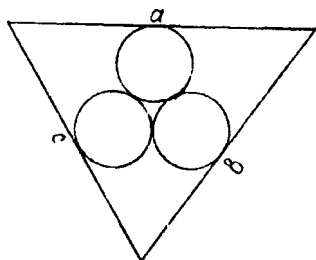


Рис. 2. Схема построения треугольника радиальных касательных

где  $n$  – число проволок в слое.

Для оценки компактности металлокорда необходимо проводить обсчет образца с наибольшим  $Ka_{стр}$ . Если  $K_3 = 0$ , то такой металлокорд является абсолютно компактным. На практике к компактному расположению проволок принимаются значения  $Ka_{стр}$  и  $K_3$ , близкими к нулю.

В качестве примера можно привести металлокорд  $3 \times 0,20/6 \times 0,35$  СС (рис. 3), изготовленный на машине RI-10 с предварительным кручением перед машиной.

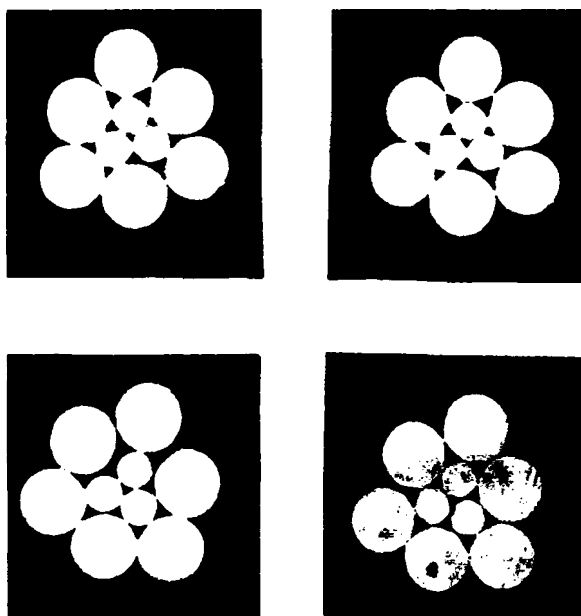


Рис. 3. Поперечная структура металлокорда  $3 \times 0,20/6 \times 0,35$  СС, изготовленного на машине Ri-10 с предварительным подкручиванием

При анализе фотографии поперечных шлифов определили коэффициенты асимметрии структуры и коэффициент некомпактности:

$3 \times 0,20$	$-Ka_{стр} = -2,3 \%$	$K_3 = 4,4 \%$
$3 \times 0,20/3 \times 0,35$	$-Ka_{стр} = 4,4 \%$	$K_3 = 37,6 \%$
$3 \times 0,20/3 \times 0,35/3 \times 0,35$	$-Ka_{стр} = 5,7 \%$	$K_3 = 3,7 \%$

Как видно из полученных результатов, второй слой из трех проволок диаметром 0,35 мм уложен недостаточно компактно.

У остальных слоев (центрального и наружного) компактность можно считать удовлетворительной.

В качестве еще одного примера на рис. 4 приведена конструкция металлокорда  $1 \times 12 \times 0,25$  НТСС, изготовленного на машине Ri-10 с предварительным подкручиванием.

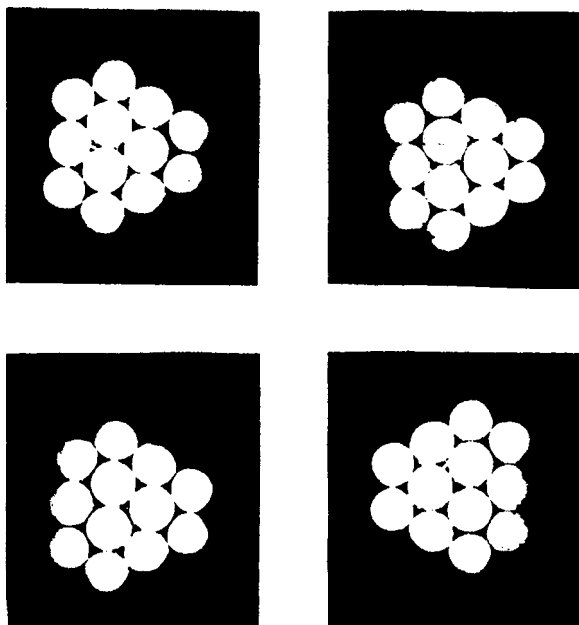


Рис. 4. Поперечная структура металлокорда  $1 \times 12 \times 0,25$  НТСС, изготовленного на машине Ri-10 с предварительным подкручиванием

Анализ фотографий (рис. 4) поперечных шлифов металлокорда свидетельствует о хорошей его компактности.

Коэффициенты асимметрии структуры и некомпактности расположения проволок выглядят следующим образом:

$3 \times 0,25$	– $K_{a\text{стр}} = 3,7 \%$ ; $K_3 = 5,6 \%$ ;
$3 \times 0,25 / 3 \times 0,25$	– $K_{a\text{стр}} = -2,0 \%$ ; $K_3 = -2,8 \%$ ;
$3 \times 0,25 / 3 \times 0,25 / 3 \times 0,25$	– $K_{a\text{стр}} = 6,5 \%$ ; $K_3 = 7,6 \%$ .

Полученные результаты с учетом погрешности измерения  $Ka_{стр}$  и  $K_3$  можно принять удовлетворительными.

Таким образом, предложенная методика количественной оценки качества геометрического положения проволок в конструкции позволяет использовать ее как незаменимый инструмент при разработке конструкций металлокорда, а также объективной оценке в лабораторных условиях качества свитой конструкции при обработке технологических параметров свивки.

## ЛИТЕРАТУРА

1. ГОСТ 14311–85 «Металлокорд для шин». Технические условия.
2. ТУ РБ 04778771.004–001 «Металлокорд для шин» / РУП «БМЗ». – Жлобин, 2001.
3. Корн, Г. Справочник по математике для научных работников и инженеров / Г. Корн, Т. Корн. – М.: Наука, 1973. – 521 с.

УДК 621.74.669.14

А. Г. СЛУЦКИЙ, канд. техн. наук, В. А. ШЕЙНЕРТ (БНТУ),  
А. А. ФОКИН (РУП «БМЗ»)

## ВНЕПЕЧНАЯ ОБРАБОТКА СТАЛИ КОМПЛЕКСНЫМИ МОДИФИКАТОРАМИ

Одним из способов внепечной обработки жидкой стали является модифицирование – процесс направленного изменения структуры литого сплава под воздействием малых количеств (~ до 0,1 %) специально вводимых добавок. Вопросам теории модифицированной стали посвящены многие работы [1–4].

Широкое распространение в практике сталеплавильного производства нашли такие поверхностно-активные элементы, как бор, магний, кальций, барий, иттрий, церий. Как правило, их вводят в жидкий расплав в виде ферросплавов и лигатур. Модифицированный эффект обеспечивается за счет адсорбции их на поверхности растущих кристаллов, что приводит к замедлению их роста и увеличению количества центров кристаллизации. К таким модификаторам предъявляются следующие требования: