ПЕРМСКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ

А.П. Кошкин, Г.Д. Трифанов

КАНАТЫ ДЛЯ ПОДЪЕМНЫХ УСТАНОВОК

Пермь 2014

Министерство образования и науки Российской Федерации

Федеральное государственное бюджетное образовательное
учреждение высшего профессионального образования
«Пермский национальный исследовательский
политехнический университет»

А.П. Кошкин, Г.Д. Трифанов

КАНАТЫ ДЛЯ ПОДЪЕМНЫХ УСТАНОВОК

Издание второе,
переработанное и дополненное

Утверждено
Редакционно-издательским советом университета
в качестве учебного пособия

Издательство
Пермского национального исследовательского
политехнического университета
2014

УДК 622.673.6.004.1
К76

Рецензенты:
д-р техн. наук, профессор *Н.И. Алыменко*
(Горный институт УрО РАН, г. Пермь);
канд. техн. наук *С.В. Воробель*
(Пермский национальный исследовательский
политехнический университет)

Кошкин, А.П.
К76 Канаты для подъемных установок : учебное пособие / А.П. Кошкин, Г.Д. Трифанов. – 2-е изд., прераб. и доп. – Пермь: Изд-во Перм. нац. исслед. политехн. ун-та, 2014. – 107 с.

ISBN 978-5-398-01325-2

Приведены конструкции, классификации, условные обозначения, геометрические параметры, физико-механические свойства и рекомендации по применению канатов, используемых на шахтных подъемных установках, требования по безопасной эксплуатации, опыт применения новых конструкций канатов, технологии их навески, эксплуатации, инструментального контроля и браковки, предложения и рекомендации заводов-изготовителей.

Предназначено для студентов технических вузов специальностей 150402 «Горные машины и оборудование», а также инженерно-технических работников горнодобывающих предприятий, шахтостроительных, научно-исследовательских и проектных, экспертных, специализированных наладочных и ремонтных организаций.

Пособие может быть использовано при повышении квалификации работников горных предприятий, обслуживающих шахтные подъёмные установки.

УДК 622.673.6.004.1

ISBN 978-5-398-01325-2 © ПНИПУ, 2014

ОГЛАВЛЕНИЕ

Введение 5
1. Основные конструктивные элементы канатов 7
1.1.Элементы конструкции стального каната 7
1.2. Канатная катанка 7
1.3. Канатная проволока 9
1.4. Сердечники стальных канатов 12
1.5. Смазочные материалы 14
2. Строение, классификация и свойства стальных канатов 17
2.1. Строение и классификация канатов 17
2.2. Условное обозначение канатов 36
2.2.1. Обозначение конструкции каната 36
2.2.2. Примеры обозначения конструкции канатов 37
2.2.3. Примеры обозначения канатов при заказе 39
2.3. Конструктивные (геометрические) показатели канатов 40
2.3.1. Диаметр каната 41
2.3.2. Шаг свивки 42
2.3.3. Углы свивки 43
2.3.4. Плотность 45
2.3.5. Гибкость 46
2.3.6. Опорная поверхность 47
2.3.7. Зазоры между прядями 48
2.4. Физико-механические свойства канатов 49
2.4.1. Разрывное усилие 49
2.4.2. Упругие удлинения (модуль упругости) 51
2.4.3. Расчетная масса 53
2.4.4. Критическая длина 54
2.5. Испытание канатов при изготовлении 55
2.6. Испытание канатов при эксплуатации 60
3. Рекомендации по выбору и применению стальных канатов различных конструкций 64
3.1. Тип свивки каната 65
3.2. Фасоннопрядные канаты 67

3.3. Канаты закрытой конструкции 68
3.4. Канаты из оцинкованной проволоки 69
3.5. Выбор способа касания между проволоками различных слоев в пряди 69
3.6. Выбор направления свивки 71
3.7. Канаты с сердечником из минеральных и искусственных материалов 74
3.8. Канаты с металлическим и комбинированным сердечником 75
3.9. Нераскручивающиеся канаты 77
3.10. Предварительно обтянутые канаты 77
3.11. Плоские канаты 79
4. Эксплуатация и техническое обслуживание канатов 81
4.1. Смазка канатов 81
4.2. Требования к копровым направляющим шкивам 83
4.3. Эксплуатация тормозных и амортизирующих канатов 85
4.4. Надзор за канатами 87
4.4.1. Рекомендации по диагностированию состояния канатов 87
4.4.2. Типичные примеры повреждения канатов 88
4.4.3. Типичные примеры износа канатов 91
4.4.4. Типичные виды изломов проволок 92
4.5. Критерии браковки канатов 93
Список использованной литературы 95
Приложение 1. Обозначение канатов согласно EN 12385-2:2002 97
Приложение 2. Соответствие канатов по отечественным и зарубежным стандартам 103
Приложение 3. Рекомендации по применению стальных канатов 105

ВВЕДЕНИЕ

Канатом называется изделие, изготовленное из волокон различного происхождения или металлических проволок путем свивки (скручивания).

Первое использование стальных канатов на шахтном подъеме зафиксировано в саксонском горно-металлургическом альманахе. В 1831 г. в порядке эксперимента на шахте в г. Хальсбрюке был использован проволочный канат кабельтовой свивки, состоящий из 45 тонких проволок, проработавший 30 рабочих смен до обрыва.

Наиболее известным является факт применения стального каната в качестве подъемного на шахте «*Clausthal*» в 1834 г. немецким инженером Вильгельмом Августом Юлиусом Альбертом. Это был трехпрядный канат односторонней свивки конструкции 3×4 (0+4) из проволок диаметром 3,5 мм и σ_B = = 520 Н/мм^2 (53 кгс/мм^2). Интересно, что канат был поставлен на шахту только после усталостных испытаний, поэтому Альберта можно считать и первым исследователем стальных канатов.

В литературе Альберта часто называют изобретателем стального каната, что неверно, так как он предложил только конкретную конструкцию и одностороннюю свивку, которую до сих пор часто называют альбертовской. Тем не менее Альберт является пионером индустриального применения стальных канатов. Заводское изготовление стальных канатов было начато в том же 1834 г. в Кельне.

Канаты являются наиболее нагруженным и ответственным элементов рудничных подъемных установок. От их состояния зависит не только надежность работы подъемных установок, но и безопасность людей, перемещаемых этими установками.

Они имеют большое число типов и конструкций и различаются по форме поперечного сечения как самого каната, так и его элементов, а также по физико-механическим характеристикам проволок и сердечников.

Сортамент стальных канатов непрерывно расширяется: увеличиваются их диаметр и длина, усложняются конструкции, при их изготовлении применяются высокопрочные стали, комбинируется сталь с полимерным покрытием и заполнением зазоров.

Правильный выбор типа, конструкции и свойств составляющих элементов каната, исходя из назначения и конкретных условий эксплуатации каната, во многом определяет не только долговечность самого каната, но и нормальную работу подъемных установок, машин и механизмов, использующих стальные канаты.

Изучению конструктивных особенностей канатов, преимущества и недостатков той или иной модификации, требований нормативных документов к стальным канатам и посвящено настоящее учебное пособие.

1. ОСНОВНЫЕ КОНСТРУКТИВНЫЕ ЭЛЕМЕНТЫ КАНАТОВ

1.1. Элементы конструкции стального каната

Стальной канат представляет собой гибкое витое изделие, состоящее из стальных проволок (от 3 до 800) круглого или фасонного сечения, свитых в пряди, которые, в свою очередь, в один или несколько слоев свиты вокруг органического или металлического сердечника (рис. 1). Канат – это неремонтопригодное и невосстанавливаемое изделие, у которого основным критерием пригодности к дальнейшей эксплуатации является запас прочности в наиболее изношенном участке по его длине. Долговечность канатов в значительной степени определяется правильностью их выбора, расчета и эксплуатации.

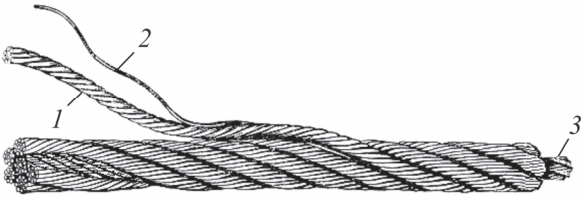


Рис. 1. Элементы конструкции стального каната:
1 – прядь; *2* – проволока; *3* – сердечник

Основными конструктивными элементами канатов являются проволоки, пряди и сердечник.

Богатый сортамент канатных изделий определяется совокупностью физико-механических свойств проволок, способом скручивания их в пряди, способом свивки последних в канат вокруг сердечника при определенном количестве проволок в пряди и прядей в канате.

1.2. Канатная катанка

Сырьем для канатной проволоки служит катанка диаметром в основном 6,5 мм, а за рубежом 5,0–5,5 мм. В зависимости от

назначения стальных канатов для их изготовления применяется главным образом углеродистая сталь. Для специальных канатов, работающих в особых условиях, используются нержавеющие и другие высоколегированные стали и сплавы [2, 10, 12].

Канатная катанка изготавливается из мартеновской, конверторной либо электростали марок 35, 40, 45, 50, 55, 60, 65, 70 и 75.

В зависимости от назначения канатная катанка изготовляется трех классов (ГОСТ 1437–78): ОК – обыкновенного качества, КК – качественная и ВК – высококачественная. По способу охлаждения после прокатки катанка подразделяется на две группы: 1 – охлажденная на воздухе; 2 – сорбитизированная (ускоренно охлажденная с регулированием режима охлаждения).

Качество и сорт проволоки зависят от химического состава стали, из которой получена катанка. Повышенная прочность проволоки достигается главным образом благодаря повышению содержания углерода в стали (табл. 1). Увеличение содержания углерода в металле на 0,01 % соответствует увеличению предела прочности примерно на 10 Н/мм^2 (1 кгс/мм^2).

Таблица 1

Химический состав стальной канатной катанки

<table>
<tr><th rowspan="3">Марка стали</th><th colspan="8">Содержание, %</th></tr>
<tr><th rowspan="2">Углерод</th><th rowspan="2">Марганец</th><th rowspan="2">Кремний</th><th>Фосфор</th><th>Сера</th><th>Хром</th><th>Никель</th><th>Медь</th></tr>
<tr><th colspan="5">Не более</th></tr>
<tr><td>Ст.35</td><td>0,32–0,40</td><td rowspan="9">0,40–0,70</td><td rowspan="9">0,27–0,45</td><td rowspan="9">0,03</td><td rowspan="9">0,03</td><td rowspan="9">0,10</td><td rowspan="9">0,10</td><td rowspan="9">0,15</td></tr>
<tr><td>Ст.40</td><td>0,37–0,45</td></tr>
<tr><td>Ст.45</td><td>0,42–0,50</td></tr>
<tr><td>Ст.50</td><td>0,47–0,55</td></tr>
<tr><td>Ст.55</td><td>0,52–0,60</td></tr>
<tr><td>Ст.60</td><td>0,57–0,65</td></tr>
<tr><td>Ст.65</td><td>0,62–0,70</td></tr>
<tr><td>Ст.70</td><td>0,67–0,75</td></tr>
<tr><td>Ст.75</td><td>0,72–0,80</td></tr>
</table>

Марганец увеличивает предел прочности и в основном повышает износостойкость проволоки.

Кремний повышает твердость и предел упругости. Так, увеличение содержания кремния на 0,1 % повышает предел прочности на 14 Н/мм^2 (1,4 кгс/мм^2). Но одновременно снижаются пластические свойства стали. Последнее отрицательно влияет на долговечность канатов.

Остальные химические элементы (фосфор, сера, хром, никель, медь) являются нежелательными, так как они отрицательно влияют на качество проволоки.

Для изготовления проволок, заполняющих пряди, и так называемых бензельных (перевязочных) канатов применяют обычную катанку с содержанием углерода до 0,3 %. Для заполняющих проволок может быть использована катанка из технически чистого (армко) железа (99,85 % Fe), содержащего лишь минимальное количество углерода, марганца кремния и других элементов. Этот металл отличается большой стойкостью против коррозии и обладает весьма высокой пластичностью.

1.3. Канатная проволока

Канатная проволока изготавливается методом многократного холодного волочения (протягивания) с промежуточными термическими и химическими обработками, обеспечивающими необходимую прочность, структуру металла, качество поверхности.

Катанка с 6,5 мм протягивается до конечного размера на готовой проволоке с требованиями по механическим свойствам.

По форме поперечного сечения канатная проволока выпускается круглого (по ГОСТ 7372–79) и фасонного (зетобразного, иксобразного, клиновидного и др.) сечений (рис. 2).

Круглая проволока используется для построения круглопрядных и фасонопрядных канатов, фасонная – для спиральных канатов закрытых конструкций.

В зависимости от условий и среды, в которых должны работать стальные канаты, для их построения может применяться различная по виду подготовки поверхности проволока: светлая

(без покрытия); оцинкованная – для средних агрессивных условий работы (С); для жестких агрессивных условий работы (Ж); для особо жестких условий работы (ОЖ).

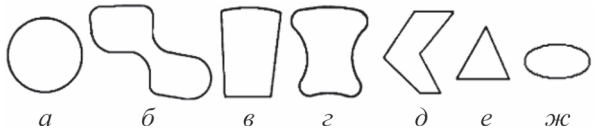


Рис. 2. Формы сечения проволок: *а* – круглая; *б* – зетобразная; *в* – трапецеидальная; *г* – иксобразная; *д* – клиновидная; *е* – трехгранная; *ж* – овальная

Иногда для предохранения от коррозионного воздействия агрессивной среды светлую канатную проволоку покрывают тончайшей полимерной пленкой. Для покрытия канатной проволоки используют главным образом полиамиды (нейлоны, капроны), которые наряду с хорошими механическими и антиабразивными свойствами характеризуются еще высоким сопротивлением против ряда кислых солей угольной кислоты, масел, жиров и щелочей.

В зависимости от механических свойств производятся две марки светлой (высшая – В и первая – I) и три марки оцинкованной (высшая – В, первая – I и бензельная – Б) проволоки.

Канатная проволока изготавливается диаметрами от 0,2 до 5,0 мм. Допускаемые отклонения по диаметру проволоки должны соответствовать нормам, приведенным в табл. 2.

Овальность проволоки не должна превышать половины допуска по диаметру.

Канатная стальная проволока характеризуется такими показателями как временным сопротивлением на разрыв σ_B, пластичностью, износостойкостью и сопротивлением воздействию коррозии.

Для шахтных подъемных канатов применяется проволока с временным сопротивлением разрыву σ_B следующих маркировочных групп, Н/мм^2 (кгс/мм^2): 1370 (140); 1470 (150); 1570 (160); 1670 (170); 1770 (180); 1860 (190); 1960 (200); 2060 (210) и 2160 (220) – для проволок круглого сечения и 1080 (110); 1180 (120); 1280(130); 1370 (140) и 1470 (150) – для проволок фасонного сечения.

Таблица 2

Допускаемые отклонения по диаметру проволоки, мм
(по ГОСТ 7372–79)

Диаметр проволоки, мм	Светлая проволока (В и I)	Оцинкованная	
		ЖС (В и I)	СС и ЛС (В и I)
От 0,2 до 0,3	±0,01	+0,03 –0,01	+0,02 –0,01
Св. 0,3 до 0,6	+0,02 –0,01	+0,04 –0,01	+0,03 –0,01
Св. 0,6 до 0,95	+0,02 –0,01	+0,05 –0,01	+0,04 –0,01
От. 1,0 до 1,5	±0,03	+0,07 –0,03	+0,05 –0,03
Св. 1,5 до 3,0	±0,03	+0,09 –0,03	+0,06 –0,03
Св. 3,0 до 4,0	±0,04	+0,10 –0,04	+0,07 –0,04
Св. 4,0 до 5,0	±0,04	+0,12 –0,04	+0,08 –0,04

Механические свойства проволок, взятых из каната, должны соответствовать требованиям ГОСТ 7372–79. Допускаемый разбег временного сопротивления разрыву проволок, взятых из каната, за исключением центральной проволоки и проволок заполнения, не должен превышать значений, приведенных в табл. 3.

Таблица 3

Допускаемый разбег временного сопротивления разрыву проволок, взятых из каната

Номинальный диаметр проволоки, мм	Допускаемый разбег временного сопротивления разрыву проволок, взятых каната, от маркировочной группы каната, %, для марок		
	ВК	В	I
До 0,75 включ.	18	20	23
Св. 0,75 до 1,60 включ.	16	18	21
Св. 1,60 до 1,80 включ.	15	17	19
Св. 1,90 и более	14	16	18

1.4. Сердечники стальных канатов

Сердечник служат внутренней опорой и амортизатором для прядей и самого каната в целом. При изгибе каната сердцевина заставляет его сохранять симметричную форму и препятствует уменьшению диаметра каната под действием растягивающей нагрузки. Материал и размеры поперечного сечения сердечника должны обеспечивать определенный зазор между прядями не только при свивке в канат, но и при его эксплуатации. Сердечник выполняет также роль аккумулятора для смазки в течение всего срока его службы.

Сердечники канатов делятся на:

– органические из натуральных или полимерных материалов – ОС;

– металлические – МС.

Органическими принято называть сердечники из волокнистых растительных материалов (рис. 3, *а*). К ним относятся: лиственные жесткие лубяные волокна (маниль, сизаль), стеблевые лубяные волокна (пенька, джут) и семенные волокна (хлопок). Сердечник может выполняться также из хлопкобумажной пряжи и хлопкобумажного корда. В необходимых случаях применяется пропитка для придания противогнилостных и антикоррозионных свойств. По требованию заказчика сердечник может быть не пропитан.

Органические сердечники выдерживают сжимающие усилия прядей до 150 Н/мм^2 (15 кгс/мм^2). Это соответствует примерно четырехкратному запасу прочности каната.

Органические сердечники изготавливаются методом одинарного скручивания (однопрядные) и двойного скручивания (трехпрядные). Для канатов диаметром более 15 мм используются трехпрядные сердечники. Направление свивки сердечника выбирается противоположным направлению свивки канатов.

Для подъемных канатов применяются органические сердечники из сизаля или пеньковая пряжа повышенного качества, называемая каболкой.

В некоторых конструкциях канатов предусматривается введение органического сердечника внутрь прядей (рис. 3, *б*).

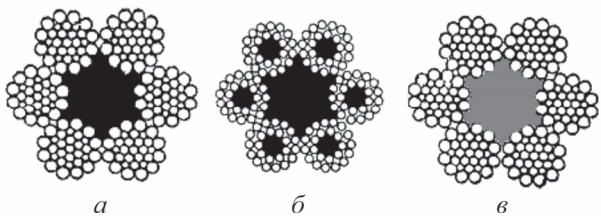


Рис. 3. Канаты с органическими сердечниками:
а, *б* – из натуральных материалов; *в* – полимерный

Сердечники из минеральных и искусственных материалов (рис. 3, *в*) изготавливаются из непропитанных асбестовых нитей, полиэтилена низкого давления и полипропилена, реже – из капрона (нейлона), лавсаны вискозы и других полимерных материалов.

Металлические сердечники изготавливаются из проволок в виде пряди одинарной свивки (рис. 4, *а*) или каната двойной свивки, который, может иметь собственный металлический (рис. 4, *б*) или органический сердечник (рис. 4, *в*).

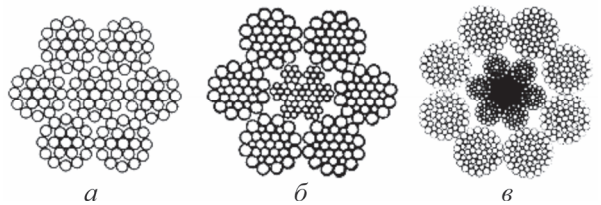


Рис. 4. Канаты с металлическими сердечниками:
а – однородный; *б* и *в* – многопрядные

Направление свивки металлических сердечников может быть правым или левым. По сочетанию направления свивки элементов сердечника свивка может быть крестовой или односторонней. Выбирается вид свивки в зависимости от назначения канатов.

Известны конструкции металлических сердечников, в которых каждая прядь имеет оплетку из волокнистого материала (рис. 5, *а*).

Второй путь создания комбинированных сердечников – введение мягких прокладок во впадины между прядями каната (рис. 5, *б*).

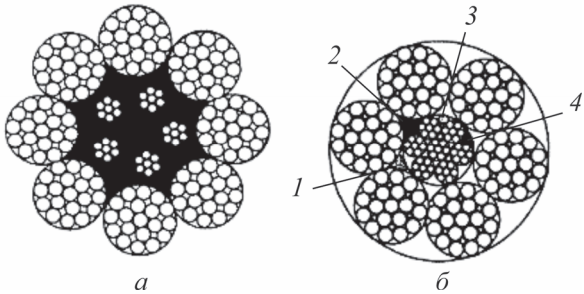


Рис. 5. Канаты с комбинированными сердечниками: *а* – с оплеткой каждой пряди; *б* – с заполняющими прокладками: *1* – опорные трензели; *2* – опорные профили; *3* – наполнительные трензели; *4* – наполнительные профили

В качестве трензелей применяются волокнистые материалы, а профили изготавливаются из сплошного материала, например, полиэтилена.

1.5. Смазочные материалы

В зависимости от условий эксплуатации канаты подвергаются воздействию влаги, различных паров, газов, кислот, высоких и низких температур окружающей среды, а также абразивному воздействию породы, руды и т.д.

Смазывание каната и его элементов для защиты от коррозии достигается лишь тогда, когда смазки покрывает всю поверхность проволок и каната. Сплошность защитного слоя не должна нарушаться. Наличие мест, не покрытых смазкой, ведет к образованию точечной коррозии, что резко снижает срок эксплуатации канатов. В защитной смазке нуждаются как светлые, так и оцинкованные канаты, а также сердечники, идущие на их построение.

От качества используемых смазочных и противогнилостных материалов, а также методов их нанесения в большой степени зависит нормальная эксплуатация канатов и ее продолжительность. Поэтому качество смазочных и противогнилостных материалов определяется их способностью сохраняться в канате как можно более продолжительное время.

Смазка стальных канатов в процессе эксплуатации в тех случаях, когда это допускается в процессе, обязательна.

Смазка стальных канатов должна преследовать две цели:

– уменьшение трения между трущимися поверхностями отдельных элементов каната при эго эксплуатации и предохранять от воздействия коррозии;

– защищать канат от попадания в него посторонних элементов всех видов как твердых и жидких, так и газообразных.

Для достижения этих целей необходимо нанести или внести смазку на следующие места каната:

– на органический или металлический сердечник;

– в пространство между отдельными проволоками и прядями;

– в пространство между сердечниками и стальными прядями;

– на наружную поверхность.

Смазка пространства между сердечником и прядями, а также между отдельными проволоками осуществляется заполнением его смазочным веществом при изготовлении каната.

Смазочные материалы, применяемые при производстве и эксплуатации стальных канатов, должна отвечать следующим требованиям:

– прочно приставать к поверхности проволоки и не стираться в процессе эксплуатации;

– проникать к центру прядей и каната при смазке каната;

– обладать достаточной вязкостью и способностью покрывать проволоку тонкой пленкой;

– не стекать с поверхности после их нанесения при свивке, хранении, транспортировке и эксплуатации каната;

– не обладать способностью испаряться;

– не затвердевать и не становиться хрупкими при изменении температуры (в определенных пределах) и влажности окружающей среды;

– разлагаться в присутствии паров, кислот и других агрессивных сред;

– не растворяться в воде и обладать водоотталкивающими свойствами;

– растворяться в газолине или других легких гидрокарбонатах для возможной очистки каната при его повторных смазываниях;

– быть свободным от кислот, щелочей и других химически активных веществ;

– не изменять своей коллоидальной структуры при повторных нагреваниях и охлаждениях;

– не допускать коррозии поверхностей проволоки и каната под слоем смазки после ее нанесения.

В состав канатных смазок в большинстве случаев входят продукты переработки нефти с высоким содержанием битума. К ним добавляют животные жиры и синтетические материалы.

2. СТРОЕНИЕ, КЛАССИФИКАЦИЯ И СВОЙСТВА СТАЛЬНЫХ КАНАТОВ

2.1. Строение и классификация канатов

Стальные канаты в соответствии с ГОСТ 3241-91 [3] подразделяются по признакам.

По конструкции:

– канаты одинарной (спиральной) свивки;

– канаты двойной (тросовой) свивки;

– канаты тройной (кабельтовой) свивки.

Канаты одинарной свивки или спиральные – состоящие из одного или несколько концентрических слоев проволок, свитых вокруг центральной проволоки (рис. 6 и 7).

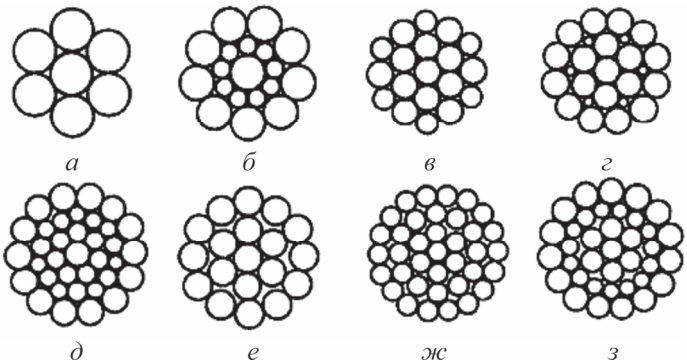


Рис. 6. Типы наиболее распространенных спиральных канатов или прядей: *а*, *б* – ЛК-О; *в* – ЛК-Р; *г* – ЛК-З; *д* – ЛК-РО; *е*, *ж* – ТК; *з* – ТЛК-О

Особую группу составляют спиральные канаты, содержащие фасонные проволоки в наружном слое – закрытые и полузакрытые (рис. 8).

Канаты двойной или тросовой свивки состоят из одного или нескольких слоев спиральных канатов – прядей.

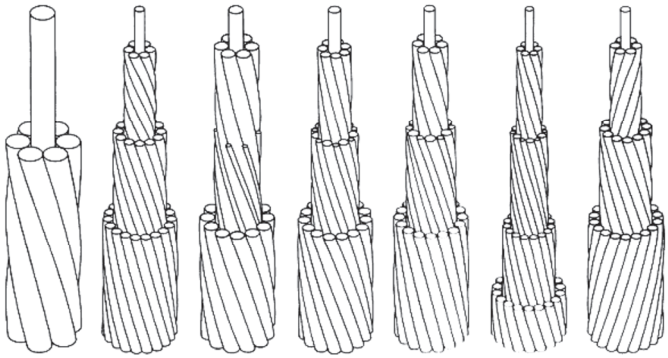


Рис. 7. Примеры свивки спиральных канатов

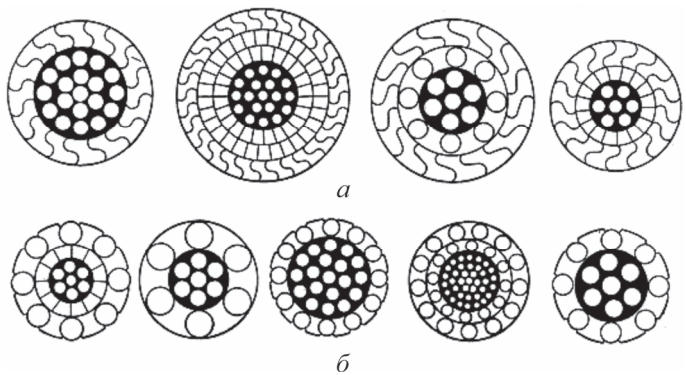


Рис. 8. Спиральные канаты, содержащие фасонные проволоки:
а – закрытые; *б* – полузакрытые

Их изготавливают двойным скручиванием. Вначале свивают пряди круглого либо фасонного сечений из проволок также круглого или фасонного сечений, а затем пряди в канаты тросовой конструкции. Канаты могут быть однослойными (рис. 9, *а*), двухслойными (рис. 9, *б*), трехслойными (рис. 9, *в*) и редко четырехслойными (рис. 9, *г*).

Они имеют один центральный волокнистый органический, синтетический или металлический сердечник.

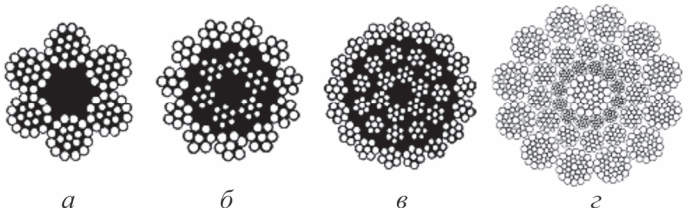


Рис. 9. Канаты двойной свивки тросовой конструкции:
а – однослойный; *б* – двухслойный; *в* – трехслойный;
г – четырехслойный

Канаты тройной или кабельтовой свивки изготавливают тройным скручиванием: проволок в пряди; прядей в стренги; стренг в канаты (рис. 10). В принципе порядок свивки можно повышать и далее, однако это оказывается технически нецелесообразным. Такие канаты имеют волоконный сердечник в центре каната и такие же (или металлические) сердечники в стренгах.

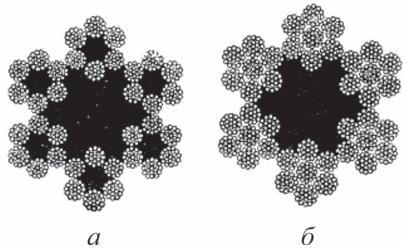


Рис. 10. Канаты тройной или кабельтовой свивки:
а – с семью органическими сердечниками;
б – с одним органическим сердечником

По форме поперечного сечения канаты делятся на **круглые** (см. рис. 6–10) и **плоские**. Поперечное сечение последних близко к прямоугольному (рис. 11).

Плоские канаты изготавливаются соединением (прошивкой) нескольких четырехпрядных круглых стренг, попарно уложенных для прошивки с противоположным направлением свивки. Соединение прядей или стренг осуществляется, в зависимости от назначения каната, одинарной (простой) (рис. 11, *а*) или

двойной сшивкой (рис. 11, *б*) гибким канатом (ушивальником). В качестве ушивальника используются 12–19-проволочные пряди диаметром (0,75–0,9)*d* (*d* – диаметр стренг) с диаметром проволок 0,5–1,0 мм или проволоки из низкоуглеродистой стали.

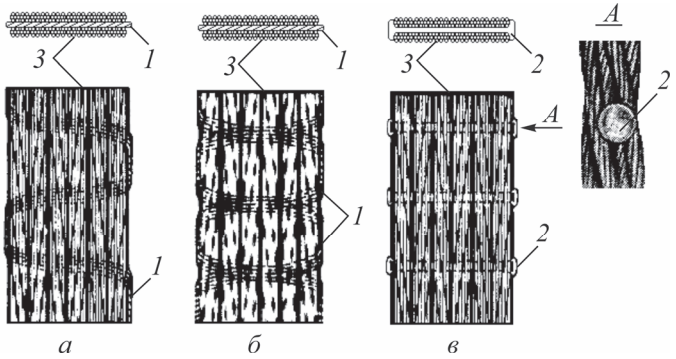


Рис. 11. Схемы конструкций плоских канатов: *а* – одинарной (простой) сшивки; *б* – двойной сшивки; *в* – скрепленные стержнями; *1* – ушивальник; *2* – стержни соединительные; *3* – пряди

В последнее время стренги соединяются специальными стержнями с элиптическим поперечным сечением в средней части. По концам стержня располагаются головки, ширина которых увеличивается вдоль по малой оси эллипса и уменьшается по большой оси (рис. 11, *в*).

Число стренг при построении плоских канатов обычно принимается четным. Для предотвращения самозакручивания плоских канатов стренги подбираются чередующимися по направлению свивки.

На рис. 12 приведены поперечные сечения плоских канатов.

Кроме того, известны плоские резинотросовые канаты, представляющие собой систему из 2–8 семипрядных стренг тросовой свивки с металлическим сердечником диаметром 15,0–28,5 мм, запрессованных в резину специального состава (рис. 13). Для лучшей адгезии металла к резине проволоки для таких плоских канатов покрываются цинком, либо латунируют.

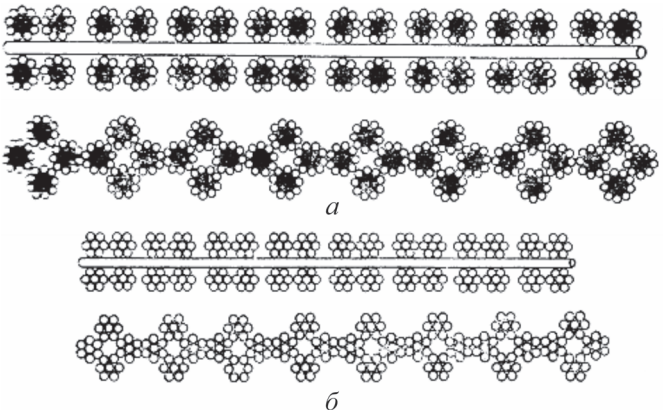


Рис. 12. Поперечные сечения плоских канатов:
а – пряди с органическим сердечником;
б – пряди с центральной проволокой

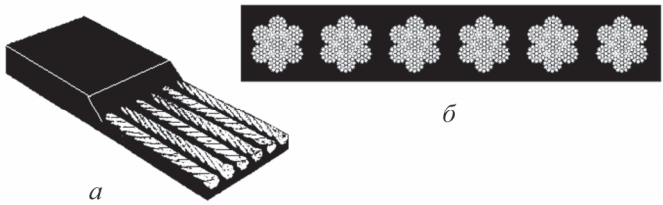


Рис. 13. Плоский резинотросовый канат:
а – общий вид; *б* – поперечное сечение

По форме поперечного сечения прядей канаты могут быть **круглопрядные** (рис. 9, 10) и **фасоннопрядные,** когда поперечное сечение прядей отличается от круглого и может быть треугольным, овальным или плоским (рис. 14).

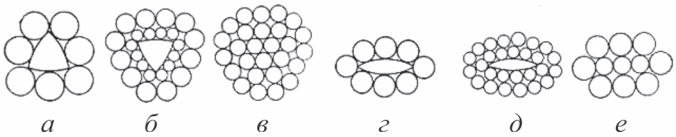


Рис. 14. Сечения фасонных прядей:
а и *в* – трехгранные; *г* и *е* – овальные

В зависимости от формы используемых в канате прядей фасоннопрядные канаты подразделяются на трехпрядные, овальнопрядные и плоскопрядные (рис. 15).

В промышленности в основном используют однослойные канаты тросовой конструкции, изготовленные из круглых и трехгранных сечений прядей (рис. 15, *а, б*).

Рис. 15. Форма поперечных сечений прядей в канатах: *а* – круглопрядные; *б* – трехграннопрядные; *в* – овальнопрядные; *г* – плоскопрядные

По типу свивки прядей и канатов одинарной свивки классификацию производят по следующим признакам:

– с точечным касанием (ТК) проволок между слоями;

– с линейным касанием (ЛК) проволок между слоями;

– с линейным касанием проволок между слоями при одинаковом диаметре (ЛК-О) проволок по слоям пряди;

– с линейным касанием проволок между слоями при разных диаметрах проволок в наружном слое пряди (ЛК-Р);

– с линейным касанием проволок между слоями и проволоками заполнения (ЛК-З);

– с линейным касанием проволок между слоями и имеющих в пряди слои с проволоками разных диаметров и слои с проволоками одинакового диаметра (ЛК-РО);

– с комбинированным точечно-линейным касанием (ТЛК) проволок;

– с полосовым касанием (ПК) (пластически деформированные).

Канаты с точечным касанием (ТК) проволок между слоями

Свивка проволок в пряди по типу ТК предусматривает пооперационное изготовление прядей по отдельным слоям с последующей свивкой нескольких прядей в канат. Обычно число слоёв проволок в пряди не превышает трёх-четырёх и очень редко пяти. Пооперационное изготовление пряди вызывает перекрещивание проволок разных слоев и точечный контакт соседних (рис. 16).

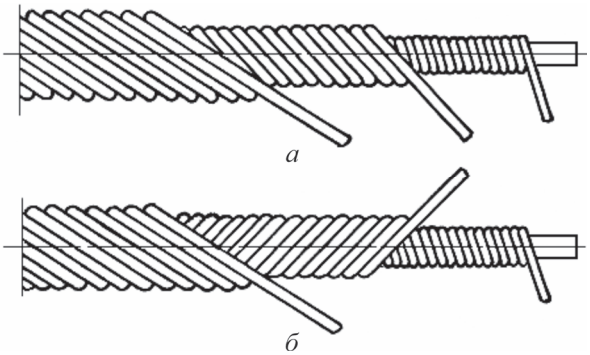


Рис. 16. Прядь с точечным касанием проволок типа ТК:
а – с одинаковым направлением свивки;
б – с разным направлением свивки

Канаты с точечным касанием изготавливаются из проволок одинакового и разных диаметров, направление свивки по отдельным слоям может быть одинаковым или разным в зависимости от назначения канатов. Обычно пряди с числом слоёв не более трёх изготавливают с одним направлением свивки проволок по слоям.

При свивке прядей канатов с точечным касанием из проволок одинакового диаметра (рис. 17, *а*, *б*, *г*) распределение проволок по слоям подчиняется определенной арифметической закономерности – независимо от числа проволок в первом слое число их в последующих слоях увеличивается на 6 (например, $6+12+18+24+30\ldots$ или $4+10+16+22+28\ldots$).

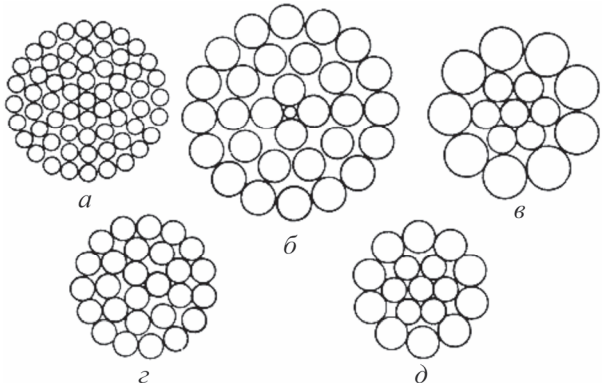


Рис. 17. Сечения прядей типа ТК:
а – г – одинаковые проволоки в слоях;
в, *д* – разные проволоки в слоях

В случае свивки проволок разного диаметра (рис. 17, *в*, *д*) закономерности в распределении проволок по слоям не существует.

Канаты с линейным касанием (ЛК) проволок между слоями

Пряди типа ЛК свиваются в одну технологическую операцию с сохранением одинакового угла свивки проволок для всех слоев. При соответствующем подборе диаметров отдельных проволок, как по слоям, так и внутри слоев, такой способ свивки дает возможность исключить перекрещивание проволок по отдельным слоям, обеспечить их взаимное линейное касание и максимально заполнить сечение пряди металлом. Для построения прядей может быть использовано до 46 проволок разного диаметра (рис. 18).

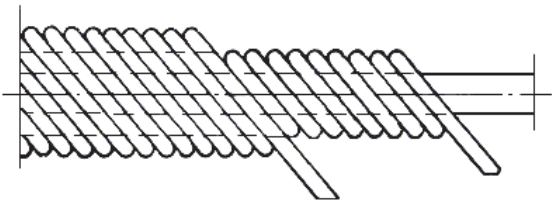


Рис. 18. Прядь с линейным касанием проволок

Канаты с линейным касанием проволок между слоями при одинаковом диаметре проволок (ЛК-О) по слоям пряди

Наибольшее распространение получили одно (рис. 19) и двухслойные пряди (рис. 20), проволоки которых свиваются вокруг центральной (рис. 19, *в*) или сердечника (органического или синтетического) (рис. 19, *б*), а также между собой без центральной проволоки, если число проволок не превышает четырёх (рис. 19, *а*).

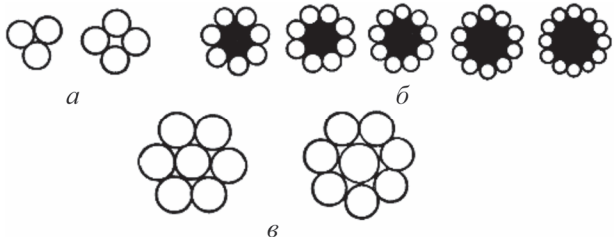


Рис. 19. Однослойные пряди типа ЛК-О

В двухслойных прядях диаметры проволок в каждом слое резко отличаются. Строение таких двухслойных прядей производится по принципу $1 + m_м + m_б$, где $m_м$ – число проволок малого диаметра, а $m_б$ – число проволок большого диаметра.

Рис. 20. Двухслойные пряди типа ЛК-О

В зарубежной практике канаты из прядей типа ЛК-О называются «Seal» («Сил»).

Канаты с линейным касанием проволок между слоями при разных диаметрах проволок в наружном слое пряди (ЛК-Р и ЛК-РР)

Конструкция двухслойных прядей типа ЛК-Р и ЛК-РР оформляется в трех разновидностях.

В первом случае (рис. 21, *а*) второй слой состоит их четного числа проволок двух различных диаметров ($m_м$ и $m_б$), чередующихся между собой, а на построение первого слоя идут проволоки одинакового диаметра. Строение этой пряди $1+m+(m_м+m_б)$.

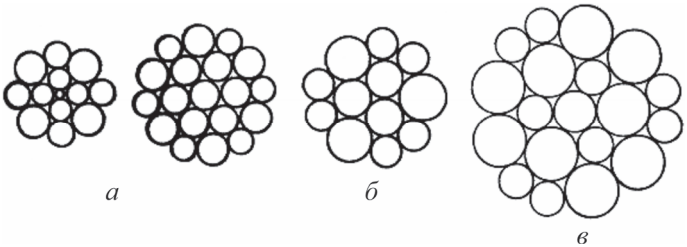


Рис. 21. Двухслойные пряди с линейным касанием: *а* – первый случай (типа ЛК-Р); *б* – второй случай (типа ЛК-Р); *в* – третий случай (типа ЛК-РР)

Во втором случае (рис. 21, *б*) распределение проволок во втором слое осуществляется чередованием двух расположенных рядом проволок меньшего и одного большего диаметров, а на построение первого слоя идут проволоки одинакового диаметра. Строение этой пряди $m+(m_м+2m_б)$.

В третьем случае оба слоя состоят из проволок разного диаметра, причем чередование проволок большего и меньшего диаметров осуществляется во втором слое попарно, а в первом слое через одну (рис. 23, *в*). При этом каждая пара проволок большего и меньшего диаметров второго слоя располагается соответственно над проволоками меньшего и большего диаметров первого слоя. Следовательно, прядь строится по принципу $1+(m_б+m_м)+(2m_м+2m_б)$.

В зарубежной практике канаты из прядей типа ЛК-Р и ЛК-РР называются «Варингтон» («Warrington»).

Канаты с линейным касанием проволок между слоями и проволоками заполнения (ЛК-З)

Двухслойные пряди типа ЛК-З строятся из близких по диаметру проволок в первом и во втором слоях с использованием дополнительных проволок, частично заполняющих пространство между проволоками первого и второго слоя. Число заполняющих проволок равно числу проволок первого слоя (рис. 22).

Рис. 22. Пряди типа ЛК-З с заполняющими проволоками между первым и вторым слоем

В зарубежной практике канаты из прядей типа ЛК-З называются «Филлер» («Filer»).

Канаты с линейным касанием проволок между слоями и имеющих в пряди слои с проволоками разных диаметров и слои с проволоками одинакового диаметра (ЛК-РО и ЛК-ОР)

В прядях типа ЛК-РО содержатся три слоя проволок разного и одинакового диаметров, свитых в одну операцию (рис. 23).

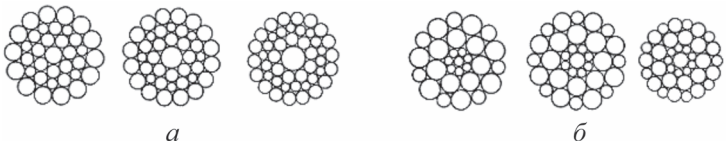


Рис. 23. Трехслойные пряди с линейным касанием:
а – типа ЛК-РО; *б* – типа ЛК-ОР

В зарубежной практике канаты из прядей типа ЛК-РО (ОР) называются «Сил – Варрингтон» («Seal – Warrington»).

Канаты с комбинированным точечно-линейным касанием проволок (ТЛК)

В тех случаях, когда применение принципа линейного касания проволок при построении двухслойных прядей приводит к значительному увеличению диаметра центральной проволоки (свыше 3,5 мм), что может резко увеличить жесткость каната часто применяется замена центральной проволоки прядью, обычно состоящей из семи тонких проволок. При этом получается трехслойная прядь с точечным касанием между вторым слоем и центральной прядью. Такие пряди относятся к типу ТЛК-О и ТЛК-Р (рис. 24).

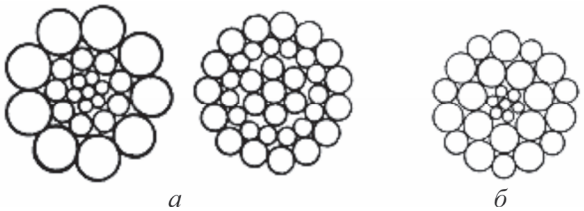


Рис. 24. Трехслойные пряди с точечным и линейным касанием: *а* – типа ТЛК-О; *б* – типа ТЛК-Р

Обозначение ТЛК и ЛТК зависит от принятого порядка видов касания слоёв проволок от центра к наружному слою пряди. Конструкция таких прядей должна предусматривать наличие в ней не меньше двух слоёв проволок с линейным касанием, исключая при этом из числа слоёв центральную проволоку пряди.

Пряди с большим числом слоев (четыре, пять) изготавливаются с использованием различных способов подбора проволок.

Канаты с полосовым касанием (ПК)

Пряди с полосовым касанием ПК получаются из прядей типа ЛК путём их силового обжатия (пластического деформирования) при изготовлении канатов в монолитных или роликовых волоках, или многовалковых калибрах (рис. 25). При этом площадь металлического сечения проволок остается неизменной, в то время как форма проволок и размеры пряди изменяются (рис. 26, 27).

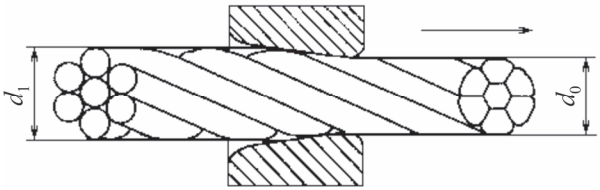
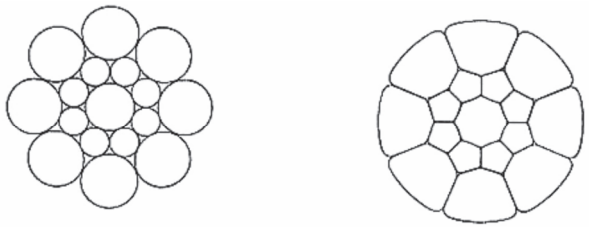


Рис. 25. Схема пластического обжатия пряди



а *б*

Рис. 26.Обжатая круглая прядь: *а* – прядь перед обжатием; *б* – прядь после обжатия

В прядях ЛК создаётся вместо линейного полосовой контакт, что повышает пластичность прядей, канатов из этих прядей, и их долговечность.

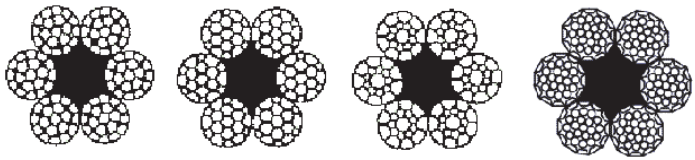


Рис. 27. Сечения канатов с пластически обжатыми прядями (типа ПК)

Канаты такого типа, выпускаемые фирмой «BRIDON» (Великобритания), получили фирменное название «Dyform».

По материалу сердечника стальные канаты подразделяются на:

– канаты с органическим сердечником из волокнистых натуральных или синтетических материалов – ОС;

– канаты с металлическим сердечником – МС.

По способу свивки канаты могут быть:

– нераскручивающиеся (Н);

– раскручивающиеся.

Раскручивающимися называют канаты, у которых проволоки и пряди не освобождаются от внутренних напряжений, вызванных свивкой проволок в прядь и прядей в канат. При освобождении концов каната от перевязок пряди и проволоки развиваются (рис. 28, *а*).

Рис. 28. Канаты: *а* – обыкновенный раскручивающийся; *б* – нераскручивающийся

Нераскручивающимися (рис. 28, *б*) называют канаты, у которых при свивке проволок в пряди, а затем прядей в канат снимаются внутренние напряжения путём преформации проволок и прядей, т.е. проволокам и прядям в процессе свивки придают ту форму, которую они принимают в канате.

Для этой цели их изгибают и несколько раз скручивают соответствующими приспособлениями (например, роликовым) (рис. 29).

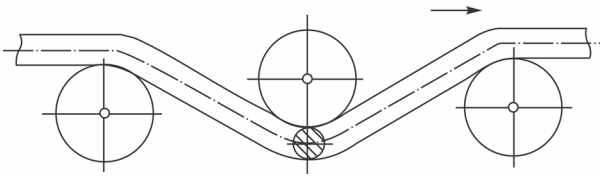


Рис. 29. Схема преформации пряди роликами

По степени уравновешенности канаты делятся на:

– рихтованные (Р);

– нерихтованные.

Рихтовка (дополнительное обжатие каната в процессе изготовления (свивки)) выполняется для полного снятия внутренних технологических напряжений, уменьшения крутящего момента нераскручивающихся и некрутящихся канатов, лучшего опрессования прядей в канатах, повышения их прочности в целом.

Рихтовка каната производится пропуском его через три или четыре секции с тремя роликами, смещёнными относительно друг друга на 90°. Регулированием положения среднего ролика между двумя крайними секциями достигается требуемая степень рихтовки каната (рис. 30).

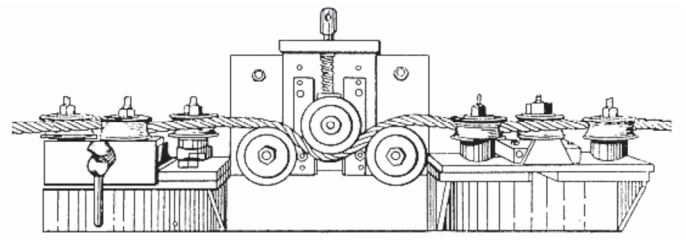


Рис. 30. Двухплоскостное трехсекционное девятироликовое рихтовальное устройство

Рихтовка наиболее необходима для канатов односторонней свивки.

По направлению свивки канаты делятся на (рис. 31):

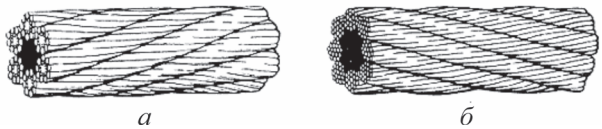


Рис. 31. Направление свивки канатов:
а – левая; *б* – правая

– канаты правой свивки;

– канаты левой свивки (Л).

Направление свивки каната определяется:

– для канатов одинарной свивки – направлением свивки проволок наружного слоя;

– для канатов двойной свивки – направлением свивки прядей наружного слоя;

– для канатов тройной свивки – направлением свивки стренг в канат.

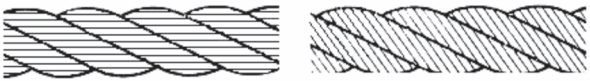
По сочетанию направлений свивки каната и его элементов в канатах двойной и тройной свивки канаты разделяются на:

– канаты крестовой свивки;

– канаты односторонней свивки – О;

– канаты комбинированной свивки.

В канатах крестовой свивки направления свивки каната и свивки прядей противоположны. Поэтому проволоки на поверхности каната располагаются параллельно оси каната или его образующей (рис. 32, *а*), поскольку угол свивки пряди принимается равным углу свивки каната. В канатах односторонней свивки направление свивки каната и свивки прядей по наружным проволокам одинаковы (альбертовская свивка или свивка Ланге). Проволоки на поверхности каната располагаются почти перпендикулярно к оси каната (рис. 32, *б*).



а *б*

Рис. 32. Характер свивки канатов:
а – крестовая; *б* – односторонняя

В канатах комбинированной свивки сочетаются односторонняя и крестовая свивка (рис. 33), т.е. канаты свиты из одинакового числа чередующихся прядей правой и левой свивки.

а *б*

Рис. 33. Канаты комбинированной свивки:
а – левой; *б* – правой

На поверхности каната проволоки образуют слоистый рисунок, сочетающий параллельное и перпендикулярное расположение их относительно оси каната.

Направление свивки во всех конструкциях канатов может быть как левым, так и правым.

По степени крутимости канаты делятся на:

– крутящиеся (с одинаковым направлением свивки проволок в канатах одинарной свивки, прядей или стренг);

– малокрутящиеся (многослойные многопрядные и одинарной свивки с противоположным направлением свивки элементов по слоям) – МК.

Эти канаты не вращаются вокруг своей оси при свободно подвешенном грузе. На рис. 34 показана конструкция многослойного малокрутящегося каната, у которого направление свивки различно по слоям.

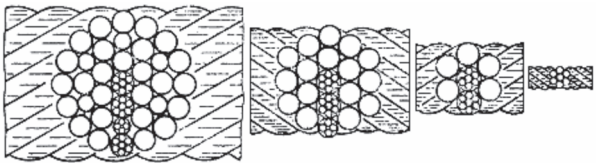


Рис. 34. Способ свивки малокрутящегося каната

В зарубежной практике канаты такого типа называются «Superflex» («Суперфлекс»).

По механическим свойствам проволоки канаты общего назначения выпускаются трех марок: ВК – высокого качества, В – повышенного качества и 1 – нормального качества; остальные канаты: марки В – высокого качества, марки 1 – нормального качества.

По виду покрытия поверхности проволок канаты делятся на:

– из проволоки без покрытия;

– из оцинкованной проволоки: в зависимости от поверхностной плотности цинка:

– С – для средних агрессивных условий работы;

– Ж – для жестких агрессивных условий работы;

– ОЖ – для особожестких агрессивных условий работы;

– покрытые (каната в целом или прядей) полимерными материалами П (рис. 35).

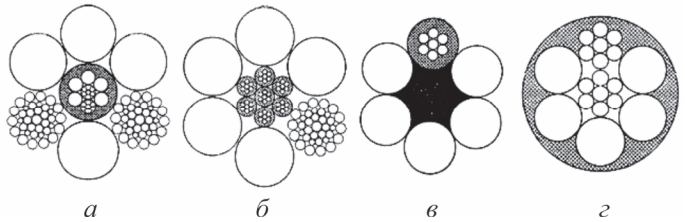


Рис. 35. Канаты с полимерным покрытием: *а* – металлического сердечника в целом; *б* – прядей металлического сердечника; *в* – основных (повивающих) прядей; *г* – каната в целом

Покрытие каната целиком или какого-либо его элемента производится с целью снижения контактных напряжений и абразивного изнашивания. Оно уменьшает или исключает коррозию проволок под воздействием агрессивной среды. Недостатком канатов с покрытием является невозможность визуального контроля за целостностью каната.

Покрытие может быть металлическим или из полимерных материалов. Известны сталепластмассовые канаты (СПК), в которых для покрытия использованы полимерные материалы (капрон, полиэтилен), которые разделяют на четыре группы: с покрытием металлического сердечника (рис. 35, *а*), с покрытием прядей металлического сердечника (рис. 35, *б*), с покрытием основных прядей (рис. 35, *в*) и с покрытием каната в целом (рис. 35, *г*).

Покрытие может быть металлическим или из органических и полимерных материалов (капрон, полиэтилен).

По назначению канаты делятся на:

– грузолюдские (ГЛ), служащие для подъёма и транспортировки людей и грузов (только марки ВК, В);

– грузовые (Г), служащие для транспортировки грузов.

По точности изготовления канаты делятся на:

– канаты повышенной точности – Т;

– канаты нормальной точности.

Точность изготовления характеризуется предельным отклонением по диаметру каната, в % (табл. 4 и 5).

Канаты классифицируются также по объектам их применения и видам выполняемой работы (например, шахтные подъемные, проходческие, откаточные, тормозные, проводниковые, отбойные, направляющие, буровые талевые, экскаваторные и т.д.), по роли и месту расположения в конкретном канатном механизме или канатной системе (например, уравновешивающие, головные, хвостовые, концевые и т.д.). Возможна классификация канатов и по другим признакам. Принцип классификации канатов в России и за рубежом в основном одинаков.

Предельное отклонение по ширине и толщине плоских канатов должно быть не более, %:

+5…–8 – для повышенной точности;

±8 – для нормальной точности.

Таблица 4

Значения предельных отклонений диаметров канатов

<table>
<tr><th rowspan="3">Диаметр каната, мм</th><th colspan="4">Предельные отклонения диаметра каната, % не более, при точности изготовления</th></tr>
<tr><th colspan="2">Повышенной</th><th colspan="2">Нормальной</th></tr>
<tr><th>С металлическим сердечником</th><th>С волокнистым сердечником</th><th>С металлическим сердечником</th><th>С волокнистым сердечником</th></tr>
<tr><td>До 3,0 вкл.</td><td>+7
–1</td><td rowspan="3">+6</td><td rowspan="3">+10
–2</td><td rowspan="3">+10</td></tr>
<tr><td>Свыше 3,0 до 6,0 вкл.</td><td>+6
–1</td></tr>
<tr><td>Свыше 6,0 до 8,0 вкл.</td><td>+5
–1</td></tr>
<tr><td>Свыше 8,0</td><td>+4
–1</td><td>+5</td><td>+6
–2</td><td>+7</td></tr>
</table>

Таблица 5

Значения предельных отклонений диаметров канатов одинарной свивки

Диаметр каната, мм	Предельные отклонения диаметра каната, % не более, при точности изготовления	
	Повышенной	Нормальной
До 1,5 вкл.	+5	+10 –2
Свыше 1,5 до 8,0 вкл.	+4	
Свыше 8,0 до 16,0 вкл.		+6 –2
Свыше 16,0	+3	

2.2. Условное обозначение канатов

2.2.1. Обозначение конструкции каната

Обозначение каната включает в себя признаки его свивки и назначения [7], например:

– канат одинарной свивки типа ЛК-О;

– канат двойной свивки типа ЛК-Р;

– канат закрытый с одним слоем зетобразной проволоки и сердечником типа ТК;

– канат двойной свивки трехгранопрядный;

– канат стальной талевый для эксплуатационного и глубокого разведочного бурения типа ЛК-РО и т.п.

Для обозначения конструкции каната применяется ряд цифр, соединенных между собой знаками умножения (×) и сложения (+). Арифметические действия в соответствии с этими знаками дают общее число проволок в канате.

Конструкцию спирального каната или пряди обозначаются суммой цифр:

$$a + n_1 + n_2 + ... + n_i \,,$$

где a – число проволок в сердечнике; n – число проволок в слое; i – номер слоя. Здесь под сердечником понимают одну или несколько проволок, вокруг которых навит первый слой пряди.

В большинстве канатов первый слой навит на одну проволоку и она называется центральной.

В случае применения проволок разных диаметров в каком-либо слое пряди соответствующая буква *n* представляется в виде простой дроби, где сумма числителя и знаменателя дает общее число проволок в данном слое. Кроме того, возможно отдельное указание количества имеющихся заполняющих проволок малого диаметра посредством точки с запятой.

Упрощенное обозначение конструкций канатов соответственно двойной и тройной свивки имеет вид:

$m \times n$ – для канатов двойной свивки;

$a \times m \times m$ – для канатов тройной свивки,

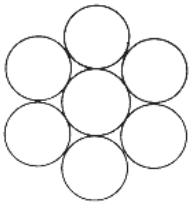
где *a* – число стренг в канате; *m* – число прядей в стренге или канате; *n* – число проволок в пряди.

Часто к этим обозначениям через знак сложения (+) добавляется информация о наличии, количества и материала примененного сердечника, например 1 о.с. В данном случае это обозначает, что в канате двойной свивки есть один (1) органический (о.) сердечник (с.).

Применяются и более сложные обозначения. К упрощенному обозначению конструкции каната добавляют еще обозначение конструкции пряди. Это делается в скобках отдельно или вместо цифры *n* приводится в скобках же обозначение конструкции пряди. При использовании в канате прядей различных конструкций их параметры обозначаются цифрами, между которыми ставится знак сложения (+) или умножения (×).

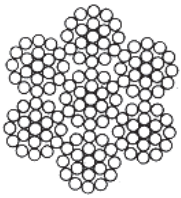
При обозначении канатов закрытой конструкции применяется только текстовое определение.

2.2.2. Примеры обозначения конструкции канатов

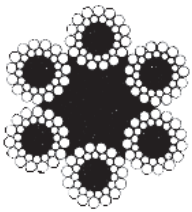


ГОСТ 3062-80 Канат одинарной свивки типа ЛК-О конструкции 1×7 (1+6)

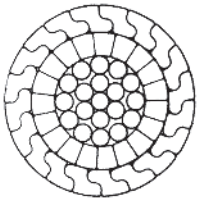
ГОСТ 2688-80 Канат двойной свивки типа ЛК-Р конструкции 6×19(1+6+6/6)+1 о.с.



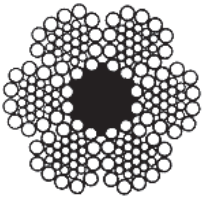
ГОСТ 3067-88 Канат стальной двойной свивки типа ТК конструкции 6×19(1+6+12)+1×19(1+6+12)



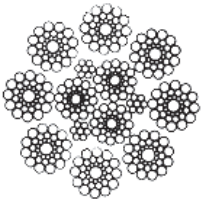
ГОСТ 3083-80 Канат двойной свивки типа ЛК-О конструкции 6×30(0+15+15)+7 о.с.



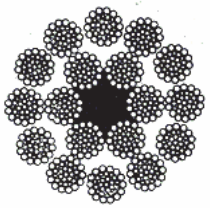
ГОСТ 7675-73 Канат закрытый несущий с одним слоем клиновидной и одним слоем зетобразной проволок и сердечником типа ТК



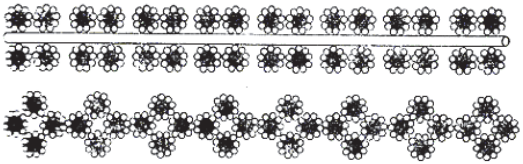
ГОСТ 3085-80 Канат двойной свивки трехраннопрядный конструкции 6×30(0+12+12)+1 о.с.



ТУ 14-4-1552-89
Канат двойной свивки малокрутящийся типа ЛК-О конструкции 8×38(1+12+12+12)+3×7(1+6); 3×37(1+12+12+12)+1 о.с.



ГОСТ 16827-81 Канат двойной свивки многопрядный малокрутящийся типа ЛК-РО конструкции 12×36(1+7+7/7+14)+6×36(1+7+7/7+14)+1 о.с.



ГОСТ 3092-80 Канат плоский конст-рукции 8×4×9+32 о.с.

2.2.3. Примеры обозначения канатов при заказе

Для заказа стальных канатов по действующим ГОСТам или Техническим условиям (ТУ) требуется указать:

– диаметр каната *d*, мм;

– способ свивки и степень крутимости;

– сочетание направлений свивки;

– временное сопротивление разрыву проволоки при растяжении σ_B (маркировочная группа), Н/ мм^2 (кгс/мм^2);

– марку проволоки;

– вид покрытия;

– номер ГОСТа или ТУ.

При этом следует учесть, что для светлых проволок и обыкновенных по виду свивки стальных канатов для упрощения не указываются литерные обозначения.

Примеры.

Канат диаметром 32,0 мм, грузового назначения, марки I, оцинкованный по группе ОЖ, правой крестовой свивки, нераскручивающийся, нормальной точности, маркировочной группы 1370 Н/мм^2 (140 кгс/ мм^2), ГОСТ 2688-80:

Канат 32-Г-I-ОЖ-Н-1370 ГОСТ 2688-80.

Канат диаметром 39,5 мм, грузолюдского назначения, из проволоки без покрытия, марки В, правой крестовой свивки, нераскручивающийся, повышенной точности, маркировочной группы 1770 Н/мм^2 (180 кгс/мм^2), ГОСТ 7668-80:

Канат 39,5-ГЛ-В-Н-Т-1770 ГОСТ 7668-80.

Канат диаметром 63,0 мм грузового назначения, из проволоки без покрытия, марки I, правой крестовой свивки, нераскручивающийся, нормальной точности, маркировочной группы 1770 Н/мм^2 (180 кгс/мм^2), ТУ 14-4-1552-89:

Канат 63,0 –Г-I-Н-1770 ТУ 14-4-1552-89.

Канат закрытый диаметром 70,0 мм, грузового назначения, марки I, оцинкованный по группе Ж, правой свивки, раскручивающийся, маркировочной группы 1270 Н/мм^2 (130 кгс/мм^2), ГОСТ 7676-73:

Канат КЗ-70-Г-I-Ж-Р-1270 ГОСТ 7676-73.

Канат плоский шириной 170 мм, грузового назначения, марки I, оцинкованный по группе Ж, нераскручивающийся, маркировочной группы 1370 Н/мм^2 (140 кгс/мм^2), ГОСТ 3092-80:

Канат 170-Г-I-Ж-Н-1370 ГОСТ 3092-80.

Импортные канаты имеют обозначение, приведенное в приложении 1, согласно EN 12385-2:2002. В приложении 2 приведено соответствие канатов по отечественным и зарубежным стандартам.

2.3. Конструктивные (геометрические) показатели канатов

Элементы каната (проволоки в прядях и пряди в канате) должны быть свиты таким образом, чтобы они располагались в слое повива и по поперечному сечению каната как можно плотнее, лишь с минимально допустимым зазором, необходимым при работе, и в то же время не могли выходить из данного слоя по какой-либо причине, окончательно нарушая его строение в процессе эксплуатации (например, из-за переполнения, вызванного неправильным выбором числа или диаметра проволок, их различия по допускам на диаметр и овальность, по механическим свойствам и др.). Выполнение этого условия обеспечивается правильным сочетанием конструктивных параметров каната и его элементов при операциях свивки.

Геометрические параметры каната – это форма и размеры его поперечного сечения и всех его элементов, минимально необходимый зазор между ними, количество элементов по слоям и между слоями. То же самое относится к прядям.

Геометрические параметры определяют строение (конструкцию) прядей и каната.

К числу конструктивных показателей каната относятся: диаметр, шаг и углы свивки, гибкость, плотность, величина опорной поверхности.

2.3.1. Диаметр каната

Поскольку многие канаты не имеет круглого поперечного сечения, то их диаметр определяется по выступам противоположно расположенных проволок, прядей или стренг (рис. 36). Измерение производится штангенциркулем с ценой деления 0,1 мм или микрометром с ценой деления 0,01 мм на расстоянии не менее 5 м от конца каната в его ненагруженном состоянии.

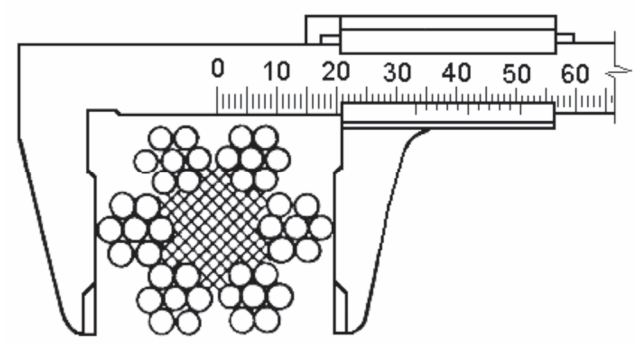


Рис. 36. Измерение диаметра каната

Ширина и толщина плоского каната измеряются линейкой с ценой деления 1 мм. Ширина плоского каната измеряется без учета толщины ушивальника.

Предельные отклонения по диаметру для канатов различных конструкций приведены в табл. 4 и 5.

2.3.2. Шаг свивки

Шаг свивки – это длина t участка, заключенного между двумя ближайшими аналогичными точками одной и той же проволоки или пряди и получающегося за один оборот ротора свивальной машины.

Шаг свивки каната измеряется линейкой с ценой деления 1 мм на расстоянии не менее 5 м от конца каната. За длину шага свивки принимается среднее арифметическое значение не менее чем трех измерений.

Шаг свивки определяется непосредственным измерением расстояния между двумя одноименными точками наружных проволок (прядей, стренг), расположенных через n+1 прядей, где n – число проволок (прядей, стренг) в наружном слое каната (рис. 37). Удобно определять шаг свивки по оттиску, получаемому наложением полоски бумаги на поверхность каната.

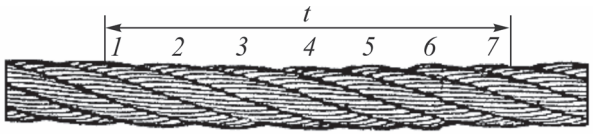


Рис. 37. Измерение шага свивки шестипрядного каната

При незакрепленном канате количество прядей подсчитывается у торцовой части каната. При закрепленном канате число прядей подсчитывается путем отметки одной из прядей и прослеживания ее положения на образующей каната до совпадения с первой отметкой, после чего наносится вторая метка и производится замер шага свивки от первой до второй меток, как указывалось выше.

Канат должен иметь по всей длине равномерный шаг свивки элементов каната.

Шаг свивки прядей и каната связан с углами свивки и поэтому не может быть произвольным. С уменьшением шага свивки возрастают прочность и плотность каната. По длине каната шаг свивки всех элементов должен быть равномерным.

Кратность шага свивки (кратность свивки) – это отношение шага t к диаметру окружности свивки $d_{св}$.

Окружность свивки (окружность кручения) – линия, соединяющая точки соприкосновения соседствующих элементов (проволок, прядей) в данном слое повива и проходящую через центры их поперечного сечения.

Шаг свивки наружного слоя проволок в прядях должен составлять не более 9 расчетных диаметров пряди в канатах с линейным касанием и металлических сердечниках и 11 – в канатах с точечным касанием, в трехгранных прядях и однопрядных металлических сердечниках.

Шаг свивки проволок в канатах одинарной свивки, а также в канатах и прядях конструкции 1+6 должен быть не более 11 диаметров пряди.

Шаг свивки канатов должен составлять не более:

– 6,5 диаметров в трех-, шестипрядных канатах, стренгах канатов тройной свивки и металлических сердечниках;

– 7 диаметров в канатах с количеством прядей более шести, в канатах тройной свивки и в канатах точечного касания, пряди которых изготовляются в три операции (1+6+12+18);

– 7,5 диаметров в канатах фасонопрядных;

– 16 диаметров в стренгах и прядях плоского каната.

Нижний предел для шага свивки не оговаривается.

По согласованию с потребителем допускается шаги свивки наружного слоя проволок в прядях увеличивать до 11 диаметров пряди, а каната – до 7 диаметров каната.

2.3.3. Углы свивки

Угол свивки – это угол, на который ось проволоки (пряди) наклонена по отношению к оси изготовленной пряди – α или каната – β.

Коэффициент свивки – это отношение диаметров прядей или каната и составляющих их элементов:

для пряди $c = \dfrac{d}{\delta}$;

для каната $C = \frac{D}{d}$,

где d, D и δ – соответственно диаметр пряди, каната и проволоки, мм.

От принятых углов свивки зависит шаг свивки пряди и каната.

Между углом и шагом свивки пряди или каната существует обратная зависимость: чем меньше угол свивки, тем больше шаг свивки и, наоборот, с увеличением угла свивки шаг свивки уменьшается.

Зависимость шага свивки от параметров свивки:

– для пряди $t = \pi d_{св} \mathrm{ctg}\alpha$;

– для каната $t = \pi d_{св} \mathrm{ctg}\beta$,

где $d_{св}$ – диаметр окружности свивки соответствующего слоя пряди или каната.

Величина углов свивки влияет на упругую деформацию проволок при свивке их в пряди. При углах до 7° упругая деформация достигает настолько высокого значения, что после освобождения от натяжения (по завершению процесса изготовления на машине) прядь распадается на составляющие проволоки. Упругая деформация снижает выносливость каната. Чтобы избежать этого и повысить работоспособность каната, необходимы такие углы свивки, при которых напряжения в проволоках превосходят предел упругости их материала. С другой стороны, с увеличением углов свивки, т.е. степени искривления проволок в канате, увеличивается разница между суммарной прочностью составляющих канат проволок и прочностью каната в целом, а следовательно, снижается потенциально возможная прочность каната.

Таким образом, имеет место прямо противоположное воздействие факторов свивки на прочность и выносливость каната, когда по условиям прочности лучше иметь минимальные углы свивки, а по условиям выносливости – увеличенные. Считается, что угол свивки менее 10° не следует принимать из условий снижения выносливости, а угол более 20° – их условий потери прочности. Поэтому стандартами приняты углы свивки в преде-

лах 10–20°, причем меньшие значения в этом диапазоне имеют канаты точечного касания и большие – канаты с линейным касанием проволок.

2.3.4. Плотность

Различная структура канатов, складывающаяся из разного количества проволок, их диаметров, распределения по слоям, приводит к различной степени заполнения металлом площади круга, соответствующего диаметру каната. Степень заполнения сечения характеризует плотностью каната и выражается коэффициентом конструктивной или структурной плотности $k_п$ или коэффициентом заполнения. Коэффициент $k_п$ представляет собой отношение площади поперечного сечения всех проволок в канате к площади поперечного сечения каната по его номинальному диаметру D.

Для канатов, состоящих из проволок одинакового диаметра,

$$k_п = \frac{4\Sigma f}{\pi D^2} = \frac{\delta^2 i}{D^2},$$

где Σf – сумма площадей поперечного сечения всех проволок в канате, $\Sigma f = i\frac{\pi\delta^2}{4}$; δ – диаметр проволоки, мм; i – число проволок в канате.

Для канатов, состоящих из проволок разного диаметра,

$$k_п = \frac{\delta_1^2 i_1 + \delta_2^2 i_2 + ... + \delta_n^2 i_n}{D}.$$

Коэффициент плотности современных канатов находится в пределах 0,5 – 0,6. Его удобнее выражать в процентах, которые показывают коэффициент использования поперечного сечения. Сравнительные показатели плотности канатов различной конструкции приведены в табл. 6.

Чем плотнее канат, тем лучше он сопротивляется раздавливанию под нагрузкой. Это имеет большое значение при навивке каната на барабан в несколько слоев, вследствие чего витки нижних слоев должны выдерживать давление верхних, напри-

мер, талевые канаты. Площадь поперечного сечения канатов с линейным касанием заполняется металлом на 10–13 % больше, чем канатов с точечным касанием.

Таблица 6

Плотности канатов различной конструкции

Конструкция каната	Сердечник	Тип свивки	Коэффициент использования поперечного сечения, %
Тросовый однослойный			
Круглопрядный	Органический Металлический Органический Металлический	ТК ТК ЛК ЛК	47 59 50–59 59–61
Фасоннопрядный			
Овальнопрядный (4–6-прядный) Плоскопрядный (10-прядный) Трехграннопрядный (6-прядный)	Органический		40–45 48–52 56–58

Увеличение плотности канатов соответственно увеличивает их допустимое разрывное усилие. Металлический сердечник также позволяет, причем существенно, улучшить использование площади поперечного сечения по сравнению с органическим сердечником.

2.3.5. Гибкость

Степень гибкости канатов определяется их способностью к изгибу в пределах упругой деформации за счет внутреннего скольжения проволок. Эта степень характеризуется коэффициентом гибкости $k_г$ – отношением диаметра каната к диаметру проволок, формирующих его

$$k_г = \frac{D}{\delta}.$$

Если проволоки в канате разного диаметра, то принимается средний диаметр проволок. Из отношения видно, что с уменьшением диаметра проволок, составляющих канат, гибкость каната возрастает. Установлено также, что гибкость канатов с линейным касанием проволок примерно на 20 % выше, чем с точечным касанием проволок.

Несмотря на бесспорно большое влияние гибкости каната на срок его службы, отсутствуют необходимые данные и критерии, характеризующие этот показатель более конкретно, качественно и количественно. Само определение коэффициента в виде отношения диаметров не определяет полной качественной зависимости гибкости от конструкции и структуры каната. В связи с этим было предложено гибкость канатов характеризовать величиной, обратной изгибающему моменту. Это более логично, так как изгибающий момент лучше характеризует в совокупности гибкие свойства каната.

Гибкость каната влияет на характер его укладки на барабане: чем больше гибкость, тем плотнее канат располагается на барабане и лучше облегает канатные шкивы, что имеет важное эксплуатационное значение.

2.3.6. Опорная поверхность

Опорная поверхность характеризуется количеством точек соприкосновения каната с желобом канатных шкивов и с поверхностью барабана подъемной машины или лебедки. С увеличением опорной поверхности снижаются напряжения в проволоках каната.

Опорная поверхность связана с конструкцией каната, видом свивки, формой поперечного сечения и др. В зависимости от величины опорной поверхности все канаты можно разделить на пять групп в порядке уменьшения этой поверхности:

– канаты закрытых конструкций, в которых внешний слой фасонных проволок образует в совокупности ровную цилиндрическую поверхность и обеспечивает максимальную площадь контактов;

– спиральные канаты;

– фасоннопрядные канаты (трехграннопрядные, овалопрядные), контактирующие с канавкой шкива на дуге 170°;

– канаты односторонней свивки;

– канаты крестовой свивки.

На рис. 38 видно, что канат обычной конструкции лежит в желобе барабана на дуге в 120°, и при этом число проволок, касающихся поверхности канавки, равно только трем.

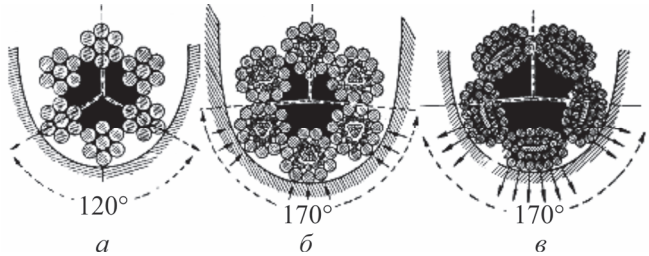


Рис. 38. Опорные точки канатов различных конструкций в канавке барабана: *а* – круглопрядный; *б* – трехграннопрядный; *в* – овалопрядный

Фасоннопрядные канаты располагаются в канавке барабана на дуге в 170° при значительно большем числе контактирующих с канавкой проволок. В зависимости от принятой конструкции это число может быть от девяти (для трегранопрядных) до двенадцати при использовании плоскопрядных канатов.

2.3.7. Зазоры между прядями

Конструкция, качество и диаметр сердечника должны обеспечивать наличие зазоров между прядями не только при изготовлении, но и на весь период эксплуатации каната.

Зазоры, образовавшиеся в процессе изготовления стальных канатов с металлическими сердечниками, сопротивляемость которых поперечным сжимающим, а в некоторых случаях раздавливающим усилиям высока, при неправильно выбранном диаметре сердечника сохраняется почти на весь период его эксплуатации.

В канатах с органическими сердечниками, которые плохо сопротивляются силам сжатия (особенно волокнистые из пеньки короткого прядения), диаметры сердечников должны быть такими, чтобы зазоры, между прядями перед эксплуатацией были бы максимально возможными при диаметре каната, не выходящем за плюсовые допуски, предусмотренные табл. 5. Допускается зазор между прядями в канатах с металлическим сердечником и выступающий ворс от органического сердечника в канатах с органическим сердечником.

2.4. Физико-механические свойства канатов

2.4.1. Разрывное усилие

Прочность каната является наиболее важной характеристикой каната. В большинстве случаев при заданных условиях эксплуатации прочность является определяющим фактором работоспособности каната.

Прочность стального каната из-за укладки проволок не параллельно оси, а по винтовой линии с различными углами наклона и, следовательно, неравномерным распределением растягивающих и изгибающих напряжений по слоям ниже, чем сумма разрывных усилий составляющих его проволок.

Потери при свивке зависят от конструкции, шагов и направлений свивки элементов каната, временного сопротивления разрыву σ_B проволоки и др. Увеличение количества свивок и слоев (в прядях и канатах), наличие металлического сердечника (особенно, если направление свивки его прядей противоположно свивке наружных прядей, повышенное временное сопротивление проволок – ведут к увеличению потерь).

Применение различных способов силовой обработки канатов (рихтовку, обжатие, обтяжку) и перераспределение напряжения в прядях, удается несколько снизить потери, однако они еще велики и остаются в пределах 17–23 %.

Ни один из известных методов изготовления канатов не обеспечивает полного использования прочностных резервов всех составляющих канат проволок. Поэтому для различных

целей (расчетно-теоретических, экспериментальных, производственных) применяются несколько понятий разрывного усилия:

– теоретическое разрывное усилие, подсчитанное суммарно для всех составляющих канат проволок;

– экспериментальное суммарное разрывное усилие всех проволок, составляющих канат, полученное при растяжении отдельных проволок $P_{сум}$;

– общее эффективное разрывное усилие (агрегатная прочность), которое получено при растяжении всего каната $P_{агр}$.

Так как статический запас прочности шахтных канатов определяется по суммарному разрывному усилию всех проволок в них $P_{сум}$, а при определении коэффициента запаса прочности талевых и крановых канатов используется агрегатное разрывное усилие $P_{агр}$, в сортаментных ГОСТах на типы и размеры канатов приводятся расчетные значения обоих величин.

Если в акте-сертификате завода-изготовителя не указано разрывное усилие каната в целом $P_{агр}$, а указано только суммарное разрывное усилие всех проволок в канате $P_{сум}$, то разрывное усилие каната в целом можно определить

$$P_{агр} = kP_{сум} ,$$

где k – коэффициент, учитывающий условия свивки

Коэффициент зависит от конструкции каната и определяется опытным путем. Чем сложнее свивка каната, тем меньшее значение свивки [1, 6]:

$k = 0,90$ – для канатов простой свивки (спиральной) и двойной с одним слоем проволок в пряди;

$k = 0,85$ – для канатов двойной свивки с двумя слоями проволок в каждой пряди;

$k = 0,82$ – для канатов двойной свивки с тремя слоями проволок в каждой пряди;

$k = 0,7$ – для канатов двойной свивки с металлическим сердечников в виде пряди (семипрядный канат) или в виде многопрядного троса.

Прочность каната проверяется путем испытаний.

2.4.2. Упругие удлинения (модуль упругости)

Основным эксплуатационным преимуществом стальных канатов является их способность при растягивающем усилии давать упругое удлинение. Его величина и изменения в процессе эксплуатации канатов может служить критерием оценки его упругих свойств и, в известной мере, даже характеризовать степень износа каната.

Упругое удлинение (модуль упругости) каната характеризуется отношением

$$E_{\text{к}} = \frac{PL}{F\Delta l},$$

где P – растягивающее усилие, Н; L – длина каната, м; F – площадь поперечного сечения каната, м; Δl – удлинение каната при растяжении, м.

Величина упругих удлинений каната зависит от его конструкции, отдельных технологических параметров и свойств используемых для его производства проволок [14]. В среднем модуль упругости для стальной проволоки принято считать $E_{\text{пр}} = (2{,}06\ldots2{,}10)10^5$ Н/мм^2.

Модуль упругости каната $E_{\text{к}}$ связан с модулем упругости проволоки $E_{\text{пр}}$ зависимостью

$$E_{\text{к}} = \alpha E_{\text{пр}},$$

где α – коэффициент $\alpha < 1$.

Значения коэффициента α, определенные различными исследователями приведены в табл. 7.

Таким образом, модуль упругости каната меньше модуля упругости проволоки, из которой он изготовлен.

Чем больше число повторных скручиваний проволоки в канате и чем больше углы скручивания проволок по отношению к оси каната, тем значительнее уменьшается модуль упругости каната.

Таблица 7

Величины коэффициента α согласно данным различных исследователей

Исследователи	Коэффициент α для канатов			
	одинарной свивки	двойной свивки	тройной свивки	многопрядных
Бауман	–	0,333	–	–
Bach	–	0,375	–	–
Hrback	0,6	0,36	0,216	–
Динник	0,888	–	–	–
Dukielski	0,65 – 0,85	0,35 – 0,65*	–	0,5**
Stephan	0,65 – 0,83	–	–	–
Другие	0,57 – 0,74	0,35 – 0,45	0,211	–

* с органическим сердечником;

** с металлическим сердечником.

Для определения модуля упругости канатов с точечным касанием проволок можно использовать формулы академика Динника А.Н.:

для спиральных канатов из круглых проволок

$$E_к = E_{пр} \cos^4 \alpha ;$$

для канатов тросовой конструкции

$$E_к = E_{пр} \cos^4 \alpha \cos^4 \beta ,$$

где α и β – соответственно, угол наклона проволоки к оси пряди и угол наклона оси пряди к оси каната, град.

Эти формулы дают весьма приближенные значения модуля упругости и отражают лишь тот факт, что с уменьшением углов свивки модуль упругости каната снижается. Большое число факторов, одновременно влияющих на упругие свойства канатов и находящихся в сложном взаимодействии, не позволяет точно определить величину модуля упругости. К тому же величина модуля канатов существенно отличаются в зависимости от конструкции каната, вида нагрузки (статическая или динамическая),

времени эксплуатации, величины напряжений, вида нагружения (увеличение или уменьшение нагрузки) и других факторов. Модули упругости канатов одной конструкции, определенные по одной и той же методике могут отличаться.

Очень большой разброс данных, указываемых в литературе и недостаточная исследованность вопроса, вынуждает оперировать при расчетах усредненными значения модуля упругости [1]:

$E_к$ = (1,2 – 1,25)·10^5 Н/мм^2 – для круглопрядных канатов двойной свивки;

$E_к$ = (1,25 – 1,35)·10^5 Н/мм^2 – для трехграннопрядных канатов двойной свивки;

$E_к$ = (0,92 – 1,0)·10^5 Н/мм^2 – для многопрядных некрутящихся канатов;

$E_к$ = (1,3 – 1,5)·10^5 Н/мм^2 – для канатов закрытого типа.

2.4.3. Расчетная масса

Расчетная масса 1 м стального каната ориентировочно определяется из следующей зависимости

$$p = F\gamma C_1 C_2 C_3 = 0,785 D^2 K_з \gamma C_1 C_2 C_3 ,$$

где F – площадь поперечного сечения всех проволок в канате, м^2; D – диаметр каната, м; $K_з$ – конструктивная плотность (коэффициент заполнения); γ – плотность стальной высокоуглеродистой проволоки, $\gamma = 7,86 \cdot 10^3$ кг/м^3; C_1 – коэффициент увеличения длины проволок в канате; C_2 – коэффициент учитывающий удельную норму расхода органического сердечника, C_2 = 1,08 – для шестипрядных канатов и C_2 = 1,10 – для восьмипрядных; C_3 – коэффициент, учитывающий удельную норму расхода защитной смазки, C_3 = 1,05.

Коэффициент увеличения длины проволок C_1 в канатах:

одинарной свивки – $\dfrac{1}{\cos\alpha}$;

двойной свивки – $\dfrac{1}{\cos\alpha\cos\beta}$;

тройной свивки – $\dfrac{1}{\cos\alpha\cos\beta\cos\varphi}$,

где α, β и φ – соответственно углы свивки проволок, прядей и стренг.

В общем виде зависимость расчетной массы 1 метра стального каната можно выразить формулой

$$p = F\lambda\gamma,$$

где $\lambda>1$ – коэффициент, учитывающий свивку проволок в канате и наличие сердечника.

Значение этой величины зависит от параметров свивки проволок в пряди и прядей в канат, а также от характера сердечника и смазки:

$\lambda = 1{,}07$ – для канатов закрытой конструкции;

$\lambda = 1{,}09$ – для трехграннопрядных канатов;

$\lambda = 1{,}09$ – для круглопрядных канатов.

2.4.4. Критическая длина

Критическая длина каната – это длина, при которой вертикально подвешенный канат может разорваться под действием собственной массы. Определение критической длины необходимо при использовании канатов больших длин, а также несущих и тяговых канатов на подвесных дорогах:

$$L_{\text{к}} = \frac{P_{\text{агр}}}{g} = \frac{P_{\text{сумм}}a}{g} = \frac{F\sigma_{\text{В}}a}{F\gamma C_1C_2C_3},$$

где $\sigma_{\text{В}}$ – временное сопротивление проволоки при растяжении, МПа; a – коэффициент использования суммарного разрывного усилия каната.

Таким образом, критическая длина зависит от временного сопротивления проволоки при растяжении, агрегатной прочности и конструкции каната.

2.5. Испытание канатов при изготовлении

При изготовлении канатов для контроля параметров свивки на соответствие их требованиям сортаментных ГОСТов от каждого каната отбирается образец длиной не менее 1000 мм – для канатов из проволоки без покрытия и 1500 мм – для канатов из оцинкованной проволоки. В отдельных случаях, при необходимости установления разрывной прочности каната в целом, отбирается еще один образец длиной 1500 мм. Перед отбором образцов канат с обеих сторон места отрезки должен быть прочно обвязан бензелем или мягкой проволокой.

Перед расплетением образца производится его наружный осмотр, при котором устанавливается направление свивки элементов, вид покрытия, состояние проволок и др. Образцы, параметры которых не соответствуют требованиям ГОСТа или если проволоки имеют повреждения в виде вмятин и обрывов, к испытаниям не применяются.

Диаметр и шаг свивки на образцах не проверяется, так как возможны отклонения в сторону их увеличения.

При расплетении образца проверяется конструкция каната, число прядей и проволок (по диаметрам), поведение их в канате (нераскручиваемость), наличие смазки на проволоках, материал и число каболок, качество пропитки (по сечению) органического сердечника или конструкцию и направление свивки металлического сердечника (при наличии). Все данные заносятся в протокол испытания.

После расплетения образца пряди разрезаются механическими ножницами на отрезки необходимой длины с учетом расстояния между жимками испытательных машин. Затем эти пряди расплетаются и требуемое (табл. 8) число проволок освобождается от смазки. Промытые и протертые проволоки передаются для проверки механических свойств и качества цинкового покрытия (для оцинкованных проволок).

Количество проволок, полученное расчетом, округляется до целого числа в сторону увеличения.

Таблица 8

Количество проволок для испытаний

Вид испытаний	Количество испытываемых проволок	
	Марка и назначение каната	
	грузо-людской марки В	грузовой марок В и I
На растяжение, перегиб и замер диаметра проволок	100 % проволок каната	25 % проволок каждого диаметра в канате, но не менее трех
На скручивание	25 % проволок каждого диаметра в канате, но не менее трех	10 % проволок каждого диаметра в канате, но не менее трех
Проверка качества поверхностной плотности цинка	10 % проволок каждого диаметра в канате, но не менее трех	
Проверка прочности сцепления цинка со стальной основой	10 % проволок каждого диаметра в канате, но не менее трех	

При повторном испытании каната количество испытываемых проволок должно соответствовать нормам для грузо-людского каната.

Испытание проволок на растяжение проводятся на разрывных машинах. Расстояние между зажимами 100–200 мм.

Перед испытанием замеряется диаметр предварительно выпрямленной проволоки в двух взаимно перпендикулярных направлениях в средней рабочей части образца. Определяется фактический диаметр как среднее арифметическое этих замеров и вычисляется площадь поперечного сечения образцов, а сложные формы определяют по специальным расчетным формулам. Для практической работы составляются специальные таблицы определения временного сопротивления круглой и фасонной проволоки различных размеров при определенном разрывном усилии.

Выбор шкалы силоизмерителя зависит от прочности испытуемой проволоки, которая должна составлять не менее 1/5 применяемой шкалы. Используемые в разрывных машинах плашки или другие приспособления для зажима концов образца должны быть достаточно твердыми, но не допускать раздавли-

вания и перекусывания проволоки. Нормальным считается такой разрыв, который произошел в рабочей части образца, но не ближе 500 мм от места закрепления. Скорость перемещения зажимов устанавливается равной 50–60 мм/мин.

Кроме того, производится испытание проволоки на перегиб и скручивание. Для проволоки диаметром 0,75 мм и менее испытание на перегиб заменяется разрывом с узлом.

Образец проволоки длиной 100–150 мм, взятый на испытание, предварительно выпрямляется на деревянной прокладке молотком из мягкого металла или дерева, а затем подвергается знакопеременному изгибу на 180° в губках или на валиках.

Для испытания на скручивание берется образец круглой проволоки длиной 100δ, но не менее 50 мм и не более 500 мм. Расчетная длина фасонной проволоки должна быть равна длине круглой проволоки, равновеликой по площади поперечного сечения. Перед испытанием образцы должны быть аккуратно выпрямлены. Каждый конец прочно закрепляется в невращающемся и вращающемся зажимах прибора. Невращающийся зажим под действием подвешенного груза обеспечивает требуемое (12 % от разрывного усилия) натяжение проволоки. Вращающийся зажим соединяется со счетчиком, причем за одно скручивание принимается поворот вращающегося зажима на полный оборот (360°). Если разрыв произошел в зажимах или на расстоянии менее 5 мм от них, испытание считается недействительным и его следует повторить.

Цинковое покрытие должно быть сплошным, гладким, прочным и соответствовать требованиям ГОСТ 7372–79. Оно характеризуется количеством цинка на поверхности проволоки и прочностью сцепления с основным металлом.

Количество цинка определяется объемно-газометрическим и весовым методами. При газометрическом методе образцы проволоки погружаются в раствор смеси серной и соляной кислот при комнатной температуре и измеряется количество выделившегося водорода, а затем (при помощи переводных коэффициентов) определяется толщина покрытия.

Равномерность цинкового покрытия проверяется погружением образцов проволоки в раствор медного купороса ($CuSO_4$).

Прочность цинкового покрытия определяется навиванием не менее шести витков проволоки по спирали на цилиндр, диаметр которого должен соответствовать требованиям ГОСТ 7372–79. Скорость навивки не должна превышать 6,28 $с^{-1}$ (60 об/мин). Образец считается годным, если после испытания на нем не обнаружены трещины, отслоения и изломы цинкового покрытия при осмотре невооруженным глазом.

Допускается на 10 % испытанных проволок, взятых из готового каната, снижение количества цинка на 5 % при условии, если среднее количество цинка на испытуемых проволоках соответствует требованиям ГОСТ 7372–79.

Измерение разрывного усилия каната в целом $P_{агр}$ производится на разрывных машинах различных типов с максимальным усилием, не превышающим предполагаемого разрывного усилия каната более чем в пять раз. Расстояние между зажимами рекомендуется принимать не менее 300 мм.

Если разрывное усилие соответствует требованиям соответствующего сортаментного стандарта на тип и размеры испытуемого каната, то испытание считается действительным, в противном случае его необходимо проверить.

Результаты испытаний на растяжение, перегиб (разрыв с узлом) и скручивание считаются удовлетворительными, если суммарная площадь поперечных сечений проволок, не соответствующих требованиям ГОСТ 3241–91, составляет не более 5 % номинальной площади поперечного сечения всех проволок при испытании 100 % проволок в канате марки В и не более 2 % номинальной площади сечения при испытании 25 % проволок в канатах марок В и I.

По полученным данным всех испытаний определяется:

1. Суммарное разрывное усилие $P_{сумм}$ всех проволок в канате, Н (кгс):

– при испытании всех проволок суммарное усилие равно сумме их разрывных усилий;

– при выборочном испытании оно определяется по формуле

$$P_{\text{сум}} = \sum_{1}^{i}\left[\left(\sum_{1}^{z} P_z\right)\frac{n}{z}\right],$$

где i – число групп проволок одинакового диаметра; n – количество проволок одинакового диаметра; z – количество проволок каждого диаметра, отобранных для испытания; P_z – разрывное усилие одно проволоки определенного диаметра, Н (кгс).

Проволоки, не удовлетворяющие по механическим свойствам требованиям ГОСТов, в расчет суммарного разрывного усилия не принимаются.

2. Маркировочную группу каната по временному сопротивлению σ_B путем сопоставления фактических разрывных усилий (всех проволок или целого каната) с аналогичными показателями соответствующего сортаментного стандарта на тип и размер испытуемого каната.

3. Максимальное и минимальное значение временного сопротивления σ_B для каждого диаметра проволок по формуле

$$\sigma_{B\max}\left(\sigma_{B\min}\right) = \frac{P_{\max}}{f_0}\left(\frac{P_{\min}}{f_0}\right),$$

где $P_{\max}$ ($P_{\min}$) – наибольшая (наименьшая) нагрузка, предшествующая разрушению образца, Н (кгс); f_0 – начальная площадь поперечного сечения образца, мм^2.

4. Разбег по временному сопротивлению проволок в канате (не принимая во внимание проволоки центральные и заполнения).

5. Минимальное значение чисел перегибов и скручиваний для каждой группы диаметров проволок.

6. Марку каната по разбегу временного сопротивления основных проволок в соответствии с табл. 9, причем значения временного сопротивления отдельных проволок могут колебаться как в меньшую стороны, так и в большую сторону от значения маркировочной группы каната, и по механическим свойствам

проволок путем сопоставления наименьших показателей чисел перегибов и скручиваний с требованиями ГОСТ 7372–79. Допускается снижение чисел перегибов и скручиваний на единицу и показателей по разрыву с узлом на 2 % от норм, установленных ГОСТ 7372–79. Марка каната устанавливается по проволоке низшей марки.

Таблица 9

Допускаемый разбег временного сопротивления разрыву проволок каждого диаметра, взятых из готового каната

Номинальный диаметр проволоки, мм	Допускаемый разбег временного сопротивления разрыву проволок каждого диаметра, взятых из готового каната, от маркировочной группы каната, %, для марок		
	ВК	В	I
До 0,75 вкл.	18	20	23
Свыше 0,75 до 1,60 вкл.	16	18	21
Свыше 1,60 до 1,80 вкл.	15	17	19
Свыше 1,90 и более	14	16	18

Все полученные данные заносятся в протокол механических испытаний и технологическую карту каната, которые хранятся на заводе.

Каждый канат сопровождается сертификатом о качестве, содержащим наименование завода-изготовителя, назначение каната, номер сортаментного стандарта, номинальный диаметр, длину, массу каната, направление и способ свивки и результаты механических испытаний.

Канаты, соответствующие требованиям ГОСТ 3241–91, выпускаются первым сортом, о чем делается соответствующая запись в сертификате.

2.6. Испытание канатов при эксплуатации

В соответствии с требованиями «Правил безопасности» [4] все подъемные и уравновешивающие (в том числе резинотросовые) канаты должны быть испытаны перед навеской на канатно-

испытательных станциях, зарегистрированных в установленном порядке. Испытания проводятся в соответствии с «Методическими указаниями» [15]. Целью испытания является определение суммарного разрывного усилия $P_{сумм}$ всех проволок каната.

Все остальные канаты, размещаемые в стволах, а также канаты всех других установок и механизмов перед навеской не испытываются. Навеска этих канатов производится по данным заводского акта-сертификата.

Испытания навешенного каната, проработавшего менее 3 месяцев, проводятся как первичные.

Канаты, испытанные перед навеской, должны повторно испытываться (за исключением канатов в установках с многоканатными шкивами трения и нижних уравновешивающих канатов) в следующие сроки:

а) через каждые 6 месяцев – на людских и грузо-людских подъемных установках;

б) через 12 месяцев после навески и затем через каждые 6 месяцев – на грузовых подъемных установках; если запас прочности каната с металлическим сердечником после 1,5 лет эксплуатации окажется ниже 6 – дальнейшие повторные испытания проводятся через 3 месяца.

Срок повторных испытаний канатов исчисляется с момента их навески.

Периодичность испытаний канатов может быть увеличена, если они проходят инструментальный неразрушающий контроль на обнаружение оборванных проволок и потерю сечения металла в соответствии с Правилами [4, 16].

Резервный испытанный канат перед навеской может вторично не испытываться, если срок хранения его не превышает 12 месяцев.

Для испытания каната отрезается его конец длиной не менее 1,5 м. Для повторных испытаний каната отрезается кусок его такой же длины над последним жимком запанцировки.

Отрезку каната следует производить абразивным кругом. Не допускается применение газо- и электросварки для резки каната.

Каждый образец каната, направляемый на первичные испытания, должен быть снабжен копией заводского документа о качестве (сертификатом), заверенного рудником.

Испытание каната грузового, изготовленного из проволоки марки В, с целью навески на людские или грузо-людские подъемные установки допускается производить только при изменении назначения каната заводом-изготовителем в документе о качестве каната – с грузового на грузо-людской.

Если первичное испытание производилось другой канатно-испытательной станцией, то образец каната, поступающий на повторное испытание, должен быть снабжен копией свидетельства первичного испытания.

Первичным испытанием является испытание каната, проводимое непосредственно перед его навеской, или каната, находящегося в резерве (независимо от числа испытаний).

На каждый образец каната должно представляться заявление в канатно-испытательную станцию, содержащее необходимые для испытания сведения о канате и подъемной установке по установленной форме. Заявление в канатно-испытательную станцию подписывается главным механиком рудника.

Каждый образец каната, направляемый на испытания, должен быть снабжен копией заводского документа о качестве (сертификатом), заверенной шахтой, и деревянным или металлическим ярлыком, прикрепленным к канату проволокой. На ярлыке должны быть ясно указаны: организация (предприятие), шахта и назначение подъема, канат правый или левый, заводской номер каната, ГОСТ или ТУ, диаметр каната, конструкция каната, даты навески, отрубки и отправки каната на испытание. Период от даты отрубки до поступления на испытание не должен превышать 5 дней.

На оба конца каждого отрезка каната должен быть наложен прочный бандаж шириной не менее 75 мм из мягкой проволоки.

В случае несоответствия представленных рудником сведений о канате заводскому документу о качестве или данным, указанным на ярлыке, образец каната к испытаниям не принимается.

Канат считается не выдержавшим первичные испытания, если:

– процентное отношение площади поперечного сечения отбракованных проволок к площади поперечного сечения всех проволок каната достигает 6 % для людских и грузо-людских канатов и 10 % для грузовых канатов;

– запас прочности оказывается ниже указанного в [4] по условиям применения;

– отношение наименьшего диаметра органа навивки к диаметру каната оказывается ниже нормативного.

Резервный испытанный канат перед навеской может вторично не испытываться, если срок хранения его не превышает одного года.

Все подъемные канаты вертикальных шахтных подъемов, резино-тросовые уравновешивающие канаты должны быть испытаны перед навеской в установленном порядке.

3. РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ВЫБОРУ И ПРИМЕНЕНИЮ СТАЛЬНЫХ КАНАТОВ РАЗЛИЧНЫХ КОНСТРУКЦИЙ

Как отмечалось выше, стальной канат представляет собой совокупность определенным образом свитых проволок, каждая из которых испытывает одновременно напряжения растяжения, изгиба, кручения и контакта. В канатах различных конструкций, работающих в одних и тех же условиях, характер распределения напряжений и связанная с ним стойкость будут неодинаковыми как и в канатах одной конструкции, но работающих в разных условиях [11, 13].

В связи с большим разнообразием условий эксплуатации канатов области применения канатов различных конструкций носят рекомендательный характер.

Каждый тип и конструкция стального каната имеют свои особенности, которые необходимо учитывать при выборе канатов для подъемных установок. Выбор канатов установок должен производиться с учетом конкретных условий их работы, предыдущего опыта эксплуатации и основываться на применении унифицированных типоразмеров.

Выбор канатов для подъемных установок должен производиться с учетом конкретных условий их работы и основываться на применении унифицированных типоразмеров.

Стальные канаты, применяемые на подъемных установках (в том числе импортные), должны иметь сертификат соответствия или декларацию о соответствии.

Подъемные канаты людских и грузо-людских подъемных установок должны быть грузо-людскими марки В, остальные – не ниже марки I.

Рекомендуется применять подъемные канаты с маркировочной группой по временному сопротивлению разрыву σ_B = = (1770…1860) МПа (180…190 кгс/мм^2); при этом не следует без необходимости применять канаты с повышенными значениями σ_B.

При выборе канатов для подъемных установок следует предусматривать применение круглопрядных канатов с линейным и точечно-линейным касанием проволок, а также трехграннопрядных. Подъемный канат противовеса должен быть того же диаметра, что и подъемный канат сосуда.

Выбор канатов обусловлен величинами коэффициентов запаса прочности *m*, регламентируемыми [4]. При этом не учитываются его напряженное состояние и долговечность, которые определяются в современных расчетах других деталей машин.

При выборе каната для конкретных условий эксплуатации важно знать, какие свойства каната могут обеспечить оптимальные эксплуатационные характеристики. Как правило, выбор каната становится поиском компромиссного решения, определяемого наибольшей стойкостью к ряду факторов, вызывающих их износ. При выборе каната, наиболее эффективного в конкретных условиях эксплуатации, следует учитывать следующие характеристики: диаметр, разрывное усилие, массу единицы длины, устойчивость к истиранию, раздавливанию, коррозии и кручению, гибкость и стабильность размеров.

Помимо стандартных канатов в горной промышленности применяется достаточно много стальных канатов, выпускаемых по техническим условиям, в которых нашли отражение прогрессивные методы конструирования и новые технологические приемы изготовления канатов повышенного качества. Поэтому необходимо также проанализировать имеющиеся технические условия, стандарты других стран, ведущих фирм-производителей канатов и оценить технико-экономическую целесообразность применения той или иной конструкции каната.

3.1. Тип свивки каната

Канаты *одинарной свивки* из круглых проволок обладают повышенной жесткостью, поэтому их рекомендуется применять там, где преобладают растягивающие нагрузки на канат, например, в качестве несущих элементов канатных дорог, в линиях электропередач, ограждения, растяжки и т.п.

Канаты *двойной или тросовой свивки* получили наибольшее применение в технике в том числе и на шахтном подъеме.

В зависимости от количества прядей эти канаты применяются:

– *трехпрядные* – для ограждения участков, площадей и автошоссейных магистралей;

– *четырехпрядные* – при построении плоских канатов в качестве стренг (как самостоятельные элементы они почти не применяются);

– *пятипрядные* – в тех случаях, когда необходимо получить канаты некруглой формы и повышенной структурной прочностью при использовании органического сердечника (например, семафорные канаты);

– *шестипрядные* – в различных механизмах, так как они имеют рациональное соотношение диаметров пряди и центрального сердечника, обеспечивающее хорошее заполнение площади поперечного сечения металлом и высокую гибкость;

– *семи- и восьмипрядные* – в тех же механизмах, что и шестипрядные, когда необходимо увеличить диаметр каната без увеличения диаметра проволоки;

– *многопрядные* – при выполнении специальных работ.

Благодаря большему количеству контактных точек в шкивах, что позволяет более равномерно распределять нагрузку, канаты с 8 прядями (рис. 39, *б*) имеют значительно большую усталостную прочность на изгиб, чем канаты с 6 прядями (рис. 39, *а*)

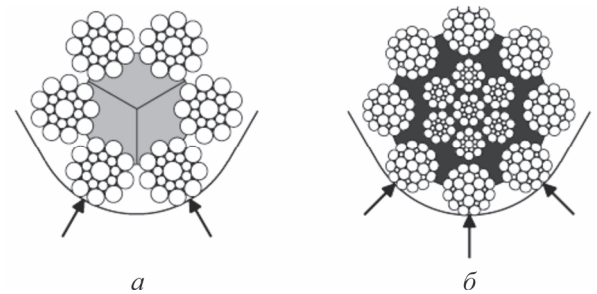


Рис. 39. Схема контакта прядей каната:
а – 6-прядного; *б* – 8-прядного

Канаты *тройной свивки* применяются для грузоподъемных механизмов с небольшой частотой рабочих циклов, при буксировке, швартовке, работе с резко меняющейся нагрузкой, т.е. в случаях, когда основным требованием в эксплуатации являются максимальная гибкость и упругость канатов, а пониженного разрывное усилие за счет уменьшения металлической части площади поперечного сечения не имеет решающего значения. На шахтном подъеме канаты тройной свивки не применяются.

3.2. Фасоннопрядные канаты

Основным преимуществом фасоннопрядных канатов является большая опорная поверхность, а в отдельных конструкциях также и большая степень заполнения поперечного сечения металлом, чем увеличивается его прочность по сравнению с обыкновенными круглопрядными канатами при том же диаметре. Использование прядей фасонных сечений в канате приводит к повышению конструктивной плотности канатов и дает возможность приблизить наружное очертание многопрядных канатов к форме канатов полузакрытой конструкции без значительного уменьшения гибкости канатов.

Фасоннопрядные канаты используются в следующих случаях.

Овальнорядные – в тех случаях, когда необходимо увеличить опорную поверхность каната, не считаясь с его разрывным усилием.

Плоскопрядные – когда необходимо придать канату некрутящиеся свойства и уменьшить удельное давление на его поверхность.

Трехграннопрядные – когда необходимо иметь увеличенное разрывное усилие каната по сравнению с канатами тросовой конструкции из круглых прядей и наряду с этим повысить структурную прочность и износоустойчивость поверхности каната, не считаясь с некоторой потерей гибкости. Применение этих канатов целесообразно при больших концевых нагрузках и сильном абразивном износе. Рекомендуется использовать эти

канаты на шахтных подъемных установках. Недостатками трехграннопрядных канатов являются резкие перегибы проволок на гранях прядей, повышенная жесткость каната, трудоемкость изготовления прядей.

У фасоннопрядных канатов опорная поверхность при навивке или обегании шкива или барабана значительно больше, чем у обыкновенных круглых канатов.

Увеличение числа проволок, соприкасающихся с канавкой барабана, уменьшает удельное давление на них, а следовательно, увеличивается срок службы канатов (рис. 40).

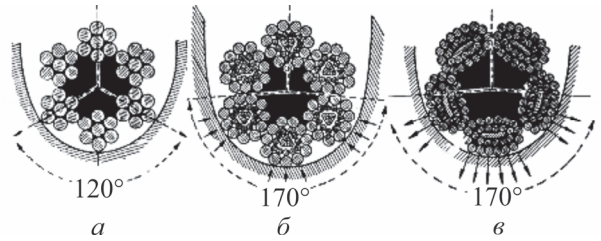


Рис. 40. Опорные точки канатов различных конструкций в канавке шкива (барабана): *а* – круглопрядный; *б* – трехграннопрядный; *в* – овалопрядный

Фасонопрядные канаты наиболее часто используемых конструкций имеют от 5 до 18 прядей с расположением их в один, два и три слоя. В зависимости от требуемой гибкости и других свойств такие канаты изготавливают с одним или со многими органическими сердечниками. По направлению свивки фасоннопрядные канаты могут быть как односторонней, крестовой, так и комбинированной свивки.

3.3. Канаты закрытой конструкции

Преимущества канатов закрытой конструкции:

– гладкая наружная поверхность дает возможность уменьшения давления на одну проволоку и уменьшить изнашивание проволок;

– большое заполнение сечения металлом (до 90 %) и, следовательно – высокую прочность, продольную и поперечную жесткости.

– фасонная проволока уплотняет поверхность каната, что сохраняет смазку и уменьшает абразивное и коррозионное изнашивание каната;

– закрытые канаты не крутятся и не раскручиваются.

Однако большая изгибная жесткость существенно сужает область их применения. В основном, эти канаты применяют в качестве шахтных подъемных и проводниковых, несущих канатов подвесных канатных дорог и кабельных кранов, вантовых канатов мостов и других инженерных сооружений.

Использование в центральной части закрытых и полузакрытых канатов круглых проволок обеспечивает увеличение их гибкости и дает возможность использования этих канатов без значительного увеличения диаметра барабанов и шкивов.

3.4. Канаты из оцинкованной проволоки

Канаты из оцинкованной проволоки обладают повышенной коррозионной стойкостью и усталостной прочностью и предназначены для работы в специфической среде, например, в условиях повышенной влажности. Цинковое покрытие обеспечивает также временную защиту проволок от износа. В то же время в процессе оцинкования происходит отпуск материала проволок, вследствие чего несущая способность канатов из оцинкованных проволок примерно на 10 % ниже, чем неоцинкованных. Кроме того, оцинкованные канаты имеют повышенную стоимость.

В условиях калийных рудников оцинкованные канаты не применяются.

3.5. Выбор способа касания между проволоками различных слоев в пряди

Канаты двойной свивки *с линейным касанием проволок (ЛК)* обладают сравнительно большой работоспособностью и имеют достаточное число разнообразных конструкций. Последнее по-

зволяет выбрать канаты для работы при больших концевых нагрузках и значительном абразивном износе.

Канаты *типа ЛК-Р* следует применять тогда, когда в процессе эксплуатации они подвергаются воздействию агрессивных сред, интенсивному знакопеременному изгибу при работе на открытом воздухе. Большая структурная прочность этих канатов позволяет использовать их на шахтных подъемных установках.

Канаты тройной свивки *типа ЛК-Р* следует применять только тогда, когда основными эксплуатационными требованиями являются максимальная гибкость и упругость каната, а его прочность и опорная поверхность не имеют решающего значения.

Канаты *типа ЛК-О* устойчиво работают в условиях сильного истирания благодаря наличию в верхнем слое проволок увеличенного диаметра. Эти канаты получили широкое распространение в качестве тормозных.

Канаты *типа ЛК-З* обладают более высокой гибкостью, но при этом плохо выдерживают воздействие агрессивной среды из-за наличия тонких проволок заполнения, легко поддающихся коррозии.

Канаты *типа ЛК-РО* отличаются сравнительно большим числом проволок в прядях и поэтому обладают повышенной гибкостью. Наличие в наружном слое прядей этих канатов относительно толстых проволок позволяет успешно применять их в условиях абразивного износа и агрессивных сред.

Канаты двойной свивки *типа ТЛК* следует применять тогда, когда использование канатов с линейным касанием проволок в прядях невозможно.

Канаты двойной свивки *типа ТК* отличаются повышенной жёсткостью, недостаточно полным заполнением сечения пряди металлом. Проволоки подвергаются локальному износу вследствии значительных контактных напряжений. Эти канаты не рекомендуется применять на ответственных и интенсивно работающих установках, так как они обладают низким техническим ресурсом.

Канаты из пластически обжатых прядей типа ПК

Для увеличения заполнения площади поперечного сечения стального каната металлом и увеличения опорной поверхности прядей применяется метод радиального обжатия прядей. Канаты изготовленные из обжатых прядей, по сравнению с необжатыми прядями подобных конструкций и диаметров имеют следующие преимущества:

– большую плотность (заполнение сечения металлом), однородность и прочность на разрыв;

– более высокую сопротивляемость износу проволок и меньший износ канатоведущих элементов;

– повышенную способность противостоять внешним деформирующим воздействиям;

– уменьшается возможность проникновения влаги и загрязнений внутрь пряди и т.д.

Опыт эксплуатации показывает, что канаты из пластически обжатых прядей в зависимости от условий эксплуатации в 1,5 раза долговечнее канатов из необжатых прядей аналогичных конструкций.

3.6. Выбор направления свивки

Как отмечалось выше, по направлению свивки прядей различают канаты правого направления (пряди в канате идут по спирали слева вверх направо) и левого направления (пряди в канате идут по спирали справа вверх налево). Выбор направления свивки, которое является весьма важным эксплуатационным фактором, зависит от конструкции механизма, места и способов закрепления концов каната, направления наматывания и укладки. Наматываясь на барабан по винтовой линии, каната испытывает деформации изгиба, контакта и кручения, которые вызывают поворот его вокруг оси. Необходимо подбирать такое направление свивки, при котором в процессе наматывания канат перед укладкой на барабан закручивался; это будет способствовать сохранению плотности свивки и увеличению долговечности каната. При

неправильном выборе направления свивки канат раскручивается, образующаяся слабина сгоняется, накапливаясь у места закрепления в виде «фонаря» или «волны» (рис. 41).

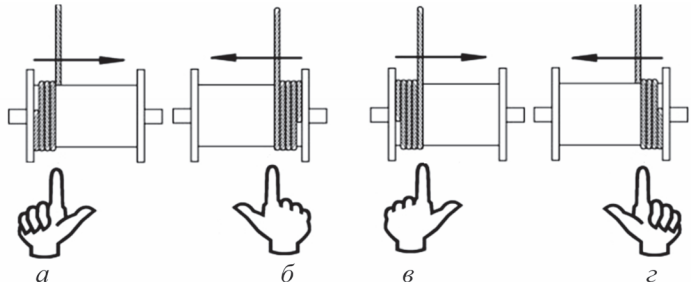


Рис. 41. Направление свивки при наматывании одинарного слоя каната на барабан: *а*, *б* – правая свивка; *в*, *г* – левая свивка

Если канат не подвергается деформации изгиба и кручения (тормозные, проводниковые канаты, подвески и др.), может быть выбрано любое направление свивки.

В тех случаях, когда груз подвешен на двух и более самостоятельных канатах (многоканатные подъемные установки), необходимо использовать канаты с разным направлением свивки.

На шахтных барабанных подъемных машинах левый канат всегда навивается на барабан снизу, а правый – сверху, поэтому на них применяются канаты только правой свивки.

Правильный выбор направления свивки особенно важен при многослойной навивке каната на барабан, когда укладка последующих витков достигается путем отталкивания их предыдущими.

Сочетание направлений свивки элементов оказывают существенное влияние на эксплуатационную стойкость канатов. В канатах крестовой свивки проволоки в наружных частях прядей располагаются параллельно оси каната, так как углы свивки проволок и прядей различаются незначительно, а направление их противоположно. Такое расположение проволок приводит к точечному контакту с рабочей поверхностью барабанов и копровых шкивов и вызывает их интенсивный износ. Однако благодаря высокой

структурной устойчивости, некоторой уравновешенности крутящих моментов и простоте обслуживания эти канаты широко используются во всех отраслях промышленности.

Канаты крестовой свивки вследствие противоположных направлений свивки проволок прядей и канатов имеют повышенную жёсткость, но, несмотря на это, благодаря их структурной прочности (уравновешенности свивок), они широко используются во всех отраслях промышленности.

В канатах односторонней свивки проволоки на поверхности располагаются под двойным углом свивки и их выступающие части соприкасаются с поверхностью барабанов и копровых шкивов на большей длине. Это приводит к уменьшению удельного давления, истирания проволок и износа органов навивки. Равномерный износ по всей длине не ухудшает способности работы проволок на перегиб в отличие от канатов крестовой свивки, в которых местный износ способствует концентрации напряжений и уменьшению прочности проволок на изгиб.

В канатах односторонней свивки изгибающие усилия, действующие на проволоку наружных частей прядей, будут только угловой составляющей изгибающего усилия, действующего на канат при его навивке на барабан, в то время как в канатах крестовой свивки направление изгибающих усилий для проволоки и канатов совпадают. Вследствие этого канаты односторонней свивки лучше сопротивляются усталостным разрушениям. Однако они еще не нашли широкого распространения в горнорудной промышленности, что объясняется спецификой их изготовления и поведением этих канатов в эксплуатации. Канаты односторонней свивки имеют тенденцию к раскручиванию, нарушению плотности свивки и формы. Поэтому они требуют весьма осторожного обращения при навеске. Во время размотки и эксплуатации нельзя допускать ослабления ветвей каната.

В канатах комбинированной свивки сочетаются односторонняя и крестовая свивка, т.е. канаты свиты из одинакового числа чередующихся прядей правой и левой свивки. На поверхности каната проволоки образуют слоистый рисунок, сочетаю-

щий параллельное и перпендикулярное расположение их относительно оси каната. В этих канатах несколько уменьшено вращение и износ.

Преимущества и недостатки каждого рода свивки канатов, которые должны учитываться при выборе канатов, указаны в табл. 10.

Таблица 10

Преимущества и недостатки крестовой и односторонней свивки

Род свивки	Жесткость	Вращение вокруг своей оси	Структурная прочность	Сопротивление	
				истиранию	усталостному износу
Крестовая	Большая (плохо)	Меньшее (хорошо)	Большая (плохо)	Меньшее (хорошо)	Меньшее (плохо)
Односторонняя	Меньшая (хорошо)	Большее (плохо)	Меньшая (хорошо)	Большее (плохо)	Большее (хорошо)

Окончание табл. 10

Род свивки	Соприкосновение наружных проволок с барабаном		Износ барабанов и шкивов	Срок службы	Какие виды намотки допускаются
	длина	площадь			
Крестовая	Принята за 1	Меньшая	Больший	Принят за 1	Многослойная и однослойная
Односторонняя	Вдвое больше	Большая	Меньший	Доходит до 1,25–1,50	Желательно однослойная

3.7. Канаты с сердечником из минеральных и искусственных материалов

Канаты с сердечниками, изготовленные из непропитанных асбестовых нитей предназначены для работы в условиях высоких температур, например на сталеразливочных кранах.

Канаты с сердечниками из искусственных материалов (полиэтилена, полипропилена, капрона (нейлона), лавсаны вискозы и других полимерных материалов) имеют высокие физико-механические и химические свойства и хорошо сопротивляются биологическим разрушениям. Однако они не всегда предохраняют канат от коррозии изнутри, так как они не могут быть пропитаны антикоррозионными веществами.

Сердечники из полиэтилена низкого давления (высокой плотности) могут работать при температурах от минус 15 до плюс 150 °С, а из полипропилена – от минус 27 до плюс 150 °С. Оба материала отличаются высокой свариваемостью и стойкостью в воде, кислотах и щелочах, но обладают сравнительно низкой прочностью.

Следует иметь в виду, что синтетические материалы склонны к старению. Это может снизить срок службы стальных канатов.

3.8. Канаты с металлическим и комбинированным сердечником

Стальные канаты с металлическими сердечниками находят все более широкое распространение на шахтных и буровых подъемных установках. Большой коэффициент заполнения металлом поперечного сечения каната и минимальные упругие и остаточные удлинения при эксплуатации обуславливает применение этих канатов на ответственных и тяжело нагруженных установках. Они обладают повышенным разрывным усилие, примерно на 14 % превышающим этот показатель для канатов с органическим сердечником, и большей поперечной жесткостью, благодаря которой возрастает их сопротивление раздавливанию.

На практике применяют различные сочетания направления свивки проволок, прядей и металлических сердечников (табл. 11).

Такие же варианты сочетаний могут иметь канаты с левым направлением свивки прядей.

Направление свивки выбирается с целью обеспечения высокой эксплуатационной надежности каната и создания благоприятных условий для совместной работы его элементов.

Таблица 11

Сочетание направлений свивки проволок, прядей и металлических сердечников

Направление свивки			
Верхний слой		Металлический сердечник	
Пряди	Проволоки	Пряди	Проволоки
Правое	Левое	Правое	Левое
Правое	Левое	Правое	Левое
Правое	Левое	Правое	Левое
Правое	Левое	Правое	Левое

Канаты с односторонними металлическими сердечниками, направления свивки прядей которых совпадают, показывают наибольшую стойкость в работе вследствие обеспечения структурной целостности и увеличения точек контактов между проволоками.

В случаях, когда необходимо уменьшить технологический крутящий момент (свободно подвешенный груз проходческого подъема), используется односторонний сердечник, пряди которого свиты в противоположную сторону, несмотря на увеличение контактных напряжений и опасность нарушения целостности каната. При перемотке, навеске и эксплуатации таких канатов нельзя допускать значительных перегибов, вызывающих появление заломов и отслоение наружных прядей от сердечника.

В канатах с комбинированными сердечниками за счет волокнистой обмотки прядей сердечника, либо заполнения межпрядного пространства пластиком достигаются следующие преимущества:

– большая износостойкость проволок в прядях и прядей в канате из-за снижения контактных напряжений;

– более высокое сопротивление поперечному раздавливанию благодаря уплотнению конструкции каната;

– повышенное сопротивление усталости;

– повышенное сопротивление скручивающим усилиям;

– сердечник надежно защищен от коррозии.

Такие канаты с успехом применяются на металлургических заводах и на подъемных установках со шкивом трения, при этом их срок службы по сравнению с канатами с металлическим сердечником увеличивается вдвое.

3.9. Нераскручивающиеся канаты

Стальные канаты, пряди и проволоки которых в свободном состоянии сохраняют свое положение, так как они освобождены от упругих напряжений, полученных в процессе свивки, называются нераскручивающимися канатами.

Основные эксплуатационные преимущества их перед раскручивающимися следующие:

– повышенная работоспособность;

– оборванные проволоки сохраняют свое положение в канате, т.е. «иглистость» почти отсутствует, а лопнувшие проволоки не наносят повреждений поверхности барабанов и копровых направляющих (отклоняющих) шкивов (особенно футерованных);

– канат более гибок и «спокоен»;

– при наматывании и навеске сохраняет прямолинейность;

– вращение каната вокруг своей оси и изменение шага свивки незначительны;

– более высокая агрегатная прочность;

– навеска канатов производится легче, надежность и долговечность выше.

3.10. Предварительно обтянутые канаты

В процессе приработки каната, особенно в начальный период эксплуатации, канат подвергается остаточному удлинению.

В зависимости от типов и конструкций канатов остаточные удлинения после их навески составляет 0,2–1,0 % от длины используемого каната. К концу эксплуатации каната достигает 6 %.

Для уменьшения остаточного удлинения применяют операцию предварительной вытяжки каната путем приложения растягивающей нагрузки до 50 % от разрывного усилия [8]. Такая

операция также обеспечивает равномерное распределение нагрузки на все элементы каната.

Преимущества предварительно вытянутых канатов по сравнению с обычными канатами аналогичной конструкции:

– уменьшенное остаточное конструктивное удлинение;

– более высокий модуль упругости (на 20 %);

– сниженный крутящий момент;

– нет необходимости в операциях по укорачиванию или перетяжке каната, приводящим к простоям оборудования;

– нет необходимости производить первоначальную приработку каната, которая приводит к снижению производительности машины.

На рис. 42 приведены зависимости удлинения Δ предварительно вытянутого *1* и обычного *2* канатов во времени.

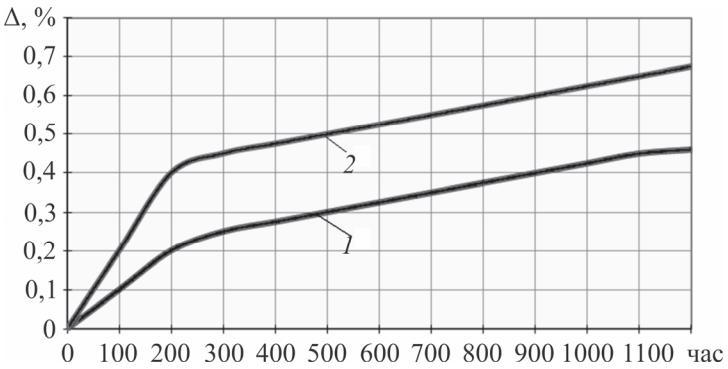


Рис. 42. Удлинение канатов от времени работы:
1 – предварительно вытянутого; *2* – обычного

В случае невозможности выполнения предварительной обтяжки канатов у потребителя ее можно заменить обкаткой.

Правильная обкатка вновь навешенного каната в значительной мере влияет на срок службы каната. Обкатка производится при ограниченной скорости движения и нагрузке. В этот период за счет приложения растягивающей нагрузки канат удлиняется вследствие конструктивных особенностей. Происходит выбор

зазоров в свивке каната, вдавливание проволок в опорные поверхности, уменьшается диаметр каната, удлиняется спиральная свивка, упорядоченно формируются опорные поверхности на соседних проволоках. Канат постепенно готовится к работе.

3.11. Плоские канаты

Плоские канаты благодаря большой массе и устойчивости от вращения вокруг своей оси находят широкое распространение в качестве хвостовых уравновешивающих на шахтных подъемных установках.

Плоские канаты, скрепленные ушивальником во всем мире все еще изготавливаются вручную, поэтому их применение экономически нецелесообразно. Из-за ручной прошивки ширина и толщина плоских канатов колеблются в широких пределах, вследствие чего движущийся при эксплуатации плоский канат совершает колебательные движения. Точечный контакт между стренгами и ушивальником под нагрузкой каната приводит к большим удельным давлениям и контактным напряжениям между проволоками, что снижает усталостную прочность.

Двойная сшивка стренг осуществляется двумя способами: двумя встречными ушивальниками – крестовая сшивка и двумя параллельными ушивальниками в одном направлении. Последний способ наиболее рационален, так как исключает перекрещивание ушивальников при встрече и, следовательно, утолщения и перекашивания каната, а также позволяет разогнать место стыковки отрезков ушивальников, длина которых для удобства прошивки составляет обычно около 3–5 м.

У плоских канатов двойной крестовой прошивки на участке пересечения ушивальника со стренгами в средней части толщина каната больше, чем по краям.

Кроме того, прошивка снижает гибкость плоского каната. Поэтому стренги нагружаются неравномерно, что снижает суммарное разрывное усилие каната.

Перечисленные недостатки устраняются, если стренги присоединены скобами. При изготовлении такого плоского каната

на большой участке между соседними скобами обеспечивается линейное касание стренг. Кроме того, использование скоб позволяет автоматизировать технологический процесс изготовления, что снижает их стоимость.

Характерной особенностью резинотросовых плоских канатов является то, что все стренги заключены в защищенную оболочку из резины специального состава, которая сама прочно удерживает их на одной линии по поперечному сечению каната без сшивки ушивальником. Изгибная жесткость этих канатов выше, чем у обычных плоских канатов. Применение резиновой оболочки устраняет также тяжелый ручной труд по сшивке стренг ушивальником, поэтому стоимость этих канатов ниже.

Использование резинотросовых канатов позволяет увеличить граничную глубину применения подъемных установок.

Рекомендации по применению отечественных стальных канатов, сведенные в таблицу, приведены в приложении 3.

4. ЭКСПЛУАТАЦИЯ И ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБСЛУЖИВАНИЕ КАНАТОВ

На надежность и долговечность канатов (наряду с правильным выбором конструктивных, прочностных, размерных параметров и правильной навеской) существенное влияние оказывает соблюдение требований по эксплуатации, начинающихся с момента получения канатов. Опыт эксплуатации показывает, что долговечность канатов во многом зависит от организации и уровня их обслуживания. Обслуживающий персонал должен иметь представление о выборе рациональной конструкции каната, о всех факторах, влияющих на их износ, соблюдать установленные режимы эксплуатации и надзора за канатами, сроки и технологию смазки [5].

4.1. Смазка канатов

Эксплуатационная смазка для каната должна быть совместима с типом смазки, наносимой во время изготовления каната. Соответствующие ссылки о типе смазки должны содержаться в документации производителя канатов.

Среди канатных смазок отечественного производства наибольшее применение нашли смазки типа «Торсиол 35». На ряде горнорудных предприятий для смазки канатов применяется древесная смола в сочетании с отработанными маслами. Однако в условиях калийных рудников эти смазки показывают очень низкую эффективность, так как из-за наличия соляной корки на поверхности каната адгезионные свойства этих смазок резко снижаются.

ОАО «Северсталь-метиз» рекомендует использовать эффективные канатные смазки немецкого производства типа «*Nyrosten*». Эти смазки имеют значительные преимущества перед смазками отечественного производства типа «Торсиол», но и имеют ряд преимуществ перед всеми известной смазкой «*Elaskon*».

Канатные смазки «*Nyrosten*» обладают превосходными адгезионными свойствами, имеют хорошие антифрикционные характеристики, обладают высокой коррозионной стойкостью, и при расплетении каната отмечается хорошее смазывание всех проволок в прядях.

Канатные смазки «*Nyrosten*» применяются в широком температурном диапазоне – от –40 до + 80 °С. Смазки обеспечивают высокую коррозионную защиту (даже в соляной воде).

Компанией «*Bridon*», имеющей многолетний опыт создания канатов большого диаметра для горнорудной промышленности России, рекомендуется использовать при эксплуатации канатов специализированные эксплуатационные смазки «Брайлюб».

Смазки «Брайлюб» характеризуются улучшенной антикоррозийной защитой, высокой смазывающей способностью, уменьшенным отслоением смазки, что повышает срок службы каната, эффективным проникновением и легкостью нанесения.

Смазки «Брайлюб» 30, 40 и 50 могут наноситься кистью, капельным методом или с помощью распылительного устройства.

Смазки «Брайлюб» 60, 70 и 90 могут наноситься под давлением с помощью встроенных систем, предназначенных для широкого диапазона диаметров и конструкций канатов. Эти системы нагнетают смазку в канат под высоким давлением, одновременно производя чистку каната и удаление влаги, остатков смазки и загрязнений.

Смазку лучше наносить на сухой и очищенный от старой смазки и грязи канат. Для этой цели могут применяться различные механические устройства. Устройство очистки не должно повреждать поверхность каната.

Периодичность нанесения смазки должна выбираться из условия поддержания целостности смазочного слоя на поверхности каната, но не реже одного раза в месяц.

Лица, занятые выполнением работ по защите каната, должны быть ознакомлены с инструкцией по безопасному применению канатной смазки.

Участки канатов под коушем и зажимами должны смазываться при каждом осмотре.

При смазке каната емкость со смазкой устанавливают вблизи барабанов подъемной машины. При вращении барабанов смазка под действием собственного веса или давления сжатого воздуха распыляется на канаты. На отрезок каната от барабана до сосуда при верхнем его положении смазка наносится на нулевой отметке ствола. Нанесение смазки производится через устанавливаемую на канат разъемную воронку, которая закрывается крышкой. Нижнее отверстие воронки по периметру должно быть уплотнено войлоком или ветошью, исключающей проливание смазки.

Примерный расход смазки (кг) составляет 3 % от массы каната или может быть определен по следующим формулам:

– для круглопрядных канатов

$$G = \frac{3{,}5(d+3)L}{1000};$$

– для трехграннопрядных канатов

$$G = \frac{\left(2{,}5d + 0{,}026d^2\right)L}{1000},$$

где d и L – соответственно диаметр (мм) и длина (м) каната.

4.2. Требования к копровым направляющим шкивам

Копровые направляющие шкивы предназначены для поддержания и направления канатов шахтных подъемных установок.

Неравномерная подработка желоба копровых направляющих шкивов на одноканатных подъемных установках, как показал опыт, имеет существенное влияние на срок службы подъемных канатов. Своевременное восстановление конфигурации желоба наплавкой электросваркой без снятия шкива с копра способствует удлинению срока службы канатов.

Основным критерием, определяющим возможность дальнейшей эксплуатации или необходимость восстановления или замены копровых направляющих шкивов, является степень износа желоба. Износ желоба сверх допустимых норм сопряжен с опасностью разрушения обода. Нефутерованные шкивы подлежат замене при износе реборд и обода, равном 50 % их начальной толщины.

Для контроля износа применяют специальные приспособления. В частности, используют приспособление (рис. 43), выполненное в виде шаблона с мерительной линейкой, соответствующего первоначальному профилю желоба копрового шкива.

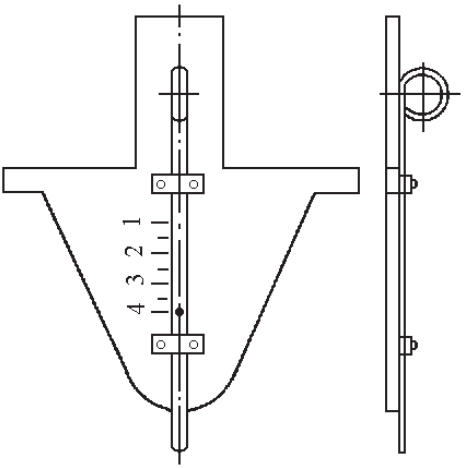


Рис. 43. Приспособление для измерения износа копрового направляющего шкива

Приложив приспособление к желобу эксплуатируемого шкива, с помощью выдвижной линейки по шкале, нанесенной на шаблоне, оценивается износ обода копрового шкива, а по образовавшемуся зазору между шаблоном и желобом щупом или линейкой измеряется износ реборды. Данное приспособление изготавливается для копровых шкивов каждой подъемной установки и хранится в помещении подъема. На шаблоне указываются тип копрового шкива и значения допустимых износов обода и реборды.

Однако применение такого шаблона не обеспечивает возможность надежного замера бокового износа. Большую точность износа желоба нефутерованных копровых шкивов обеспечивает способ получения поперечного сечения обода в виде слепка из пластилина.

4.3. Эксплуатация тормозных и амортизирующих канатов

Тормозные канаты парашютов шахтных клетей соединяются с амортизационными с помощью соединительных муфт. Амортизационные канаты закрепляются на копре с помощью амортизаторов, устанавливаемых на подшкивных или специальных площадках. В зависимости от типоразмера амортизаторов применяют одноручьевые, трехручьевые и блочные муфты.

При сборке соединительных муфт соответствующие полумуфты и стаканы надевают на концы тормозного и амортизационного канатов. На расстоянии 200–250 мм от конца каната из мягкой проволоки делается бандаж. Свободный конец каната разделывается: расплетаются проволоки, удаляется органический сердечник. Проволоки каната очищаются от грязи и пыли, промываются бензином и обтираются насухо (рис. 44).

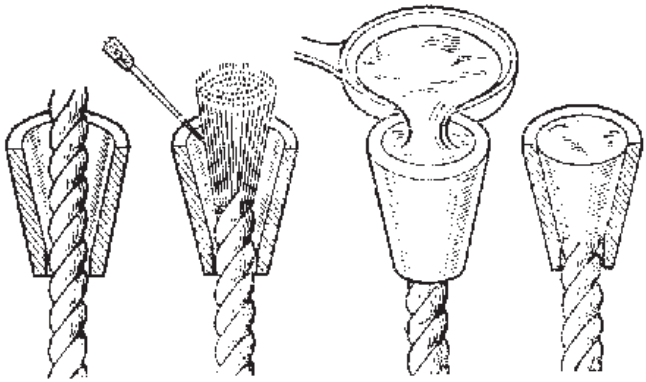


Рис. 44. Заливка стакана

Концы проволок длиной 20–30 мм загибаются, и разделанный конец каната затягивается в стакан так, чтобы от его торца до загнутых проволок было расстояние 10–15 мм. Для более плотного прилегания проволок каната к стенкам стакана необходимо расклинить их отрезками проволок этого же каната, после чего стакан подогревается до температуры 200 °С и заливается баббитом марки Б16 или сплавом ЦЛМ 9–1,5 по ГОСТ 21438–76. После заливки стакана баббитом торцевые места на входе и выходе амортизационного и тормозного канатов в обойму муфты смазываются солидолом. После чего соединительная муфта собирается.

Свободный конец амортизационного каната разделывается и заливается баббитом в металлической воронке (из листового железа) с толщиной стенки 1–1,5 мм. При этом верхний диаметр принимается равным (2–2,5)$d_к$, а высота воронки – (3,5–4)$d_к$ (здесь $d_к$ – диаметр каната).

В зумпфе тормозные канаты крепятся к специально установленным балкам при помощи ограничителей натяжения. Ограничитель натяжения состоит из угольников, между которыми болтами зажимается канат. Угольники крепятся к балке болтами небольшого диаметра, которые должны освобождать нижний конец тормозного каната, разрываясь при нагрузке 15 кН. Такое крепление тормозных канатов, обеспечивая необходимое натяжение в процессе нормальной эксплуатации, исключает появление в них больших растягивающих усилий в момент срабатывания ловителя и подпрыгивание клети вверх. При жестком закреплении нижних концов тормозных канатов может произойти расклинивание ловителя с его последующим вторичным захватом, что недопустимо.

Натяжение тормозного каната до крепления к балке ограничителя натяжения производится специальной скобой. Угольники зажимаются болтами на канате, и при навинчивании натяжных гаек на болты в пределах 180–200 мм производится натяжение каната. Рекомендуемое усилие натяжения – 10 кН.

Для всех типоразмеров тормозных канатов изготавливается один типоразмер натяжной скобы и ограничителя натяжения. Натяжная скоба после установки ограничителя натяжения снимается.

С течением времени тормозные канаты вытягиваются под действием собственного веса, поэтому необходимо их регулярно натягивать.

Ниже балки натяжного устройства оставляют запас каната в 5–10 м. Надо следить за тем, чтобы конец каната был ровно отрезан и оплавлен электросваркой. Это облегчает проход его в направляющих муфтах и ловителе при монтажных работах.

Решением специальной комиссии после тщательного визуального осмотра срок службы тормозных и амортизационных канатов может быть продлен в соответствии с табл. 2.

4.4. Надзор за канатами

4.4.1. Рекомендации по диагностированию состояния канатов

Особое внимание следует уделять тем участкам каната, которые подвергаются повышенному износу. Обычно такие участки определяются на основании опыта эксплуатации. Чрезмерное абразивное изнашивание, оборванные проволоки, деформация и коррозия проволок каната являются визуальными признаками износа.

Абразивное изнашивание (истирание) проволок является естественным процессом при эксплуатации каната. Понизить степень абразивного износа можно путем применения эффективных антифрикционных смазок и регулярного смазывания канатов.

Оборванные проволоки являются нормальным признаком эксплуатации каната в конце его срока службы. Причиной обрыва проволок служит усталостный и механический износ. Местные обрывы проволок могут указывать на наличие механических неполадок в системе или быть причиной аварийных ситуаций. Правильная смазка позволяет улучшить усталостные показатели работы каната.

Деформация обычно является следствием механического повреждения, и, если деформация значительна, она может существенно повлиять на прочность каната. Видимая ржавчина указывает на недостаток смазки и приводит к коррозии. Иногда на поверхности наружных проволок появляются язвины от коррозии, что приводит к обрыву проволок.

Внутренняя коррозия происходит при недостаточной смазке канатов или ее неправильном выборе. Признаком внутренней коррозии служит уменьшение диаметра каната.

4.4.2. Типичные примеры повреждения канатов

Типичные примеры повреждения канатов [9] приведены на рис. 45: а) винтовая деформация каната в виде штопора (см. рис. 45, *а*). Причинами образования штопора являются неравномерное натяжение прядей при свивке каната и несимметричное растяжение каната в процессе эксплуатации, которое имеется практически всегда на переходных участках у копровых направляющих шкивов, шкивах с изношенными ручьями в сочетании со значительными нагрузками от кручения и растяжения.

Деформация каната в виде штопора чаще всего появляется в канатах с металлическим сердечником. При несовпадении направлений спирали волнистости и свивки каната прочность каната не уменьшается, хотя при эксплуатации канат ускоренно изнашивается на этом участке. Канат следует отбраковать, если деформация каната x превышает по величине $1{,}33d_к$; длина рассматриваемого участка не должна превышать $25d_к$ (где $d_к$ – диаметр каната).

Наиболее опасной является волнистость, направление спирали которой совпадает с направлением свивки каната, при этом шаги спирали волнистости и свивки каната одинаковы. Канат на этом участке состоит из прядей неодинаковой длины, самая короткая прядь постоянно находится на вогнутой стороне изогнутого каната, а длинная – на выпуклой стороне. При эксплуатации такого каната пряди его на этом участке нагружаются неодинаково – перегружаются короткие пряди и недогружаются длинные. Канат бракуется, если деформация каната x превышает по величине $1{,}08d_к$, а также при появлении на участке волнистости первых обрывов проволок;

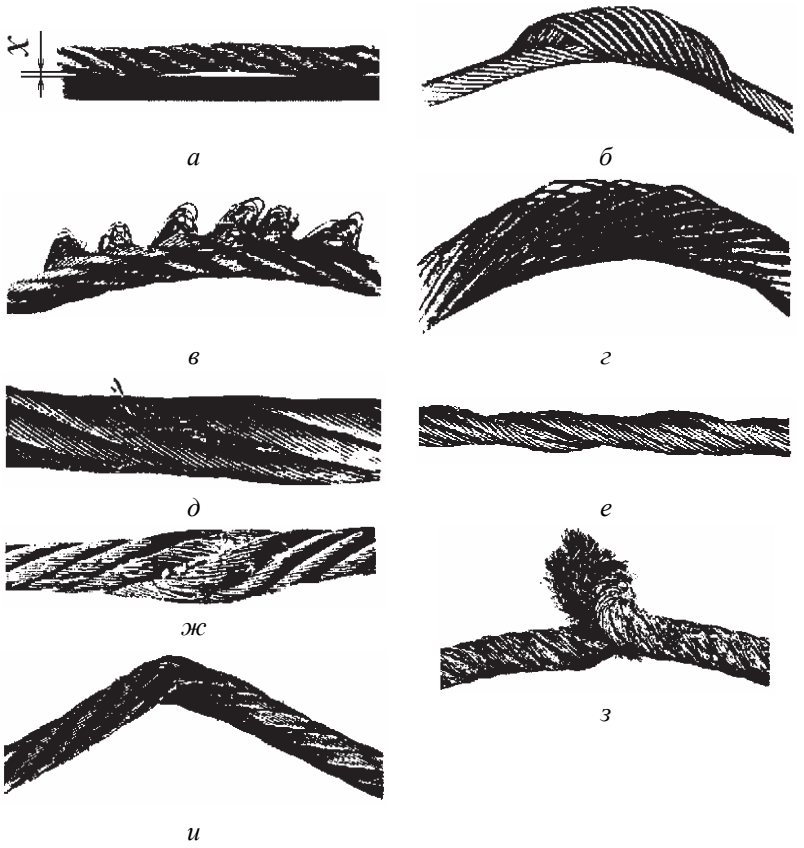


Рис. 45. Типовые повреждения канатов: *а* – штопор; *б*– фонарь; *в* – петлеобразный выход проволок; *г* – разрыхление слоя проволок или прядей; *д* – местное утолщение каната; *е* – затяжка одной или нескольких прядей; *ж* – раздавливание каната; *з* – колышка; *и* – излом

б) отслоение наружных прядей или проволок – фонарение (или образование «птичьей клетки») (см. рис. 45, *б*) наблюдается в многослойных канатах и свидетельствует о появлении сжимающих усилий в наружном слое и перегрузке сердечника. Фонарь может возникать еще как следствие раскручивания каната при подготовке его к эксплуатации; при наличии фонаря канат рекомендуется отбраковать;

в) на рис. 31, *в* показан выход из каната проволок при работе на шкивах вследствие ошибки проектирования или неправильного применения каната; при существенном нарушении структуры каната вследствие петлеобразования проволок канат рекомендуется отбраковать;

г) разрыхление наружного слоя проволок или прядей (см. рис. 45, *г*) характеризуется сгоном избыточных длин проволок на отдельные участки каната под воздействием больших сил трения скольжения или при действии динамических нагрузок. При этом проволоки становятся легко подвижны, что приводит к перегрузке остальных проволок; если разрыхление (выдавливание трех и более проволок) произошло вследствие износа или коррозии проволок на участке длиной $6d_к$, то канат рекомендуется заменить. В других случаях требуется повышенное внимание к дальнейшей эксплуатации каната;

д) местное утолщение каната (см. рис. 45, *д*) наблюдается при наличии утолщения сердечника, что может служить причиной ускоренного износа прядей. При сильно выраженном местном утолщении каната его рекомендуется отбраковать;

е) затяжка одной или нескольких прядей (см. рис. 45, *е*) может происходить при малом диаметре сердечника, его износе или разрушении. Нарушение структуры каната в виде затяжки приводит к резкому перераспределению нагрузок между его элементами, поэтому при достаточно выраженной затяжке канат следует заменить;

ж) раздавливание каната (см. рис. 45, *ж*) случается как следствие нарушения правил эксплуатации. При приложении динамической нагрузки круглое сечение каната становится овальным в результате пластических деформаций проволок. После снятия нагрузки восстановления круглой формы на этом участке не происходит. Местное раздавливание приводит в последующем к усиленному износу проволок, поэтому требуется повышенное внимание к канату при дальнейшей эксплуатации и браковке при визуальном обнаружении его сплющивания по длине;

з) колышка (см. рис. 31, *з*) образуется при затяжке петли в результате нарушения правил подготовки каната к работе и является безусловным основанием для отбраковки;

и) канат должен быть отбракован также и в случае его резкого излома (см. рис. 45, *и*) в результате перегиба на элементах конструкции или других посторонних воздействий.

4.4.3. Типичные примеры износа канатов

Типичные примеры износа канатов приведены на рис. 46:

а) механическое повреждение (см. рис. 46, *а*) в результате движения каната под нагрузкой по острым кромкам;

б) местное абразивное изнашивание (см. рис. 46, *б*) в результате трения о конструкции, вибрации каната на участке между барабаном и копровым отклоняющим шкивом;

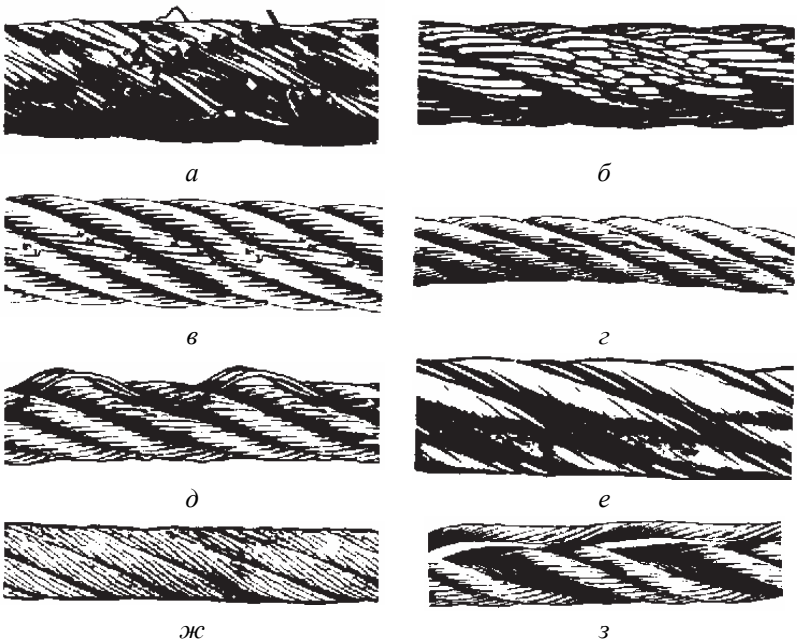


Рис. 46. Типичные примеры износа канатов: *а* – механический износ; *б* – местный абразивный износ; *в* – узкая полоска абразивного износа; *г* – две параллельные линии оборванных проволок; *д* – усталостные обрывы проволок; *е* – абразивный износ каната односторонней свивки; *ж* – сильная коррозия; *з* – разрыв сердечника

в) узкая полоска абразивного износа (см. рис. 46, *в*), приводящая к усталостному разрушению, вызванная движением каната в чрезмерно широком желобе;

г) две параллельные линии оборванных проволок (см. рис. 46, *г*), указывающие на узкий желоб;

д) обрывы проволок на поверхности раздела между прядями или между прядями и сердечником (см. рис. 46, *д*), свидетельствующие о разрушении сердечника;

е) сильный абразивный износ каната односторонней свивки (см. рис. 46, *е*), вызванный абразивным трением;

ж) сильная коррозия (см. рис. 46, *ж*); внутренняя коррозия характеризуется полным отсутствием зазора между прядями, что является признаком внутреннего разрушения;

з) разрыв проволочного сердечника (см. рис. 46, *з*), вызванный высокими напряжениями.

4.4.4. Типичные виды изломов проволок

Типичные виды изломов проволок приведены на рис. 47.

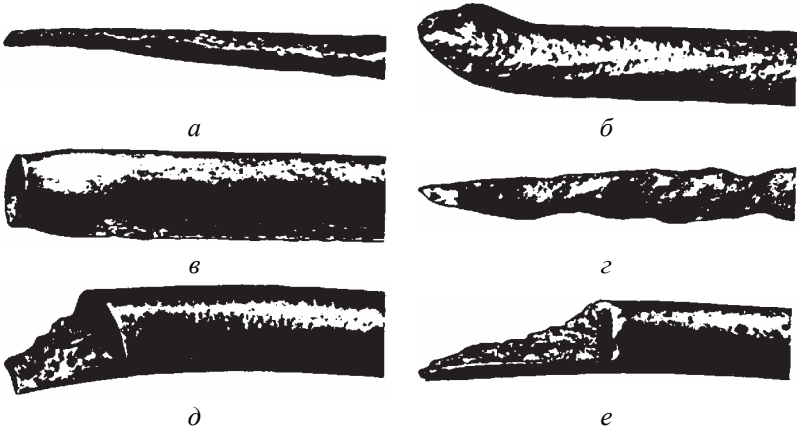


Рис. 47. Типы изломов проволоки каната: *а* – вызванный большим абразивным изнашиванием; *б* – при изгибе; *в* – при растяжении; *г* – вызванный коррозией при растяжении; *д* – усталостный; *е* – неоднородный усталостный; *ж* – вызванный коррозионной усталостью; *з* – вязкий при абразивном износе; *и* – мартенситный; *к* – сдвиговый (см. стр. 93)

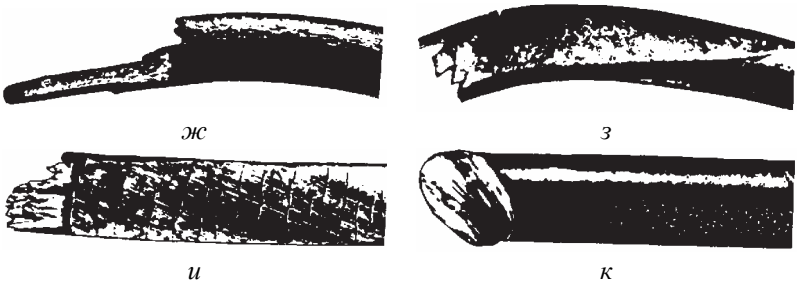


Рис. 47. Окончание

Запрещается навешивать или продолжать работу стальными канатами с порванными, выпученными или запавшими прядями, с узлами, «жучками» и с другими повреждениями, а также с утонением более 10 % номинального диаметра.

4.5. Критерии браковки канатов

Браковка канатов производится по следующим критериям.

Канат должен быть снят и заменен другим, если при повторном испытании:

а) запас его прочности окажется ниже 7-кратного для людских; 6-кратного для грузолюдских подъемов; 5-кратного для грузовых подъемных установок;

б) суммарная площадь поперечного сечения проволок, не выдержавших испытание на разрыв и перегиб, достигнет 25 % от общей площади поперечного сечения всех проволок.

Запрещается применять прядевые канаты с выпученными или запавшими прядями. Запрещается работа каната, получившего утонение за время работы более чем на 10 % номинального диаметра.

Канат должен быть снят и заменен другим, если при осмотре окажется, что на каком-либо участке, равном шагу свивки, число оборванных проволок от общего их числа в канате достигает:

– 5 % для подъемных канатов сосудов и противовесов;

– 10 % для тормозных, амортизационных и уравновешивающих канатов.

Тормозной канат подлежит замене, если износ или коррозия наружных проволок достигнет 50 % площади их поперечного сечения.

Канат должен быть снят с эксплуатации и заменен другим, если потеря сечения металла достигнет:

а) 10 % –для головных канатов людских и грузолюдских двухканатных установок, не оборудованных парашютами, а также для тормозных канатов парашютов;

б) 15 % – для подъемных канатов с металлическим сердечником, трехграннопрядных, с круглыми пластически обжатыми прядями;

в) 18 % – для круглопрядных канатов с органическим сердечником на людских и грузолюдских подъемах, а также диаметром 45 мм и менее на грузовых подъемах;

г) 20 % – для круглопрядных канатов диаметром более 45 мм с органическим сердечником на грузовых подъемах;

д) 24 % – для уравновешивающих канатов.

Если в случае экстренного напряжения каната (резкая остановка подъемной машины и т.п.) он оказался поврежденным или получил удлинение (на участке, подвергнувшемся экстренному напряжению) на 0,5 % и более, то канат должен быть заменен.

Запрещается продолжать работу канатами с видимыми структурными изменениями типа «штопор», «фонарь», волнистость, обрыв прядей и выход сердечника, с узлами, «жучками» и другими повреждениями.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Белый, В.Д., Лесин К.К., Самарский А.Ф. Выбор, навеска, эксплуатация и контроль состояния шахтных канатов. – М.: Недра, 1967. – 228.

2. Букштейн М.А. Производство стальных канатов. – М.: Металлургиздат, 1963. – 331 с.

3. ГОСТ 3241-91. Канаты стальные. Технические условия.– М.: Госстандарт, 1992. – 22 с.

4. Федеральные нормы и правила в области промышленной безопасности «Правила безопасности при ведении горных работ и переработке твердых полезных ископаемых». Сер. 03. Вып. 78 / ЗАО «Научно-технический центр исследований проблем промышленной безопасности». – М., 2014. – 276 с.

5. Инструкция по эксплуатации канатов в шахтных стволах калийных рудников ОАО «Уралкалий»; сост. А.П. Кошкин, Г.Д. Трифанов, С.В. Воробель [и др.] / ОАО «Уралкалий». – Пермь: Изд-во Перм. нац. исслед. политехн. ун-та, 2013. – 99 с.

6. Инструкция по эксплуатации стальных канатов в шахтных стволах (РД 03-439-02) Сер. 03. Вып. 13 / ГУП «НТЦ "Промышленная безопасность"». – М., 2002. – 216 с.

7. Канаты стальные. Сортамент. – М.: Госстандарт, 1990. – 192 с.

8. Малиновский В.А. Стальные канаты. Ч. I: Некоторые вопросы технологии, расчета и проектирования. – Одесса: Астропринт, 2001. – 188 с.

9. Мархель И.И. Крановые канаты: пособие механику. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Машиностроение, 1983 – 128 с.

10. Мольнар В.Г., Владимиров Ю.В. Технологические основы производства стальных канатов. – М.: Металлургиздат, 1975. – 200 с.

11. Глушко М.Ф. Стальные подъёмные канаты. – Киев: Техника, 1966. – 328 с.

12. Свидлер Р.П. Производство канатов. – М.: Металлургиздат, 1973. – 184 с.

13. Сергеев С.Т. Стальные канаты. – Киев: Техніка, 1974. – 328 с.

14. A. Stiepanov, A. Koskin A few words more on the properties of viscoelastic winding ropes // Minine hoisting ′96. Vol. 2: International Scientific and Tehnical Conference; 8 – 10 October 1996, Gliwice, Poland. – S. 65 – 68.

15. Методические указания о порядке проведения испытаний стальных канатов на канатно-испытательных станциях: РД-15-12–2007 (утв. приказ. Ростехнадзора от 31.07.2007 г. № 522). – М., 2007.

16. Методические указания по магнитной дефектоскопии стальных канатов: РД 03-348–00 (утв. пост. Госгортехнадзора России от 30.03.2000 г. № 11). – М., 2000.

Обозначение канатов согласно EN 12385-2:2002

Виды прядей:

V – трехгранная прядь с трехгранной центральной проволокой;

Q – овальная прядь;

P – плоская прядь.

Свивка:

M – крестовая свивка;

N – комбинированная свивка;

K – обжатая прядь.

Виды сердечников:

C – сердечник;

FC – органический сердечник;

NFC – из натуральных волокон;

SFC – из синтетических волокон;

WC – стальной сердечник;

WSC – выполненный в качестве проволочной пряди;

IWRC – выполненный в качестве отдельно свитого проволочного каната;

SPC – из массивного полимера.

Исполнение поверхности проволок:

U – без покрытия (светлая проволока);

B – цинковое покрытие класса B;

A – цинковое покрытие класса A;

B (Zn/Al) – покрытие из сплава цинка класса B;

A (ZN/Al) – покрытие из сплава цинка класса A.

Направление свивки и способ свивки:

Направление свивки пряди:

z – правое;

s – левое.

Направление свивки каната:

Z – правое;

S – левое;

sZ или zS – крестовая свивка;

zZ или sS – односторонняя свивка;

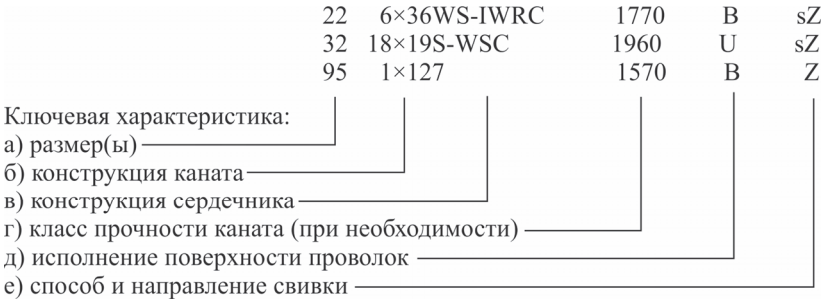
sS – левая;

zZ – правая;

aZ или aS – смешанная свивка;
aZ – правое;
aS – левое.

Структура обозначения канатов

Система включает в себя следующие сведения:
а) размер(ы);
б) конструкция каната;
в) конструкция сердечника;
г) при необходимости класс прочности каната;
д) исполнение поверхности проволок;
е) способ и направление свивки.
Ниже приведены примеры обозначения канатов



Условные обозначения форм сечений проволоки, пряди и каната приведены в табл. П1.1.

Таблица П1.1

Условные обозначения форм сечений

Форма сечения	Условное обозначение		
	Проволока	Прядь	Канат
1	2	3	4
Круглая	Без условного обозначения	Без условного обозначения	Без условного обозначения
Трехгранная	V	V	–
Распущенная проволока стержня	–	B[1]	–
Прямоугольная	R	–	–

Окончание табл. П1.1

1	2	3	4
Клинообразная	T	–	–
Овальная	Q	Q	–
Z-образная	Z	–	–
H-образная	H	–	–
Плоская или ленточная	–	P	–
Обжатая	–	K[2]	K[2]
Плетеная	–	–	BR
Плоская: – простое сшивание – двойное сшивание – крепление скобами	 – – –	 – – –	P PS PD PN

Примечания:

[1] Условное обозначение B показывает, что стержень пряди состоит из нескольких распущенных проволок. Оно следует за условным обозначением формы пряди, например, трехгранная прядь из 25 проволок с распущенной стержневой проволокой обозначается как V25B.

[2] Условное обозначение K означает дополнительный процесс обжатия и ставится перед условным обозначением формы пряди или каната, например, уплотненная круглая прядь или уплотненный канат обозначается как K, а обжатая овальная прядь как KQ.

Условные обозначения наиболее распространенных видов конструкции круглых прядей приведены в табл. П1.2.

Таблица П1.2

Условные обозначения видов наиболее распространенных конструкций прядей

Вид конструкции	Условное обозначение	Примеры конструкции пряди
1	2	3
Однослойная свивка	Без условного обозначения	6 т.е. (1–5) 7 т.е. (1–6)
Параллельная свивка: «Сил» «Уоррингтон» «Филлер»	 S W F	 17S т.е. (1–8–8) 19S т.е. (1–9–9) 19W т.е. (1–6–6+6) 21F т.е. (1–5–5F–10) 25F т.е. (1–6–6F–12) 29F т.е. (1–7–7F–14) 41F т.е. (1–8–8–8F–16)

Окончание табл. П1.2

1	2	3
Комбинированная параллельная свивка	WS	26WS т.е. (1–5–5+5–10) 31WS т.е. (1–6–6+6–12) 36WS т.е. (1–7–7+7–14) 41WS т.е. (1–8–8+8–16) 41WSF т.е. (1–8–8–8F–16) 46WS т.е. (1–9–9+9–18)
Свивка за несколько технологических операций (круглые пряди)		
Крестовая свивка	M	19M т.е. (1–6/12) 37M т.е. (1–6/12/18)
Комбинированная свивка[1]	N	35NW т.е. (1–6–6+6/16)

Примечание:

[1]N является дополнительным обозначением, которое стоит перед основным условным обозначением, например, NS обозначает комбинированный «сил», а NW – комбинированный «уоррингтон».

Для конструкций прядей, не указанных в табл. П1.2, обозначение пряди соответствует количеству проволок в пряди и форме пряди. Примеры обозначений приведены в табл. П1.3.

Таблица П1.3

Примеры обозначений прядей в соответствии с количеством проволок в пряди

Точная конструкция пряди	Обозначение пряди
1	2
Круглая прядь – параллельная свивка	
1–6–6F–12	37
1–7–7F–14	43
1–7–7–7F–14–14	50
1–8–8F–16–16	49
1–6/8F–16–16	49 или 55
1–9–9–9+9–18	55
1–6/9/9F–18–18	55 или 61
1–9–9–9F–18–18	64

Окончание табл. П1.3

1	2
Круглая прядь – комбинированная свивка 1–7–7+7–14/20–20 1–9–9–9+9–18/24–24	 76 103
Трехгранная прядь V–8 V–9 V–12/12 B–12/12 B–12/15	 V9 V10 V25 V25B V28B
Прядь с волоконным сердечником (как в обжатых/прокованных канатах с 3 и 4 прядями) FC–9/15 (овальная прядь в качестве сердечника каната 12×P6:3×Q24FC) FC–12–12 (волоконный стержень) FC–15–15 FC–9/15–15 FC–8–8+8–16 FC–12/15–15 FC–12/18–18	 Q24FC 24FC 30FC 39FC 40FC 42FC 48FC

Условные обозначения сердечников однослойных канатов, стержней параллельно свитых канатов и центральные элементы малокрутящихся канатов должны соответствовать табл. П1.4

Таблица П1.4

Условные обозначения сердечников, стержней параллельно свитых канатов и центральные элементы малокрутящихся канатов

Предмет или элемент	Условное обозначение
1	2
Однослойный канат: Органический сердечник – сердечник из натурального волокна – сердечник из синтетического волокна – сердечник из массивного полимера Стальной сердечник – сердечник проволочный	 FC NFC SFC SPC WC WSC

Окончание табл. П1.4

1	2
– проволочный сердечник отдельной свивки	IWRC
– проволочный сердечник из обжатых прядей отдельной свивки	IWRC(K)
– проволочный сердечник в полимерной оболочке отдельной свивки	EPIWRC
Канат параллельной свивки:	
– проволочный сердечник параллельной свивки	PWRC
– проволочный сердечник из обжатых прядей параллельной свивки	PWRC(K)
Малокрутящийся канат:	
центральный элемент:	
– волоконный сердечник	FC
– центральная прядь из проволок	WSC
– обжатая центральная прядь	KWSC

ПРИЛОЖЕНИЕ 2

Таблица П2

Соответствие канатов по отечественным и зарубежным стандартам

Россия	Германия	Япония	Англия	Франция
1	2	3	4	5
ГОСТ 2688-80	DIN 3059-72	JIS G3525-77 тип 36×19	BS 302 6×19(12/6/1) FC	NFA47-200-83 Группа 4 класс 6×19 орг. серд. (12+6+1)
ГОСТ 3062-80	DIN 3052-71	–	–	–
ГОСТ 3063-80	DIN 3053-72	–	–	–
ГОСТ 3064-80	DIN 3054-72	–	–	–
ГОСТ 3066-80	DIN 3055-72	–	BS 302 6×7(6/1) WSC	–
ГОСТ 3067-88	DIN 3060-72	–	BS 302 6×19(12/6/1)WSK	–
ГОСТ 3068-88	DIN 3066-72	–	–	–
ГОСТ 3069-80	DIN 3055-72	JIS G3525-77 тип 16×7	BS 302 6×7(6/1) FC	NFA47-200-83 Группа 1 класс 6×7 орг. серд. (6+1)
ГОСТ 3070-88	DIN 3060-72	JIS G3525-77 тип 36×19	BS 302 6×19(12/6/1) WSC	NFA47-200-83 Группа 4 класс 6×19 орг. серд. (12+6+1)
ГОСТ 3071-88	DIN 3066-72	JIS G3525-77 тип 66×37	BS 302 6×37(18/12/6/1) FC	NFA47-200-83 Группа 5 класс 6×37 орг. серд. (18+12+6+1)
ГОСТ 3077-80	DIN 3058-72	JIS G3525-77 тип 10 6×S (19)	BS 302 6×19(9/9/1) FC	–

Окончание табл. П2

1	2	3	4	5
ГОСТ 3079-80	–	JIS G3525-77 тип 226 6×WS (41)	–	–
ГОСТ 3081-80	DIN 3058-72	–	BS 302 6×19(9/9/1) WRC	–
ГОСТ 7668-80	DIN 3064-72	JIS G3525-77 тип 21 6×WC (36)	BS 302 6×36(14/7&7/7/1) FC	NFA47-200-83 Группа 3 класс 6×36 орг. серд. (14+7/7+7+1)
ГОСТ 7669-80	DIN 3064-72	–	BS 302 6×36(14/7&7/7/1) IWRC	NFA47-200-83 Группа 3 класс 6×36 орг. серд. (14+7/7+7+1)
ГОСТ 14954-80	DIN 3059-72	–	BS 302 6×19 (12/6+6F/1) IWRC	–
ГОСТ 16853-88	–	JIS G3525-77 тип 6×31	–	–

ПРИЛОЖЕНИЕ 3

Таблица П3

Рекомендации по применению стальных канатов

ГОСТ или ТУ	Рекомендуемые области применения																
	Подъемные	Лифтовые	Различные тали	Шахтный вертикальный подъ-ем	Шахтный наклонный подъем	Канатные проводники	Тормозные канаты	Уравновешивающие канаты	Для подвески оборудования при проходке	Экскаваторы	Дорожные машины	Подвесные канатные дороги и кабель-краны	Тяговые	Скип доменных печей	Металлургические краны	Буровые установки	Судовой подъем
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
ГОСТ 3062-80																	+
ГОСТ 3063-80																	+
ГОСТ 3064-80												+					
ГОСТ 2668-80	+	+	+	+	+						+		+	+	+	+	+
ГОСТ 3066-80																	
ГОСТ 3069-80			+										+				

Окончание табл. П3

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
ГОСТ 3077-80		+			+		+						+				+
ГОСТ 3061-80																	
ГОСТ 3065-80				+													
ГОСТ 7665-80		+	+											+			
ГОСТ 7667-80					+						+				+		
ГОСТ 7668-80	+			+				+	+	+				+	+		+
ГОСТ 7669-80				+	+												
ГОСТ 14954-80											+						
ГОСТ 16853-88																+	
ГОСТ 3090-73						+						+					
ГОСТ 7675-73						+						+					
ГОСТ 7676-73												+					
ГОСТ 18901-73						+						+					
ТУ 14-4-1394-86																	+
ТУ 14-4-1502-88									+								
ТУ 14-4-1136-81									+								
ТУ 14-4-1165-82																	
ТУ 14-4-1552-89				+					+								
ТУ 14-4-1291-84									+								
ТУ 14-4-788-77				+													
ТУ 14-4-496-74				+													
ТУ 14-4-438-73				+													
ТУ 14-4-121(122)-76																	+

Учебное издание

Кошкин Анатолий Петрович,
Трифанов Геннадий Дмитриевич

КАНАТЫ
ДЛЯ ПОДЪЕМНЫХ УСТАНОВОК

Учебное пособие

Редактор и корректор *И.Н. Жеганина*

Подписано в печать 20.11.2014. Формат 60×90/16.
Усл. печ. л. 6,75. Тираж 300 экз. Заказ 208/2014.

Издательство
Пермского национального исследовательского
политехнического университета
Адрес: 614000, г. Пермь, Комсомольский пр., 29, к. 113.
Тел. (342) 219-80-33