BE 2 RUSSE 2006_RU.qxd 4/10/06 9:23 Page 2

Щётки для электрических машин

ТЕХНИЧЕСКОЕ РУКОВОДСТВО

ISO 9001: 2000 | ISO 14001

CARBONE LORRAINE

BE 2 RUSSE 2006_RU.qxd 4/10/06 9:23 Page 3

СОДЕРЖАНИЕ

	Страница
Группы материалов	4
Основные характеристики марок материалов	6
Стандартизация щёточных марок	8
Области применения щёточных марок	9
Важные замечания	11
Формы и основные размеры щёток	12
Виды сборки щёток и крепёжные детали	13
Виды сборки разрезных щёток	14
Щётки на электрических машинах	15
Рекомендации по установке щёток на машины	20
Другие предоставляемые услуги	23
Как заказать щётки	23

Это оборудование должно использоваться по правилам техники безопасности U.T.E., изданным Техническим Союзом Электричества.
Предоставленная в этом каталоге информация дается только для сведения и ни в коем случае не привлечет ответственность CARBONE LORRAINE по какой бы ни было причине. Без заранее подписанного соглашения с CARBONE LORRAINE, любые интегральные или частичные копии, репродукции или переводы запрещены.

ГРУППЫ МАТЕРИАЛОВ

Имеются пять основных групп щёточных материалов, каждая из которых соответствует конкретному способу изготовления.

Очень удобно к определенным основным группам добавить подгруппу, указывающую на марку пропиточного материала. В Приложении BE 16-22 обсуждается вопрос и особые свойства пропитанных материалов.

Ниже приводится краткое описание способа изготовления каждой группы материалов (нами используются названия групп, указанные в таблице на страницах 6 и 7), их основные характеристики, основные области применения и пределы применения большинства марок группы.

A УГОЛЬНОГРАФИТНЫЕ ЩЁТКИ

Они изготавливаются из смесей, состоящих из порошков: аморфного углерода, натурального и искусственного графита, измельченного, просеянного и агломерированного со связующим веществом.

Увлажненные и высушенные смеси спрессовываются, и полученные таким образом пластины подвергаются термической обработке для спекания связующего вещества.

Характерные особенности

Щётки характеризуются хорошей коммутирующей способностью, хорошим полирующим действием и средним значением падения напряжения на контактах. Они устойчивы к высоким температурам и переменным нагрузкам.

Основные области применения

Старые низкооборотные машины с добавочными полюсами или без них, обычно работающие при низком напряжении. Современные машины, работающие с постоянными магнитами; серводвигатели; универсальные двигатели.

Предельные значения для применения

Плотность тока в щётках от 8 до 16 А/см^2 (максимум) в рабочем режиме, в зависимости от параметров.
Допустимая окружная скорость: до 25 м/с.

Примечание:
Имеется ассортимент марок угольнографитных щёток для современных двигателей с мощностью от десятых долей киловатта до нескольких киловатт. Эти изделия не указаны в данном техническом руководстве. Пожалуйста, обратитесь с запросами для получения специальной литературы.

EG ЭЛЕКТРОГРАФИТИРОВАННЫЕ ЩЁТКИ

Они изготавливаются из угольного порошка и кокса, а затем подвергаются термообработке при очень высокой температуре (выше 2500°C) для того, чтобы преобразовать исходный аморфный углерод в искусственный графит.

Характерные особенности

Эти щётки обладают средним значением падения напряжения на контактах и низким или средним коэффициентом трения; они характеризуются малыми потерями и хорошо приспособлены для применения при высоких скоростях.

Основные области применения

Для всех современных машин промышленного назначения, стационарных или тяговых, высокоскоростных, работающих при низком, среднем и высоком напряжении и при постоянных или переменных нагрузках.

Плотность тока в щётках:
от 8 до 12 А/см^2 (максимум) в установившемся рабочем режиме;
от 20 до 25 А/см^2 (максимум) при кратковременных пиках напряжения.
Допустимая окружная скорость: до 50 м/с.

LFC МЯГКОГРАФИТНЫЕ ЩЁТКИ

Основным компонентом является очищенный натуральный графит или предварительно измельченный искусственный графит, который затем смешивается с другими составляющими в четко определенных количествах, подвергается агломерации с соответствующими связующими веществами и отжигается для спекания связующего вещества.

Характерные особенности

Мягкие, эластичные щётки, обладающие очень высокой ударопрочностью и стойкостью к механическим вибрациям. Обычно они обладают хорошей полирующей способностью.

Основные области применения

Контактные кольца из стали или нержавеющей стали для высокоскоростных асинхронных или синхронных электрических машин.

Предельные значения для применения

Плотность тока в щётках: от 10 до 13 А/см^2 (максимум).
Допустимая окружная скорость: от 75 до 90 м/с (даже до 100 м/с).

CG-MC МЕТАЛЛОГРАФИТНЫЕ ЩЁТКИ (CG - MC - CA)

Эти щётки изготавливаются посредством смешивания в соответствующих пропорциях очищенного натурального графита и порошковой меди с добавлением порошков других металлов. Затем смешанные порошки спрессовываются и подвергаются отжигу в определенной атмосфере и при температуре, подобранной для придания необходимой степени твердости и когезионной прочности.

К этой же группе металлографитных щёток относятся и щётки (EG и A), которые подвергаются пропитке под давлением чистой расплавленной медью или смесью расплавленной меди, серебра или солей металлов (металлографитные щётки с пропиткой смотрите на странице 7).

Характерные особенности

Плотные или очень плотные щётки с низким коэффициентом трения и крайне незначительным падением напряжения на контактах, что обеспечивает очень малые электрические потери.

Основные области применения

Электрические машины постоянного тока, работающие с малой скоростью и при низком или очень низком напряжении. Бронзовые контактные кольца низкоскоростных асинхронных двигателей, работающих с большой нагрузкой, с устройством для подъёма щёток или без него. Контактные кольца низкоскоростных или среднескоростных синхронных двигателей. Обеспечивают высокий токосъем на вращающихся токоснимателях, специальных машинах, токосъёмных устройствах.

Предельные значения для применения

Плотность тока в щётках: от 12 до 30 А/см^2 (максимум) в постоянном рабочем режиме;
около 100 А/см^2 (максимум) при мгновенных пиках напряжения переходного процесса в зависимости от содержания металла.
Допустимая окружная скорость: до 35 м/с, в зависимости от содержания металла.

Примечание:

Имеется ассортимент марок меднографитных и металлографитных материалов, которые обеспечивают возможность уникального формования серийно изготавливаемых щёток для низковольтных электрических машин. Эти изделия не указаны в данном техническом руководстве. Пожалуйста, обращайтесь с запросами для получения специальной литературы.

BG БАКЕЛИТОГРАФИТНЫЕ ЩЁТКИ

Натуральный или искусственный графит измельчается и подвергается агломерации с отвердевающей при нагревании бакелитовой смолой. Смесь прессуется и подвергается полимеризации при соответствующей температуре.

Характерные особенности

Щётки характеризуются: высоким механическим и электрическим сопротивлением, хорошей коммутирующей способностью, хорошим полирующим свойством, высоким падением напряжения на контактах и, следовательно, высокими электрическими потерями. Они могут работать при очень малых значениях плотности тока.

Основные области применения

Коллекторные электродвигатели переменного тока с параллельным возбуждением Шраге (Schrage) или Шора (Schorch). Некоторые электрические двигатели постоянного тока, тяговые и стационарные, работающие со средней скоростью и нагрузкой.

Предельные значения для применения

Максимально допустимая плотность тока в щётках: зависит от марки (они лучше работают при пониженной плотности тока).
Допустимая окружная скорость: до 40 м/с.

Примечание:

Имеется ассортимент агломерированных смолой марок, которые можно изготавливать методом поштучной формовки для много серийного производства щёток для современных двигателей с мощностью от десятых долей киловатта до нескольких киловатт. Пожалуйста, обращайтесь с запросами для получения специальной литературы.

ОСНОВНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ

ГРУППЫ МАРОК МАТЕРИАЛОВ	МАРКА	Кажущаяся плотность г/см³	Удельное сопротив-ление μОм.см	Твердость по Шору	Предел прочности на изгиб МПа	Падение напряже-ния на контактах ΔU, вольт	Трение	Макс. плотность тока А/см²	Верхний предел окружной скорости м/сек	Содер-жание металла %
Угольно-графитные	A 121	1,75	2 200	30	25	M	B	12 до 20	⩽ 15	
	A 122	1,67	45 000	27	20	E	B	10 до 12	⩽ 15	
	A 176	1,60	52 500	40	20	E	B	8 до 10	30	
	A 210	1,57	25 000	30	16	M	B	8 до 10	⩽ 25	
	A 252	1,57	45 000	27	16	E	B	10 до 12	⩽ 25	
Мягко-графитные	LFC 501	1,46	1 900		8	M	M	6 до 10	75	
	LFC 554	1,26	2 000		10	M	M	11 до 13	90	
Электро-графитиро-ванные	EG 34D	1,60	1 100	35	25	M	M	12	50	
	EG 389P	1,49	1 600	29	19	M	M	12	50	
	EG 396	1,52	1 600	27	19	M	M	12	50	
	EG 362	1,62	2 500	35	21	M	M	12	50	
	EG 40P	1,62	3 200	57	27	M	M	12	50	
	EG 313	1,70	4 700	54	21	M	B	12	50	
	EG 367	1,53	4 100	48	21	M	M	12	50	
	EG 332	1,52	4 200	48	21	M	M	12	50	
	EG 387	1,63	3 300	60	39	M	M	12	50	
	EG 300	1,57	4 200	58	24	M	B/M	12	50	
	EG 98	1,60	3 400	60	33	M	M	12	50	
	EG 369	1,57	5 100	55	25	M	M	12	50	
	EG 319P	1,46	7 200	52	26	E	M	12	50	
	EG 321	1,46	6 600	54	26	E	M	12	50	
	EG 365	1,62	5 300	48	15	M	M	12	50	
Электро-графитиро-ванные с пропиткой	EG 7099	1,72	1 150	40	34	M	M	12	45	
	EG 9599	1,61	1 600	33	28	M	M	12	45	
	EG 9117	1,69	3 300	77	32	M	M	12	50	
	EG 8019	1,77	4 700	77	31	M	M	12	45	
	EG 8067	1,67	3 900	77	36	M	M	12	45	
	EG 8220	1,82	5 000	90	48	M	M	12	50	
	EG 7097	1,68	4 000	80	35	M	M	12	50	
	EG 341	1,57	7 025	74	34	E	M	12	50	
	EG 364	1,58	6 500	73	35	E	M	12	50	
	EG 6489	1,57	6 900	75	35	E	M	12	50	

ПАДЕНИЕ НАПРЯЖЕНИЯ НА КОНТАКТАХ

Величины **падения напряжения на контактах и трения** приведены с использованием условных обозначений, имеющих следующее значение

Условное обозначение	Значение	Падение напряжения на контактах в вольтах, Сумма обеих полярностей	Трение
E	Большое	E > 3	E > 0,20
M	Среднее	2,3 < M < 3	0,12 < M < 0,20
B	Малое	1,4 < B < 2,3	B < 0,12
TB	Очень малое	0,5 < TB < 1,4	
TTB	Чрезвычайно малое	TTB < 0,5	

МАРОК МАТЕРИАЛОВ

ГРУППЫ МАРОК МАТЕРИАЛОВ	МАРКА	Кажущаяся плотность	Удельное сопротив-ление µОм.см	Твердость по Шору	Предел прочности на изгиб МПа	Падение напряже-ния на контактах ΔU, вольт	Трение	Макс. плотность тока А/см²	Верхний предел окружной скорости м/сек	Содер-жание металла %
Бакелито-графитные	BG 412	1,82	14 000		36	E	M	8 до 10	35	
	BG 469	1,80	10 000		34	E	M	6 до 8	35	
	BG 400	1,50	25 000		25	E	M	8 до 10	40	
Металло-графитные	C 6958	2,50	350		30	TB	M	10 до 25	⩽ 32	25
	CG 33	2,30	500		27	TB/B	B	10 до 12	40	30
	C 8386	2,80	100		29	TB	B/M	20 до 30	⩽ 30	46
	CG 651	2,95	130		30	TB	B	12 до 14	35	49
	CG 665	4,05	30		50	TB	B	15 до 20	30	65
1 - Агломериро-ванные	CG 75	4,65	12			TTB	B	16	25	77
	OMC	6,00	7		77	TTB	B	25 до 30	20	90
	MC 79P	5,20	7		98	TTB	B/M	25 до 30	20	83
	MC 12	6,00	32		173	TTB	B/M	25 до 30	20	91
	MC 689	5,95	23		138	TTB	B/M	25 до 30	20	89
2 - Металло-графитные с пропиткой	M 609 (4)	2,00	450	35	38	TB/TTB	TTB	12 до 15	35	45
	M 673 (4)	1,72	1 100	35	26	TTB	E	10 до 12	40	5,5
	M 9426	1,62	1 775	24	16	TTB	M	12 до 15	45	9
	M 621	3,00	500	34	39	TTB	M	40	40	44
	M 9020	1,75	2 700	68	37	B		12 до 15	45	5
	M 8295	1,80	1 775	54	34	TTB	M	12 до 15	45	9

Примечание:
Наши стандартные марки выделены в белой рамке.
1) 1МПа (МегаПаскаль)=10daN/cm2 (декаНьютон/см2) и 1кПа(килоПаскаль)=10cN/cm2 (сантиНьютон/см²).
2) Другое обозначение LFC3=KK1.
3) Описание серебряно-графитовых марок смотрите в нашей публикации "Серебряно-графитовые щётки": Ссылка BE 205.
4) Обращайться к нам.

И ТРЕНИЕ

Величины **падения напряжения на контактах и трения** измерены в лаборатории на медных коллекторах с пазами при следующих условиях:

Элементы	Падение напряжения	Трение
Ток	постоянный ток	
Плотность тока	10 А/см²	10 А/см²
Окружная скорость	12,5 м/с	25 м/с
Нажатие на щётку	18 кПа	
Температура	65-70°C	
Тип щётки	радиальный	

Пределы плотности тока и окружной скорости основаны на результатах наблюдений на реальных машинах, находящихся в хорошем состоянии и работающих в нормальных условиях.

СТАНДАРТИЗАЦИЯ ЩЁТОЧНЫХ МАРОК

Все больше отраслей промышленности высказывают пожелание уменьшить количество используемых типов щёток и марок щёточных материалов.

Эта операция не представляет больших трудностей для простых областей применения в большинстве случаев.

В приведенной ниже таблице мы поставили в соответствие марки старых и новых материалов, по их общим свойствам.

Стандартизация щёток, для сложных машин, требует тщательного рассмотрения всех параметров в каждом конкретном случае.

При возникновении подобной проблемы Вы можете воспользоваться услугами наших технических служб.

Обращайтесь, пожалуйста, во Францию, в наше Бюро Технического Обслуживания по телефону: +33 (0)3 22 54 45 60 Факс: +33 (0)3 22 54 46 08.

ГРУППЫ МАРОК МАТЕРИАЛОВ	СТАРЫЕ МАРКИ	НОВЫЕ МАРКИ
ЭЛЕКТРО-ГРАФИТИРОВАННЫЕ МАРКИ	EGAD - EGA - EG 344 EG - X - 274 - Z - EG 389 EG 97 - EG 97B - EG 72 EG 306 EG 98B - EG 43 - EG 99 - EG 99B EG 5309N - EG 5309D - EG 20N - EG 25 EG 48P EG 70 - EG 70D - EG 48 - EG 316 - EG 300P EG 319	EG 34D EG 389P - EG 396 EG 367 - EG 313 EG 332 EG 98 EG 309 - EG 369 EG 98P EG 300 ou A 176* EG 319P ou EG 321*
ГРАФИТНЫЕ МАРКИ	LFC 2 - LFC - LFC 60 - LFC 3BS LFC 76 - LFC 4 - LFC 557 A 107 - A 141	LFC 501 LFC 554* A 176 - A 121* - A 252
МЕТАЛЛОГРАФИТНЫЕ МАРКИ	CG 50 - CG 2 - M 609 - M 685 - MK 45 CG 65 - CG 3371 - CG 653 - CG 6535 CG 3 - CG 4 - MC 94 MC - MC 3702 MC 1 - MC 22 - MC 2 MK 75 - MK 75E	CG 651 CG 665 MC 79P OMC - MC 79P MC 12 CG 75
БАКЕЛИТОГРАФИТНЫЕ МАРКИ	BG 62 - BG 417 - BG 404 BG 530 - BG 540	BG 412 - BG 469* BG 400 - A 104*

* Обращайтесь к нам.

ОБЛАСТИ ПРИМЕНЕНИЯ ЩЁТОЧНЫХ МАРОК

В данной таблице машины объединены в соответствующие группы по схожим условиям работы щёток (плотность тока, окружная скорость и прикладываемое к щётке нажатие).

Для каждой группы машин указаны наиболее часто используемые марки щёточных материалов.

Порядок указания марок не выявляет ни какого предпочтения той или иной марки для данного применения.

Никогда не используйте щётки различных марок на одном контактном кольце или коллекторе. (См. информацию об исключениях из этого правила в Техническом приложении STA BE 16-6).

СТАЦИОНАРНЫЕ КОЛЛЕКТОРНЫЕ МАШИНЫ

Тип тока	Плотность тока A/см²	Окружная Скорость м/сек	Нажатие на щётку, кПа	Марки
ПОСТОЯННЫЙ ТОК				
Старые электрические машины без добавочных полюсов	6	15	18	EG 40P · A 176 · EG 389P · EG 396
Низковольтные машины (всех мощностей)				
Судовые возбудители турбогенераторов переменного тока от 30 до 50 В	4-8	25	18	LFC 3 · EG 98 · EG 7099 · CG 651
Сварочные генераторы от 30 до 50 В	0-20	< 20	18	EG 389P · EG 98B · EG 367 · EG 309 EG 396 · EG 313
Электромашины промышленного назначения (110-750 В)				
Электродвигатели общего назначения (высокоскоростные)	8-12	20-45	18	EG 34D · EG 313 · EG 367 · EG 389P
Возбудители гидрогенераторов переменного тока	8-12	< 20	18	EG 34D · EG 7099 · EG 389P · EG 9599
Возбудители паротурбогенераторов переменного тока	8-10	35-50	18	EG 98 · BG 412 · EG 367 · EG 369 EG 9599
Подвозбудители	2-5	< 35	18	EG 34D · EG 389P · BG 412
Амплидины (электромашинные усилители с поперечным полем)	4-12	25	18	S-EG 34D · EG 389P
Генераторы Illgner и Ward Leonard (всех скоростей)	4-12	20-35	18	EG 98 · EG 389P · EG 98P
Генераторы и электродвигатели для бумагоделательных машин	4-12	35	18	S-EG 34D · EG 396 · EG 9599 · EG 7099 EG 34D · EG 389P/J · BG 469 · EG 6489 EG 313
Судовые генераторы	4-12	20-35	18	EG 34D · EG 389P · EG 7099 · EG 6732* · EG 313
Реверсивные электродвигатели	8-20	0-15	18	EG 332 · EG 319P · EG 369 · EG 321 EG 313
Электродвигатели для прокатных станов	8-15	20-35	18	EG 389P · EG 40P · EG 319P · EG 6489 EG 313 EG 321
Электродвигатели шахтных и подъемных машин	12	25	18	EG 309 · EG 332 · EG 369 · EG 313
Закрытые электродвигатели	10-12		18	EG 9117 · EG 8067 · EG 7593
ПЕРЕМЕННЫЙ ТОК				
Однофазные и репульсионные электродвигатели	8	5-15	18	EG 98 · EG 332 · A 252
Трехфазные электродвигатели типа Шраге	8-12	5-35	18	BG 412 · BG 469* · BG 400 · EG 367*
Трехфазные электродвигатели типа Шора	10-14	5-35	18	BG 28* · BG 469 · EG 98 · EG 367 BG 400
Электромашины Шербиуса	7-9	30	18	EG 98B · EG 389P · EG 396 · EG 313 LFC 554

* Эти щётки могут быть сделаны по запросу либо многослойного типа (2 детали одинаковой марки), либо слоистого типа (BG/EG), при условии, что толщина в тангенциальном направлении "t" более 6 мм.

ТЯГОВЫЕ КОЛЛЕКТОРНЫЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ МАШИНЫ

Тип тока	Плотность тока A/см²	Окружная Скорость м/сек	Нажатие на щётку, кПа	Марки
ПОСТОЯННЫЙ ТОК				
Тяговые электродвигатели малой мощности	8-12	40-50	30-40 EG 7823	EG 34D · EG 98 · EG 8285 · EG 7099 EG 365 · EG 9599 · EG 8067 · EG 364
Мощные тяговые электродвигатели				
Старые электродвигатели	10-12	< 45	< 35	EG 34D · EG 98B · EG 98P
Современные электродвигатели	> 12	> 45	35	EG 337** · EG 300 · EG 9117 · EG 365 EG 8067 · EG 9049 · EG 7097 · EG 7045 EG 9041 · EG 6754 · EG 364 · EG 5563
Дизель-электрическая тяга (Электровозы и электрогрузовики)				
Генераторы переменного тока	10-14	40	25	EG 389 · EG 98/T · EG 300 · EG 7099 EG 8067 · AC 137
Генераторы переменного тока (возбудители)	8-12	< 50	22	EG 34D · EG 389P
Электродвигатели	15	45	35	EG 7099 · EG 8067 · EG 7097 EG 6754 · EG 6948
Двигатели погрузочно-разгрузочных устройств (низковольтные)				
Открытого типа	15-20	10-25	35	EG 40P · A 121 · M 621 · C 7788
ВЫПРЯМЛЕННЫЙ ТОК				
Мощные тяговые электродвигатели				
Современные электродвигатели	12-15	50	35	EG 367** · EG 300 · EG 8067 EG 9049 · EG 7097 EG 9041 · EG 6754 · EG 5563 · EG 7823
ПЕРЕМЕННЫЙ ТОК				
Мощные тяговые электродвигатели $16^{2/3}$ и 50 Гц				
Электродвигатели	12-16	45	25	EG 367** · EG 8067 · EG 7097 · EG 364 EG 5563 · EG 7823

** Эта марка не рекомендуется при толщине щётки (или слоев) менее 8 мм.

ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ МАШИНЫ С КОНТАКТНЫМИ КОЛЬЦАМИ

Тип тока	Металл кольца	Плотность тока A/см²	Скорость м/сек	Нажатие на щётку, кПа	Марки
ОБРАТНЫЙ ТОК	Сталь-бронза	ϵ — 30	3-8	35-40	MC 689 · MC 12 · MC 79P · MC 664
ПОСТОЯННЫЙ ТОК					
Токовые ролики для лужения	Бронза	20-30	3	18-40	MC 12 · MC 79P · MC 664
Синхронные электрические машины	Нерж. сталь	11-13	100	13-18	LFC 554
С канавками 3000 об/мин	Сталь	6-10	70-80	15-18	LFC 501
или 1500 об/мин	Сталь-бронза	8-12	≤ 40	18	CG 665 · CG 651 (Бронза) EG 34D · EG 389P (Сталь)
гладкие ≤ 500 об/мин	Чугун	6-10	≤ 20	18	EG 34D · EG 389P
Для работы в среде водорода	Сталь-бронза	5-8	25	18	EG 34D/J · M 5155*
ПЕРЕМЕННЫЙ ТОК					
Асинхронные электрические машины с фазным ротором(STA 16-42)					
Открытого исполнения	Сталь-бронза	12-16	15-25	18	CG 665 · CG 651 · EG 34D · EG 389P
Закрытого типа	Сталь-медь-никель	6-8	15-25	18	EG 34D · CG 33
Двигатели с устройством для подъёма щёток	Сталь-бронза	25-30	20-25	18	MC 12 · OMC · MC 79P
Скоростные асинхронные (насосы, вентиляторы)	Бронза	8-10	50	18	EG 389P · EG 34D · M 9426
Синхронные индукционные электромашины	Бронза	8-12	15-40	18	CG 33 · M 609 · M 673 · M 9426
Ветрогенераторы	Сталь-углерод	12-15	45	18	M 8285 · M 9426

* Обращайтесь к нам (M 8295)

ВАЖНЫЕ ЗАМЕЧАНИЯ

АССОРТИМЕНТ

На нашем складе имеются в наличии щётки различных конструкций и марок, которые сертифицированы большинством фирм-изготовителей электрических машин. Кроме того, эти типы обычно отвечают рекомендациям Международной Электротехнической Комиссии (МЭК) (IEC).

ПОЛНЫЙ ИДЕНТИФИКАЦИОННЫЙ ПЕРЕЧЕНЬ

По просьбе заказчика, мы делаем полный перечень щёток (с чертежами их моделей), которые установлены на разных машинах предприятия заказчика. Этот перечень облегчит задачу отдела технического обслуживания предприятия при идентификации и заказе запасных щёток.

ОПРОСНЫЕ ЛИСТЫ

В конце настоящего Руководства (с. 26 и 26) вы найдете опросный лист (ссылка BE 5), который отвечает рекомендациям МЭК. Для идентификации нужной вам щётки, пригодной для конкретного случая применения, необходимо тщательно заполнить опросный лист и направить нам. По просьбе заказчика мы высылаем отдельные опросные листы.

УСТАНОВКА

Установка щёток изучалась в сотрудничестве с разработчиками машин и щёткодержателей. Щётки выполнены рационально, поскольку учитывают технологические проблемы, связанные с марками, способом изготовления и видами механической обработки, а также они прошли длительные испытания. Поэтому мы рекомендуем не вносить изменения в их конструкции, если на это нет основательных причин. Когда все-таки изменения производятся, мы рекомендуем не вносить изменения в чертежи щёток без согласования с нашими техническими службами.

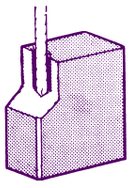
ТОКОВЕДУЩИЕ ПРОВОДА

Токоведущие провода, используемые для наших щёток, имеют следующие характеристики:

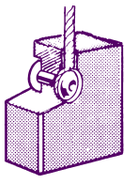
Диаметр (мм)	1,6	1,8	2	2,2	2,5	2,8	3,2	3,6	4	4,5	5	5,6	6,3
Номинальный ток (А)	15	17	20	24	28	32	38	44	50	60	75	85	100

Все токоведущие провода могут быть сделаны из лужёного провода.

ОСНОВНЫЕ СПОСОБЫ ФИКСАЦИИ ТОКОВЕДУЩИХ ПРОВОДОВ НА ЩЁТКЕ



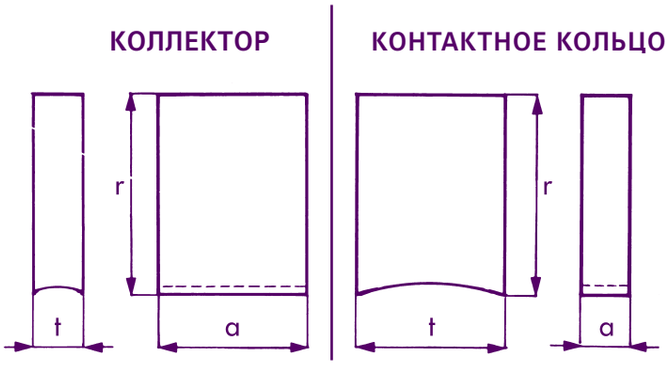
Фиксация набивкой
Проводящий порошок механически вдавливается в отверстие вокруг токоведущих проводов.
Этот процесс пригоден для всех марок щёток, являющихся достаточно твердыми, чтобы выдерживать набивку (марки EG и CG).



Фиксация с помощью заклепки
Этот процесс применяется для хрупких марок, которые не выдерживают набивку, в частности, марки LFC (мягкий графит).
Перед установкой заклепки из провода делается петля .

ФОРМЫ И ОСНОВНЫЕ РАЗМЕРЫ ЩЁТОК

РАЗМЕРЫ t - a - r



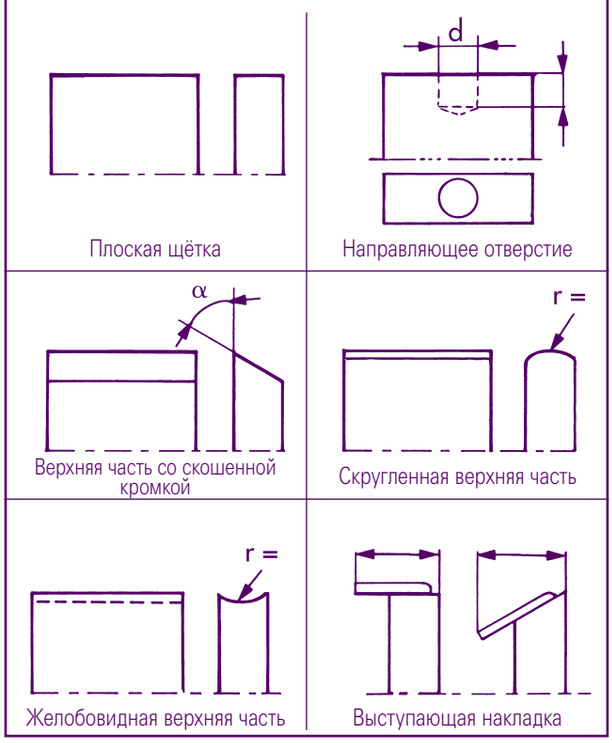
Размеры должны быть указаны в номинальных величинах в такой последовательности "t" - "a" - "r" (тангециальный размер, аксиальный размер, радиальный размер), как рекомендовано МЭК.

Радиальный размер "r" может быть дан приблизительно.

Поскольку применяется как метрическая, так и не метрическая система единиц, необходимо удостовериться, особенно для размеров "t" и "a", в том, что щётка и щёткодержатель принадлежат к первой или ко второй системе единиц измерения, так как возможна путаница из-за размеров, указанных в дюймах и миллиметрах.

Пример: *12,5 мм и 1/2" (дюйма) (12,7) - 16 мм и 5/8" (15,87).*

ВЕРХ ЩЁТКИ



Плоская щётка

Направляющее отверстие

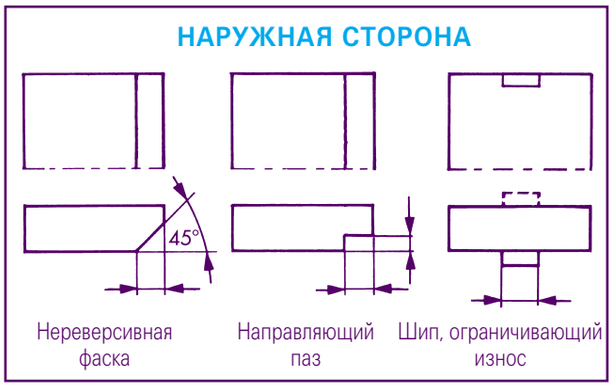
Верхняя часть со скошенной кромкой

Скругленная верхняя часть

Желобовидная верхняя часть

Выступающая накладка

НАРУЖНАЯ СТОРОНА

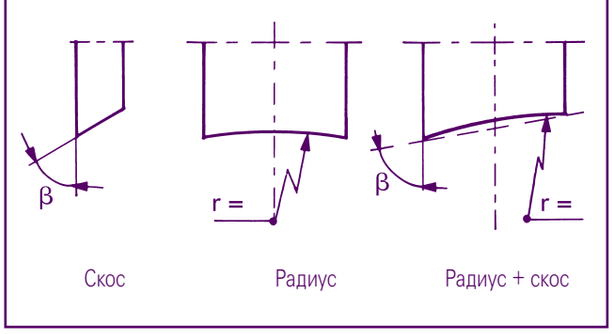


Нереверсивная фаска

Направляющий паз

Шип, ограничивающий износ

КОНТАКТНАЯ ПОВЕРХНОСТЬ

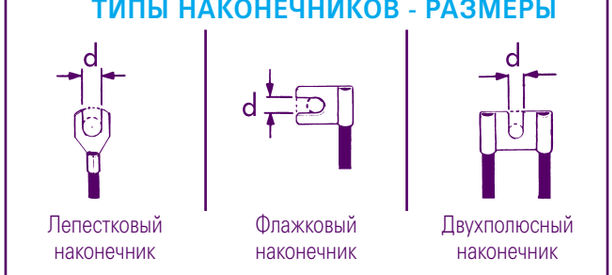


Скос

Радиус

Радиус + скос

ТИПЫ НАКОНЕЧНИКОВ - РАЗМЕРЫ



Лепестковый наконечник

Флажковый наконечник

Двухполюсный наконечник

Размеры пазов и отверстий

ø болта (мм)	2,5	3	4	5	6	8	10
d (мм)	2,8	3,4	4,3	5,2	6,5	8,5	10,5

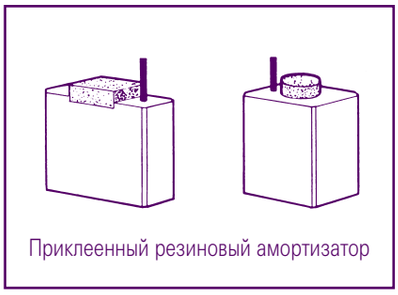
ДЛИНА ТОКОВЕДУЩЕГО ПРОВОДА

Стандартные значения L (мм)

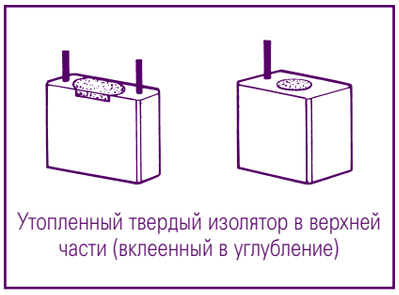
16 - 20 - 25 - 32 - 40 - 50 - 56 - 63 - 71

80 - 90 - 100 - 112 - 125 - 140 - 160

ВИДЫ СБОРКИ ЩЁТОК И КРЕПЕЖНЫЕ ДЕТАЛИ

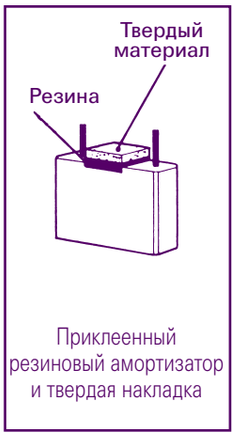


Приклеенный резиновый амортизатор



Утопленный твердый изолятор в верхней части (вклеенный в углубление)

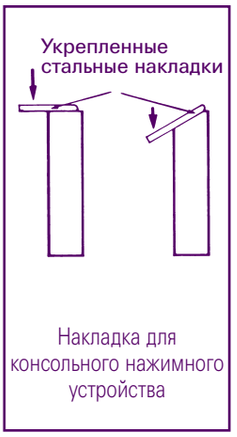
Металлические накладки, зафиксированные с помощью заклепок



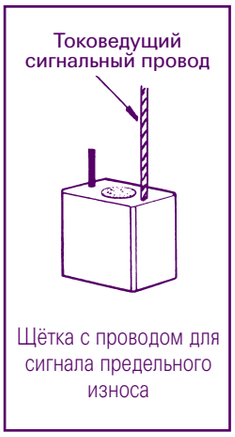
Приклеенный резиновый амортизатор и твердая накладка

РРезиновый амортизатор и твердая накладка (две накладки удерживаются двумя токоведущими проводами и не приклеены)

Ограничители предельного износа - пластмассовые шипы



Накладка для консольного нажимного устройства



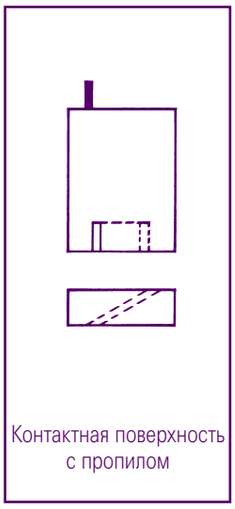
Щётка с проводом для сигнала предельного износа

Щётка со съемной верхней частью для токовых роликов для лужения

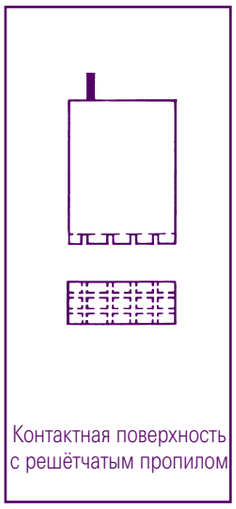
Одиночная

Разрезная щётка

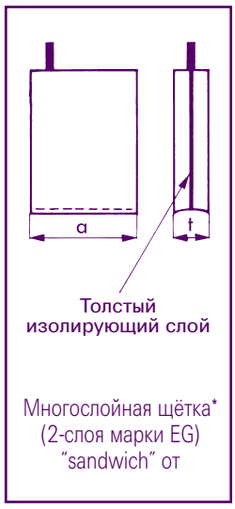
Антипылевые канавки и выемки
(См. Техническое приложение STA BE 16-13)



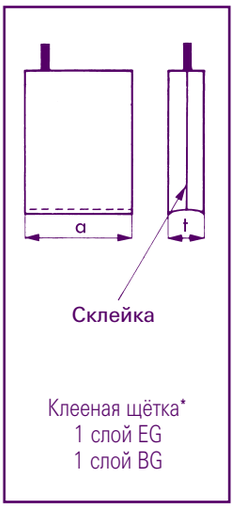
Контактная поверхность с пропилом



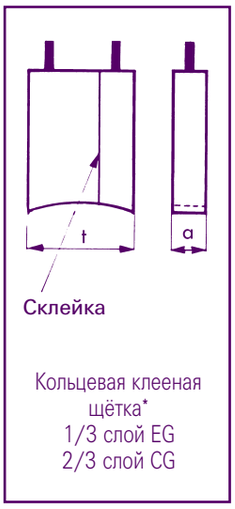
Контактная поверхность с решётчатым пропилом



Многослойная щётка*
(2-слоя марки EG)
“sandwich” от



Клееная щётка*
1 слой EG
1 слой BG



Кольцевая клееная щётка*
1/3 слой EG
2/3 слой CG

* Смотрите Техническое приложение STA BE 16-19

ВИДЫ СБОРКИ РАЗРЕЗНЫХ ЩЁТОК

МЕТАЛЛИЧЕСКИЕ НАКЛАДКИ

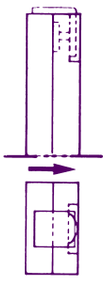


Рис. 1

Рис. 2

Сборки щёток с металлическими накладками наиболее распространены и используются с давних пор.
Они используются на нереверсивных электрических машинах, но они не оптимальны для реверсивных машин, поскольку механическая устойчивость щётки лучше при одном направлении вращения, чем при его изменении. На нереверсивных машинах щётка должна устанавливаться в обойму щёткодержателя, чтобы полущётка с металлической накладкой была в непереднем положении по отношению к направлению вращения.

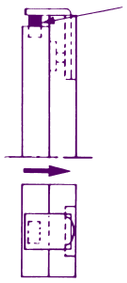


Рис. 3

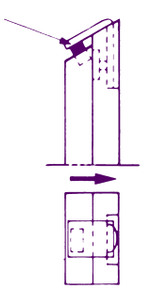


Рис. 4

Резиновая прокладка без металлической верхней накладки, вставляемая или приклеиваемая на полущётку, значительно повышает механическую устойчивость щётки (рис. 3 и 4).

ПРИКЛЕИВАЕМЫЙ РЕЗИНОВЫЙ МОСТИК

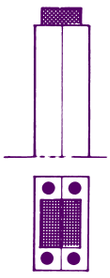


Рис. 5

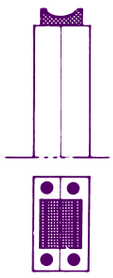


Рис. 6

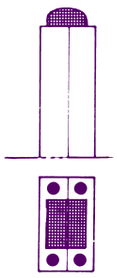


Рис. 7

Такая сборка является симметричной и подходит для обоих направлений вращения, но нажатие направлено в одну точку - точку контакта нажимного пальца. Кроме того, высокий коэффициент трения резины ухудшает скольжение пальца по верхней части, по мере износа щётки.

РЕЗИНОВЫЙ АМОРТИЗАТОР И ТВЕРДАЯ НАКЛАДКА

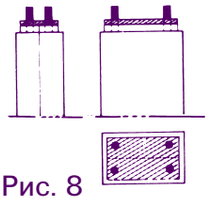


Рис. 8

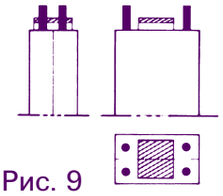


Рис. 9

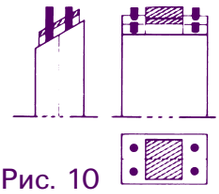


Рис. 10

Расположенная непосредственно на щётке резиновая прокладка находится под твёрдой неметаллической накладкой Эти 2 детали могут быть быть приклеены к щётке(рис. 9 и 10); могут быть склеены или несклеены между собой и не приклеены к щётке, а удерживаться токоведущими проводами (рис. 8)

SILESS I SILESS II

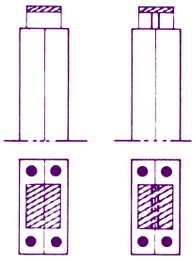


Рис. 11

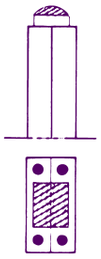


Рис. 12

Рис. 13

Когда 2 накладки склеены друг с другом и приклеены к щётке с использованием эластомерной резины, такая сборка называется SILESS (рис. 11)
SILESS I - моноблочный амортизатор
SILESS II - расщепленный амортизатор.
Разделение резиновой прокладки (SILESS II) увеличивает относительную подвижность каждой части, и об этом преимуществе надо помнить в случае реверсивных двигателей.
Примечание: *В зависимости от формы нажимного пальца накладка может быть сверху скруглена (рис. 12) или быть с выемкой (рис. 13).*

КЛИНОВОЕ УСТРОЙСТВО С РЕЗИНОВОЙ ПРОКЛАДКОЙ И ТВЕРДОЙ ВЕРХНЕЙ НАКЛАДКОЙ SILESS

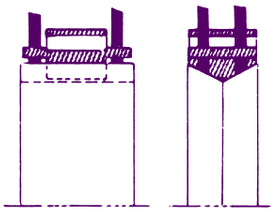


Рис. 14

В такой конструкции сочетаются преимущества эластомерной резиновой накладки с распространяющимся на 120° действием мостика. Это позволяет вдавливать токоведущий провод непосредственно в каждую пластину. Эта конструкция обычно используется в машинах с частым реверсированием.

ЩЁТКИ НА ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ МАШИНАХ

Щётки играют важную роль в работе электрических машин, а чтобы они могли четко выполнять свое назначение, им надо обеспечить определенный механический "комфорт", адекватную токовую нагрузку и надлежащие условия окружающей среды.

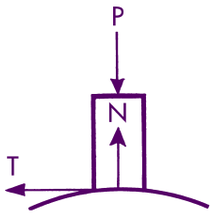
В приведенном ниже кратком исследовании мы коснемся основных "чувствительных точек" щёток, которые можно сгруппировать под тремя заголовками:
Механические, электрические и химические факторы.

Попутно мы будем указывать номера Технических приложений (STA), в которых эти аспекты рассматриваются более подробно. (Технические приложения высылаются по запросу).

МЕХАНИЧЕСКИЕ ФАКТОРЫ

Коэффициент трения

Коэффициент трения f - это отношение между силой трения T, направленной по касательной, и силой N -нормальной силой опоры.



$$f = \frac{T}{N}$$

Сила N равна силе P, силе нажатия пружины, в случае радиальной позиции щётки, но она меньше P, когда щётки установлены под углом (Техническое приложение STA BE 16-7).

У трения нет фиксированного значения. Оно складывается из многих факторов, зависящих от марки щётки, скорости, нагрузки, состояния коллектора и условий окружающей среды.

Поэтому невозможно указать точное значение f для конкретной марки щётки, а можно привести только порядок величины, но и этого обычно достаточно для большинства расчетов параметров машин (Техническое приложение STA BE 16-8).

Состояние поверхности контактных колец и коллекторов (шероховатость)

У коллекторов и контактных колец поверхность должна быть и ни слишком гладкой (глянцевой), ни слишком грубой (Техническое приложение STA BE 16-1), при необходимости ее следует подогнать так, чтобы биение коллектора было в допустимых пределах (Техническое приложение STA BE 16-16).

На коллекторах часто причиной серьезных нарушений может быть неправильная продорожка канавок в слюде. Во избежание этого надо тщательно проверять, необходимую глубину продорожки, а также следить, чтобы не было расщепов на кромках пластин. С кромок пластин коллектора должны быть сняты фаски (Технические приложения STA BE 16-3 и 16-31 и рисунки L6 и T16).

На кольцах, особенно работающих при высокой окружной скорости, обычно имеется винтовая канавка, которая обеспечивает устойчивость щётки и предотвращает явление глянцевания поверхности. Для предотвращения быстрого износа щётки, важно снять фаску с кромок такой канавки (Техническое приложение STA BE 16-3).

Вибрации

Любые вибрации приводят к ухудшению контакта между щёткой и коллектором.

Их причина может заключаться в следующем:
- плохая сбалансированность, дефектные подшипники, несоосность (Техническое приложение STA BE 16-34);
- из-за внешнего оборудования связанного с машиной (зубчатое зацепление, муфты и ведомое или приводное оборудование);
- плохое или деформированное состояние коллектора (Техническое приложение STA BE 16-26);
- очень высокое или постоянно меняющееся трение в зависимости от неправильно подобранной марки щётки, загрязненной атмосферы, плохой политуры, неполной нагрузки машины, слабой шероховатости поверхности (глянцевания)...

Вибрационная система, создаваемая щёткой, пружиной и щёткодержателем с его опорой, может войти в резонанс; это часто приводит к серьезному разрушению щётки и даже щёткодержателя.

Вероятность этого можно свести к минимуму или даже устранить посредством выбора щётки: с другой твёрдостью по Шору, или щётки со скошенной контактной поверхностью, пассивного наклона щётки или реактивного (Техническое приложение STA BE 16-7), или щётки с резиновым или эластомерным амортизатором (смотрите страницу 13 "Виды сборки щёток" и Техническое приложение STA BE 16-2), разрезной щётки (Техническое приложение STA BE 16-49), марки, лучше соответствующей техническим параметрам машины или окружающей среды (Техническое приложение STA BE 16-22).

Нажатие на щётку

Рекомендуемое нажатие на щётку (Техническое приложение STA BE 16-27) для каждой марки материала находится в пределах между:

– малым нажатием, необходимым для уменьшения потерь на трение, но которое может привести к более высокому электрическому износу в результате искрения;
– и большим нажатием (Техническое приложение STA BE 16-46), которое позволяет снизить падение напряжения на контактах и, следовательно, электрический износ, но способствует износу за счет увеличения механической эрозии (Технические приложения STA BE 16-8 и 16-35).

Однако для конкретных областей применения (в тяговых устройствах, небольших электрических машинах и т.д.) предпочтительно иметь большое нажатие из-за сильных вибраций, для чего используются специально пропитанные щётки (Техническое приложение STA BE 16-22).

На контактном кольце или коллекторе нажатие на все щётки должно быть одинаковым, чтобы обеспечивалось равномерное распределение тока. Поэтому рекомендуется периодически выполнять тщательные проверки с помощью динамометра (смотрите наше Рекламное приложение BE 22-07).

Что касается щёткодержателей, у которых нажатие на щётку меняется по мере её износа, то рекомендуется перегруппировать щётки одинаковой длины по одной полярности, особенно для наиболее важных машин.

Щётка в обойме щёткодержателя.

Для хорошего функционирования щётка должна быть установлена в обойме щеткодержателя с определенным зазором от его стенок во избежание заклинивания щётки и должна удерживаться его стенками на определенной длине, во избежание биений. Допустимые нормы зазоров для щёток различных размеров в обойме щеткодержателя определены Международной Электротехнической Комиссией (МЭК), стандарты которой постепенно вступают в силу вместо старых национальных стандартов (Технические приложения STA BE 16-4 и 16-36).

В определенных случаях на поверхностях щёток создаются антипылевые канавки (Техническое приложение STA BE 16-13).

Чтобы уменьшить необходимость в частой замене щёток, были созданы щётки большой длины, то есть с увеличенной длиной износа. Они подходят только к щёткодержателям с постоянным нажатием. Такой тип щёткодержателя обеспечивает хорошее удержание щётки и постоянное нажатие по-мере износа щётки (Техническое приложение STA BE 16-17).

Как правило, щёткодержатели должны быть выровнены и установлены на расстоянии от 2 до 3 мм от контактного кольца или коллектора. Такие щёткодержатели необходимо регулярно проверять и очищать (Техническое приложение STA BE 16-20).

Расположение щёток

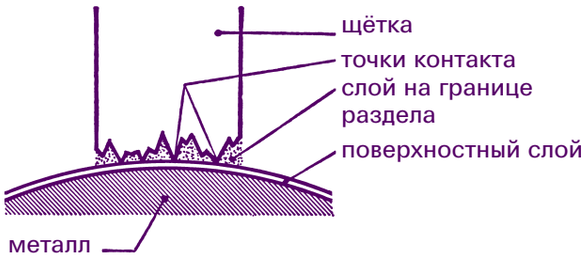
Боковое смещение линий щёток (бракетов) относительно друг друга называется “крепление со смещением по окружности” и оно должно выполняться точно в соответствии с правилами (Техническое приложение STA BE 16-9).

Важно отметить, что для улучшения устойчивости и коммутации, щётки должны быть правильно ориентированы относительно направления вращения коллектора, особенно, когда речь идет о щётках мягких марок. Мы отмечаем это направление при изготовлении щёток для коллекторов или контактных колец.

В случае щёток для контактных колец и, в частности, для склеенных щёток, могут возникнуть трудности в рациональной установке щёток (Техническое приложение STA BE 16-10).

ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ ФАКТОРЫ

ПАДЕНИЕ НАПРЯЖЕНИЯ НА КОНТАКТЕ



Это важная характеристика скользящих контактов, и она является скорее не электрическим свойством щётки или машины, а характерным свойством комплексной пленки (политуры), образуемой на кольце (коллекторе), и слоя на границе раздела сред.

Политура представляет собой смесь окислов металлов, угля и воды.

Слой на границе раздела является газообразным, ионизированным, содержащим частицы углерода в виде суспензии, а иногда тонкодисперсионную пыль.

Поэтому следует ожидать, что на падение напряжения при контакте будут оказывать влияние все факторы, которые могут изменять политуру или слой на границе раздела. Например: температура и влажность окружающей среды, атмосферные загрязнения, скорость вращения коллектора, нажатие, прикладываемое к щёткам, поперечные токи и сама природа щёток.

Снятая кривая падения напряжения на контакте четко отражает важное значение изменений таких факторов, так как видно, что они налагаются на основную характеристику в виде кратковременных колебаний из-за постоянно изменяющихся свойств этого оскользящего контакта.

Падение напряжения, указываемое для каждой из марок щёточных материалов, может представлять только среднее значение, полученное в течение четко определенного периода работы. Из-за трудности указания точных значений, они сгруппированы в пять классов, каждый из которых представляется условным обозначением (смотрите страницу 6).

Падение напряжения приводит к увеличению электрических потерь и нагреванию коллектора или контактного кольца (Техническое приложение STA BE 16-8) и оказывает влияние на коммутацию и распределение тока между щётками.

КОММУТАЦИЯ

На самом деле, явления коммутации, в результате которых часто возникает искрение на щётках, являются последствиями изменения направления тока в тех секциях якоря, которые на мгновение закорачиваются щётками.

Не следует путать коммутационное искрение с искрением, возникающим в результате механических причин (вибраций) или плохой настройки нейтрали (Технические приложения STA BE 16-18 и BE 16-33), либо неправильной взаимной настройки щёткодержателей, либо из-за повреждения изоляции обмоток или повреждений в конструкции коллектора, статических электронных преобразователях.

Имеется ряд приёмов, с помощью которых можно улучшить коммутацию электрической машины:
- использование многослойных (склеенных) щёток (Техническое приложение STA BE 16-19), которые ограничивают блуждающие (циркулирующие) токи и хорошо контролируют явления в поверхностном слое;
- расположение щёток по окружности со сдвигом разного вида в направлении вращения коллектора (Техническое приложение STA BE 16-23);
- использование разрезных или слоистых щёток, в которых использованы материалы разных марок.

РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ТОКА В ЩЁТКАХ

Ток не распределяется равномерно по всей контактной поверхности щётки. На самом деле, он проходит через различное количество зон со сравнительно малой площадью поверхности.

Приемные зоны постоянно меняются со временем и, если все идет хорошо, они перемещаются, задействуя в равной степени все части контактной поверхности.

Такое равновесие может быть нарушено. Зоны прохождения тока перегруппируются и их количество сокращается. Политура становится полосатой, или на ней появляются борозды (Техническое приложение STA BE 16-31). Это проявляется более четко, когда прохождение тока становится все более локализированным под щёткой.

Причины таких явлений весьма разнообразны:

– Внешние факторы (пыль, газ, избыточная влажность, низкая температура).
– Марка щётки не подходит к условиям работы машины (слишком толстый слой политуры, слишком большая или слишком малая плотность тока в щётках, вентиляция и т.д.).

При идентичном процессе, ток может распределяться неравномерно между щётками на одном и том же щёткодержателе на коллекторе или на одной и той же траектории на кольце. Часто причиной этого может быть разное усилие нажатия, прикладываемое к щёткам.

ПЛОТНОСТЬ ТОКА В ЩЁТКЕ

Это - средний ток, протекающий через единицу контактной поверхности щётки. Стандартное обозначение плотности тока J_B.

По соглашению, плотность тока (J_B) в щётке рассматривается как частное от тока (в Амперах), проходящего через щётку, на поперечное сечение (в квадратных сантиметрах), независимо от вида щётки, радиального или наклонного.

Плотность тока (J_B) оказывает большое влияние на все факторы, которые определяют эффективность работы щётки: износ, трение, температура и т.д.

Величины, которые мы указываем как допустимую нагрузку для каждой марки щёток, представляют значения, которые щётка может выдерживать в постоянном рабочем режиме. Однако эти величины изменяются в зависимости от характеристик машины и способа вентиляции.

Малая плотность тока может быть намного более вредной для двигателя, чем слишком большая.

Поэтому зачастую полезно уменьшить количество щёток в щёткодержателе машины, чтобы увеличилась плотность тока в оставшихся щётках во время длительной работы с низкой нагрузкой.

УДЕЛЬНОЕ СОПРОТИВЛЕНИЕ

Нет строгого соотношения между электрическим удельным сопротивлением щётки и падением напряжения на контакте, особенно, когда речь идет о щётках с пропиткой (Техническое приложение STA BE 16-22).

Обычно удельное сопротивление почти не влияет на электрические потери в щётках (Техническое приложение STA BE 16-8).

У щёток из материалов слоистой структуры (BG, MC, CG, LFC, A), величины удельного сопротивления весьма различаются, если они измеряются параллельно или перпендикулярно плоскостям спайности.

Чтобы воспользоваться этим свойством (уменьшить блуждающие токи), надо расположить слои щётки параллельно коллекторным пластинам.

Разрезная щётка, а тем более многослойная щётка, обеспечивают возможность искусственно увеличить поперечное сопротивление (Техническое приложение STA BE 16-19).

Примечание:
Удельное сопротивление, указанное в этом каталоге для каждой марки, является продольным удельным сопротивлением, то есть измеренным вдоль размера "r".

ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИЕ ФАКТОРЫ (ОКРУЖАЮЩАЯ СРЕДА)

ВЛАЖНОСТЬ

(Техническое приложение STA BE 16-39)

Вода, являющаяся весомой составляющей политуры, поступает из окружающего воздуха. Когда воздух очень сухой, то в политуре в основном содержатся окислы металлов. В результате возникает сильное трение, искрение, и щётки очень быстро изнашиваются.

Такие неблагоприятные условия становятся критичными, когда абсолютная влажность падает ниже точки, равной примерно 2 г/м3, что характерно для:

– электрических моторов (самолетов), которые могут работать в разреженной атмосфере на больших высотах.
– машин, где щётки находятся в закрытой камере, заполненной сухим газом (водородом или азотом).
– полностью закрытых двигателей (IP 55).

Для таких применений у нас есть специальные щётки. Обращайтесь, пожалуйста, к нам.

АСПЕКТЫ РАБОЧЕЙ ПОВЕРХНОСТИ КОЛЛЕКТОРА (ПОЛИТУРЫ)

Ниже описаны различные общие и типичные аспекты политуры и дефекты рабочей поверхности коллекторов. Под каждым общим заголовком дана характеристика и значение этих различных типов политуры и дефектов.

P - ПОЛИТУРА

а - Интенсивность цвета

- P2 - P4 - P6: показана нормальная политура
  Равномерная окраска, от светло-красно-коричневого (P2) до темно-красно-коричневого цвета (P6).
  Машина и щётки работают хорошо.

б - Виды налета

- P12: Полосатая политура.
  Линии и полосы меняющегося размера, попеременно светлые и более темные без износа меди.
  Наиболее частые причины: избыточная влажность, пары масла и наличие коррозионных газов в атмосфере - недогруженные щётки.

- P14: Политура со свежими бороздами.
  Как и на P12, но с полосами цвета необработанной меди или слегка очищенной. Агрессивное воздействие на металл.
  Наиболее частые причины: такие же, как и для полосатой политуры, более интенсивные или продолжительного действия.
  Возможно также, что не подходит марка щётки.

- P16: Пятнистая политура.
  Пятнистый внешний вид с нерегулярной и различной окраской и размерами без проявлений симметрии.
  Наиболее частые причины: коллектор деформирован или загрязнен.

в - Пятна вызванные механическими причинами

- P22: Отдельные или равномерно распределенные пятна.
  Темные пятна с размытыми границами.
  Наиболее частые причины: деформация коллектора(отдельное пятно) или вибрации из-за неуравновешенности, подшипники неисправны или недостаточно отрегулированы и т.д. (пятна распределены равномерно в одной или более зонах коллектора).

- P24: Темные пятна с четкими или неравномерными краями, за которыми попеременно следуют более светлые области, с постепенно уменьшающейся интенсивностью окраски.
  Наиболее частые причины: повреждение одной пластины или группы пластин, вызывающих радиальное смещение щётки.

- P26 - P28: Пластины с отметками посередине или по краям.
  Затемнение в центре пластины или интерференционные полосы по краям.
  Наиболее частые причины: плохое обслуживание коллектора, плохая шлифовка.

г - Полосы электрического происхождения

- P42: Переменные светлые и темные полосы.
  С каждой стороны различное количество светлых полос, темные полосы могут возникать из-за отполированного, матового или зачерненного внешнего вида. Такая характеристика наблюдается по всему коллектору повторяющимся образом.
  Наиболее частные причины электрического происхождения связаны с типом обмотки якоря, с последовательной коммутацией проводников в каждом пазе. Это можно исправить посредством использования марки материала с лучшими параметрами коммутации.

- P46: Метки с двухполюсным шагом.
  Метки четкие или смутные, темного цвета, матового или черного вида, повторяющиеся метки с двухполюсным шагом.
  Наиболее частые причины: дефектная пайка на компенсаторах, коллекторных петушках или в обмотках.

B - ОБГОРАНИЕ

- B2 - B6: Металлическая эрозия, обгорание и темные пятна на краях пластин из-за искрения.

- B8: Металлическая эрозия (обгорание) в центре пластин.

- B10: "Дырявая" политура.
  Небольшие, четкие, светлые пятна ожегов в разном количестве и со случайным распределением на нормальной политуре.
  Причина: искрение под щётками.

T - ПЯТНА НА КОЛЛЕКТОРНЫХ ПЛАСТИНАХ

Виды конкретных специфических пятен

- T 10: Изображение щётки
  Темная или черная метка отображает всю или часть контактной поверхности щётки с точным очертанием на коллекторе.
  Наиболее частые причины: длительные периоды простоя без тока или мгновенный останов машины под напряжением.

- T 12: Тёмная интерференционная полоса из-за выступающей коллекторной пластины L 2.

- T 14: Тёмная интерференционная полоса из-за западающей коллекторной пластины L 4.

- T 16: Тёмные интерференционные полосы из-за выступающей кромки из слюды L 6.

- T 18: Тёмные интерференционные полосы с пятнами на краях из-за металлических заусениц на краях пластин.

L - ИЗНОС КОЛЛЕКТОРНЫХ ПЛАСТИН

- L 2: Выступающая пластина.
- L 4: Западающая пластина.
- L 6: Выступающая кромка из слюды.
- L 8: Заусеницы на краях пластин.
- L 10: "Наволакивание" меди.

R - ИЗНОС КОЛЛЕКТОРНЫХ ПЛАСТИН

- R 2: Изображение позволяющее увидеть износ коллектора, отображающее дорожки, при правильном расположении щеткодержателей со "смещением по окружности". Такой износ может появиться после длительного периода работы.

- R 4: Изображение коллектора с ненормальным износом металла из-за неправильного расположения щеткодержателей со "смещением по окружности", либо из-за неподходящей марки щётки, либо из-за различных атмосферных загрязнений и т.п...