

УДК 621.7.043

ИЗНОС КОНТАКТНОГО ПРОВОДА. АНАЛИЗ СПОСОБОВ ЕГО ВОССТАНОВЛЕНИЯ.

Антон Юрьевич Шеламов

Студент 4 курса,

кафедра «Оборудование и технология прокатки»

Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана

Научный руководитель: А.Г. Колесников,

доктор технических наук, профессор кафедры «Оборудование и технология прокатки»

Износ контактного провода разделяют на электрический и механический. Такое деление весьма условно, поскольку электрические и механические явления в контакте взаимозависимы. Например, тяжелые формы электрического износа при дуговом токосяеме так ухудшают поверхность трения, что увеличивается механический износ, а грубые повреждения этой поверхности в результате механических явлений (схватывание, задир) могут ухудшить качество токосяема и повысить его электрическую составляющую. Лишь в отдельных случаях можно не учитывать либо механическую, либо электрическую составляющую износа.

Исходя из условий работы, необходимо, чтобы материал контактного провода имел высокую электрическую проводимость, прочность, износостойкость, включая в последнее понятие и электроэрозионную стойкость, минимальную стоимость. Указанным комплексом свойств не обладает ни один металл и ни один сплав, поэтому при выборе материала провода приходится неизбежно принимать различные компромиссные решения. Так, всем известно, что наивысшей проводимостью обладает (исключая серебро) чистая медь, а более высокой прочностью – бронза. Увеличение срока службы контактного провода может быть достигнуто увеличением сечения медного провода или использованием бронзы взамен меди при том же сечении, но при этом возрастает стоимость провода. Потери электроэнергии в первом случае снизятся, а во втором возрастут.

В условиях эксплуатации контактный провод испытывает воздействие колебаний температуры воздуха, влажности окружающей среды. В таких условиях невозможно обеспечить постоянство подачи смазки в зону контакта провода с токосяемным элементом, чтобы снизить их износ. Поэтому материал контактного провода должен обладать достаточно высокой износостойкостью в условиях сухого трения. В качестве материала для изготовления контактного провода на электрифицированных железных дорогах изначально использовалась медь. До настоящего времени постоянно предпринимаются попытки заменить медь ее сплавами и другими металлами и сплавами.

Использование биметаллического сталемедного контактного провода в странах бывшего СЭВ, ФРГ и Швейцарии не получило распространения. Провод интенсивно подвергался коррозии в не покрытых медью местах и обладал высоким электросопротивлением.

Все стандарты на контактные провода наиболее развитых стран содержат в своем составе бронзовые провода. Наибольшее распространение из легирующих добавок получили Sn, Zn, Al, Ag, Cd, Si и др. Легирование позволяет повысить прочность и износостойкость провода, при этом необходимо сохранение высокой электропроводности меди. Исследованиями установлено, что легирующие элементы

Ag, Cr, Mg, Zr, Te, Se с содержанием от 0,3 до 0,8 % незначительно влияют на электропроводность меди. Известно, что чем больше величина растворимости элемента в меди, тем меньше коэффициент упрочнения сплава. Немаловажную роль играют и элементы, оказывающие модифицирующее действие на медь, измельчая ее зерно. Модифицирование приводит к повышению прочности и твердости провода.

При выборе легирующего элемента принимают во внимание то, что наибольшее влияние на сопротивляемость меди разупрочнению при нагреве оказывают те элементы, которые мало растворяются в ней, следовательно, и мало влияющие на ее электропроводность. Если легирующие элементы обладают большим сродством с кислородом и образуют устойчивые окислы, то за счет влияния этих факторов на прочность, на скорость образования и воспроизводство вторичных структур, образующихся на поверхностях трения, можно оказывать влияние на износ контактов.

Физические дефекты решетки, которые возникают при затвердевании расплава, при пластической деформации и термообработке повышают электросопротивление.

Упругие напряжения практически не оказывают влияния на удельное электросопротивление, тогда как после пластической деформации в холодном состоянии удельная электропроводность уменьшается (около 20 %).

Наиболее распространенным материалом для контактного провода в России остается твердотяннутая электролитическая медь, содержащая не более 0,1 % примесей. Полуфабрикатом является катанка круглого сечения. В настоящее время российским заводом «Транскат» контактный провод изготавливается методом холодной прокатки из катанки, полученной методом непрерывного литья и прокатки. Такой метод обеспечивает не только повышенную производительность оборудования, но и делает ненужной пайку отрезков катанки серебряным припоем, ликвидирует менее надежные участки провода – места пайки. В процессе волочения через последовательно расположенные фильеры сечение катанки $S_{кат}$ уменьшается, а σ_B растет в зависимости от обжатия μ , выражаемого в процентах.

$$\mu = \frac{S_{кат} - S}{S_{кат}} \cdot 100\%$$

При диаметре катанки 17,2 мм для проводов сечением $S = 100$ и 85 мм^2 , μ соответственно равно 58 и 64 %.

В результате сложной деформации исходных кристаллов меди, одновременно растягивающей продольной и сжимающей поперечной силами, структура металла изменяется. Размеры зерен уменьшаются, вместо равноосных они превращаются в вытянутые в направлении волочения. Временное сопротивление растяжению σ_B при этом возрастает, пластичность уменьшается, а удельное электрическое сопротивление ρ увеличивается. Твердость, по Бринеллю (НВ), медного контактного провода составляет 100–110.

По мере увеличения обжатия возрастает не только прочность провода, но и его стойкость к абразивному изнашиванию.

Как показали исследования, в зависимости от величины снимаемого тока, условий и качества токосъема может наблюдаться либо сильный перенаклеп, либо рекристаллизация (полный или частичный отжиг) поверхностных слоев меди провода. В том и другом случае относительно небольшое различие в первоначальной структуре, определяемое разным обжатием, не может заметно повлиять на износостойкость провода.

В зависимости от продолжительности и температуры нагрева твердотянутого медного провода его σ_B снижается. Так, нагрев провода сверх 270 °С (температуры рекристаллизации меди), например до 300 °С, в течение 1 ч снижает прочность на 40 %, т. е. приводит к полному разупрочнению, а такой же нагрев в течение 1 с – на 15 %. Эффект разупрочнения при многократных нагревах и охлаждениях протекает так, как если бы продолжительность нагревов суммировалась.

Срок службы контактного провода в годах определяют по формуле

$$t_k = \frac{\Delta S_{cm} \cdot n \cdot 10^4}{i \cdot P_{год}} \quad t_k = \frac{\Delta S_{cm} \cdot n \cdot 0,89 \cdot 10^4}{m_k \cdot P_{год}}$$

где ΔS_{cm} – средний износ (потеря сечения) контактного провода к моменту его смены, мм²; n – число контактных проводов в подвеске; $P_{год}$ – число проходов по участку единиц подвижного состава за год; i – удельный износ контактного провода, мм²/10 тыс. проходов электроподвижного состава; m_k – удельная потеря меди контактным проводом, кг/1000 км пробега электроподвижного состава (ЭПС).

Целесообразность замены медного провода на бронзовый с целью увеличения срока службы проводов за счет повышения их износостойкости и сопротивляемости разупрочнению при нагреве следует еще оценить.

Таким образом, актуальность исследований, связанных с повышением эксплуатационной надежности контактного провода на основе меди, очевидна.

В механике используется классификация видов изнашивания, представленная в ГОСТ 27674-88. Под изнашиванием подразумевается процесс разрушения и отделения материала с поверхности твердого тела и (или) накопления его остаточной деформации при трении, проявляющегося в постепенном изменении размеров и формы тела.

Изнашивание при передаче электрической энергии осуществляется через статические или разрывные контакты и наиболее сложный из них – скользящий с отрывами, когда электроискровые и электродуговые процессы совмещаются с процессами внешнего трения.

Анализ ранее проведенных исследований позволил предложить применительно к контактному проводу классификацию видов износа, показанную на рис. 1.

При определенных условиях токоємема основным фактором износа является его механическая составляющая. В этом случае трение определяется, с одной стороны, взаимным зацеплением шероховатых поверхностей и их объемным деформированием при скольжении, с другой – наличием адгезионных сил между поверхностями с образованием иногда по контактными выступам мостиков сварки, которые при скольжении разрушаются. В зависимости от конкретных условий та или другая сторона природы трения является определяющей. Различают жидкостное, сухое (без смазки) и граничное трение. При наличии в контакте жидкости контактирующие элементы разделены слоем смазки, которая сохраняет определенные объемные свойства. Износ при таком трении обычно невелик. При трении без смазки имеет место молекулярно-механическое изнашивание, сопровождающееся заеданием, схватыванием контактирующих поверхностей, грубым задиром, глубинным вырыванием частиц.

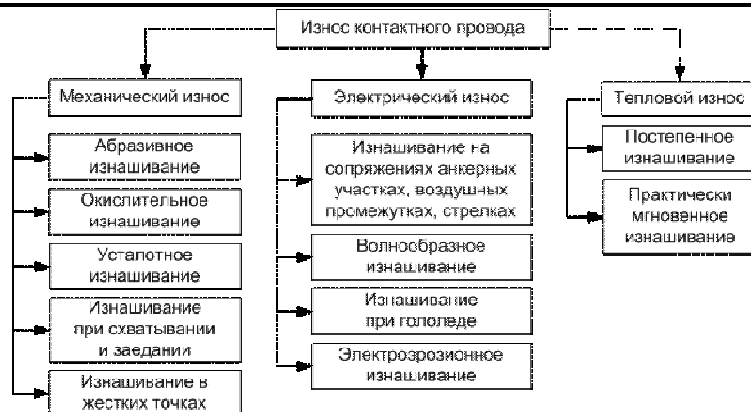


Рис. 1. Классификация видов износа контактного провода

Характером трения определяется механическое изнашивание. Для рассматриваемой пары «провод – полз» наиболее важными видами изнашивания являются абразивное, усталостное, окислительное и молекулярно-механическое. Одновременно могут наблюдаться два и более вида изнашивания, однако один из них всегда для данных условий будет преобладающим. По внешнему виду и микроструктуре поверхности трения можно судить о ведущем виде изнашивания, а зная его, – выбирать наиболее эффективные пути удлинения срока службы изделия.

Абразивное изнашивание происходит из-за попадания между трущимися поверхностями продуктов износа, внешней пыли и наличия твердых включений в основном материале. В зависимости от свойств самого абразива изнашивание может быть очень тонким, близким к полированию, или весьма грубым с образованием глубоких борозд.

Окислительное изнашивание связано с образованием и разрушением тонких окисных пленок на поверхностях трения. Обычно скорость изнашивания в неагрессивной среде при этом виде износа невелика, а само наличие окисных пленок препятствует другим, более тяжелым, видам износа.

Усталостное изнашивание связано с объемным деформированием трущихся поверхностей и растрескиванием перенаклепанного слоя материала с последующим его удалением. Износ при этом бывает достаточно высоким.

Схватывание, которое можно уподобить сварке контактных выступов при полном отсутствии смазки и окисных пленок, зависит от нажатия в контакте, температуры поверхностных слоев и свойств металла. Оно сопровождается тяжелым износом с глубинным вырыванием крупных частиц материала. Если одним из контактирующих элементов является графит, то схватывания, так же как и сварки, не происходит.

Как известно, износ повышается с увеличением поверхности трения. При «коэффициенте взаимного перекрытия» (отношение меньшей площади трения к большей) около 0,01 деталь с большей поверхностью трения изнашивается примерно в 6 раз интенсивнее, чем деталь с меньшей поверхностью. Износ возрастает при реверсивном движении одной детали по другой из-за постоянной переориентации частиц на поверхности трения, а также с увеличением напряжений растяжения основного материала, нажатия и при недостаточной смазке. Наблюдаемое при этом прерывистое скольжение (**заедание и скачки**) делает контакт нестабильным и увеличивает электрическую эрозию. В соответствии с условиями работы трущейся пары смазки могут быть жидкие и твердые, неметаллические и металлические.

Нагрев, неизбежный при трении (не говоря уже о прохождении тока в контакте), может оказывать как положительное, так и отрицательное влияние на износ. С одной стороны, он предупреждает перенаклеп (переупрочнение) и усталостное разрушение поверхностных слоев, с другой – разрушает смазку, особенно органического происхождения, вызывает разупрочнение поверхности трения и снижает ее стойкость к абразивному износу и схватыванию.

Изнашивание в жестких точках. В первую очередь имеются в виду фиксаторы, питающие зажимы электрических соединений, стыковые, средних анкеровок. Проход токоприемника по таким точкам нередко сопровождается значительным изменением контактного нажатия, иногда – отрывами от провода и искрением.

Повышенный износ у питающих зажимов наблюдается в том случае, если электрические поперечные соединения выполнены не гибким проводом МГГ-95 или МГГ-70, а обычным 19-проволочным М-95 или М-120, а также, если не предусмотрены специальные витки, уменьшающие жесткость контактной подвески в месте установки соединителя.

Этот вид износа обусловлен как процессами, протекающими в скользящем контакте, так и естественным действием протекающего в проводе тока на его материал.

К электрическому изнашиванию контактных проводов при передаче электрической энергии через скользящий контакт относят электроэрозионный процесс потери некоторого объема провода.

Электроэрозионное повреждение контактного провода может приводить к появлению дефекта на поверхности провода, что в условиях постоянных растягивающих нагрузок и искрения приведет к пластическому деформированию с образованием шейки и обрыву провода.

Электрический износ контактного провода в конкретной точке зависит от общей величины протекавшего через эту точку количества электричества (измеряемого в кулонах) Следовательно, при одних и тех же скоростях движения (или времени контакта этой точки с ползками токоприемников) и прочих одинаковых условиях износ провода зависит от величины снимаемого токоприемниками тока. Большой практический интерес представляет соотношение между механическим и электрическим износом.

Установлено, что искрение возрастает с увеличением снимаемого тока при любых материалах вставок, что является следствием усиления электровзрывной эрозии.

Полярность контактного провода также влияет на его износ. Почти при всех лабораторных испытаниях положительной полярности соответствовали большие значения интенсивности изнашивания, но в условиях эксплуатации влияние полярности значительно меньше, чем величины тока, условия смазывания и качество токосъема.

Износ на сопряжениях анкерных участков, воздушных промежутках, стрелках. Наблюдениями установлено, что при скоростях движения электровоза 150–160 км/ч качество токосъема на сопряжениях анкерных участков компенсированной подвески с двойным контактным проводом ниже, чем в промежуточных пролетах. Это объясняется резким изменением жесткости в переходном пролете сопряжения, динамическими ударами и отрывами токоприемника электровозов.

На воздушных промежутках линий постоянного и переменного токов повышенный электроэрозионный износ связан с возникновением электрической дуги при замыкании ползком токоприемника разнопотенциальных секций контактной сети.

Наиболее эффективны схемные решения, снижающие вероятность возникновения мощной дуги на разделе питания или делающие невозможным само появление дуги.

Износ проводов на воздушной стрелке во многом зависит от ее правильной регулировки. Местный износ под ограничительной планкой стрелки наблюдается на длине 1–1,4 м. Рекомендовано периодически изменять зигзаги контактного провода в зоне стрелки, чтобы переместить повышенный износ и тем удлинить срок службы провода. Например, изменение зигзага от 360 до 450 мм на стрелке с крестовиной 1/11 смещает точку пересечения проводов более чем на 1 м.

Волнообразный износ. Этим термином названо явление интенсивного электрического износа и тяжелых дуговых повреждений контактного провода на последовательно расположенных коротких участках (100–150 мм), разделенных еще более короткими (10–30 мм) участками с хорошо шлифованной блестящей поверхностью. Особенно быстро волнообразный износ возникал в местах трогания и разгона ЭПС, и на подъемах. Главной причиной возникновения волнообразного износа на участках переменного тока являлось прикосновение к проводу в какой-то момент времени не контактных пластин, а плохо проводящей сухой графитовой смазки. При этом съем тока пластинами осуществляется через электрическую дугу с образованием первых двух «волн». Последующие проходы полозов (в одну или обе стороны) «растягивают» это явление и усиливают износ там, где он возник. Далее становится неважным, какова поверхность полоза, так как уже нарушена поверхность провода.

Поскольку электроэрозионный износ пропорционален количеству электричества, то волнообразный износ проявился на линиях постоянного тока 3 кВ раньше, чем на переменном 25 кВ, и на участках с низкими скоростями (места трогания и разгона ЭПС, на подъемах) раньше, чем на участках с большими скоростями движения. Волнообразный износ не возникает при использовании угольных вставок (независимо от числа их рядов на полозе), так как они обладают достаточно высокой проводимостью и не требуют сухой смазки.

Причину возникновения волнообразного износа объясняют высокочастотными колебаниями провода, возбуждаемыми силой трения по нему вставок, возникновением стоячих волн и ритмическими отрывами вставок от провода, находящегося в таком состоянии. Поэтому такой износ может быть при любых контактных материалах, если динамические характеристики контактной подвески и токоприемников не соответствуют друг другу.

Износ при гололеде. Когда контактные провода покрываются гололедо-изморозевыми образованиями (гололед, изморозь или смесь гололеда и изморози), токосъем осуществляется только через электрическую дугу независимо от толщины корки такого образования (далее его условно будем называть гололедом). Наблюдения показали, что при гололеде на поверхность трения медных пластин (катод) с провода (анод) дугой переносятся большие массы меди.

Изнашивание провода и пластин при гололеде протекает наиболее интенсивно, и только благодаря относительно редкой повторяемости этого явления оно не определяет срок службы провода.

Обеспечение удовлетворительного качества токосъема при гололеде зависит и от работников локомотивного хозяйства. Им рекомендовано применение гидрофобных антиобледенительных покрытий для токоприемников в период гололеда, а также увеличение нажатия токоприемника на провод, примерно на 2 кН выше принятого для обычных условий.

Работа электровозов на двух поднятых токоприемниках способствует снижению скорости изнашивания при гололеде не только благодаря распределению

электроэрозионного износа материала вставок между этими токоприемниками, но и, главным образом, благодаря взаимному шунтированию при хорошем контакте с проводом любого из них

В Японии с запараллеленными токоприемниками работают электропоезда постоянного тока. Большие преимущества такой работы не только в отношении уменьшения износа, но и предупреждения пережогов провода при коротком замыкании в электросекциях.

Влияние контактного нажатия на износ провода. Увеличение нажатия снижает контактное электрическое сопротивление и уменьшает время (и, следовательно, протяженность зоны) отрыва полоза от провода, что в целом снижает «электрическую» составляющую износа. Но одновременно возрастает «механическая» составляющая. Доля той и другой зависит в первую очередь от вида токосъемного материала. Для полоза с металлографитными пластинами нажатие желательнее иметь возможно меньшим, с угольными вставками – возможно большим.

Должно существовать некоторое оптимальное статическое нажатие токоприемника на провод, при котором интенсивность изнашивания будет минимальной. Однако, несмотря на большой размах исследований в области токосъема, такой важный вопрос, как выбор оптимального нажатия для конкретных видов токоприемников и материалов вставок, разработан недостаточно.

В эксплуатации провод нагревается в процессе протекающих по нему транзитных токов (токов нагрузки). В результате нагрева медный провод разупрочняется, т. е. уменьшаются предел прочности, предел текучести, твердость и повышаются пластические свойства. Разупрочнение провода при нагреве связано с процессами отрыва (возврата), полигонизации и рекристаллизации.

В процессе отрыва происходит изменение механических свойств проводника, которые приближаются к свойствам недеформированного металла. При полигонизации и рекристаллизации происходит значительное изменение структуры проводника. Процесс рекристаллизации приводит к сильному разупрочнению контактного провода. Отдых происходит при низких температурах, до температуры рекристаллизации проводника. Температура рекристаллизации не является фиксированной величиной и изменяется в зависимости от химического состава провода, степени холодной деформации и времени, в течение которого образец выдерживался при данной температуре.

Во Всероссийском научно-исследовательском институте железнодорожного транспорта (ВНИИЖТ) проведены испытания с нагревом образцов контактного провода в термостате. Из результатов исследований следует, что температура рекристаллизации колеблется в пределах от 230 до 260°C. Разупрочнение контактного провода происходит при температуре 200...210°C; нагрев контактного провода до температуры выше 300°C при натяжении 1000 Н, как правило, приводит к разрыву.

Достижение указанных температур нагрева проводов в условиях эксплуатации маловероятно, так как современные электронные защиты обладают достаточным быстродействием, чтобы предотвратить разупрочнение контактного провода. Тем не менее проблема отжига по-прежнему актуальна. Процесс разупрочнения провода проходит при температурах значительно ниже температур рекристаллизации. При этом необходимо учитывать, что внешняя механическая нагрузка (натяжение контактного провода, собственный вес провода) также может ускорять процесс разупрочнения металла при прохождении по нему тока.

Отмечается, что для пары трения «контактный провод–полоз» наиболее важными видами изнашивания являются: абразивное, усталостное, окислительное, а также адгезионное. В зависимости от условий преобладает тот или иной вид

изнашивания. На поверхности контактного провода в результате окисления возникают пленки CuO и CuO_2 и графитовые пленки. Часто ток проходит через скользящий контакт в результате фреттинга, т. е. путем образования каналов проводимости в достаточно толстых пленках.

Установлено, что с возрастанием тока, снимаемого токоприемником, увеличивается и искрение. Это не всегда объясняется отрывами полоза токоприемника от контактного провода. А часто объясняется тем, что мощность, выделяющаяся в контактной точке, превышает предельную мощность рассеивания контактного мостика для данного материала. Происходит расплавление материала в локальном микрообъеме, резкое увеличение его объема и выброс (или перенос) материала из контактной зоны.

Анализ функционирования контактного провода и условия его эксплуатации позволяют выделить основные **виды повреждений**, возникающих при скольжении и передаче электрического тока. Это появление короткой шейки из-за местного повышения износа, уменьшение сечения контактного провода за счет вырывов от схватывания и задигов.

Другой вид повреждения возникает при усилении эрозии, проявляющейся в виде большого числа каверн и наплывов металла. На участках провода, подвергшихся действию электрической дуги, поверхностные слои сильно оплавлены и окислены.

В ряде исследований отмечается, что износ контактного провода и медных пластин токоприемников определяется процессами схватывания материала провода с пластиной при их перемещении, а также электрическими разрядами. В результате этих процессов на поверхности трения возникают риски, раковины. Исследование микроструктуры вблизи поверхности трения медного провода и медных пластин с использованием сухой графитовой смазки показало, что на поверхности материал наклепывается. Микротвердость наклепанного слоя 104–119 HV. Материал пластин подвергается рекристаллизации, увеличивается размер зерна и дополнительно возникает большое количество двойников (объединение зерен с одинаковыми размерами). Причем зерна ориентируются вдоль поверхности трения.

Пережоги контактного провода. В приведенных ранее работах речь шла в основном об искровом разряде, в то время, как при токосъеме основное эрозионное воздействие оказывают дуговые разряды. Наиболее сильным проявлением дугового воздействия на провод является его пережог. Пережог – расплавление небольшого участка провода до разделения на два отдельных. Пережоги провода рабочим током бывают, прежде всего, при грубых нарушениях качества контакта (гололед, толстая окисная пленка на проводе на малодейственных путях, подъем и опускание токоприемника под нагрузкой или при к.з. в ЭПС, при замыкании ползком разнопотенциальных секций контактной сети на воздушных промежутках и т. п.). Эти пережоги практически не зависят от контактного материала.

Подробные исследования процесса пережога контактного провода токами коротким замыканием выполнены во ВНИИЖТе. В его работах показано, что при наличии дуги между проводом и ползком время пережога не зависит от материала вставки, а только от количества электричества, протекшего в контакте. При плотном контакте время пережога зависит от величины произведения квадрата тока на время, различного для разных материалов.

Нагрев контактного провода в месте соприкосновения с ползком токоприемника зависит от следующих факторов: характера контакта (дуговой или бездуговой; неподвижный или перемещающийся); состояния контактных поверхностей (степени загрязнения) и давления токоприемника; материала контактов (контактного

сопротивления); величины и времени прохождения тока; схемы питания (односторонняя и двусторонняя); износа контактного провода и величины натяжения.

Изношенные контактные провода менее термоустойчивы. При износе 30 % время пережога для обоих случаев (дугового и бездугового) снижается приблизительно в 2 раза.

При нагреве, приводящем к снижению прочности (σ_B – временного сопротивления), наблюдается вытягивание провода с образованием «шейки», уменьшение сечения до определенной величины в зависимости от натяжения приводит к разрыву провода.

На неподвижном токоприемнике и при коротких замыканиях на электроподвижном составе даже при «нормальном» контакте из-за больших плотностей тока и возникающих электродинамических усилий всегда появляются небольшие дуги по краям контактирующих поверхностей.

При опускании токоприемников продолжительность горения дуги на участках постоянного тока колеблется от 0,2 до 1,8 с, а ее длина – от 50 до 400 мм и на участках переменного тока 0,15–0,8 с при длине до 700–800 мм.

Ухудшение контакта в поперечных соединениях менее опасно по причине перераспределения токов между рядом расположенными соединениями. Однако при больших нагрузках и в этом случае могут иметь место опасные перегревы проводов.

Тепловое изнашивание. Под этим термином предложено понимать процесс термического разупрочнения части объема провода под действием тепловых импульсов. Разупрочнение провода в некотором объеме и в конкретном сечении до величин, например, превышающих временное сопротивление разрыву, адекватно потере этого объема, происходящей при механическом (абразивном) или электроэрозионном изнашивании. Результатом теплового изнашивания является тепловой износ.

Процесс теплового изнашивания может иметь постепенный, длительный или практически мгновенный характер. Примером последнего можно считать пережог провода, вызванный совместным действием электроэрозионного и теплового видов изнашивания.

Уменьшение сечения провода при механическом или электроэрозионном износах приводят к его вытягиванию, следовательно, к нарушению габарита контактного провода. Небольшое вытягивание провода может произойти также из-за постоянно действующей растягивающей нагрузки и влияния внешних сил. Тепловой износ может также приводить к некоторому уменьшению сечения и удлинению проводника. Совместное воздействие теплового износа с натяжением в большинстве случаев приводит к обрыву контактного провода без значительного уменьшения его сечения и удлинения.

Накапливающийся (постепенный) тепловой износ сопровождается образованием на проводе удлиненной шейки, мгновенный – короткой.

Характеристика теплового износа контактного провода приведена на рис. 2.

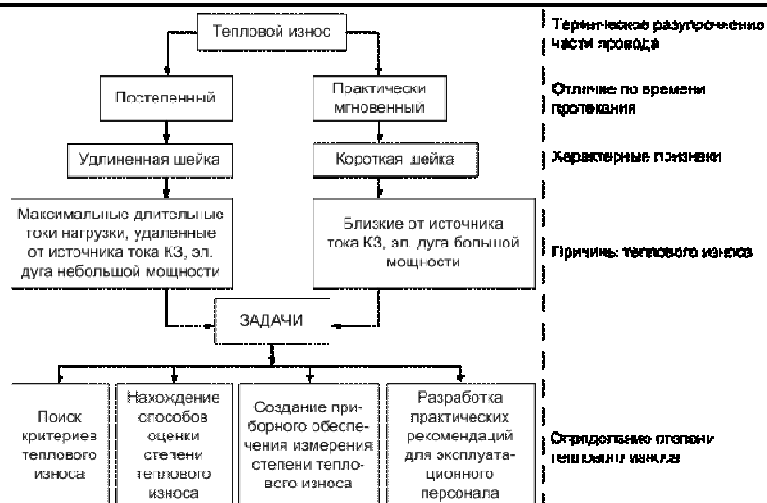


Рис. 2. Характеристика теплового износа контактного провода

Контроль и прогнозирование износа контактного провода. Измерения износа контактного провода проводят: во-первых, для предупреждения опасного уменьшения его сечения и, во-вторых, для анализа характера и особенностей процесса изнашивания, изучения влияния отдельных факторов, определяющих срок службы провода, для планирования потребности в проводе и для разработки экономичных способов сокращения этой потребности.

По мнению специалистов, износ пластин полозов токоприемника и контактного провода состоит из трех основных составляющих

$$W = W_1 + W_2 + W_3$$

где W_1 – механический износ; W_2 – электрический износ от испарения, разбрызгивания материала под воздействием электрических дуг,

Методы переработки контактного провода рассмотрены ниже.

1. Переработка путем получения катанки.

Бывший в употреблении медный контактный провод 2 марки МФ-100, изготовленный по ГОСТ 2584-86, предварительно очищенный, с разматывающего устройства 1 со скоростью 4-10 м/мин направляют к горелкам 5, при этом впадины 4 провода 2 располагают горизонтально - одна внизу, другая сверху. Провод 2, продвигаясь, попадает в зону действия горелок 5, которые нагревают верхние выступы 3 провода 2. Под действием пламени горелок 5 выступы 3 начинают плавиться и жидкий металл, стекая, заполняет впадину 4. Затем провод 2 поворачивают на 180° и теперь наверху оказываются другие выступы 3, которые под действием пламени горелок 6 расплавляются и заполняют впадину 4. В результате этих операций провод 2 в сечении принимает форму эллипса без выступов 3 и впадин 4. В нагревателе 7 весь провод 2 равномерно нагревается до 600°C, после чего провод 2 проходит через прокатные валки 8 и на выходе из валков 8 провод 2 имеет сечение, близкое к кругу. Затем провод 2 поступает в ванну 9 с восстановительной средой (10% водный раствор спирта), где он охлаждается и происходит восстановление меди из окисного слоя. Затем провод 2 поступает в калибрующие волокна 10, на выходе которых установлен приемный барабан 11, на который сматывают готовую катанку 12 круглого сечения и необходимого диаметра.

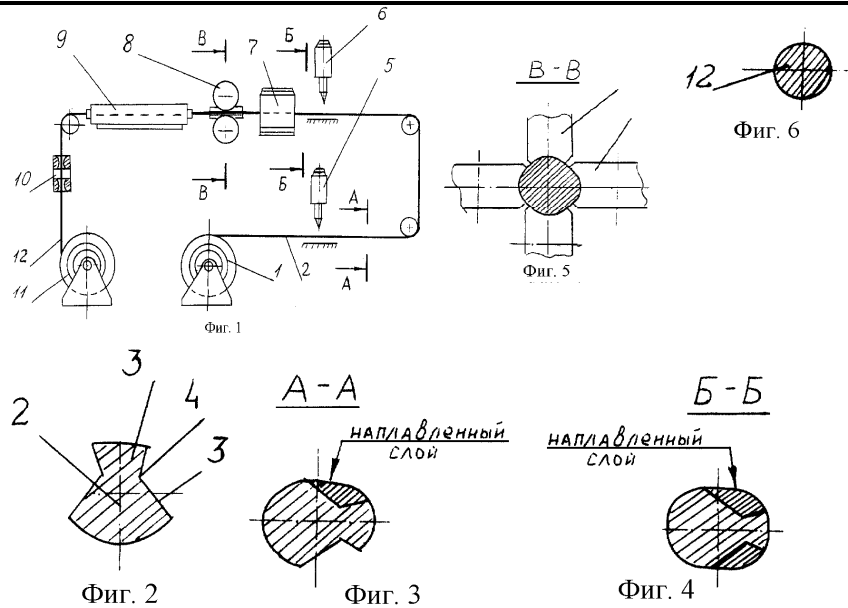


Рис. 3. Схема получения катанки из б/у контактного провода.

2. Переработка методом высадки.

Сечение изношенного провода предварительно калибруют, отжигают и непрерывно высаживают выдавливанием. Отжиг предусматривается для снижения механических характеристик на некоторую величину, которую впоследствии компенсирует холодная пластическая деформация при высадке. Непрерывность пластического деформирования обеспечивает в устоявшемся режиме качественную поверхность готового провода без наплыва и пережимов.

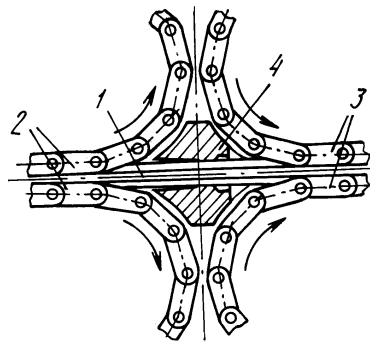


Рис. 4. Схема непрерывного деформирования провода.

Задающий механизм гусеничного типа 2 проталкивает заготовку 1 сквозь матрицу 4 в приемный механизм гусеничного типа 3. Гусеницы задающего механизма 2 перемещают заготовку 1 со скоростью большей, чем гусеницы приемного механизма 3. Разница в скоростях позволяет создавать осевые усилия в заготовке, достаточные для ее пластического деформирования в матрице. Форма матрицы выполнена таким образом, что вначале происходит небольшое переполнение профиля, а на выходе формируется требуемый профиль провода.

3. Переработка путем непрерывного увеличения сечения.

Способ для восстановления длинномерного профиля с непрерывным увеличением его сечения обработкой давлением включает очистку поверхности, предварительную калибровку сечения профиля, разупрочняющую термообработку и пластическое деформирование профиля путем прессования через отверстие матрицы,

сечение которого больше, чем сечение исходного профиля. Перед пластическим деформированием в отверстие матрицы вводится технологическая заглушка, обеспечивающая накопление материала в зоне распрессовки. Пластическое деформирование профиля проводят, совмещая процессы прокатки, распрессовки и прессования. Обеспечивается повышение точности размеров профиля и увеличение скорости процесса.

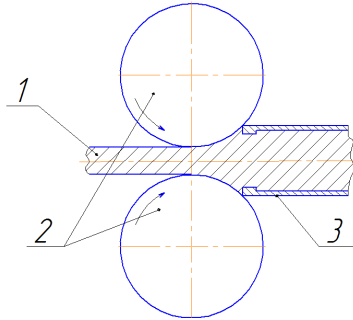


Рис. 5. Схема прокатки, распрессовки и прессования.

Заготовка 1 под действием сил трения втягивается слева направо в щель между валками 2, уменьшая свое сечение. В зоне распрессовки создаются условия для увеличения сечения полосы. В период подготовки к непрерывному процессу в отверстие матрицы 3 временно вводится технологическая заглушка, обеспечивающая накопление металла в зоне распрессовки. В дальнейшем металл выталкивает заглушку и прессуется сквозь освободившееся в матрице отверстие.

При внимательном рассмотрении проблемы износа контактного медного провода и данных способов переработки (восстановления) становится ясно, что крайне необходимо выбрать наиболее перспективный и технологически оправданный способ из выше представленных.

Первый способ явно уступает последующим тем, что содержит в себе необходимость наплавки дополнительного материала, которая вызывает некоторые трудности при серийном и автоматизированном производстве. Процесс наплавки не совсем стабилен и может быть вызвана плохая сцепка наплавляемого слоя, что может повлечь за собой ухудшение качества продукции. Помимо этого требуется дополнительное оборудование, плавящее и подающее жидкий металл во впадины провода.

Второй способ гораздо надежнее предыдущего, но его существенным недостатком является появление наплывов и поверхностных дефектов на восстановленном проводе, которые появляются в результате контакта металла заготовки со звеньями подающим механизмом гусеничного типа и недостаточная скорость процесса.

Все выше перечисленные недостатки устранены в третьем способе восстановления, так как не требуется подвод дополнительного материала и средства расплавления и доставки на поверхность провода, а точность размеров обеспечивается прокаткой в гладких (не имеющих впадин и выступов в ручье) валках и прохождением металла через матрицу.

Литература

1. Патент РФ 2109591.
2. Патент РФ 2353460.
3. Патент РФ 2173588.
4. ГОСТ 2584-75.
5. *Марквардт К.Г.* Контактная сеть. - М.: Транспорт, 1994. - 335 с.