

Дефекты электромонтажа способом накрутки

В статье рассматриваются методы исключения дефектов при электромонтаже способом накрутки по траектории подобно спирали, при автоматической накрутке, при настройке механизма осевой подачи накручивающей головки, при подаче вручную. Предложены рекомендации для исключения дефектов при регулировании осевого перемещения, уменьшении скорости перемещения накручивающей головки, а также по предупреждению брака при накрутке и обеспечению высокого качества при производстве электромонтажных работ различными способами накрутки.

Виктор Ковалев,
д. т. н., профессор

Сергей Ковалев,
к. т. н., профессор

Способ этого электромонтажа был разработан в 40–50-е годы прошлого столетия и применяется для соединения конструктивных модулей электронной аппаратуры, блоков, панелей и рам. Такой монтаж исключает применение припоев и флюсов, на порядок повышает надежность соединений по сравнению с паяными соединениями при механических нагрузках и изменении климатических условий, исключает нагрев соединяемых элементов, ускоряет процессы сборки аппаратуры. На рис. 1 показана конструктивная схема рабочей головки накручивающего устройства.

Процесс накрутки протекает так: конец подготовленного проводника вводят в боковое отверстие накручивающего валика 3, подводят накручивающий валик к выводу и вводят вывод в валик, затем включают электродвигатель. Накручивающий валик при вращении укладывает расчетное число витков на вывод 2. Потом процесс повторяют для других выводов.

Контактное соединение накруткой — это соединение неизолированного провода (или участка изолированного провода без изоляции) с выводом, имеющим острые кромки, при котором провод плотно укладывается на вывод с определенным усилием натяжения. Электрическое соединение возникает в зонах контакта провода с острыми кромками вывода, благодаря этому проводник врезается в вывод. Натяжение провода при накрутке позволяет разрушить пленку оксидов на контактирующих металлах, способствует вдавливанию провода в острые кромки вывода и образованию газонепроницаемого соединения. Возможно также соединение накруткой провода с тонкой изоляцией, при этом изоляция прорезается острыми кромками вывода. Концентрация напряжения в зонах контакта и среднее давление обуславливают взаимную диффузию металлов. Соединение накруткой должно соответствовать следующим требованиям:

- Минимальные номинальное и переходное сопротивление.
- Газонепроницаемость для исключения коррозии.

- Сумма площадей зон контакта должна быть больше поперечного сечения провода.
- Электрическая стабильность во времени при механических и климатических воздействиях.

При монтаже накруткой применяют три вида соединений: обычное (немодифицированное), модифицированное и бандажное. На рис. 2 показаны эти виды соединений.

Немодифицированное соединение получают путем навивки на вывод неизолированного участка одножильного провода. Модифицированное соединение отличается от немодифицированного наличием 1–2 витков изолированного провода. Изоляция снижает вероятность поломки первого витка провода при механических воздействиях (вибрации, смещении вывода) за счет уменьшения концентрации напряжения в точках контакта. Но габариты такого соединения увеличиваются по сравнению с обычными. Поэтому, когда шаг выводов для накрутки становится меньше 2,5 мм, применение модифицированного соединения затрудняется.

Бандажное соединение состоит из нескольких витков бандажного провода. Провод при накручивании захватывает и обжимает вывод.

Наибольшее применение нашло модифицированное соединение, особенно в аппаратуре, подвергающейся механическим воздействиям. При малом шаге

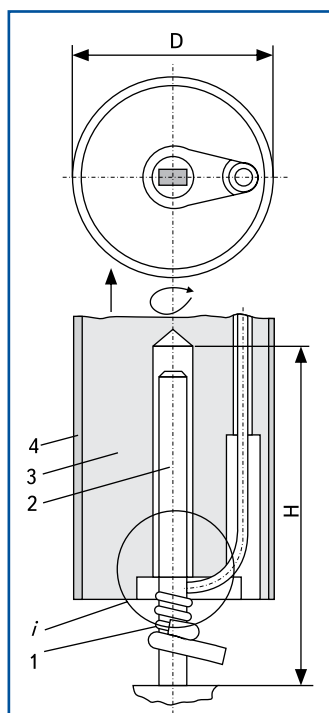


Рис. 1. Схема процесса и инструмента для образования соединения накруткой:

- 1 — накручиваемый проводник;
- 2 — вывод;
- 3 — накручивающий валик;
- 4 — втулка

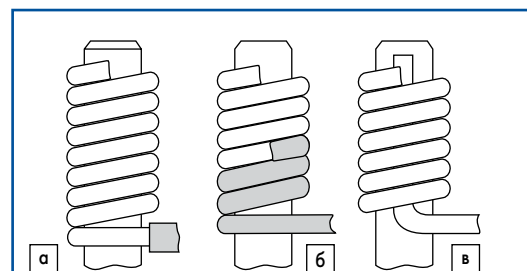


Рис. 2. Виды соединений накруткой:

- а) немодифицированное;
- б) модифицированное;
- в) бандажное

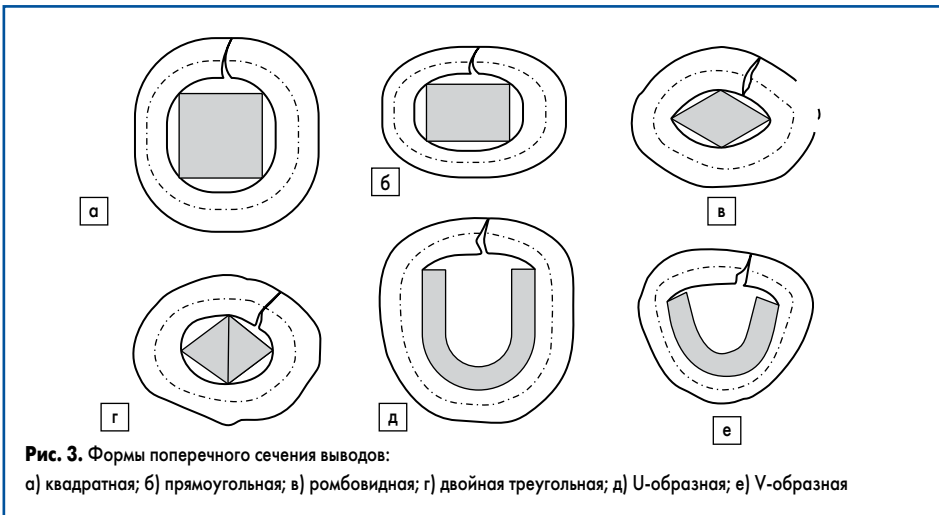


Рис. 3. Формы поперечного сечения выводов:
а) квадратная; б) прямоугольная; в) ромбовидная; г) двойная треугольная; д) U-образная; е) V-образная

между выводами и больших сечениях монтажного провода применяют обычное соединение накруткой.

Бандажное соединение рекомендуется для образования контактных соединений с выводами навесных элементов, шинами питания и при использовании для монтажа многожильных проводов, не пригодных к накрутке.

Требования к соединению обеспечиваются выбором соответствующих материалов вывода и провода, конструкцией соединения и технологическими условиями его получения. Материал вывода должен обладать достаточной прочностью для образования поверхностей контакта в результате деформирования провода на его острых кромках. Необходима определенная упругость и прочность вывода для сопротивления его скручиванию в процессе накрутки провода. От состояния поверхностного слоя материала соединяемых элементов зависят электрические параметры соединения. Для изготовления выводов применяют латунь, плакированную сталь, никелево-серебряные сплавы, бериллиевую и фосфористую бронзу. Последние материалы имеют наилучшие физико-механические свойства: высокий модуль упругости; низкое остаточное напряжение; коэффициент линейного расширения, близкий к коэффициенту линейного расширения медного провода.

В качестве провода для накрутки используют медный одножильный провод, имеющий относительное удлинение не менее 15% и предел прочности на разрыв не менее 96 МПа. Рабочий участок провода освобождается от изоляции и облуживается. Для провода (проводов) кроме меди используют латунь, никелевое железо и никелевую проволоку.

Требование равенства суммы площадей кажущихся зон контакта соединения накруткой и поперечного сечения провода обеспечивается при наличии для обычной аппаратуры 12-контактных, а для специальной — 20-контактных поверхностей. Следовательно, соединение должно быть многовитковым. Другие особенности процесса приведены в нашей работе [2].

Для накрутки применяют одножильный провод диаметром 0,17–1,2 мм. Провод большего диаметра требует увеличения усилия натяжения и использования более прочных

выводов. Вывод должен иметь минимум две острые кромки. Для этого используют квадратное, прямоугольное, U- и V-образное сечение (рис. 3).

Основные технические требования к соединениям накруткой и их дефекты

Для всех видов соединений накруткой обязательно плотное прилегание витков провода друг к другу. Не допускается выступание конца последнего витка за пределы соединения более чем на диаметр жилы провода. В противном случае увеличивается вероятность случайной раскрутки последних витков и возникает опасность повреждения изоляции проводов, прокладываемых между выводами в процессе монтажа накруткой. В соединениях не допускается накрутка провода внахлестку, с просветом более 0,2 диаметра провода или по спирали, а также неодинаковый шаг — витки с просветом (рис. 4).

Определим условия возникновения этих дефектов и возможности предупреждения их возникновения.

Выступающий конец витка

Можно предположить, что причиной этой погрешности могут быть пружинение проводника, погрешности осевого шага в последний момент процесса накрутки последнего витка, увеличенный диаметр каплеобразного углубления у торца накручивающего валика. Как известно, пружинение возникает при снятии деформирующего напряжения — разгрузке. Величина этого пружинения — упругой де-

формации — зависит от угла сгиба, механических характеристик материала проводника и вывода, относительной величины радиуса сгиба, а также состояния материала и длины проводника от ребра вывода до его концевой части. Принимая во внимание расчетную величину угла пружинения, создающую выступание его конца, расположенного между последними ребрами контакта вывода и проводника, можно установить, что при условиях накрутки угол пружинения составляет незначительную величину, около 1° [1]:

$$\Delta\alpha = \left[3S_p + \Pi \times \frac{2d}{2r+d} \right] \left(\frac{r}{d} + 1 \right) \times \frac{\alpha}{E},$$

где S_p — экстраполированный предел текучести материала проводника; Π — модуль упругости материала проводника; α — угол сгиба; r — радиус сгиба; d — диаметр проводника, E — модуль упругости первого рода.

С учетом длины пружинящей части проводника, равной примерно ширине стороны вывода (до 3 диаметров проводника, максимальная величина которого может быть не более ~3,6 мм), выступ конца проводника будет равен:

$$\Delta d = 3d \times \text{tg} \Delta\alpha = 3d \times \Delta\alpha.$$

Это произведение не превышает 0,1d; по техническим требованиям допускают величину выступа, равную d . На основе этого результата можно утверждать, что причиной появления выступающего конца проводника является не пружинение.

Режимы накрутки

Режимами процесса накрутки являются осевое усилие и осевой шаг подачи провода. Равнодействующая усилия накрутки всегда направлена по касательной к радиусу вращения накручивающего валика и при формировании последнего витка практически равна нулю. Поэтому здесь выступание может возникнуть только вследствие пружинения оставшейся части проводника, особенности которого мы уже рассмотрели, то есть оно не может вызвать такой брак, так как проводник всегда находится в пределах фасонного каплеобразного углубления на торце накручивающего валика. Осевой шаг подачи накручивающей головки обеспечивает равномерную укладку провода с шагом, равным его наибольшему диаметру; при этом должно быть создано осевое усилие, меньшее

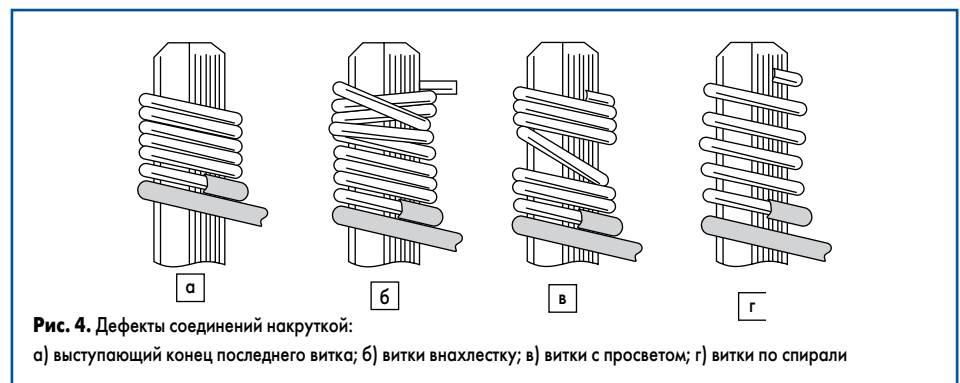


Рис. 4. Дефекты соединений накруткой:
а) выступающий конец последнего витка; б) витки внахлестку; в) витки с просветом; г) витки по спирали

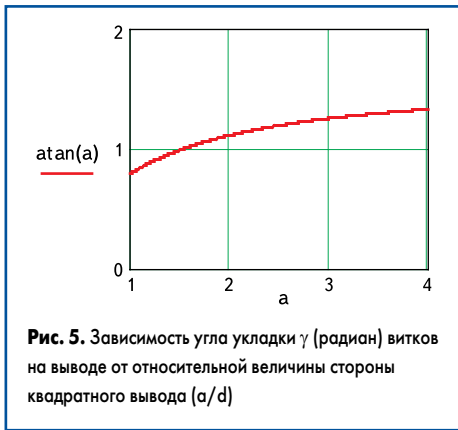


Рис. 5. Зависимость угла укладки γ (радиан) витков на выводе от относительной величины стороны квадратного вывода (a/d)

или равное вертикальной составляющей усилия накрутки, как в начальные этапы процесса, так и во время конечного этапа, когда осевое усилие равно нулю. При этих условиях процесс проходит без брака; однако при увеличенном шаге осевой подачи накручивающей головки в процессе накрутки последней четверти последнего витка эта часть витка выходит из контакта с торцом фасонного углубления накручивающей головки за ее пределы, а проводник не приближается к выводу. Следствием этого и является выступание проводника за пределы периметра накрутки на величину, превышающую один его диаметр. Для предупреждения этого брака необходимо в последние моменты процесса накрутки строго соблюдать шаг осевой подачи. Очевидно, что такой брак будет возникать при осевой подаче накручивающей головки вручную, при автоматической подаче такого брака нет.

Каплевидное углубление у торца накручивающего валика должно быть не более одного диаметра проводника с изоляцией, что обеспечивает свободное расположение проводника между осью бокового отверстия и ребром вывода. В последний этап накрутки при завышенном радиусе контура этого углубления, превышающем сумму диаметра проводника и радиуса описанной окружности вывода, после выхода проводника из бокового отверстия его свободный торец будет касаться боковой стенки радиального углубления. Результатом этого процесса будет выступание проводника на величину, превышающую диаметр проводника. На основе этих соображений можно рекомендовать способ предупреждения этого брака: выполнение радиуса торцевого

радиального углубления у центра вращения накручивающего валика с радиусом, равным:

$$r_T = r_{on} + d_{из}$$

где r_T — радиус торцевого углубления у накручивающего валика; r_{on} — радиус описанной окружности вывода; $d_{из}$ — наибольший диаметр проводника по изоляции при модифицированном способе накрутки, при немодифицированной накрутке этот диаметр равен диаметру проводника по металлу.

Витки внахлестку

Такой брак возможен при автоматической подаче и подаче вручную накручивающей головки. При автоматической подаче этот брак возникает из-за неправильного подбора осевого усилия прижима витка к другому, ранее уложенному, и несогласования осевой подачи накручивающего валика с наибольшим диаметром проводника. Для его устранения следует осевое усилие прижима накручивающей головки уменьшить до необходимой величины, а шаг осевой подачи валика должен быть равен наибольшему диаметру проводника. При работе вручную этот брак возникает из-за неравномерной и уменьшенной осевой подачи накручивающего валика. Установим расчетную величину осевого усилия прижима витков друг к другу в процессе накрутки, которую должен обеспечивать и не превышать механизм накрутки, или, иными словами, усилие сжатия виткины.

Выделим силы, действующие в процессе накрутки: вдоль оси проводника сила натяжения — P , вертикальная составляющая — $P \sin \gamma$, где γ — наибольший угол контакта проводника между плоскостью, перпендикулярной оси вывода, и осью накрученного на вывод проводника. Наибольшая величина этого угла возникает перед началом изгиба проводника у острого ребра вывода; из геометрических соображений она равна $\gamma = \arctg[d/(a+d)]$ (рис. 5). Несомненно, обязательным является условие: вертикальная составляющая усилия прижима P_{np} проводника, создаваемого накручивающей головкой, не может быть больше вертикальной составляющей усилия накрутки $P \sin \gamma$:

$$P_{np} \leq P \sin \gamma.$$

При величине этого усилия, большей, чем эта, несмотря на правильный шаг осевой подачи, будем получать «нахлест» витков друг на друга. При меньшем угле контакта, возникающем в начальные, наладочные этапы процесса накрутки, также возможен этот вид брака, потому что и в этом случае также возможно превышение допустимой величины осевого усилия при наладке процесса вручную. Методика определения силовых параметров для расчета — силы прижима P_{np} накручивающего валика к уложенным на вывод виткам, определение силы P_{zop} и скручивающего вывод момента — будет изложена в следующей статье.

Витки с просветом и витки по спирали

Витки с просветом возникают обычно при увеличенном неравномерном управлении шагом осевой подачи накручивающей головки вручную. Исключение этого дефекта возможно только при равномерной подаче накручивающей головки с расчетным шагом накрутки.

Дефект «витки по спирали» возникает при увеличенной осевой подаче накручивающей головки. При автоматической накрутке — это результат неправильной настройки механизма осевой подачи накручивающей головки. При подаче вручную — увеличенное осевое перемещение накручивающей головки. В первом случае для исключения дефекта необходимо правильно отрегулировать шаг осевого перемещения накручивающей головки, во втором — следует уменьшить скорость осевого перемещения накручивающей головки.

Строгое соблюдение представленных рекомендаций по предупреждению брака при накрутке обеспечит высокое качество при электромонтаже способом накрутки.

Литература

1. Ковалев В. Г., Ковалев С. В. Технология литостановки. Технологическое обеспечение точности и стойкости: учебное пособие. М.: КНОРУС, 2010.
2. Ковалев В. Г., Ковалев С. В. Основные расчетные параметры электромонтажа методом накрутки // Технологии в электронной промышленности. 2008. № 8.
3. Алексеев В. Г., Гриднев В. Н., Нестеров Ю. И. и др. Технология ЭВА: оборудование и автоматизация. М.: Высшая школа, 1984.