

Логинов Ю. Н., Илларионов А. Г., Иванова М. А.
Уральский федеральный университет, г. Екатеринбург

ПОСЛЕДСТВИЯ ХОЛОДНОЙ СВАРКИ МЕДНОЙ КАТАНКИ

Выполнен анализ последствий применения различных видов сварки в волочильном переделе при изготовлении медной проволоки электротехнического назначения. Обработаны результаты металлографических исследований и расчетов напряженно-деформированного состояния стыка проволоки, полученного методом холодной сварки. Сделаны выводы, поясняющие явления, возникающие при прохождении сварочного шва через волочильный инструмент и приставки отжига.

Ключевые слова: *холодная сварка, волочение, напряжения, деформации, электротехническая медь.*

Холодная стыковая сварка медной катанки применяется для соединения отдельных бунтов заготовки с целью организации непрерывного процесса волочения. В кабельной промышленности ситуация с применением того или иного вида сварки для медной заготовки постоянно видоизменялась. Исторически можно отследить несколько этапов усовершенствований в этой области:

1. Волочение бунта катанки в состоянии поставки. Речь идет о дискретной технологии: заготовка в виде вайербарса вначале прокатывается до состояния катанки, а затем полученный бунт заправляется в волочильный стан, протягивается на всю длину, процесс завершается, следующий бунт заправляется снова, цикл повторяется. Масса бунта в этом случае невелика, в пределах 100–200 кг. Недостаток процесса: потеря производительности волочильного стана в моменты остановок для перезаправки. Недостаток особенно стал ощутим после наращивания скоростей волочения до 30 м/с.

2. Остановки оборудования удалось уменьшить при использовании устройств для сварки заготовки встык, за счет чего производительность была значительно повышена. На этом этапе применялся метод сварки оплавлением. Места сварки всегда являлись источниками дефектности, поэтому требовалось сократить количество таких «подозрительных» объектов, что возможно, если масса бунта будет увеличена. Этому мешала конструкция прокатных станов – они в лучшем случае полунепрерывные: черновые проходы осуществляются в реверсивной клети, где длина заготовки ограничена длиной рольгангов.

3. Нарращивание массы бунта стало возможным после освоения непрерывных процессов литья – прокатки. Тем самым стабилизировано структурное состояние металла и уровень его потребительских свойств [1]. С позиции самих процессов литья и прокатки масса не имеет ограничений, поскольку процесс непрерывный, но устройства приема катанки и формирования бунтов такие ограничения уже имеют. В настоящее время удается формировать бунты развесом 3–5 т. Тем самым снижено в десятки раз количество мест сварки, что благоприятно сказалось на качестве продукции. Однако сама проблема наличия сварочных швов осталась.

В настоящее время наряду с применением методов холодной сварки медной катанки применяются методы сварки сопротивлением без оплавления. Сравнение последствий различных методов сварки приводит к следующим выводам.

Сварка оплавлением связана с разрушением горячедеформированной структуры металла, унаследованной от горячей прокатки. Металл переводится в литое состояние со всеми недостатками этого состояния: малой прочностью и пластичностью. Вероятность обрывности металла увеличивается. Этот метод сварки в кабельной промышленности почти повсеместно перестал применяться.

Схема холодной сварки катанки встык приведена на рис. 1. Холодная сварка осуществляется за счет приложения высокого уровня давлений и создания интенсивных пластических деформаций в месте стыка. Здесь состояние

горячедеформированного металла не разрушается. Однако на это состояние накладывается поле интенсивных деформаций, осуществляемых в холодном состоянии.

В публикациях [2; 3] приведены результаты расчетов степени деформации сдвига, достигаемые в процессе холодной сварки. Методика расчета основана на методе конечных элементов, одно из состояний показано на рис. 2. Из рисунка, в частности, видно, что сварка приводит к появлению областей с очень высокой степенью нагартовки. Расчеты показали, что степень деформации сдвига достигает значений 5–7, что больше, чем при самом волочении. Здесь обозначено: t – время прохождения частицы по траектории ее перемещения, H – интенсивность скорости деформации сдвига.

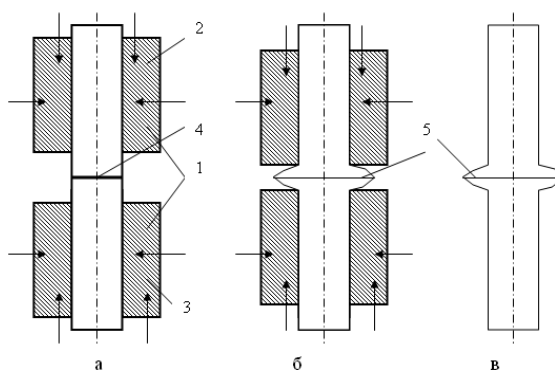


Рис. 1. Схема холодной стыковой сварки: 1 – зажимы; 2, 3 – концы заготовок; 4 – место стыка; 5 – грат (облой); а – зажим заготовок; б – сдавливание с образованием грата; в – соединенные заготовки с гратом; стрелки показывают направление действия сил на инструмент

Из-за высокой степени нагартовки место стыка характеризуется резким измельчением зерна, повышением твердости и прочности (рис. 3).

На первый взгляд, это и требуется для получения качественного металла. Однако эксперименты, проведенные методом волочения вырезанной части заготовки со сварным швом на испытательной машине, показали, что нагрузки в месте шва превышают нагрузки при штатном режиме в два раза. Вместе с тем процесс волочения является непрерывным, управление соседними тянущими шкивами осуществляется в автоматизированном режиме, поэтому системы

автоматики реагируют на изменение нагрузки в месте шва с созданием пиковых моментов. Кроме того, современное волочильное оборудование обычно имеет встроенные системы рекристаллизационного отжига. Настройка этих систем осуществляется на температуру и продолжительность термообработки для проволоки, прошедшей обычные режимы нагартовки, а место сварочного стыка является аномалией. Степени деформации здесь намного выше, что приводит к раннему достижению температуры начала рекристаллизации, вслед этому успевают проходить процессы собирательной рекристаллизации с ухудшением пластических свойств.

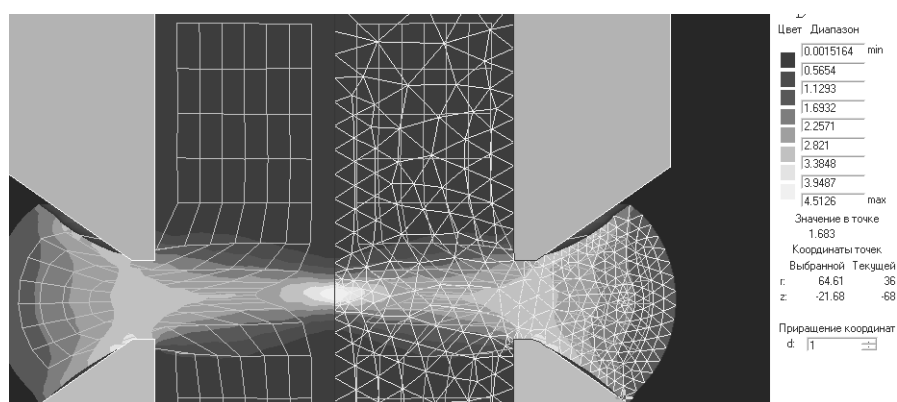


Рис. 2. Образование графа на промежуточной стадии холодной сварки с фиксацией степени деформации сдвига (числа в таблице), слева – замороженная сетка, справа – сетка конечных элементов

При переходе от обработки катанки к обработке проволоки на станах средне-тонкого волочения место стыка остается опасным сечением, где свойства аномальны. В результате такого режима возникает ситуация статистически случайных обрывов проволоки [4].

Выявленные недостатки метода холодной сварки приводят к мысли о необходимости замены его другим методом, например, сварки электросопротивлением с нагревом области интенсивной пластической деформации до температур рекристаллизации металла. Машины такого типа выпускаются современной промышленностью, но практика их эксплуатации не

показывает существенного улучшения без обрывности волочения, скорее всего, из-за неоптимального набора параметров эксплуатации.

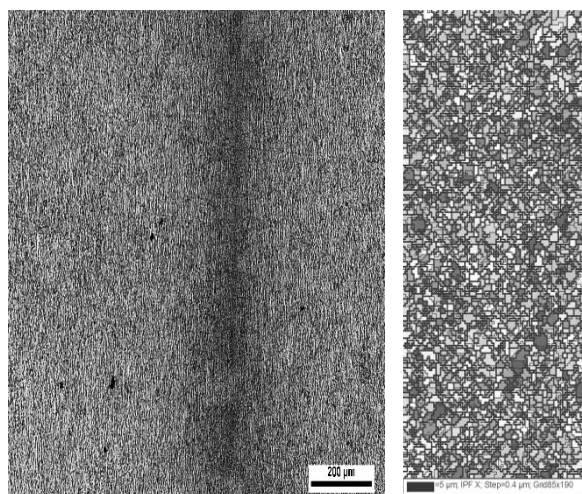


Рис. 3. Данные электронной микроскопии: структура зоны сварного шва (вертикальная темная полоса, ось катанки горизонтальна) и прилегающих к ней зон деформационного влияния:
а – микроструктура; б – ориентационный контраст в зоне шва

Литература

1. Структурное состояние медной катанки, полученной при непрерывном процессе литья – прокатки / Ю. Н. Логинов, С. Л. Демаков, А. Г. Илларионов, М. А. Иванова, В. А. Романов // Цветные металлы. 2013. № 8. С. 87–92.
2. Определение уровня нагартовки медной проволоки при сварке / Ю. Н. Логинов, А. Ю. Зуев, Т. П. Копылова, С. Е. Шихов // Кабели и провода. 2009. № 6. С. 3–7.
3. Деформации и структура металла при холодной сварке медных заготовок / Ю. Н. Логинов, А. Г. Илларионов, С. Ю. Ключева, М. А. Иванова // Известия вузов. Цветная металлургия. 2012. № 1. С. 37–44.
4. Логинов Ю. Н., Осминин А. С., Копылова Т. П. Исследование изменения относительного сужения кислородсодержащей медной проволоки по маршруту волочения // Заготовительные производства в машиностроении. 2012. № 5. С. 29–32.