

## **ОСОБЕННОСТИ ФОРМООБРАЗОВАНИЯ ГОРЯЧЕЙ ОБЪЕМНОЙ ШТАМПОВКОЙ ЗАГОТОВОК ИЗ ДИСПЕРСНО-УПРОЧНЕННОЙ МЕДИ**

*Белорусско-Российский университет  
Могилев, Беларусь*

### **1. Особенности физико-механических и технологических свойств.**

Для изготовления ряда изделий электротехнической промышленности (разрывных электроконтактов, электродов контактной точечной сварки, токоподводящих наконечников для сварки проволокой в среде защитных газов, сопел плазмотронов, электрод-инструмента для электроэрозионной обработки) необходимо применение новых жаропрочных материалов износостойких материалов на основе меди.

Высокие эксплуатационные характеристики достигаются при использовании дисперсно-упрочненных композиционных материалов (ДУКМ) на основе меди, получаемых методом реакционного механического легирования.

Эти ДУКМ на основе меди, получаемые по технологии разработанной в Белорусско-Российском университете, имеют следующие свойства: электропроводность составляет 65-70% от электропроводности меди, твердость – 190-220 НВ, предел прочности при растяжении – 700-900 МПа, длительная прочность –  $[\sigma^{10}] = 200 - 250$  МПа, температура рекристаллизации – 800-850<sup>0</sup>С, относительное удлинение – 2 %.

Основные технологические этапы изготовления этих материалов включают в себя реакционное механическое легирование; холодное прессование полученных дисперсно-упрочненных гранулированных композиций; термообработку гранулированных

композиций; экструзию прутков требуемого профиля; формообразование заготовок методами горячей обработки давлением и, наконец, получение изделий с помощью механообработки.

Сложность производства прутков с сечением более  $200 \text{ мм}^2$  обусловлена рядом причин: большой неравномерностью деформаций по сечению заготовки; низкой стойкостью технологической оснастки для экструзии при увеличении геометрических параметров; необходимостью применения прессового оборудования усилием более 4000 кН.

В связи с широкой номенклатурой изделий электротехнической промышленности, характеризующейся разнообразием форм и сложностью изготовления профилей с большой площадью поперечного сечения, особое значение приобретает выбор рациональных методов формообразования заготовок.

ДУКМ на основе меди отличаются от других конструкционных материалов меньшей допустимой скоростью нагрева (не более  $110^\circ\text{C}/\text{мин}$  при диаметре прутка до 18 мм), ограниченными степенями деформаций, более узкими температурными интервалами обработки давлением ( $700\text{--}830^\circ\text{C}$ ), большим сопротивлением деформации, выраженной анизотропией физико-механических свойств. Эти особенности физико-механических свойств ДУКМ, обусловлены микрокристаллической структурой сплава, замедленной диффузией и рекристаллизацией.

Деформируемость в горячем состоянии характеризуется следующими параметрами: допускаемая степень деформации при свободной осадке вдоль оси до 50–56%; уголгиба до 22–27 % (при радиусегиба равном диаметру прутка); угол закрутки до  $42\text{--}48^\circ$  (на длине 100 мм при диаметре прутка 16 мм).

Эти свойства обуславливают невозможность обработки давлением ДУКМ в холодном состоянии и посредственную деформируемость при горячей обработке давлением.

При проектировании штампового инструмента необходимо учитывать различие в коэффициентах линейного расширения материалов заготовки и инструмента (соответственно  $16,8 \cdot 10^{-6} \text{ }^\circ\text{C}^{-1}$  и  $12,4 \cdot 10^{-6} \text{ }^\circ\text{C}^{-1}$ ) и разницу их температур.

Верхняя граница температурного интервала горячей объемной штамповки для ДУКМ на основе меди не должна превышать  $830^\circ\text{C}$ , т.к. нагрев на более высокие температуры приводит к рекристаллизации и снижению эксплуатационных свойств изделий. Нижняя граница температур должна быть не менее  $700^\circ\text{C}$ , в связи со снижением пластичности материала.

В идеальном случае оснастка должна иметь температуру нагретой заготовки, но высокая стоимость и дефицитность штамповых сталей, работающих при высоких температурах, обуславливает их замену полутеплостойкими штамповыми сталями типа 5ХНМ, работающих при температурах до  $450^\circ\text{C}$ .

При обработке давлением изделий обладающих малой массой, во избежание снижения температуры в процессе штамповки, возможна замена штамповых сталей быстрорежущими, позволяющими производить нагрев штампового инструмента до температур  $600^\circ$ .

## **2. Особенности прошивки заготовок.**

Механическая обработка осложняется абразивными свойствами ДУКМ, снижающими стойкость режущего инструмента. Особенно это сказывается при глубоком сверлении рабочих каналов токоподводящих наконечников, водоохлаждающих каналов электродов. Использование штамповки позволяет снизить потери металла в стружку, повысить производительность процесса, улучшить эксплуатационные свойства изделий.

Прошивка отверстия в заготовке с раздачей материала в стороны вызывает образование продольных трещин из-за пониженной пластичности ДУКМ поперек волокон. Вследствие этого разность диаметров исходной заготовки и канала матрицы при комнатной температуре не должна превышать 2,5% для ограничения процесса раздачи. Разность диаметров менее 0,8 % приводит к образованию поперечных рванин в прошиваемых заготовках. Это явление

ние связано с заклиниванием заготовки в конической части канала матрицы, в процессе перемещения ее пуансоном в зону сужения, и преждевременным началом процесса прошивки. Таким образом, в «застывшей» в середине канала заготовке передняя ее часть продолжает перемещаться с помощью пуансона, а задняя, с прошитым отверстием, неподвижна или перемещается с меньшей скоростью.

Поперечные рванины, вызываемые теми же причинами, могут наблюдаться и при штамповке в несколько переходов. Для предотвращения этого матрица каждого последующего перехода должна иметь увеличенные размеры рабочих полостей. Расчет размеров производится с учетом коэффициентов линейного расширения материалов заготовки и оснастки, а также разницы их температур.

Конусность канала матрицы должна быть в пределах  $0^{\circ}40' - 1^{\circ}20'$ . При увеличении конусности снижаются силы трения заготовки о стенки канала матрицы и заготовка остается на прошивне из-за усадки при охлаждении, что затрудняет ее съем. При уменьшении конусности значительно возрастают усилия выталкивания заготовки.

При прошивке глухих отверстий в заготовках имеющих наружную коническую поверхность (что характерно для рабочей части электродов для контактной точечной сварки) прошивень не должен входить в коническую зону канала матрицы. Несоблюдение этого условия приводит к отрыву материала заготовки от стенок канала матрицы и к несанкционированному съему заготовки на прошивне.

Получение тонкостенных поковок с глубоким отверстием сопровождается выраженной разностенностью. Это объясняется разностью диаметров заготовки и канала матрицы, что вызывает эксцентричное расположение отверстия в начале прошивки. Эксцентричность, кроме нарушения геометрических размеров изделия, приводит к образованию трещин в тонкостенной части юбки электрода. Их появление связано с охрупчиванием переохлажденного тонкостенного участка и максимальной раздачей материала в начале процесса прошивки.

Наличие центровочного отверстия на торце заготовки позволяет избавиться от данного вида дефектов.

Разностенность в конце прошивки связана с формой рабочей части прошивня и зависит от кинематики течения материала, сил трения, степени несимметричности течения материала. Наиболее благоприятна, с точки зрения кинематики течения материала, сферическая форма головки прошивня. Однако, при выдавливании с высокими степенями деформации и большой относительной глубиной полости создаются условия приводящие к повышенной адгезии и нестационарности процесса течения материала. Вследствие этого, возникает тенденция к радиальному смещению прошивня.

Профиль рабочей части в виде усеченного конуса уступает сферическому по кинематике течения материала, но повышает устойчивость смазочного слоя, снижает адгезию, способствует стационарности процесса и обеспечивает наименьшую разностенность.

При прошивке электродов точечной сварки с наружными диаметрами до 25 мм и внутренними каналами диаметрами до 16 мм оптимальные значения углов при вершине конической части составляют  $(140-160)^{\circ}$ , а диаметры площадок составляют 0,4-0,5 от диаметра рабочей части прошивня.

На условия работы прошивня, матрицы, течения материала большое влияние оказывают условия смазки. Применение рекомендуемых в литературе масляно-графитовых суспензий приводит к накоплению в канале матрицы графита и нарушению формы и размеров изделия. Лучшие результаты дает применение высокотемпературных синтетических смазок.

Знание и учет особенностей прошивки заготовок из ДУКМ на основе меди при изготовлении электродов позволяет оптимизировать режимы основных операций штамповки и расширить ассортимент электротехнической продукции сложной формы применяемой на предприятиях Республики Беларусь и стран СНГ.

### **3. Особенности высадки заготовок.**

Сложность производства прутков с высокими физико-механическими характеристиками сечением более  $220 \text{ мм}^2$  обусловлена рядом причин: большой неравномерностью де-

формаций по сечению заготовки; низкой стойкостью технологической оснастки для экструзии при увеличении геометрических параметров; необходимостью применения прессового оборудования усилием более 2500 кН.

Потребность в расширении ассортимента изделий имеющих большую площадь поперечного сечения и отсутствие необходимого прессового оборудования вызывают необходимость применения операций осадки для заготовок из дисперсно-упрочненной меди. Низкая пластичность и выраженная анизотропия физико-механических свойств обуславливают невозможность обработки давлением в холодном состоянии и посредственную деформируемость при горячей обработке давлением. Допускаемая степень деформации при свободной осадке прутков диаметром 16 мм нагретых до 800<sup>0</sup>С вдоль оси не превышает 56% . Для повышения пластичности материала необходимо производить осадку в закрытых штампах.

Целью данных исследований являлась оптимизация технологических процессов формообразования заготовок методами обработки давлением.

Для достижения поставленной цели требовалось решение следующих задач: изучение особенностей технологических процессов на основных операцияхковки и оптимизация их режимов; оптимизация режимов на основных операцияхштамповки для типовых изделий электротехнической промышленности; разработка технологических процессов для основных типов изделий и конструирование инструмента и технологической оснастки.

Высадка головки электрода диаметром 25 мм и высотой 16 мм из прутка диаметром 16 мм возможна за 1 переход без потери устойчивости при соотношении Н/Д равное 2,4. Дальнейшее увеличение высоты головки приводит к потере устойчивости и требует применения дополнительного наборного перехода. Этот переход производится в наборном пуансоне с рабочей полостью в форме усеченного конуса с основаниями диаметром 25 и 16 мм. Таким образом, можно высаживать головки с площадью поперечного сечения до 500 мм<sup>2</sup> и высотой 24 мм из прутка 16 мм без заметного снижения физико-механических свойств. Дальнейшее увеличение высоты высаживаемой головки требует увеличения числа наборных переходов.

Для заполнения рабочей полости штампа давление осадки должно быть не менее 500 МПа при температуре оснастки 450<sup>0</sup>С и температуре нагрева заготовки 800<sup>0</sup>С.

Так как рабочей поверхностью электрода является центральная часть головки, то разрыхление сердцевины за счет раздачи материала при осадке значительно снижает его эксплуатационные свойства. Наименьшее разрыхление сердцевины при наборном переходе достигается расположением большего диаметра усеченного конуса у ножки электрода. При такой схеме раздача материала в центре электрода минимальна. При высадке головок с большим сечением избежать разрыхления центральной части электрода не удастся.

Сочетание высадки с обратным прессованием рабочей части головки позволяет сохранить структуру рабочей поверхности электрода. В этом случае осуществляется вариант открытой штамповки с выдавливанием части материала со стороны рабочей поверхности электрода внутрь пуансона. Течение слоев материала при обратном прессовании противоположно течению при раздаче заготовки во время высадки и является преобладающим процессом.

Характер истечения и глубина деформируемых слоев материала при обратном прессовании зависят от соотношения диаметров высаживаемой головки и отверстия матрицы. Уменьшение выходного отверстия матрицы увеличивает давление высадки и позволяет заполнить рабочую полость штампа, но снижает глубину деформирования слоев материала головки. Оптимальное соотношение площадей сечения высаживаемой головки и выдавливаемого прутка 15 : 1.

На работу штампа и течение материала большое влияние, оказывают условия смазки. Применение рекомендуемых в литературе масляно-графитовых суспензий приводит к накоплению графита в ручье штампа и нарушению формы и размеров изделий. Лучшие результаты дает применение высокотемпературных синтетических смазок.

Рекомендуемые режимы и приемы высадки позволяют расширить ассортимент высококачественных изделий электротехнического назначения из дисперсно-упрочненных материалов на основе меди.

#### **4. Особенности гибки заготовок.**

Поставляемые Белорусско-Российским университетом электроды контактной точечной сварки из дисперсно-упрочненного композиционного материала на основе меди, полученного реакционным механическим легированием, хорошо зарекомендовали себя на различных предприятиях машиностроительного профиля. Основные типы применяемых электродов имеют простую геометрическую форму и представляют собой колпачок или цилиндр и могут быть изготовлены выдавливанием.

Но для сварки крыши кабины автомобиля МАЗ применяются электроды сложной конфигурации. Они представляют собой изделие, состоящее из двух усеченных конусов. Причем рабочий конус (с диаметром 11мм у основания) сдвинут относительно посадочного конуса (с диаметром 16мм у основания) на 9 мм. Изготовление такого электрода механической обработкой из прутка приводит к значительным потерям материала в стружку, затратам времени и к снижению эксплуатационных свойств изделий.

Формообразование заготовки методами обработки давлением позволяет избавиться от этих недостатков.

Посредственная деформируемость в горячем состоянии проявляется, в частности, в ограничении допускаемого углагиба до  $22-27^{\circ}$  при радиусегиба равном диаметру прутка. Такие технологические свойства не позволяют получить требуемое изделие свободной гибкой.

Известно, что пластичность материала можно повысить при реализации рациональной схемы напряженного состояния. Повышение пластичности, в данном случае, достигается созданием сжимающих напряжений вдоль оси заготовки в процессе гибки.

Нами разработана конструкция штампа, позволяющая производить осадку заготовки одновременно с ее гибкой, что дает возможность изготавливать требуемые изделия из дисперсно-упрочненных композиционных материалов на основе меди.

#### **ЛИТЕРАТУРА**

1. Витязь П.А., Ловшенко Ф.Г., Ловшенко Г.Ф. Механически легированные сплавы на основе алюминия и меди.-Мн.: Беларуская навука, 1998.-352с.
2. Инструментальные стали и их термическая обработка. И. Артингер. Справочник./ Пер.с венгер. М.: Металлургия,1982.-312с.
3. Машиностроительные материалы. Краткий справочник./ В.М.Раскатов и др.-3-е изд. перераб. и доп.-М.:Машиностроение,1980.-511с.
- 4.Термическая обработка в машиностроении: Справочник/ Под ред. Ю.М.Лахтина, А.Г.Рахштадта.-М.: Машиностроение,1980.-783с.
- 5.Стали и сплавы. Марочник: Справ, изд. / В.Г. Сорокин и др.; Науч. ред. В.Г. Сорокин, М.А. Гервасьев — М.: “Интермет Инжиниринг”, 2001.-608с.