

УДК 621.983.3.002.22:621,3

### РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА ВЫТЯЖКИ НЕОСЕСИММЕТРИЧНЫХ ПОЛУФАБРИКАТОВ ДЛЯ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ДЕТАЛЕЙ ЭЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ

**Т. В. Гайкова**

Кременчугский национальный университет имени Михаила Остроградского  
ул. Первомайская, 20, г. Кременчуг, 39600, Украина. E-mail: tanyahaikova@mail.ru

Рассмотрены вопросы разработки технологического процесса вытяжки неосесимметричных деталей. Показано, что при получении данных изделий и полуфабрикатов предельные значения растягивающих напряжений в стенке полого полуфабриката ограничиваются прочностью материала в опасном сечении. Приведена зависимость для определения максимальных растягивающих напряжений. Предложены два направления по определению механических характеристик предела текучести материала и проектированию технологического процесса производства контакта выкатного. Связь между напряжениями и деформациями при одноосном напряженном состоянии металлической композиции установлена графическим способом, при этом кривые упрочнения для каждого металла строятся по эмпирическим зависимостям. Выполнен проект технологического процесса производства контакта выкатного элемента. Определен предел текучести в зависимости от параметров термообработки, степени деформации и окончательно с учетом толщины слоев. Выявлено, что разработанная технология позволяет снизить потребление дорогостоящих металлов, уменьшить вес токоагруженных элементов электротехнического оборудования и устройств и снизить стоимость.

**Ключевые слова:** контакт, металл, напряжение, предел текучести, технологический процесс.

### РОЗРОБКА ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ ВИТЯЖКИ НЕОСЕСИМЕТРИЧНИХ НАПІВФАБРИКАТІВ ДЛЯ ВИГОТОВЛЕННЯ ДЕТАЛЕЙ ЕЛЕКТРОТЕХНІЧНОЇ ПРОМИСЛОВОСТІ

**Т. В. Гайкова**

Кременчуцький національний університет імені Михайла Остроградського  
вул. Першотравнева, 20, м.Кременчук, 39600, Україна. E-mail: tanyahaikova@mail.ru

Розглянуто питання розробки технологічного процесу витяжки неосесимметричних деталей. Показано, що при отриманні даних виробів і напівфабрикатів граничні значення розтягуючих напружень в стінці порожнього напівфабрикату обмежуються міцністю матеріалу в небезпечному перерізі. Наведено залежність для визначення максимальних розтягуючих напружень. Запропоновано два напрямки для визначення механічних характеристик межі текучості матеріалу і проектування технологічного процесу виробництва контакту викочувального. Зв'язок між напругою і деформаціями при одноосовому напруженому стані металевій композиції встановлено графічним способом, при цьому криві зміцнення для кожного металу будуються за емпіричними залежностями. Виконано проект технологічного процесу виробництва контакту елементу викочувального. Визначено межу плинності залежно від параметрів термообробки, ступеня деформації і остаточно з урахуванням товщини шарів. Виявлено, що розроблена технологія дозволяє знизити споживання дорогих металів, зменшити вагу токоагружених елементів електротехнічного обладнання і пристроїв та знизити вартість.

**Ключові слова:** контакт, метал, напруга, межа плинності, технологічний процес.

**АКТУАЛЬНОСТЬ РАБОТЫ.** В настоящее время энергетического роста происходят процессы развития и совершенствования конструкций элементов контактных соединений. И поэтому в процессе использования контактных соединений, которые мало надежные и зарекомендовали себя в процессе эксплуатации с негативной стороны, заменяются более надежными и совершенными [1]. В последние годы происходит процесс их совершенствования в качестве разнообразного внедрения прессуемых и сварных контактных соединений, применения алюминия, плакированного медью, и тарельчатых пружин [2].

Надежность контактов в эксплуатации измеряется удельным числом выявленных дефектов и повреждений [3]. Проводниковые соединения в процессе эксплуатации подвергаются химическому и физическому старению. Многочисленные химические вещества, которые всегда имеются в атмосфере, способствуют возникновению и поддержанию химических и электрохимических реакций, вызывающих

коррозию. Особенно насыщена ими атмосфера промышленных районов и тепловых электростанций, где в воздухе в большой концентрации находятся кислоты (соляная, серная, азотная), оксиды (железа, углерода) и хлориды (аммония, натрия).

При соединении различных материалов или загрязнении поверхности одного металла следами другого (медь – алюминий, алюминий – сталь и т. п.) из-за имеющейся разности потенциалов различных металлов появляется электрохимическая коррозия, вызываемая гальваническими микропарами. При наличии влаги и особенно кислот в контактах появляются короткозамкнутые микропары. Электрохимическая коррозия ускоряется при повышении температуры и концентрации солей в водном растворе. Из-за опасности электрохимической коррозии нельзя допускать непосредственного соединения меди и алюминия при наличии влажной среды. Поэтому, для обеспечения надежного контакта применяют биметаллические контакты медь-алюминий,

что обеспечивает увеличение срока службы и уменьшение веса конструкции.

Однако, применение биметаллов имеет свои преимущества и недостатки.

Биметаллы – один из самых современных и перспективных материалов – известны человеку уже много столетий, примером чему может служить знаменитая дамасская сталь, получаемая совместной ковкой пакета из нескольких полос или проволок железа и стали.

Область применения слоистых металлов охватывает все отрасли машиностроения. К потребителям слоистых композиций относятся также приборостроение и радиоэлектроника, инструментальная промышленность, предприятия, производящие товары культурно-бытового и хозяйственного назначения.

Широкое применение полиметаллов обусловлено большим количеством преимуществ по сравнению с традиционными монометаллами:

1. Огромная экономическая эффективность, обусловленная экономией дефицитных легирующих элементов, снижением толщины и веса конструкций, упрощения конструкции, облегчения монтажа и улучшения службы изделий.

2. Возможность получения материала обладающего уникальными (электропроводность и прочность, коррозионная стойкость и пластичность, износостойкость и пластичность, самозатачивание и др.) и заданными свойствами, которые невозможно сочетать в одном монометалле.

3. Возможность повысить надежность и долговечность большого класса деталей, агрегатов и оборудования без значительных капитальных затрат.

4. Расширения сортамента конструкционных материалов (использование в качестве лакирующего элемента хрупкой, но коррозионностойкой стали X13), за счет получения новых свойств в составе биметалла.

5. Высокая технологичность при обработке и сборке.

6. Возможность повысить продуктивность труда и сократить время изготовления ряда деталей за счет совмещения процессов получения слоистых композиций и их формоизменения.

Слоистые композиции, конечно, обладают и некоторыми недостатками, среди которых:

1. Меньший, по сравнению с монометаллами, коэффициент использования.

2. Утилизация отходов слоистых металлов, в большинстве случаев – весьма сложная и многоступенчатая технология.

3. Эрозионное изнашивание в месте соединения из-за возникновения ЭДС и как следствие окисления.

4. Необходимость устранения незащищенного края (среза) слоистого металла, для предотвращения коррозии основного слоя.

5. Сложность теоретического определения механических, физических, химических и электрических свойств.

Перечисленные выше недостатки не идут ни в какое сравнение с преимуществами применения

слоистых материалов, причем главным является как раз не экономический эффект, хотя он огромен, а технологические и конструктивные возможности поликомпозиций, активное применение которых – одна из многих составляющих движения научно-технического прогресса вперед.

Целью работы является разработка технологии изготовления электрических контактов методами обработки металлов давлением с повышенным сроком эксплуатации и надежности по отказам.

**МАТЕРИАЛ И РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ.** Совершенствование обработки давлением слоистых материалов связано с решением трудных задач, связанных с различием механических свойств отдельных слоев материала и коэффициентов линейного расширения, а также с наличием промежуточной зоны между ними, имеющей в ряде случаев пониженные механические свойства [4, 5, 6].

Пластическая деформация полиметаллов для изготовления различных деталей зависит от технологии их производства. В данном исследовании применяли биметаллы, полученные сваркой взрывом. Поэтому необходимым условием получения качественных деталей была термическая обработка заготовок, которая имеет ряд противоречий.

Полный рекристаллизационный отжиг меди проводят путем нагрева меди до температуры 500–700°C, выдержке при этой температуре 1 час и охлаждением вместе с печью. Подобный отжиг позволяет полностью восстановить пластические свойства меди [9].

Термическая обработка биметалла способствует залечиванию микродефектов на границе раздела и формированию равновесной структуры приконтактных объемов алюминия и тем самым определяет более высокие пластические свойства материала.

Алюминий имеет свойство, термически упрочняется при отжиге после холодной деформации, и кроме основного процесса – рекристаллизации, может протекать побочный процесс – частичная закалка (подкалка) с последующим старением. Поэтому алюминий следует медленно охлаждать вместе с печью от температуры отжига (420–450°C) до температуры 150°C со скоростью не более 30°C/ч, что ввиду особенностей применяемого оборудования и режима охлаждения меди невозможно [10]. Но, учитывая незначительную (по сравнению с медью) твердость алюминия и высокую его пластичность даже после подкалки, данным недостатком можно пренебречь.

С помощью реологических моделей Гука, Ньютона, Прандтля, Бингама, Мизеса и других, которые описаны в работах Г.Э. Аркулиса [9], математически описываются связи между напряжениями, деформациями, скоростями деформаций, прочностными, наследственными и другими свойствами однородной среды. Однако при пластической деформации слоистой среды предпосылки, на основании которых строились такие модели, становятся неприемлемыми по следующим причинам:

1) свойства среды неизотропны;

2) деформації, которые зависят от механических свойств компонентов, распределены неравномерно по объему тела также и при линейном напряженном состоянии;

3) из-за вытеснения наиболее пластического компонента деформация происходит с уменьшением объема активно деформируемого металла и увеличением объема реактивно деформируемого металла, что переводит в процессе сжатия линейную схему напряженного состояния в объемную;

4) общие и послойные напряжения и деформации зависят от начальной и текущей толщины слоев и их ориентации к внешней деформирующей силе.

Эти ограничения оказывают влияние на качество получаемых изделий из биметаллов, но при соответствующей термической обработке их можно преодолеть.

При вытяжке корбчатых изделий предельные значения растягивающих напряжений в стенке полого полуфабриката ограничиваются прочностью материала в опасном сечении. Значения растягивающего напряжения в опасном сечении определяется тремя слагаемыми: напряжение от деформирования фланца, напряжение от сил трения между прижимом и свободной поверхностью фланца, напряжение от изгибающего момента на кромке матрицы, а также, коэффициентом, учитывающим напряжение от сил трения на кромке матрицы. В общем случае максимальные растягивающие напряжение можно выразить зависимостью [7]

$$\sigma_{\rho} = \sigma_s \left( \sqrt{1 - \frac{a^2 \theta^2}{\alpha^2}} - \frac{a}{2\alpha} \right) \ln \frac{R}{\rho}, \quad (1)$$

где  $R$  – радиус закругления наружного контура заготовки;  $\rho$  – текущий радиус-вектор;  $a$  – коэффициент, характеризующего величину касательного напряжения, действующего между угловым и прямолинейным участками.

В формуле (1) величиной, оказывающей наибольшее влияние на суммарное значение растягивающего напряжения в опасном сечении, если отбросить второе слагаемое выражения, является напряжение текучести  $\sigma_s$ .

В процессе деформирования материал биметалла получает упрочнение и напряжение текучести будет переменным по очагу деформации. Поэтому определение зависимости напряжений текучести от степени деформации для слоистых материалов является необходимым для построения рациональных технологий формоизменения.

На основании проведенных исследований было предложено два направления по определению механических характеристик биметалла и проектированию технологического процесса производства контакта выкатного.

*Первый способ.* В качестве объекта исследования был рассмотрен биметалл алюминий А1 и медь М4, толщина слоев выбиралась одинаковой. Механические характеристики металлов приведены в табл. 1 [8].

Таблица 1 – Механические характеристики материалов

| Металл | $\sigma_{0,2}$     | $\sigma_B$ | $\delta, \%$ |
|--------|--------------------|------------|--------------|
|        | кГ/мм <sup>2</sup> |            |              |
| А1     | 6                  | 10         | 20           |
| М4     | 8                  | 23         | 55           |

Связь между напряжениями и деформациями при одноосном напряженном состоянии двухслойного металла устанавливали графическим способом по методике [9]. Кривые упрочнения для каждого металла строили по эмпирическим зависимостям [10] (рис. 1):

$$\text{для меди} - \sigma_{0,2} = 7,5 + 5,6 \varepsilon^{0,41};$$

$$\text{для алюминия} - \sigma_{0,2} = 6 + 0,64 \varepsilon^{0,62}.$$

Из рис. 1 видно, что при равномерной деформации слоев без трения связь между напряжениями и деформациями определяется точками пересечения вертикалей общей для всех слоев деформаций с кривыми упрочнения их материала. При деформировании в слоях возникают внутренние дополнительные напряжения – вертикальные отрезки между кривыми упрочнения (рис. 1). Сама кривая упрочнения биметалла является одновременно нулевой линией, которая разделяет послойные положительные дополнительные напряжения от отрицательных. При любой деформации отрезок  $A'C'$  показывает величину дополнительных напряжений сжатия в слоях алюминия, а отрезок  $B'C'$  – величину растягивающих напряжений в слоях меди.

Поэтому величину напряжений текучести в первом случае определяем графически и затем подставляем это значение в дальнейшие технологические расчеты.

Второй способ.

1. Получение биметалла сваркой взрывом.
2. Отжиг листа при температуре 300° С в течении 2 часов.
3. Разделка листа на мерные заготовки (форма заготовки рассчитывается методом потенциалов [7] или по рекомендациям В.П. Романовского).
4. Проверка степни деформации в углах коробки по коэффициенту вытяжки.
5. Проверка возможности вытяжки коробки за одну операцию.
7. Определение предела текучести биметалла по следующей методике:

а) определяем начальный  $\sigma_s$  в зависимости от температуры отжига

$$y = 17,085 - 0,39x_1 - 0,49x_2 + 0,69x_1x_2;$$

б) определяем  $\sigma_s$  в зависимости от степени деформации

$$\sigma_s = y + 0,14 \varepsilon^{1,89};$$

в) окончательно с учетом соотношения слоев

$$\sigma_s = (17,085 - 0,39x_1 - 0,49x_2 + 0,69x_1x_2 + 0,14\varepsilon^{1,89}) \frac{t_1 + t_2}{t}$$

8. Расчет касательных напряжений.

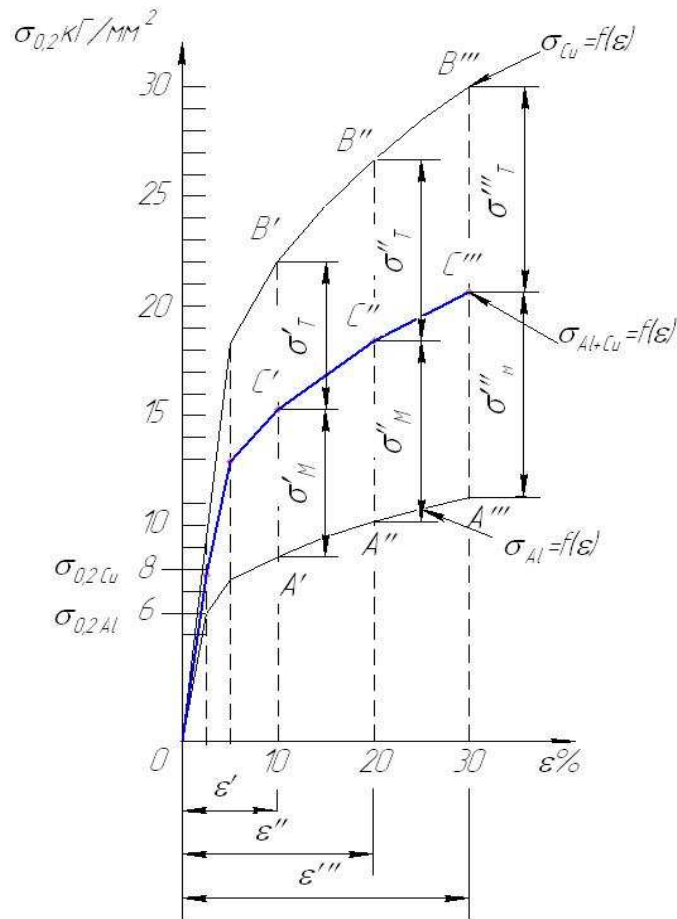


Рисунок 1 – Определение кривой упрочнения биметалла

9. Сравнение касательных напряжений с допускаемыми.
10. Расчет толщины стенки.
11. Вытяжка с фланцем на расчетную высоту.
12. Обрезка фланца по контуру заготовки.
13. Калибровка с выпрямлением радиусов фланцевой части заготовки.
14. Контроль.

Аварии и неполадки по причине ухудшения контактных соединений учитываются далеко не всегда, особенно в промышленных предприятиях, где учет не ведется [8]. Аварийная статистика на станциях и подстанциях, входящих в энергосистемы, показывает, что аварии из-за дефектности контактных соединений составляют около 10% всех аварий. Чаще всего причиной этих аварий является ухудшение контакта в болтовом соединении и, особенно в переходных контактах неоднородных материалов (например, медь – алюминий).

Отечественная промышленность изготавливает биметаллические прокатно-сварные листы из алюминия, плакированного медью, из которых затем нарезаются пластины нужного размера. Для изготовления плакированных медно-алюминиевых переходов применяются алюминий марок А1, АД0, АД1 и мягкая медь марки М-1 или М-2. По заказу могут изготавливаться листы, имеющие только частично плакированную поверхность; например, при общей ширине листа 400 мм можно иметь плакированную посередине листа полосу шириной 150 мм, что позволяет нарезать медно-алюминиевые переходы длиной по 200 мм с плакированной частью 75 мм.

Материалы для электрических контактов, должны, во-первых, иметь наибольшую проводимость и, во-вторых, быть наиболее дешевыми и доступными. Твердость, или сопротивление смятию, играет немаловажную роль в получении хорошего электрического контакта. Чем тверже материал контакта, тем меньше будет число контактных точек и площадь их соприкосновения, тем больше будет переходное сопротивление контактов при одинаковом давлении. Более мягкие материалы, например олово и свинец, применяемые для обслуживания контактных поверхностей из меди и ее сплавов, имеют повышенное против меди удельное сопротивление и, несмотря на то, что они могут давать значительно большее число контактных точек и большую площадь соприкосновения, переходное сопротивление луженых контактов оказывается большим, чем нелуженых. Поэтому для неподвижных контактов лужения медных контактных поверхностей не производят, а защиту от окисления контактных точек производят при помощи смазки контактных поверхностей техническим вазелином (смазка УН). В подвижных контактах разъединителей, выключателей, предохранителей и т. п. иногда целесообразно производить лужение контактных поверхностей с целью предохранения контактов от образования оксидной пленки, а также для получения хорошего контакта при низких давлениях. Поэтому обеспечение наименьшего переходного сопротивления при контакте разнородных металлов обеспечит долговечность их работы и надежность (рис. 2).

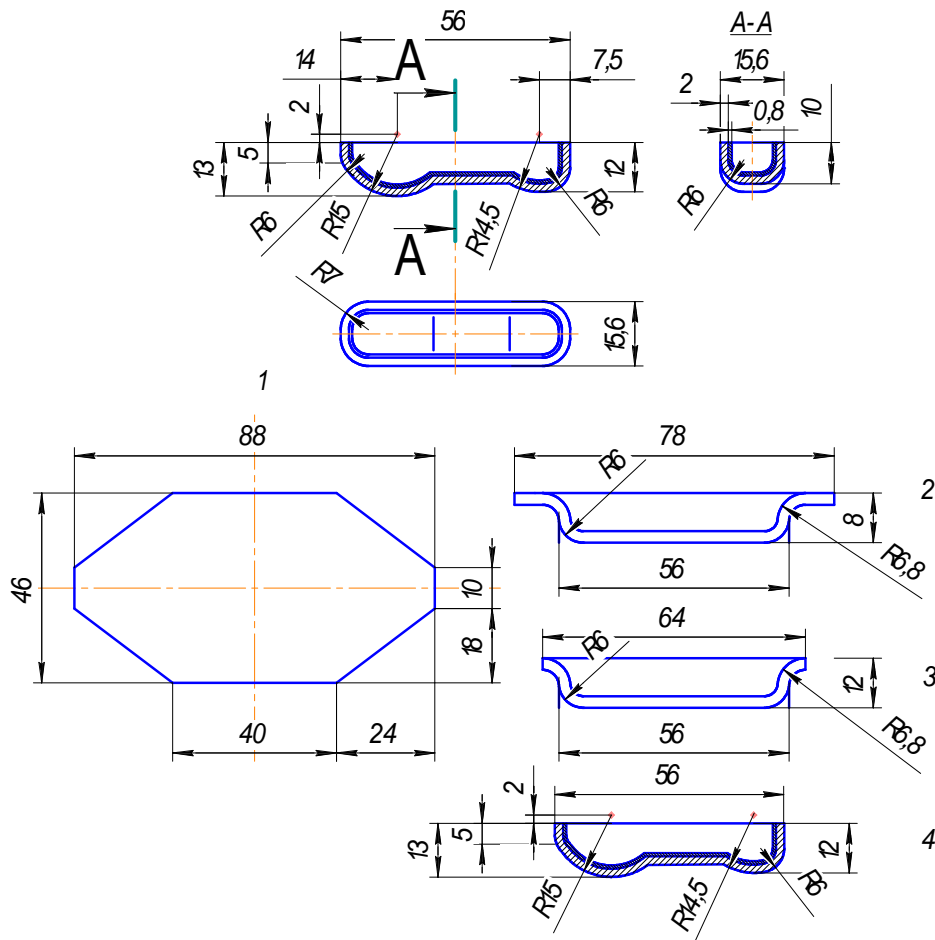


Рисунок 2 – Переходи изготовления контакта электрического:  
1 – заготовка; 2 – вытяжка с фланцем; 3 – обрезка фланца; 4 – формовка

**ВЫВОДЫ.** Разработанная технология позволяет снизить потребление меди на 60–80%, уменьшить вес токонагруженных элементов электро-технического оборудования и устройств на 30–45%, снизить стоимость на 20–40%. Для построения рациональных технологий формоизменения определение зависимости напряжений текучести от степени деформации для слоистых материалов является необходимым, так как напряжение текучести оказывает наибольшее влияние на суммарное значение растягивающего напряжения в опасном сечении. В ходе процесса формоизменения каждый слой заготовки имеет отличное друг от друга напряженно-деформированное состояние. Разница в слоях может привести к разрушению адгезионной связи, и развитию дефекта расслоения в области пластической деформации заготовки.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Investigation of cold rolling influence on the mechanical properties of explosive-welded Al/Cu bimetal / M. Asemabadi, M. Sedighi, M. Honarpiشه // *Materials Science & Engineering A*. – 2012. – № 558. – PP. 144–149.
2. Нелинейная механика разрушения / В.И. Астафьев, Ю.Н. Радаев, Л.В. Степанова. – Самара: Изд-во «Самарский университет», 2011. – 562 с.
3. Емельянов В.В. Анализ технологического процесса вытяжки цилиндрической осесимметричной оболочки из биметаллического материала //

Сборник докладов Всероссийской научно-технической конференции студентов. Студенческая научная весна 2012: Машиностроительные технологии. – Москва: 2012. – Т1. – С. 134–136.

4. Plastic deformation of Al–Cu–Fe quasicrystals embedded in Al<sub>2</sub>Cu at low temperatures / S. Miyazaki, S. Kumai, A. Sato // *Mater Sci Eng.* – 2005. – A 300–5. – PP. 400–401.

5. Тітов В.А., Борис Р.С. Розробка структури машинобудівної технології виготовлення біметалевих елементів та теоретичні підстави для її реалізації // *Вестник НТУУ «КПІ», серія «Машиностроение»*. – Киев, 2006. – № 49. – С. 45–49.

6. Khosravifard A., Ebrahimi R. Investigation of parameters affecting interface strength in Al/Cu clad bimetal rod extrusion process // *Materials and Design*. – 2010. – № 31. – PP. 493–499.

7. Порівняння параметрів НДС при витягуванні квадратних у плані коробчастих виробів із заготовок, розрахованих інженерним методом та методом потенціалу / О.О. Холявік, Ю.П. Меленчук, П.С. Вишневський, М.В. Орлюк // *V Міжнародна науково-технічна конференція «Теоретичні та практичні проблеми в обробці матеріалів тиском і якості фахової освіти»*. – Київ: НТУУ «КПІ», 2014. – С. 132.

8. Акимова Н.А. Монтаж, технологическая эксплуатация электрического и электромеханического оборудования. – М.: Академия, 2008. – 304 с.

9. Аркулис Г.Э., Дорогобид В.Г. Теория пластичности. – М.: Металлургия, 1987. – 352 с.

10. Новиков И.И. Теория термической обработки металлов. – М.: Металлургия, 1978. – 392с.

## DESIGN OF THE DRAWING PROCESS OF UNAXISYMMETRIC SEMI-FINISHED PRODUCTS FOR THE MANUFACTURE OF PARTS FOR ELECTRICAL INDUSTRY

**T. Gaikova**

Kremenchuk Mykhailo Ostrohradskyi National University

vul. Pershotravneva, 20, Kremenchuk, 39600, Ukraine. E-mail: tanyahaikova@mail.ru

**Purpose.** Development of technology for production of electrical contacts methods of metals processing by pressure with increased lifetime and failures reliability. **Methodology.** Plastic deformation of metals for the manufacture of the various components depends on the technology of their production. This study used a bimetal obtained by explosive welding. Therefore, a necessary condition for obtaining qualitative details was thermal machining of workpieces, which has a number of contradictions. Full recrystallization copper annealing is carried out by heating copper to a temperature of 500-700 °C, holding at this temperature for 1 hour and cooled together with the furnace. Such annealing enables to fully recover the plastic properties of copper. Heat treatment of bimetal promotes the healing of microdefects at the interface and the formation of the equilibrium structure of the near-contact volumes of aluminium and thereby determines the higher plastic properties of the material. **Results.** It is shown that when retrieving data, the products and semi limiting values tensile stresses in the wall of the hollow semi-finished product is limited by the strength of the material in the hazardous section. The function to determine the maximum tensile stress is provided. The author suggests two directions for determining the mechanical characteristics of the material yield strength and the design of the technological process of production of the contact roll. The relationship between stresses and strains under uniaxial stress state of the metallic composition set up by the graphics means, wherein the hardening curves for each metal are based on empirical dependences. **Originality.** The project of technological manufacturing process of the contact draw-out element is proposed. The yield strength is defined depending on parameters of the heat treatment, the degree of deformation and finally taking into account the thickness of the layers. **Practical value.** The developed technology allows to reduce the consumption of copper by 60–80%, to reduce weight of current loaded items of electrical equipment and devices by 30–45%, to lower the cost by 20–40 %. To build a sound technologies of distortion determination of the dependence of yield stress on the degree of deformation for layered materials is essential, since the yield stress has the greatest effect on the total value of tensile stresses in dangerous section. During the process of forming each layer of the workpiece is different from each of the stress-strain state. The difference in the layers can lead to destruction of the adhesive bond, and the development of delamination defect in the plastic deformation of the workpiece.

**Key words:** contact, metal, stress, yield strength, technological process.

### REFERENCES

1. Asemabadi, M., Sedighi, M., Honarpisheh, M. (2012), "Investigation of cold rolling influence on the mechanical properties of explosive-welded Al/Cu bimetal", *Materials Science & Engineering*, no. 558, pp. 144–149.
2. Astafjevs, V.I., Radaev, Y.N. and Stepanova, L.V. (2011), *Nelineynaya mekhanika razrucheniia* [Nonlinear fracture mechanics], Samara University, Samara, Russia.
3. Emelyanov, V.V. (2012), "Analysis of the process drawing axisymmetric cylindrical shell of bimetallic material", *Studencheskaia nauchnaia vesna. Sbornic dokladov Vserosiskoy nauchno-tekhnichnoi konferentsi studentov* [Student Scientific Spring Engineering technologies], Moscow, 2012, vol. 1, pp. 134–136.
4. Miyazaki, S., Kumai, Plastic, S., Sato, A. (2005), "Deformation of Al–Cu–Fe quasicrystals embedded in Al<sub>2</sub>Cu at low temperatures", *Materials Science & Engineerin*, no. 300–5, pp. 400–401.
5. Titov, V.A., Boris, R.S. (2006), "Development of engineering structures manufacturing technology of bimetallic elements and theoretical basis for its implementation", *Vestnik NTU "KPI" Series "Mashinostroenie."* no. 49, pp. 45–49.
6. Khosravifard, A., Ebrahimi, R. (2010), "Investigation of parameters affecting interface strength in Al/Cu clad bimetal rod extrusion process", *Materials and Design*, no. 31, pp. 493–499.
7. Holyavik, A.V., Melenchuk, J.P., Wisniewski, P.S., Orlyuk, M.V. (2014), "Comparison parameters VAT when pulling in terms of square box products with pieces designed by engineering method and potentia", *Teoretichni and practuchni problemu in obrobzi materialiv tuskom and iakosti fahovoi ocvitu. V Mizhnarodnoi naukovu-tekhnichnoi konferentsii* [Theoretical and practical problems in handling the material pressure and the quality of professional education. V International Scientific Conference], Kyiv, 2014, pp. 132.
8. Akimova, N.A. (2008), *Montag, tekhnologicheskaia ekpilyatasia elektricheskogo and elektromekhanicheskogo oborudovania* [Installation, maintenance of electrical technology and electrical equipment], Academy, Moscow, Russia.
9. Arkoulis, G.E., Dorogobid, V.G. (1987), *Teoria plastichosti* [Theory of plasticity], Metallurgy, Moscow, Russia.
10. Novikov, I.I. (1978), *Teoria termicheskoy obrabotki metalov* [Theory of heat treatment of metals], Metallurgy, Moscow, Russia.

Стаття надійшла 02.11.2015.