

принт, 2000. – 450с. 7. Osinov V. A., Gudehus G. Plane shear waves and loss of stability in a saturated granular body // Mech. Cohesive-frictional Mater. –2002. –№1. P.25–44. 8. Гольдин С.В., Березин Ю.А. Сейсмические волны в сыпучих грунтах в рамках гипопластической модели // Физическая мезомеханика. –2003. – №1. –С.58–62.

УДК 612.014.482

Савенко В.С., Гречанников Э.Е., Соловьев М.Б.

ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ЭЛЕКТРОПЛАСТИЧНОСТИ МЕТАЛЛОВ

*Мозырский государственный педагогический университет
г.Мозырь, Беларусь.*

Одной из актуальных задач производства низкочастотных наборных бортовых кабелей электрических систем летательных аппаратов является сокращение их габаритно-массовых характеристик, позволяющее при тех же энергозатратах и массе разместить на борту большой объём электрооборудования и электросистем. Так, например, на ракете-носителе «Протон» 600 бортовых кабелей имеют массу свыше одной тонны, а на ОКС «МИР» две тысячи пятьсот кабелей – четыре тонны [1]. Таким образом, модернизация габаритно-массовых с одновременным улучшением служебных характеристик бортовых кабельных сетей является принципиально важной задачей. Решение данной задачи возможно с использованием электропластичной деформации металлов.

Существуют работы, в которых явление электропластичности наблюдалось на тугоплавких и труднодеформируемых металлах [2]. Резкое повышение пластичности и уменьшение сопротивления деформированию тугоплавких и труднодеформируемых сплавов связано с созданием градиента температуры и электрического потенциала в процессе деформации. Исходя из полученных данных, предложен способ изготовления тончайшей ленты из тугоплавких и труднодеформируемых металлов и сплавов.

С целью повышения пластических свойств прокатываемой ленты и получения высоких относительных обжатий за проход, прокатку ведут с одновременным протеканием электрического тока через валки с созданием градиента электрического потенциала величиной 10 – 100 В/см.

Использование эффекта электропластичности позволило плющить нагортованную до высокой степени проволоку из вольфрама, молибдена и их сплавов в микроленты, при этом сохраняя прочность и другие свойства.

Резкое повышение пластичности при наличии в очаге деформации элек-

трического тока высокой плотности обуславливается увеличением подвижности дислокаций под действием электронов проводимости, которые образуют "электронный газ", имеющий определенную величину вязкости:

$$\gamma = 1/3 m^* n \lambda U_{\phi}^*$$

n – концентрация электронов,

m^* – эффективная масса электрона,

λ – длина свободного пробега электрона,

U_{ϕ}^* – скорость электрона, определяемая энергией Ферми.

Если создать направленный поток электронов, то на единичную площадку в направлении движения электронов будет действовать сила

$$F = q d \omega_x / dz,$$

которая изменяет скорость электронов на расстоянии λ от 0 до U_q :

$$F = \frac{1}{3} m^* n U_{\phi}^* U_q^*$$

Если смещение дислокаций определяется вектором Бюргерса b , а собственная скорость дислокации равна U_c^* , то сила, действующая на единицу длины дислокации составит

$$F = \frac{1}{3} m^* n U_{\phi}^* b (W_q - W_c).$$

Это выражение совпадает с квантомеханическим расчетом для силы, действующей на дислокацию [3,4].

При $W_q - W_c < 0$ электрический ток тормозит движение дислокаций, при $W_q - W_c > 0$ – ускоряет движение дислокаций.

Если электрическое поле совпадает с направлением движения дислокаций, то, на дислокацию будет действовать со стороны потока электронов сила:

$$F = Be(W_o - W),$$

где $Be = \frac{bn \epsilon_{\phi}}{W_{\phi}}$; b – вектор Бюргерса, n – концентрация электронов проводимости, ϵ_{ϕ} и W_{ϕ} – энергия Ферми и фермиевская скорость электронов, W – скорость движения дислокаций, e – заряд электрона, j – плотность тока.

Диссипация энергии, которая будет проходить при движении дислокации, будет прямо пропорциональна коэффициенту динамического торможения дислокации B и ее скорости. Максимальная диссипация энергии будет равняться:

$$\epsilon_{\max} \sim \rho \gamma^2.$$

При сравнении этой энергии с джоулевым теплом $\epsilon_{джк} = \frac{\gamma^2}{\sigma}$ (где σ – электропроводность металлов) получается соотношение

$$\frac{\epsilon_{\max}}{\epsilon_{джк}} \sim \rho \sigma.$$

Следовательно, для металлов, обладающих большой электропроводно-

стью, диссипация энергии, обусловленная движением дислокаций под действием электрического поля, может быть сравнима с джоулевым теплом.

Для реализации уменьшения габаритно массовых характеристик бортовых кабелей разработана технология повышения электропластичности металла в скрещенных электромагнитных полях.

В запатентованном способе повышения пластичности проводящего материала за счет наложения на зону деформации скрещенных электромагнитных полей [5] реализуется интенсификация механизма электропластической деформации за счет эффекта Холла. Общий принцип способа, который можно применять при любом виде обработки металлов давлением с участием тока, заключается в том, что к деформируемому образцу во взаимно перпендикулярных направлениях прикладываются постоянные электрическое и магнитное поля. При этом под влиянием эффекта Холла происходит смещение электронной плотности образца в зоне деформации, что усиливает электропластический эффект. Сопутствующим эффектом является появление заряда при поляризации образца за счет эффекта Холла.

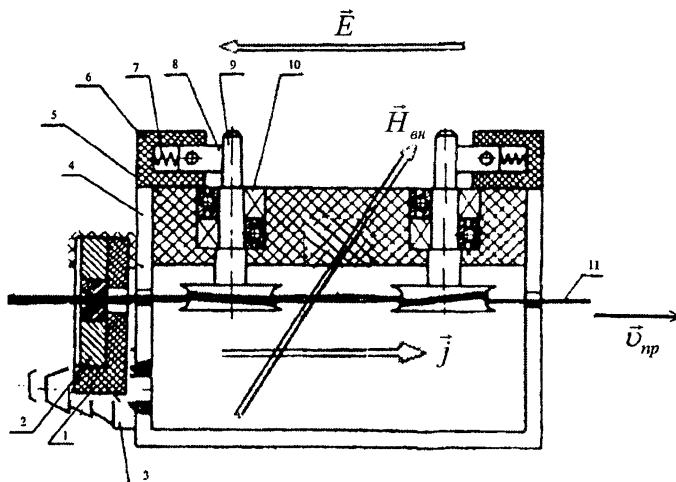


Рис 1. Устройство для поведения тока в виде вращающихся латунных и меднографитовых щеточных контактов при ЭПД проволоки: 1 – волокодержатель; 2 – волока; 3 – штуцер для подачи эмульсии; 5 – стенка; 6 – щеткодержатель; 7 – нажимная пружина; 8 – щетка; 9 – ось; 10 – подшипник; 11 – проволока, проходящая ЭПД

При наложении на зону электропластической деформации металла скрещенных электромагнитных полей, в соответствии с принципом суперпозиции полей может усилиться также пинч-действие импульсного тока и вызванная им активная вибрация металла заготовки, что создает дополнительный механизм и независимый канал пластификации металла. Для реализации способа повышения электропластичности проволоки при ее волочении за счет наложения на зону деформации скрещенных электромагнитных полей разработано устройство

для подведения тока в ходе электропластического волочения проволоки, которое устанавливается на стандартный волочильный стан вместо штатного узла с волокой (рис.1).

Это устройство, реализованное на Белорецком металлургическом комбинате, содержит вращающиеся контактные ролики, изолированные от стана, и ванну для проточной охлаждающей жидкости. Волока при такой схеме подведения тока не включена в электрическую цепь, но механически деформирует внутри себя проволоку с током. Направление движения проволоки указано вектором скорости $\vec{v}_{пр}$. В том же направлении указан вектор плотности импульсного тока \vec{j} , создающего электропластический эффект в зоне деформации проволоки. При этом электрическое поле направлено против движения проволоки, что указано вектором \vec{E} .

Ориентированное перпендикулярно электрическому полю \vec{E} внешнее постоянное магнитное поле обозначено на чертеже вектором $\vec{H}_{вн}$ и направлено перпендикулярно плоскости чертежа.

Для реализации способа повышения пластичности проволоки при ее волочении за счет вибрации от пинч-эффекта за зоной деформации разработано устройство для подведения импульсного тока в ходе волочения проволоки, но имеющее предназначение создавать активную вибрацию металла заготовки за счет пинч-действия импульсного тока за пределами зоны деформации проволоки и **усиления его в скрещенных электромагнитных полях.**

Подобное расположение мест поступления энергии от электрического и магнитного полей исключает электропластическое и тепловое действие тока и может быть применено, когда требуется лишь снизить трение в волоке и полностью исключить тепловое действие тока. Активная вибрация металла заготовки, снижающая ее трение в волоке, задается частотой импульсного тока.

В способе повышения пластичности проволоки при ее волочении за счет тепловой подготовки и пинч-эффекта (рис. 2), устройство для подведения импульсного тока и создания скрещенных электромагнитных полей имеет предназначение создавать тепловую подготовку проволоки за счет Джоулева эффекта и активную вибрацию металла заготовки перед зоной деформации проволоки в волоке.

При таком расположении мест поступление энергии от электрического и магнитных полей по прежнему исключается электропластическое действие тока, но возможна тепловая подготовка проволоки, что необходимо в процессе волочения для специальных видов стали, вольфрама, молибдена и ряда сплавов. Кроме того, при таком способе комбинированного воздействия эффективно снижается трение в волоке за счет активной вибрации металла перед зоной деформации, задаваемой частотой импульсного тока.

При таком расположении мест поступление энергии от электрического и магнитных полей по прежнему исключается электропластическое действие тока, но возможна тепловая подготовка проволоки, что необходимо в процессе волочения для специальных видов стали, вольфрама, молибдена и ряда сплавов. Кроме того, при таком способе комбинированного воздействия эффективно снижается трение в волоке за счет активной вибрации металла перед зоной деформации, задаваемой частотой импульсного тока.

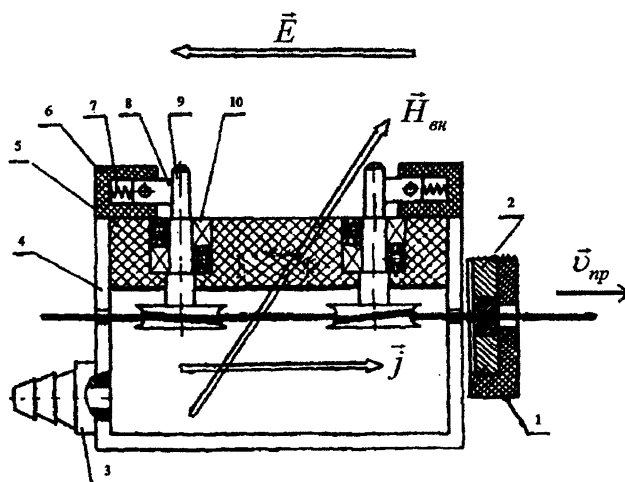


Рис. 2

Таким образом, использование электропластического волочения улучшаются электрические характеристики медной проволоки: уменьшается удельное электросопротивление и индуктивность, увеличивается добротность, падает волновое сопротивление.

В результате электропластического волочения приводит к улучшению также механических характеристик медной проволоки: увеличивается разрывное усилие и относительное удлинение. Выявленные закономерности в улучшении электрических и механических свойств медной проволоки после многократного электропластического волочения открывают определённые возможности в улучшении габаритно массовых характеристик, упрощение процесса изготовления медной проволоки для кабелей специального назначения путём замены обычного волочения электропластическим с исключением из технологического цикла операций промежуточного отжига.

ЛИТЕРАТУРА

1. Глинберг А. Д. Крутин А. Ф. Меркелов А. А. Проектирование и производство облегченной бортовой кабельной сети (БКС) Матер. межд. конф. Действие электромагнитных полей и тока на материалы. -М.: 2003. С.65.
2. Троицкий О. А. Спицын В. И., Рыжков В. Г. Электропластическое волочение стали, меди и вольфрама. // Доклады академии наук СССР, 1978, т. 243, №2. С. 330-333.
3. Савенко В. С., Исследование влияния энергетических воздействий на деформационные процессы в технически важных материалах // Вестник МГПУ.-М: 1999, №1, С.27-30.
4. Savenko V. Electroplastic effect under the simultaneous superposition of electric and magnetic fields. // Journal of applied physics, 1999. №5, p 1-4.
5. Савенко В. С., Пинчук А. И. Способ повышения пластичности прово-

дящих металлов на основе эффекта Холла. // Способ повышения пластичности деталей. Патент. Российской Федерации на изобретение. №2052514,1996.

УДК 621.793

Бурейко В.В.

ВЛИЯНИЕ МЕЛКОДИСПЕРСНЫХ ВЫДЕЛЕНИЙ И ИЗМЕНЕНИЯ В ДИСЛОКАЦИОННОЙ СТРУКТУРЕ НА УСТАЛОСТНУЮ ПРОЧНОСТЬ МЕТАЛЛОВ

*Белорусский национальный технический университет
г. Минск; Беларусь*

Процесс динамического старения, происходящий во время пластического течения металлов, в основном связан с блокированием дислокаций примесными атомами или их атмосферами, причем его непосредственное наблюдение имеющимися средствами не представляется возможным.

Однако имеется предположение, что в местах максимальных сдвигов или других зонах деформированного металла возможно образование некогерентных выделений в виде мелкодисперсных частиц, которые можно наблюдать в электронном микроскопе.

С другой стороны, в случае обнаружения в деформированном металле мелкодисперсных частиц, ставилась задача попытаться хотя бы качественно определить разницу в их концентрации в зависимости от схемы напряженного состояния и температуры испытания.

Концентрация мелкодисперсных фаз в местах сдвигов, безусловно, зависит от природы материала и температурно-скоростных условий деформирования, определяющих интенсивность протекания процесса деформационного старения.

Таким образом, предварительно деформируя металл в условиях схем напряженного состояния (растяжения, кручения и сжатия), вообще говоря, можно получить неодинаковый эффект изменения сдвигающего напряжения с ростом степени деформации. При этом в каждом отдельном случае необходимо соблюдать условие первоначальной изотропности материала по структуре и механическим свойствам, иначе этот фактор неизбежно будет вносить соизмеримые погрешности в ожидаемые результаты в дальнейших испытаниях на усталостную прочность металлов.

В стали У7А и в ряде других деформационно стареющих металлов и сплавов после соответствующей обработки примеси других элементов находятся в растворенном состоянии и выпадают в виде дисперсных фаз во время пла-