

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ПОЛУПРОВОДНИКОВЫХ ФАЗ НА СВОЙСТВА СПЛАВОВ

А.М.Галушко

Изучение закономерностей кристаллизации в сплавах фаз, обладающих свойствами полупроводников, позволило установить, что электропроводность этих фаз существенно увеличивается под действием определенных присадок к сплаву. Важность обнаруженного эффекта для объяснения ряда явлений, наблюдаемых при кристаллизации сплавов, описана в работах /1,2/.

В настоящей работе рассмотрены примеры использования полученных результатов для решения вопросов прикладного характера.

Как отмечалось ранее /2/, при определенных добавках Mg и Se к чистому сплаву Fe-C, содержащему 5 вес. % углерода, удается снизить удельное электросопротивление (ρ) сплава примерно до значений чистого железа. С точки зрения практического применения данного сплава наиболее рациональным следует считать изготовление из него электрических контактов, работающих в условиях трения. Высокое содержание графита (твердой смазки) в сплаве должно обеспечить последнему хорошие антифрикционные свойства.

Сплав для контактов изготавливался из порошков электролитического железа и электродного графита. Технологический процесс изготовления Fe-C-сплава методом порошковой металлургии описан в работе /3/. Расчет литья производился с учетом получения в литых образцах 5% углерода. Плавка проводилась в графитовых тиглях, помещенных в силиковую печь. Жидкий сплав микростигировался присадкой 0,2% церия и заливался в алюминиевый водоохлаждаемый анодированный кокиль. Для получения ферритной структуры проводилась термическая обработка образцов.

Образцы подвергались испытаниям на износ при трении скольжением. Для сравнения исследовалась при тех же условиях износостойкость образцов, изготовленных из угольных и меднографитовых токосъемников троллейбуса. Испытания проводились на машине трения МИ. Контртелом служил медный диск.

Размеры испытываемого образца и контртела представлены на рис. 1. Испытания проводились при сухом трении и с водяной смазкой.

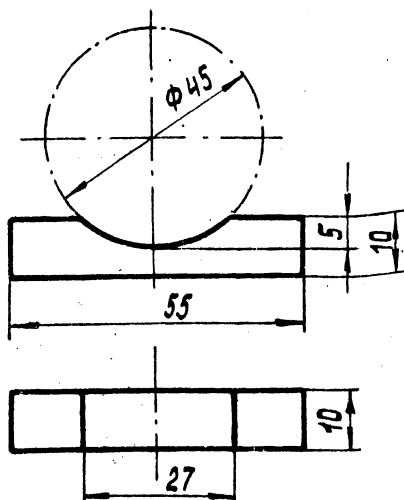


Рис. 1.
Размеры образца и контртела для испытаний на износ.

Расход воды составлял 6 капель в минуту. Режим испытаний: $P=350 \text{ Мн/м}^2$, $U=0,4 \text{ м/сек}$, приработка - 3 часа.

На рис. 2, а показан износ медного контртела, работающего в сопряжении с образцами из различных материалов в условиях сухого трения. Видно, что минимальные потери меди получены при трении пары уголь-медь. Контртело изнашивается сильнее в сопряжении с металлическими образцами, содержащими графит. Причем не наблюдается большой разницы в величине износа в зависимости от металлической основы образцов. Так, в случае трения пары (Cu-C)-Cu контртело уменьшилось в весе после 60 мин испытаний на 24 мг, а пары (Fe-C)-Cu - на 27 мг.

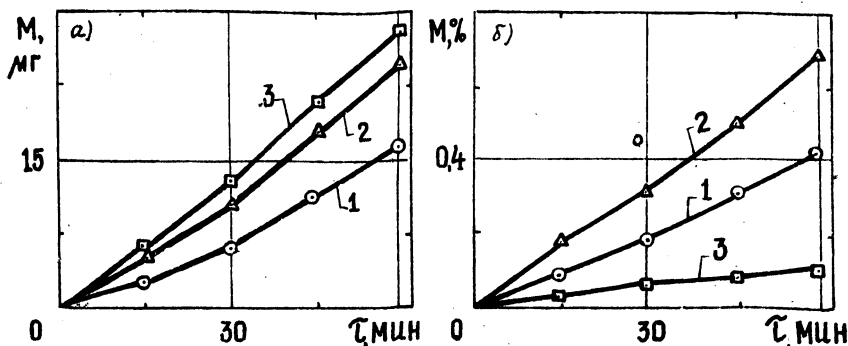


Рис. 2.

Зависимость износа медного контртела (а) и образцов (б) от времени испытаний в условиях сухого трения: 1 - угольный образец; 2 - образец из меднографитовой композиции; 3 - образец из сплава Fe-C (5% C).

Износ образцов за цикл испытаний представлен на рис. 2,б. Из приведенных зависимостей следует, что минимальный износ получен при испытании образцов из Fe-C-сплава. Угольные образцы изнашиваются сильнее, чем образцы из высокоуглеродистого сплава железа. Максимальные потери веса получены на образцах, изготовленных из меднографитовой композиции.

Антифрикционные свойства высокоуглеродистого сплава железа улучшаются при испытании образцов на износ в условиях водяной смазки. Как показано на рис. 3, износ контртела, работающего в паре с образцом из Fe-C-сплава, не превышает потерь меди при трении пары уголь-медь. В этом отношении в худшем положении находится меднографитовая композиция.

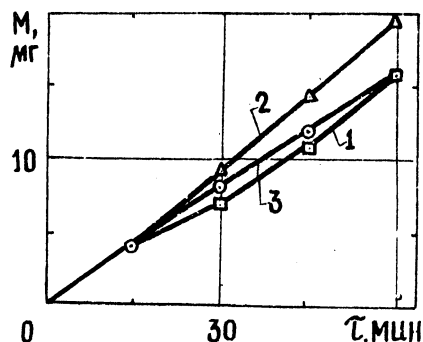


Рис. 3.

Зависимость износа медного контртела при трении с водяной смазкой от материала сопряженного образца (обозначения те же, что и на рис.2).

Таким образом, приведенные результаты опытов показывают, что синтетический Fe-C-сплав может успешно конкурировать с другими материалами, используемыми для изготовления скользящих контактов. Это обеспечивается его хорошими антифрикционными свойствами, высокой износостойкостью и низким удельным электросопротивлением.

В электротехнике большинство контактов изготавливается из электролитической меди. Широкое применение меди обусловлено ее высокой электропроводностью. Однако низкие прочностные свойства

вызывают повышенный расход этого дефицитного материала. Поэтому одной из важных проблем электротехники является повышение прочностных характеристик меди, в частности, износостойкости. Задача усложняется тем, что существующие методы упрочнения металла, основанные на искажении кристаллической решетки (образование твердого раствора, деформирование) для данного случая неприменимы. Такое упрочнение сопровождается уменьшением электропроводности материала.

В работе задача решалась введением в медь полупроводникового вещества с высокой твердостью и низким электросопротивлением.

Для исследований использовалась электролитическая медь и теллурид свинца. Теллурид свинца представляет группу полупроводников типа $A_{1-x}B_xV_{2-x}U_2$, обладающих весьма ценной особенностью. Роль доноров или акцепторов, наряду с посторонними примесями, выполняют элементы, образующие соединение. Согласно данным /4/, при избытке атомов теллура в соединении $PbTe$ наблюдается проводимость p -типа, а при избытке атомов свинца — n -типа. Таким образом, значительно упрощается процесс получения полупроводника с заданными электрическими свойствами.

Халькогенид свинца готовился методом сплавления соответствующих компонентов в среде инертного газа по методике, описанной в работе /4/. В результате синтеза получался теллурид свинца следующего состава — 38,12% Te и 62,18% Pb . Полученный состав содержал на 0,3% свинца больше стехиометрического состава $г$ соединения $PbTe$. Избыточное количество свинца обеспечивало проводимость n -типа с сохранением высокой твердости кристаллов халькогенида.

Теллурид свинца вводился в расплавленную медь при температуре 1100° . После этого расплав энергично перемешивался. Методом вакуумного вкачивания в холодные кварцевые трубки готовились образцы для измерения электросопротивления и испытаний на износ. Образцы содержали 1,3,6 и 10% $PbTe$.

Изучение микроструктуры образцов показало, что включения полупроводникового соединения имеют компактную форму и равномерно распределены по сечению металлической основы.

Удельное электросопротивление меди с увеличением веса добавки халькогенида до 6% возрастает незначительно. Так, величина ρ для литой меди равна $1,87 \cdot 10^{-8}$ ом·м, а для сплава $Cu + 6\% PbTe$ она составляет $2,0 \cdot 10^{-8}$ ом·м, т.е. увеличивалась менее чем на 7%. Дальнейшее увеличение веса присадки $PbTe$ приводит к значительному росту электросопротивления.

Полученная зависимость обусловлена, видимо, не столько увеличивающимся содержанием халькогенида в меди, как образованием междендритных прослоек, состоящих из свинца.

Испытания на износ проводились на машине трения МТ-2. В качестве контртела применялись диски размером 110×4 мм, изготовленные из стали 45. Испытания проводились при скорости скольжения 7,5 м/сек, нагрузке на образцы — 1 Мн/м^2 в условиях сухого трения.

На рис. 4 представлены результаты испытаний образцов, изготовленных из чистой меди и с добавками 1 и 3% теллурида свинца.

Видно, что максимальный износ получен при испытании чистой меди. С увеличением величины добавки PbTe износ уменьшается. Среднее значение износа меди за цикл испытаний, длившийся 1 час, составляет 0,062 мм. Образцы с присадками веса 1 и 3% теллурида свинца уменьшались по высоте за это время на 0,042 и 0,039 мм соответственно.

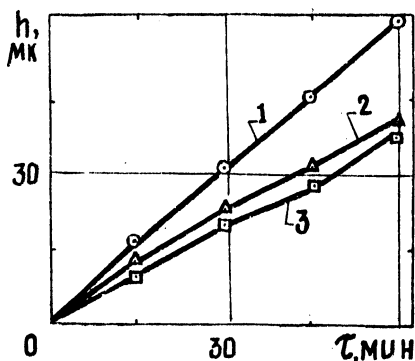


Рис. 4.

Влияние добавок теллурида свинца на износ меди. 1 - литая медь без добавок; 2 - медь с 1% теллурида свинца; 3 - медь с 3% теллурида свинца.

Износ кристаллизующихся полупроводниковых фаз, затвердевающих в сплавах, может быть использовано для получения материалов с требуемыми эксплуатационными свойствами без существенного изменения их электропроводности.

Л и т е р а т у р а

1. Худокормов Д.Н. Роль примесей в процессе графитизации чугунов. "Наука и техника", Минск, 1968.

2. Худокормов Д.Н., Галушко А.М. Электропроводность графита, кристаллизующегося в Fe-C-сплав, микролегированного магнием, церием и алюминием. Известия АН БССР, серия физ.-тех. наук, 1969, № I, стр. 50-52.

3. Галушко А.М. Влияние некоторых примесей на электропроводность графита, кристаллизующегося в синтетическом чугун. Канд. дисс., Минск, 1970.

4. Абрикосов Н.Х. Полупроводниковые соединения, их получение и свойства, "Наука", М., 1967.

Анализ влияния величины добавки PbTe на удельное электросопротивление и износостойкость меди показал, что присадка 3% халькогенида свинца повышает ρ меди менее, чем на 3% и одновременно снижает ее износ за цикл испытаний на 37%.

Благоприятная роль включений полупроводника на износ меди, очевидно, сводится к образованию своеобразных "шипов", препятствующих разрушению поверхностного слоя.

Результаты проведенных опытов свидетельствуют о том, что явление изменения электропроводности