



*In the article there are given the results of investigations and developments of the production technology of slugs of the tram current collectors insertions from aluminium waste by casting method in iron chill with running ability at level of insertions, received by hot pressing.*

А. А. АНДРУШЕВИЧ, И. Н. КАЗАНЕВСКАЯ, М. Н. ЧУРИК, НИИИП с ОП

УДК 621.74.669.218

## ЛИТЫЕ ВСТАВКИ ТОКОСЪЕМНИКА ТРАМВАЯ ИЗ АЛЮМИНИЕВЫХ ОТХОДОВ

### Введение

Вставка токосъемника трамвая – сменный подвижный электроконтакт, работающий в паре с медной троллеей, который в процессе эксплуатации подвергается механическому и электроэрозионному изнашиванию. Высокие стоимость контактной сети и ее обслуживания определяют повышенные требования к материалу вставки. В первую очередь это минимальное истирание вставкой троллеи как при сухом контакте, так и при обледенении или тумане, а также минимальное выгорание при возникновении электродуги. На практике широко применяются вставки из алюминиевого сплава, которые удовлетворяют перечисленным выше требованиям.

Механический износ токосъемника возникает в результате скольжения по проводу при схватывании, воздействии абразива, усталостных явлениях. Электроэрозионный износ образуется при нарушении контактирования вследствие как разъединения элементов пары при их отрыве, так и образования изолирующих прослоек на их поверхностях, а также при больших плотностях тока от взрывной электроэрозии. Эти два вида износа неотделимы и оказывают взаимное влияние [1].

В настоящее время для замены вставок токоприемников трамваев в Беларуси ежегодно используется до 10 т дорогого профильного алюминиевого проката (ГОСТ 8617-81) (см. рисунок). Средний срок службы вставок не более 30 дней непрерывной эксплуатации и при 30–40% износа они демонтируются и сдаются в РУП «Белцветмет» для последующей отправки на металлургическую переплавку и переработку на заводах России.

### Цель исследований

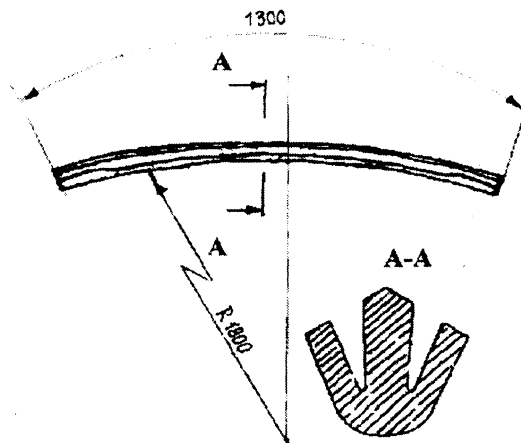
Цель работы заключалась в исследовании параметров и разработке технологии получения конкурентоспособных литых вставок токосъемников трамвая из постоянно образующихся алюминиевых отходов специальным методом литья в постоянную металлическую форму (кокиль) с эксплуатационными свойствами на уровне вставок, получаемых горячим прессованием, для обеспече-

ния потребностей электротранспортных предприятий республики. Литье в кокиль и последующий изгиб – более дешевые технологические операции, чем технология горячего прессования, не требуют мощного прессового оборудования и дорогостоящей оснастки.

### Методы исследований

На разных стадиях обработки расплава отливали пробы и образцы для определения химического состава, газовой пористости, загрязнений оксидными включениями, для изучения макро- и микроструктуры. Химический состав определяли на фотоэлектронном стилометре модели ФСПА-У и атомно-эмиссионном многоканальном спектрометре ЭМАС-200Д, газовую пористость – визуально на макрошлифах по ГОСТ 1583-93, загрязненность оксидными включениями – по стандартной пробе Добаткина, микроструктуру изучали на микроскопах «Polyvar» и МЕФ-3.

Оценку загрязненности приготовленного сплава оксидными включениями проводили на литых технологических пробах диаметром 50 мм и высотой 100 мм по отношению к суммарной площади проявившихся плен в изломе, выраженной в мм<sup>2</sup>, к площади излома в см<sup>2</sup>. Кроме того, из отдельно отлитого образца приготавливали макрошлиф для оценки пористости.



Профильная вставка токосъемника

Механические свойства – предел прочности при растяжении (временное сопротивление разрыву), относительное удлинение и сужение определяли на универсальной разрывной машине «УММ-5» с механическим нагружением при максимальной нагрузке 15000 Н. Образцы (ГОСТ 1497-84) вырезали из требуемых зон исследуемых заготовок детали «вставка».

Твердость вставок по Бринеллю НВ (ГОСТ 9012-93) определяли выборочно на автоматическом приборе ТШП-4 при нагрузке 2500 Н и стальном шарике диаметром 5 мм.

Испытания на износ, условно моделирующие эксплуатацию вставок токоприемников трамвая при механическом и электроэрозионном изнашивании, проводили на возвратно-поступательной машине трения конструкции Института порошковой металлургии НАН Беларуси под токовым напряжением по схеме плоскость–торец образца. Плоскость представляет собой часть трамвайного токоведущего провода. Провод (отрезок медной троллеи длиной 90 мм) устанавливали в подвижную каретку машины, приводимую в движение электроприводом. Испытываемый образец диаметром 10 мм и длиной 25 мм устанавливали в держатель, закрепленный на рычаге над кареткой машины и приводили в контакт с проводом при нагрузке на образец 20 кг. Затем подавали напряжение на образец «-» и токоведущий провод «+». Приработку образцов осуществляли до появления сплошной дорожки трения, которую определяли визуально.

### Результаты исследований и их обсуждение

Первоначально проводили анализ отработанных изношенных вставок, образующихся в Минском трамвайном депо, и выбор параметров приготовления алюминиевого сплава из отходов.

Алюминиевый профильный прокат, поставляемый Самарским металлургическим заводом, изготовлен из сплава следующего химического состава: 0,2–0,3% Si, 2,2–2,5% Cu, 0,7–0,85% Fe, до 0,2% Mg и Mn, Al – остальное. Отходы изношенных вставок в том или ином

количестве содержали металлические загрязнения в виде крепежных болтов, неметаллические – в виде органических (смазка, графит) и неорганических (пыль, песок, влага). Указанные загрязнения при переплаве приводят к изменению химического состава сплава (росту содержания железа), увеличению неметаллических (оксидных) включений и газовой пористости отливки.

При приготовлении сплава из отходов вставок использовали имеющийся в институте опыт по переплаву отходов других алюминиевых сплавов (АК12М2МгН, АК5М2) и получения из них литых качественных заготовок с требуемыми физико-механическими свойствами.

Подготовка отходов включала в себя удаление крепежных болтов и частичное удаление неметаллических загрязнений при их предварительном подогреве до 400–450°C в течение 1 ч. Далее отходы переплавляли в индукционной печи ИСТ-016 и переливали в электрическую раздаточную печь с графитовым тиглем, где проводили все операции рафинирования и дегазации для уменьшения содержания в сплаве оксидных включений и растворенного водорода.

Для рафинирования использовали универсальный флюс следующего состава, мас. %: натрий хлористый – 45; калий хлористый – 25; натрий фтористый – 20; криолит – 10. Просушенный при температуре 250°C флюс засыпали в тигель в количестве 1,5% от массы расплава.

Дегазацию осуществляли продувкой аргоном через сплав при температуре 730–740°C с использованием специального сопла, изготовленного из графита марки МГ-1. Сопло через титановую трубку, покрашенную кокильной краской, резиновый рукав и редуктор соединялось с аргоновым баллоном.

В процессе обработки технологии получения сплава из отходов вставок количество вводимого флюса варьировали в пределах 1–3%, а время продувки аргоном составляло 5–10 мин. Полученные результаты приведены в табл. 1.

Таблица 1. Параметры ковшовой обработки, пористости и загрязненности алюминиевых сплавов

Номер плавки	Время продувки аргоном, мин	Количество флюса, мас. % от массы расплава	Балл пористости	Загрязненность сплава оксидами, мм <sup>2</sup> /см <sup>2</sup>
1	5	1	4	0,5
2	5	2	3	0,3
3	5	3	2	0,2
4	10	1	4	0,35
5	10	2	2	0,1
6	10	3	1-2	<0,1
7	-	-	5	0,7-0,8

Для сравнения представлены данные по качеству необработанного сплава, приготовленного из 100%-ных отходов (плавка 7).

Наилучшие результаты получены при использовании вариантов плавок обработки 5 и 6. Из экономических соображений за основу была при-

нята обработка аргоном в течение 10 мин и количестве флюса 2% от массового расплава. Далее проводили разработку технологии литья заготовки деталей «вставка» в кокиль. Для получения литой заготовки требуемого качества определяющими параметрами являются:

- температура заливаемого металла;
- температура оснастки (кокиля);
- тип литниково-питающей системы, который определяет как способ подвода расплава в форму и возмещения его дефицита при затвердевании сплава, так и время заполнения формы.

Однако с учетом геометрии детали "вставка", длина которой (около 1,3 м) почти в 30 раз больше ширины и высоты, применение традиционных литниково-питающих систем обусловило бы резкое возрастание габаритов оснастки и ее массы, что потребовало бы использования специального кокильного оборудования. Кроме того, при выборе технологии и конструкции постоянной формы учитывалась необходимость быстрой разборки элементов оснастки во избежание образования трещин в отливке в результате затрудненной усадки, возникающей при затвердевании отливки. Кокиль состоит из четырех основных элементов: двух полуформ и двух металлических стержней, формирующих пазы (ручьи) в отливке. Сборку и разборку кокиля проводили два оператора.

Для обеспечения плавного заполнения полости формы предусмотрена заливка расплава со стороны одного из торцов в наклонный кокиль, угол наклона может изменяться до 75° от горизонтали.

Перед первой заливкой рабочую поверхность кокиля, образующую геометрию отливки, покрывали краской толщиной 0,1–0,3 мм состава (мас. %): мел – 20; тальк молотый – 15; жидкое стекло – 6; вода – 59. После заливки кокиль возвращали в исходное горизонтальное положение,

осуществляли подрыв и удаление металлических стержней, раскрывали полуформы и извлекали отливку. Оценку качества проводили визуально по наличию усадочных дефектов и трещин в результате затрудненной усадки.

Были выбраны следующие параметры литья в кокиль, обеспечивающие получение заготовок без дефектов: температура кокиля – 340–400°C; температура заливаемого сплава – 710–730°C; время заливки – 12–16 с.

Литые заготовки в горячем состоянии (310–350°C), так как их пластичность в этом состоянии повышена, на специальной оснастке подвергали изгибу до требуемого радиуса кривизны.

По изложенной технологии были изготовлены криволинейные заготовки вставок, которые прошли натурные испытания в Минском трамвайном депо. Результаты испытаний показали, что литые вставки токосъемников по эксплуатационным и техническим свойствам находятся на одном уровне со вставками, полученными горячим прессованием.

Исследовали также влияние химического состава алюминиевого сплава, приготовленного из отходов, на уровень механических свойств и износостойкость вставок в деформированном и литом состояниях.

Анализировали сплавы трех химических составов (табл. 2): взятый из вставки, полученной методом горячего прессования; приготовленный из отходов «вставок» методом переплава и с подшихтовкой к отходам до 50% сплава А7.

Таблица 2. Химический состав алюминиевых сплавов

Номер плавки	Массовая доля компонентов, %					
	Si	Cu	Mn	Mg	Fe	Al
1	0,36	2,2	0,15	0,20	0,5	Ост.
2	0,33	2,0	0,15	0,18	0,4	Ост.
3	0,20	1,2	0,12	0,12	0,2	Ост.

Результаты механических испытаний образцов, вырезанных из вставок, полученных из сплавов различного химического состава, приведены в табл. 3. Из таблицы видно, что заготовки, полученные горячим прессованием, имеют лучшие значения временного сопротивления разрыву, относительного удлинения и твердости ( $\sigma_{\text{в}}=155$  МПа,

$\delta=10,7\%$ , НВ=688). Литые вставки имеют меньший уровень механических свойств. Использование в шихте первичных материалов позволяет получать сплав с меньшим количеством примесей, что несколько повышает пластичность, но снижает прочность из-за меньшего количества легирующих добавок.

Таблица 3. Механические свойства алюминиевых вставок

№ п/п	Маркировка	Предел прочности при растяжении $\sigma_{\text{в}}$ , МПа	Относительное удлинение $\delta$ , %	Относительное сужение $\Psi$ , %	Твердость НВ, МПа
1.1	Заготовка получена методом горячего прессования	163,8	11,2	45,5	700
1.2		152,0	10,3	20,2	655
1.3		151,0	10,6	45,5	700
Среднее значение		155,0	10,7	37,0	688
2.1	Заготовка получена переплавом отходов (100%) детали «вставка»	107,5	3,5	12,8	500
2.2		102,1	4,1	14,4	470
2.3		109,4	3,8	11,4	480
Среднее значение		106,3	3,8	12,8	483
3.1	50% отходов + 50% А7	99,2	4,7	16,3	405
3.2		104,4	4,2	14,6	480
3.3		98,6	4,6	15,9	475
Среднее значение		100,7	4,5	15,6	453

Оценку износостойкости проводили при одной нагрузке, меньшей предельной, без смазки под постоянным токовым напряжением. Износ измеряли на лабораторных весах ВЛР-200. Полученные результаты приведены в табл. 4.

При данной схеме испытаний максимальный износ наблюдается для образцов, вырезанных из вставок, полученных горячим прессованием. В среднем износостойкость образцов сплава, полу-

ченного из шихты состава 50% отходов вставок и 50% первичного алюминия, выше, чем образцов исходного сплава и сплава только из отходов вставок. Это можно объяснить меньшим содержанием Fe и Si в сплаве при добавлении 50% первичного алюминия. Данные подтверждаются результатами микроструктурного анализа исследуемых алюминиевых сплавов в исходном деформированном и литом переплавленном состояниях.

Таблица 4. Оценка износа образцов вставок в стационарном режиме трения под токовой нагрузкой

Состояние образца	Износ за число проходов, г/м <sup>2</sup> ·10 <sup>-3</sup>		
	Приработка, 2250	2250	2250
Исходный, состояние поставки (Д18)	2,87	0,704	1,04
	3,00	1,56	0,685
	3,48	1,09	1,15
Среднее значение	3,12	1,12	0,985
Переплав из отходов (100%)	2,21	0,92	0,81
	1,32	1,11	0,55
	2,65	0,466	0,608
Среднее значение	2,15	0,832	0,656
Переплав -50% отходов+50% А7	3,16	0,519	0,537
	1,41	0,722	0,556
	1,00	0,852	0,537
Среднее значение	1,86	0,698	0,543

Микроструктура исходного сплава (из которого горячим прессованием получают детали «вставка») системы Al-Cu-Mg-Mn имеет сложный фазовый состав. Она состоит из твердого раствора меди, магния и марганца в α-твердом растворе алюминия, выделившихся упрочняющих фаз CuAl<sub>2</sub> и S(Al<sub>2</sub>CuMg) и имеет мелкодисперсное гетерогенное строение, обусловленное следами пластической деформации.

Сплав, приготовленный полностью из отходов путем простого переплава, имеет микроструктуру, состоящую из дендритов α-твердого раствора алюминия, фазы S(Al<sub>2</sub>CuMg) и включений фазы CuAl<sub>2</sub>, расположенной преимущественно по границам зерен α-твердого раствора, в небольших количествах присутствуют нерастворимые марганцовистая и железосодержащая фазы. Но данная структура существенно отличается от описанной размерами и формой фазовых составляющих, они не такие мелкодисперсные и неравномерно распределены в α-твердом растворе алюминия.

При подшихтовке расплава, приготовленного из отходов первичным алюминием, фазовый состав изменений не претерпевает. Наблюдается заметное уменьшение размеров зерна α-твердого раствора алюминия и количества включений CuAl<sub>2</sub>, S(Al<sub>2</sub>CuMg), марганцовистой и железосо-

держающей фаз с одновременным увеличением доли α-твердого раствора алюминия.

### Выводы

На основании проведенных анализа и экспериментальных исследований разработаны технология и оснастка для получения качественных литых заготовок вставок токосъемников в постоянной форме с выходом годного до 80% из алюминиевых отходов при стоимости в 1,2-1,3 раза ниже, чем стоимость получаемых горячим прессованием.

Исследование особенностей структуры и механических свойств, оценка износостойкости алюминиевых сплавов, приготовленных из отходов по разработанной технологии, позволили оценить возможность достижения эксплуатационных свойств у литых деталей «вставка» на уровне свойств вставок, полученным горячим прессованием.

По разработанной технологии начата поставка опытных партий литых вставок Минскому трамвайному депо в соответствии с заданием ГНТП Программы «Городское хозяйство» Минжилкомхоза РБ.

### Литература

1. Берент В. Я. Электрическая эрозия токосъемных элементов и контактного провода в процессе нарушения контакта // Трение и износ. 1995. Т. 16. № 1. С. 175.