

ЭЛЕКТРОШЛАКОВЫЙ ПЕРЕПЛАВ ОТХОДОВ ПРЕЦИЗИОННЫХ СПЛАВОВ

И. В. Протокилов, Д. А. Петров, В. Б. Порохонько

Институт электросварки им. Е. О. Патона НАН Украины.
03680, Киев-150, ул. Казимира Малевича, 11. E-mail: office@paton.kiev.ua

Изучена возможность электрошлакового переплава отходов прецизионных сплавов 29НК, 50Н, 46Н. Слитки получали способом ЭШП расходоуемых электродов, сформированных из отходов указанных сплавов, в камерной электрошлаковой печи в атмосфере аргона. Для обеспечения интенсивного перемешивания жидкометаллической ванны и гомогенизации состава металла использовали метод воздействия внешним продольным магнитным полем. Отработаны режимы ЭШП и последующей термомеханической обработки слитков. Получены полуфабрикаты в виде деформированных прутков. Установлено, что однократный ЭШП позволяет переплавлять отходы прецизионных сплавов 29НК, 50Н, 46Н с получением металла удовлетворяющего по химическому составу и свойствам требованиям соответствующих стандартов. Проведены работы по выплавке и последующей прокатке партии слитков сплава 29НК. Библиогр. 2, табл. 3, ил. 5.

Ключевые слова: электрошлаковый переплав; прецизионные сплавы; отходы; слиток; термомеханическая обработка

Прецизионные сплавы — это высоколегированные сплавы с строго заданными физическими и физико-механическими свойствами, обусловленными точностью химического состава, отсутствием примесей, соблюдением технологического процесса их выплавки и последующей обработки.

Согласно межгосударственного стандарта ГОСТ 10994–74 по физическим свойствам и областям применения прецизионные сплавы делятся на семь групп: магнитно-мягкие; магнитно-твердые; с заданным температурным коэффициентом линейного расширения; с высокими упругими свойствами; сверхпроводящие; с высоким электрическим сопротивлением; термобиметаллы.

Сегодня существует более 200 марок прецизионных сплавов, отличающихся по химическому составу, способам выплавки и методам оптимизации заданных физических свойств [1]. Среди них большую группу сплавов, широко применяемых в промышленности, представляют сплавы с заданным температурным коэффициентом линейного расширения (ТКЛР). Их используют в метрологии, радиоэлектронной и криогенной технике, для изготовления измерительного инструмента, электровакуумных и полупроводниковых приборов, газовых лазеров, терморегуляторов и т.д.

Преобладающее число сплавов такого типа составляют двойные или сложнoleгированные сплавы на железоникелевой основе. Такое положение прежде всего определяется наличием в системе Fe–Ni области, в которой сплавы обладают резко выраженной аномалией теплового расширения [2].

Для вакуумплотных соединений со стеклом и керамикой применяют в основном сплавы на основе системы Fe–Ni–Co. Из них наиболее типичным и распространенным является сплав 29НК (ковар), ТКЛР которого ($4 \dots 12 \cdot 10^{-6}$ град⁻¹) близок к ТКЛР стекла и керамики. Его используют для изготовления многочисленных электровакуумных приборов, ламп накаливания и люминесцентных ламп, там где необходимы герметичные спаи со стеклом.

Другой группой широко используемых в промышленности прецизионных сплавов являются магнитно-мягкие типа пермаллой (45Н, 50Н, 79НМ и др.), обладающие высокими магнитной проницаемостью и индукцией насыщения. Их используют для изготовления сердечников малогабаритных силовых трансформаторов и трансформаторов звуковых частот, дросселей, реле и деталей магнитных цепей, электромагнитных экранов и различных магнитопроводов.

Несмотря на различное применение указанных выше сплавов особенности их металлургического производства во многом схожи. Процессы выплавки и последующей термомеханической обработки сплавов должны обеспечивать их точный химический состав, гомогенность, чистоту от вредных примесей и включений, заданное структурное состояние.

Цель данной работы — разработка схемы и режимов электрошлакового переплава (ЭШП) и последующей термомеханической обработки отходов прецизионных сплавов 29НК, 50Н, 46Н (табл. 1).

Таблица 1. Химический состав прецизионных сплавов 29НК, 50Н, 46Н, мас. %

Сплав	Si	Mn	C	S	P	Cu	Ni	Co	Cr	Fe
			не более							
29НК	до 0,3	до 0,4	0,03	0,015	0,015	0,2	28,5...29,5	17,0...18,0	0,1	Остальное
50Н	0,15...0,30	0,3...0,6	0,03	0,020	0,020	0,2	49,0...50,5	–	–	->-
46Н	до 0,3	до 0,4	0,05	0,020	0,020	0,2	45,5...46,5	–	–	->-

Таблица 2. Режимы ЭШП прецизионных сплавов

Сплав	Сечение электрода, мм	Диаметр кристаллизатора, мм	U, В	I, А	v _{дл} , м/ч	B, Тл
29НК	35×40	84	35	3000...3500	5,0	0,12
29НК	Ø45	84	35	2000...4000	5,2	0,10
29НК	80×75	140	33	5800...6500	2,7	0,16
50Н	83×73	140	32	5800...6000	2,6	0,16
46Н	40×40	84	35	3800...4000	5,2	0,12

Следует отметить, что сегодня в Украине отсутствует промышленное производство сплавов данного типа. Поэтому исследование возможности передела отходов прецизионных сплавов является актуальным и представляет практический интерес.

Отходы указанных сплавов представляли собой некондиционную ленту толщиной 0,3 и шириной 60...80 мм, листовую обрезь толщиной 3, шириной 15...50 и длиной 500...800 мм, а также обрезь торцов цилиндрических поковок (рис. 1, а).

Предварительный этап подготовки материалов к переплаву заключался в их зачистке абразивной щеткой, обезжиривании ацетоном и просушке в печи при T = 300 °С.

Расходуемые электроды формировали из вышеупомянутых отходов при помощи аргонодуговой сварки с использованием присадочного материала аналогичного состава (рис. 1, б).

Учитывая высокие требования к химическому составу металла, плавки осуществляли в камерной электрошлаковой печи в атмосфере аргона с предварительным вакуумированием плавильного пространства до 5·10⁻² мм рт. ст. Выплавляли слитки диаметром 84 и 140 мм с использованием бескислородного фторидно-хлоридного флюса. Наведение шлаковой ванны осуществляли при помощи «холодного» старта.

Для обеспечения интенсивного перемешивания жидкометаллической ванны и гомогенизации состава кристаллизующегося слитка использовали метод воздействия внешним продольным магнитным полем индукцией до 0,16 Тл. Режимы плавки приведены в табл. 2.

Процесс переплава расходуемых электродов, сформированных из ленты и листовой обрезки, проходил стабильно, без существенных колебаний тока плавки (рис. 2, а). В случае использо-



Рис. 1. Отходы прецизионных сплавов (а) и сформированные из них расходуемые электроды для ЭШП (б)

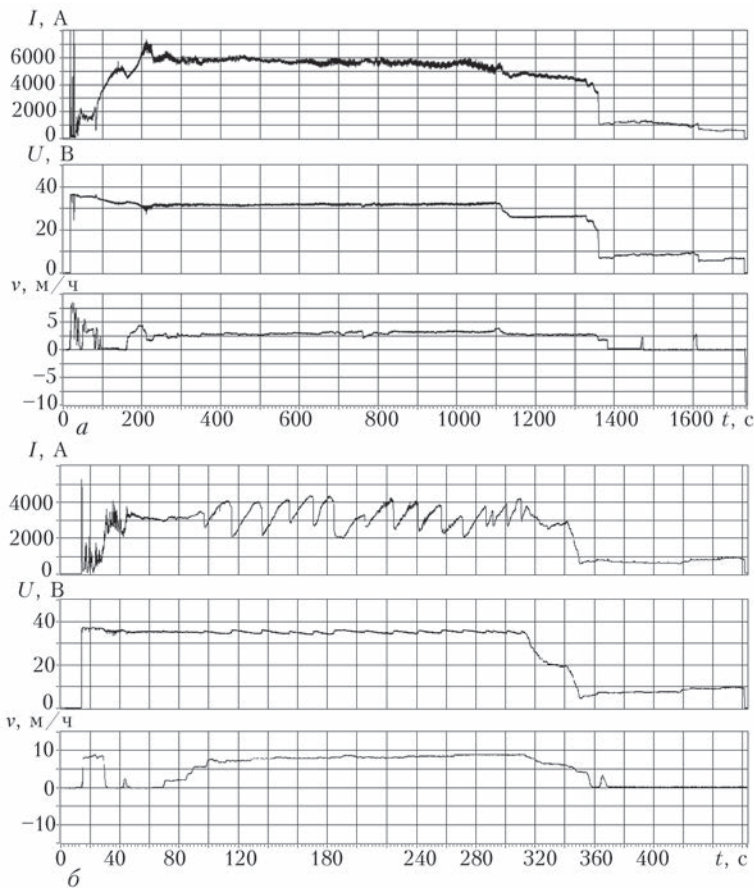


Рис. 2. Режимы переплава электродов, сформированных из ленты (а) и цилиндрических обрезков (б)

вания электрода, сваренного из цилиндрических обрезков (рис. 1, б) имели место существенные колебания тока плавки (рис. 2, б). Эти колебания тока вызваны снижением площади поперечного сечения переплавляемого электрода в местах сварки. В данном случае для обеспечения стабильных режимов

ЭШП и однородности структуры слитка целесообразно использовать повторный переплав или гарантировать полный провар сварного соединения при изготовлении расходующего электрода.

В результате проведенных экспериментов отработаны режимы ЭШП отходов сплавов 29НК, 50Н и 46Н, позволяющие получать слитки с хорошим формированием боковой поверхности (рис. 3) и плотной макроструктурой, без пор, шлаковых включений и прочих дефектов. Анализ микроструктуры литого металла также не выявил наличие дефектов металлургического характера (рис. 4, а, б).

Результаты анализов химического состава металла, определенного по четырем образцам, вырезанным из разных участков выплавленных слитков, приведены в табл. 3. Данные таблицы свидетельствуют, что состав прецизионных сплавов 29НК, 50Н, 46Н, полученных путем однократного ЭШП отходов соответствует требованиям стандарта (табл. 1).

Полученные слитки подвергли горячей прокатке на пруток при температуре 1000...1150 °С со сменой оси деформации при каждом проходе. Степень деформации за один проход составила 4...7 при общей степени деформации до 70 %. В результате прокатки получены прутки диаметром 40...45 и длиной 800...900 мм.



Рис. 3. Слитки прецизионных сплавов, полученные ЭШП отходов: а — 29НК, диаметр 84 мм; б — 50Н, диаметр 140 мм; в — 46Н, диаметр 84 мм

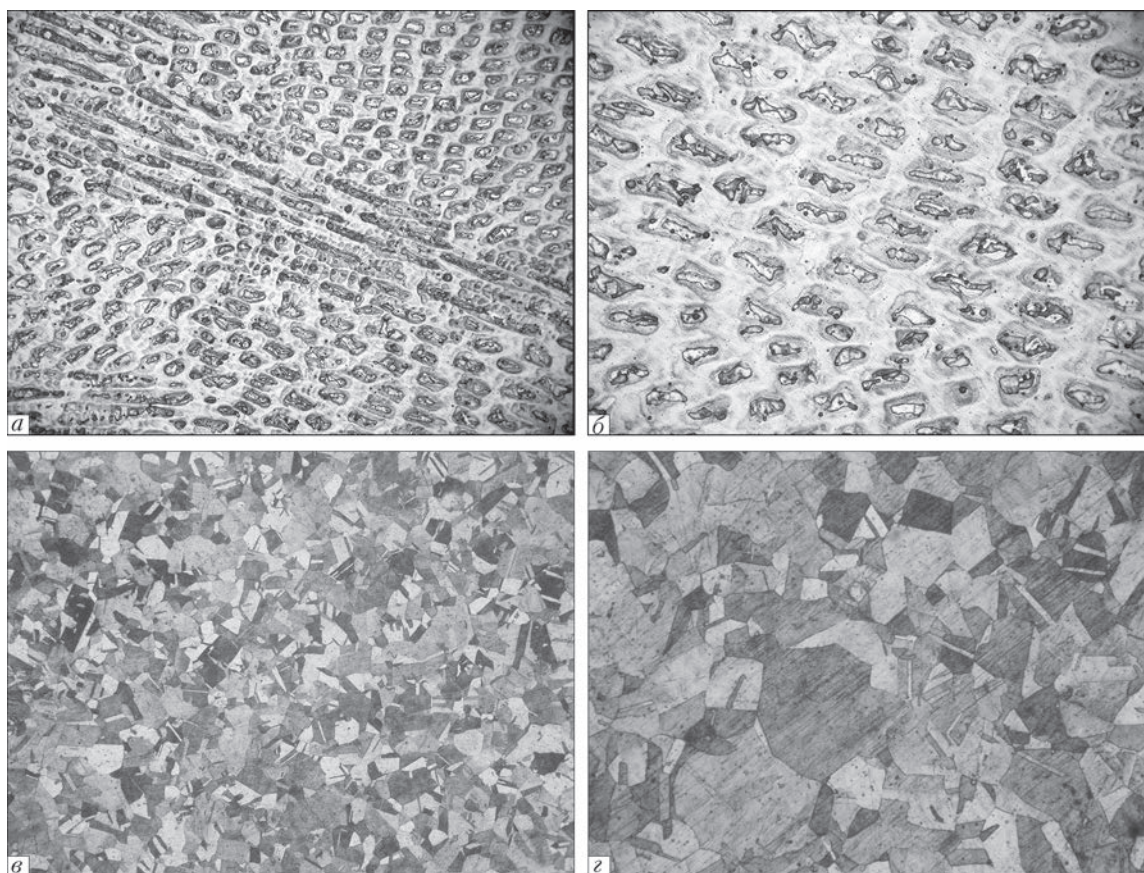


Рис. 4. Микроструктура сплава 29НК в литом состоянии (а, б) и после горячей деформации (в, г): а, в — $\times 50$; б, г — $\times 125$

Т а б л и ц а 3. Химический состав прецизионных сплавов, полученных ЭШП отходов, мас. %									
Сплав	Si	Mn	S	P	Cu	Ni	Co	Cr	Fe
29НК	–	0,20	–	–	0,18	29,2	17,0	0,038	53,3
50Н	0,15	0,42	–	–	0,16	49,6	–	–	49,2
46Н	–	0,20	–	–	0,16	45,8	–	–	53,7

На рис. 4, в, г приведена микроструктура сплава 29НК в состоянии после деформации. Микроструктура металла однородная, состоит преимущественно из равноосных зерен с характерным

размером 40...70 мкм. Трещин, микропор и прочих дефектов не выявлено.

Таким образом, установлено, что однократный ЭШП позволяет переплавлять отходы прецизион-



Рис. 5. Внешний вид слитков прецизионных сплавов ЭШП и изготовленных из них поковок и прутков: а, б, в см. в тексте

ных сплавов 29НК, 50Н, 46Н с получением металла удовлетворяющего по химическому составу и свойствам требованиям соответствующих стандартов. На основании этого и с учетом разработанных режимов ЭШП и последующей деформации литого металла проведены работы по переработке опытной партии листовых отходов прецизионного сплава 29НК.

Передел включал однократный ЭШП расходных электродов, сформированных из листовых отходов с получением слитков диаметром 84 мм (рис. 5, а), горячую прокатку слитков на прутки диаметром 42 мм с последующим отжигом (рис. 5, б) и обработку на токарном станке с получением чистовых прутков диаметром 38 мм (рис. 5, в).

Последующее изготовление из данного металла изделий и оценка их характеристик показали, что сплав удовлетворяет техническим условиям по его эксплуатации, обеспечивает требуемый ТКЛР и вакуумплотный спай элементов радиоэлектронной аппаратуры со стеклом.

Feasibility of electroslag remelting of wastes of precision alloys 29NK, 50N, 46N was studied. Ingots were produced by the method of ESR of consumable electrodes, formed from wastes of the mentioned alloys, in the chamber-type electroslag furnace in argon atmosphere. To provide the intensive stirring of the liquid metal pool and homogenization of metal composition, the method of effect by an external longitudinal magnetic field was applied. Modes of ESR and post thermomechanical treatment of ingots were optimized. Semi-products in the form of deformed rods were produced. It was found that the single ESR allows remelting wastes of precision alloys 29 NK, 50N, 46N with producing of metal, meeting the corresponding standards as to the chemical composition and properties. The works were carried out on melting and next rolling of the batch of ingots of alloy 29NK. Ref. 2, Tables 3, Figures 5.

Key words: *electroslag remelting; precision alloys; wastes; ingot; thermomechanical treatment*

Поступила 19.04.2016

Выводы

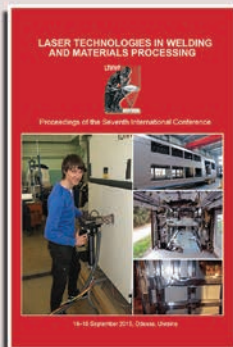
1. Разработана технологическая схема и режимы ЭШП отходов прецизионных сплавов 29НК, 50Н, 46Н. Выплавлены слитки указанных сплавов диаметрами 84 и 140 мм с качественным формированием боковой поверхности, плотной макро- и микроструктурой, без шлаковых включений, пор, микротрещин и прочих дефектов.

2. Разработаны режимы термомеханической обработки слитков ЭШП, получены полуфабрикаты прецизионных сплавов в виде прутков диаметром 38...45 мм.

3. Показано, что однократный ЭШП позволяет перерабатывать отходы прецизионных сплавов с получением металла удовлетворяющего по химическому составу требованиям стандарта.

1. Грицианов Ю. А. *Металлургия прецизионных сплавов* / Ю. А. Грицианов., Б. Н. Путищев, Б. В. Молотилова. — М.: Metallurgy, 1975. — 448 с.
2. *Прецизионные сплавы*: [справочник / под ред. Б. В. Молотилова]. — М.: Metallurgy, 1983. — 439 с.

ИЗДАТЕЛЬСКИЙ ДОМ «ПАТОН»



ЛАЗЕРНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В СВАРКЕ И ОБРАБОТКЕ МАТЕРИАЛОВ. — Киев: Киев: Международная Ассоциация «Сварка», 2016. — 98 с. (электронное издание <http://patonpublishinghouse.com/proceedings/ltwmp2015book.pdf>).

Сборник содержит доклады, представленные на Седьмой международной конференции «Лазерные технологии в сварке и обработке материалов», 14–18 сентября 2015 г., Одесса, Украина, в которых отражены последние достижения в области лазерной сварки, резки, наплавки и других современных технологий лазерной обработки материалов. Рассматриваются перспективы применения лазерных технологий. Авторами докладов являются известные ученые и специалисты из нескольких стран мира.

Архив предыдущих шести конференций «Лазерные технологии в сварке и обработке материалов» на сайте:

<http://patonpublishinghouse.com/proceedings/ltwmp>