



**TOGETHER**  
*for a sustainable future*

## OCCASION

This publication has been made available to the public on the occasion of the 50<sup>th</sup> anniversary of the United Nations Industrial Development Organisation.



**TOGETHER**  
*for a sustainable future*

## DISCLAIMER

This document has been produced without formal United Nations editing. The designations employed and the presentation of the material in this document do not imply the expression of any opinion whatsoever on the part of the Secretariat of the United Nations Industrial Development Organization (UNIDO) concerning the legal status of any country, territory, city or area or of its authorities, or concerning the delimitation of its frontiers or boundaries, or its economic system or degree of development. Designations such as “developed”, “industrialized” and “developing” are intended for statistical convenience and do not necessarily express a judgment about the stage reached by a particular country or area in the development process. Mention of firm names or commercial products does not constitute an endorsement by UNIDO.

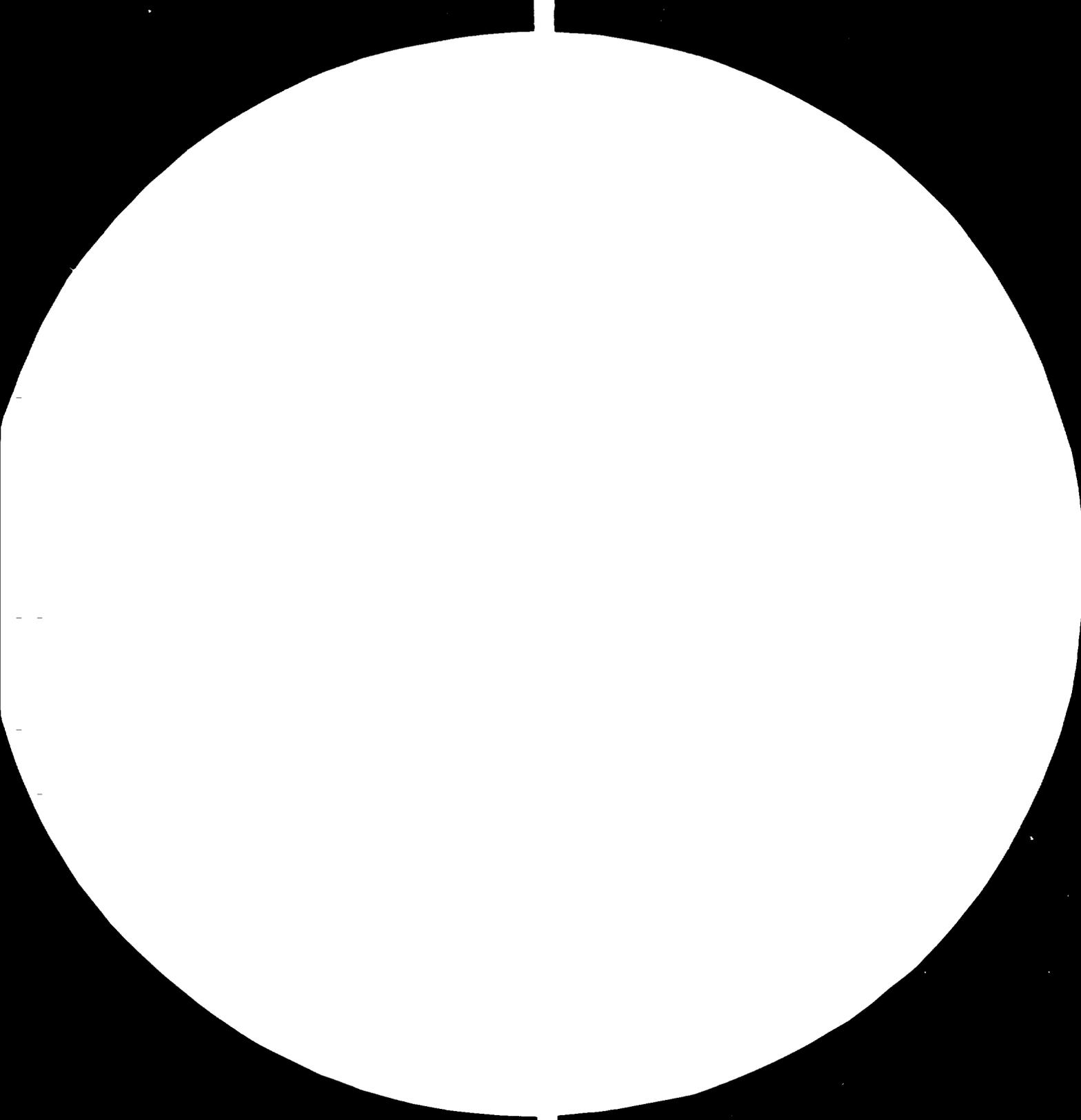
## FAIR USE POLICY

Any part of this publication may be quoted and referenced for educational and research purposes without additional permission from UNIDO. However, those who make use of quoting and referencing this publication are requested to follow the Fair Use Policy of giving due credit to UNIDO.

## CONTACT

Please contact [publications@unido.org](mailto:publications@unido.org) for further information concerning UNIDO publications.

For more information about UNIDO, please visit us at [www.unido.org](http://www.unido.org)





Minimum Resolvable Frequency (cycles/mm) = 1.5  
Resolution (cycles/mm) = 1.5

СССР  
Всесоюзное экспортно-импортное объединение  
ЦВЕТМЕТПРОМЭКСПОРТ

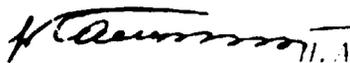
---

КОНФИДЕНЦИАЛЬНО

10137

ОТЧЕТ  
О ЛАБОРАТОРНЫХ ИССЛЕДОВАНИЯХ И  
ПОЛУПРОМЫШЛЕННЫХ ИСПЫТАНИЯХ  
СИЛЛИМАНИТОВЫХ КОНЦЕНТРАТОВ ИНДИИ  
ДЛЯ ПРОИЗВОДСТВА АЛЮМИНИЕВО-КРЕМНИЕВЫХ  
СПЛАВОВ  
(контракт № 77/65)

*Директор института,  
доктор технических наук*

 *Н. А. Калужский*

Работа выполнена  
Всесоюзным научно-исследовательским и проектным институтом  
алюминиевой, магниевой и электродной промышленности  
для Организации Промышленного Развития ООН (ЮНИДО)  
г. Вена, Австрия

ВАМИ  
ЛЕНИНГРАД  
1980

## СОДЕРЖАНИЕ

	<u>№ стр.</u>
I. В в е д е н и е . . . . .	2
2. Результаты лабораторных исследований:	5
2.1. Вещественный состав силлиманитового концентрата	5
2.2. Гранулометрический состав и другие характеристики шихтовых материалов . . . . .	7
2.3. Брикетиримость шихт . . . . .	10
2.4. Металлургическая оценка шихт . . . . .	19
2.4.1. Восстановимость шихт . . . . .	19
2.4.2. Электросопротивление шихт . . . . .	22
2.5. Заключение по разделу . . . . .	24
3. Результаты полупромышленных испытаний . . . . .	25
3.1. Транспортно-технологическая схема и краткое описание установки . . . . .	25
3.2. Составы исследуемых шихт и их прочностные характеристики . . . . .	28
3.3. Условия проведения полупромышленных плавов	33
3.4. Результаты испытаний по выплавке и рафинированию первичных сплавов . . . . .	36
3.5. Переработка электротермического силкоаломиния на литейные алюминидо-кремниевые сплавы марок АЛ-2 и АК 12М2ГН . . . . .	41
3.6. Заключение по разделу . . . . .	42
4. Прогнозные показатели электротермического производства при использовании исследуемых видов сырья	45
5. Заключение по отчету и выводы . . . . .	49
6. Приложение "Технические требования к основным видам сырья и материалов, используемым в СССР при производстве алюминидо-кремниевых сплавов по системе ВАИИ" . . . . .	54

## 1. В В Е Д Е Н И Е

Настоящая работа выполнялась согласно Контракту БИЗДО № 77/65 от 8.06.1978 г., заключенному между Организацией промышленного развития ООН, именуемой "Заказчиком" и Всесоюзным экспортно-импортным объединением Цветметпромпорт, именуемым "Поставщиком".

Контрактом предусматривалось проведение институтом ВАМИ полупромышленных испытаний опытных партий индийского сырья • 10 тонн силлиманитового концентрата, 6 тонн каменного угля и 3 тонн нефтяного кокса, - поставляемых фирмой Индия Рейр Металз для испытаний применительно к организации в Индии электротермического производства алюминиево-кремниевых сплавов.

Известно, что в Советском Союзе разработан и успешно применяется в промышленных масштабах электротермический способ получения алюминиево-кремниевых сплавов методом восстановления алюминия и кремния из природных алюмосиликатов и других видов кремнеземглиноземного сырья в руднотермических электропечах большой мощности. Действующий промышленный цех по электротермическому производству алюминиево-кремниевых сплавов состоит из отделений подготовки сырья и шихты, электропечного отделения, оборудованного руднотермическими электропечами мощностью до 22500 кВА, а также металлургического отделения, предназначенного для переработки силикоалюминия, выплаиваемого в электропечах, на силици и жаропрочные литейные алюминиевые сплавы разного типа и назначения.

Одним из главных преимуществ электротермического способа перед традиционным синтетическим производством сплавов из алю-

миния и кремния является вовлечение в производство неэк-  
модульных видов сырья, таких, как каолин ( $Al_2O_3 \cdot 2 SiO_2 \cdot 2H_2O$ ),  
кианиты и силлиманиты ( $Al_2O_3 \cdot SiO_2$ ), маложелезистые бокситы и  
другие, которые не могут эффективно перерабатываться на глино-  
зем и электролитический алюминий.

Грузопотоки материалов при электротермическом производстве  
во много раз меньше, чем при комплексе глиноземного и электро-  
литического производств. Современная рудотермическая электропечь для  
выплавки силикоалюминия в десятки раз превосходит по мощности и  
производительности алюминиевый электролизер.

При производстве литейных алюминиевых сплавов с использо-  
ванием электротермического силикоалюминия можно полностью отка-  
заться от применения технического кремния, уменьшить суммарный  
расход алюминия на 20 - 25% и примерно на 50% заменить его на  
вторичные алюминиевые сплавы, получаемые при переплавке алюми-  
невых ломов.

Целью полупромышленных испытаний сырья Заказчика, проводи-  
мых согласно упомянутому выше контракту КНИДО, являлось опреде-  
ление принципиальной технической возможности и параметров техно-  
логии электродуговой восстановительной плавки, разработанной в  
СССР, для производства алюминиево-кремниевых сплавов из индий-  
ских силлиманитовых концентратов с использованием в качестве  
углеродистого восстановителя каменного угля и нефтяного кокса.  
Одновременно с этим ставилась задача уточнения технологических  
параметров по окомкованию шихты из силлиманитового концентрата  
методами брикетирования и гранулирования с получением брикетов  
и скатилей из шихты, удовлетворяющих требованиям процесса, а  
также данных, касающихся режимных параметров электроплавки,

рафинирования и металлургической переработки силикоалюминия, выплавленного в электропечах на литейные алюминиевые сплавы.

Полупромышленным испытаниям индийского сырья, осуществляемым на установках опытного завода ЛОБ ВАМИ предшествовали лабораторные исследования по определению вещественного состава силикатного концентрата и других его физико-химических характеристик, включая способность его к окомкованию совместно с другими компонентами шихты, восстановимость и электропроводность шихты с использованием в качестве углеродистого восстановителя индийского каменного угля в смеси с нефтяным коксом.

Опытные партии сырья Заказчика в количествах 10 тонн силикатного концентрата и 6 тонн каменного угля были доставлены для испытаний в институт ВАМИ в январе 1980 г. По согласованию сторон опытная партия индийского нефтяного кокса не была поставлена для испытаний и была заменена на нефтяной кокс советского производства. По этой же причине в качестве связующего для окомкования шихты при испытаниях сырья использовали советские материалы - каолин сухого обогащения и водный раствор лигносульфоната натрия.

В настоящем отчете приведены сводные результаты лабораторных исследований и полупромышленных испытаний индийского сырья. С учетом результатов проведенных исследований в отчете дано заключение о принципиальной технологической возможности промышленного производства алюминиево-кремниевых сплавов из сырья Заказчика по способу, разработанному институтом ВАМИ, а также рекомендации, касающиеся выбора основных технологических агрегатов, ожидаемых расходных и других показателей электротермиче-

ского производства, необходимых для технико-экономической оценки способа промышленного производства алюминозо-кремнезых сплавов в условиях Индии.

## 2. РЕЗУЛЬТАТЫ ЛАБОРАТОРНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

### 2.1. Вещественный состав силлиманитового концентрата

Сыпная партия силлиманитового концентрата представлена мелкозернистым песчанником светло-серого цвета. Зерна концентрата имеют стекловидный блеск и представлены, в основном, силлиманитом с незначительной примесью других минералов, из которых наиболее заметны зерна дистена /3%/, а также циркона, рутила и бурой гидрослюда. Исключая дистен и циркон /0,5%/, все остальные минералы присутствуют в количествах 0,1 - 0,2% и менее. Содержание силлиманита /и дистена/ в исследуемой пробе силлиманитового концентрата составило около 98%. Зерна силлиманита прозрачные, незамутненные примесями глинистых минералов, имеют преимущественно пластинчатую форму. Характерный показатель преломления силлиманита - 1,660.

Химический состав пробы по основным компонентам, % вес:

$Al_2O_3$	- 62,3	$CaO$	- 0,10
$SiO_2$	- 36,2	$MgO$	- 0,12
$Fe_2O_3$ <sup>обд.</sup>	- 0,31	$MnO$	- 0,11
$FeO$	- 0,018	$K_2O$	- 0,012
$TiO_2$	- 0,11	$Na_2O$	- 0,051
$ZrO_2$	- 0,34	$CO_2$	- 0,15
		$H_2O$	- 0,017

Полуколичественный спектральный анализ, помимо отмеченных выше компонентов, отмечает, % вес :

С <sub>2</sub>	- ок. 0,1	Са	- 0,001
У	- ок. 0,1	Рз	- 0,01
Ва	- 0,001	С <sub>а</sub>	- ок. 0,01

Эти малые и рассеянные элементы, ввиду очень высокого содержания силиманита, связаны, по-видимому, с основным минералом пробы.

Данные дифференциально-термического анализа /ДТА/<sup>I/</sup> образцов проб силиманитового концентрата показывают небольшую потерю веса /-0,23%/ при 195°С и некоторый прирост образца /+0,165%/ при 1100°С, связанные с окислением образца. Суммарная потеря веса образца пробы силиманитового концентрата составляет по данным ДТА - 0,065%.

Рентгенометрические данные и результаты метода инфракрасной спектроскопии подтверждают чистоту исследуемого материала.

По своему вещественному составу силиманитовый концентрат отвечает всем требованиям электротермического производства алюминиево-кремниевых сплавов.

-----  
I/ Дифференциально-термический анализ проводился с помощью термоанализатора "Наутил, Пулик, Эрдик 103" при условиях: навеска 1 г, ДТА - 1/10, П-50, У<sub>2</sub> - 10°/мин.

## 2.2. Гранулометрический состав и другие характеристики шихтовых материалов

Перед технологическими испытаниями силичманитового концентрата индийский каменный уголь и нефтяной кокс измельчались до крупности менее 0,5 мм.

Силичманитовый концентрат, также как доломитовый и магнезитовый, другие порошкообразные материалы - технический глинозем, какао-сухого обогащения и пыль газочистных устройств - измельчались в натуральном виде, без доизмельчений.

Для всех исследуемых материалов определялись гранулометрический состав, средний размер частиц, истинная плотность и температура плавления.

Весовое содержание основных компонентов и регламентированных примесей во всех шихтовых материалах, используемых при технологических испытаниях сырья, характеризовалось данными табл.2.1.

Данные о гранулометрическом составе исследуемых материалов и о других их физических характеристиках приведены в табл.2.2.

Средний хим. состав шихтовых материалов, используемых при  
технологических испытаниях сырья

Наименование материала и его принадлежность	Технический анализ восстановителей, % вес.			Хим. анализ сырьевых материалов и золи восстановителей, % вес.							
	зола Ас	выход лету- чих ус	углерод нелету- чий С <sub>нлт</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	SiO <sub>2</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	TiO <sub>2</sub>	ZrO <sub>2</sub>	CaO + MgO	R <sub>2</sub> O	Ппп
I	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Силлиманитовый концентрат Индии	-	-	-	62,3	36,2	0,31	0,11	0,34	0,2	0,07	0,065
Каолин сухого обогащения СССР	-	-	-	36,2	47,4	0,69	0,56	-	0,6	-	12,5
Глинозем техни- ческий СССР	-	-	-	основа	0,10	0,09	0,001	-	0,03	0,50	-
Пыль газоочисти- тельных устройств СССР	-	-	-	43,7	29,6	0,06	0,02	0,01	0,6	0,2	-
Литиосульфат /сухой остаток/	14,3	-	-	В золе: 0,74	0,5	0,51	-	-	8,47	39,24	-
Каменный уголь Индии	19,76	35,5	38,81	24,85	60,82	5,2	1,2	-	2,75	-	-
Полудриной кокс СССР	1,24	11,04	87,72	15,9	22,4	16,7	0,30	-	-	-	-

Таблица 2.2

Гранулометрический состав и другие характеристики  
исследуемых шихтовых материалов

Наименование материала	Гран.состав, % вес				Средний размер зерен, мм	Темпе- ратура плавле- ния, 2/ °С	Плотность материа- лов, г/см <sup>2</sup>	
	+0,5 мм	0,5-0,25 мм	0,25-0,10 мм	-0,10 мм			истин- ная	кажущая- ся
Скарманитовый кон- центрат Индии	0,03	41,2	58,5	0,27	0,257	1800	3,30	2,06
Каолин сухого обогат- чения СССР	-	-	-	-	0,002 <sup>1/</sup>	1780	2,63	0,36
Глинозем технический СССР	0,05	0,1	38,7	61,15	0,10	1900	3,56	1,15
Пыль газоочистных устройств СССР	-	-	-	100,0	0,005	1750	2,3	0,2
Каменный уголь Индия	2,7	7,6	64,6	25,1	0,174	-	1,48	0,78
Нефтяной кокс СССР	5,9	11,6	47,5	35,0	0,19	-	2,06	0,7

ПРИМЕЧАНИЕ: 1/ Согласно седиментационному анализу

2/ Определено по началу оплавления конусов Зегера.

Полученные данные по химическому и гранулометрическому составам индийского силлиманитового концентрата находятся в пределах требований, предъявляемых в Советском Союзе к высокоглиноземистым видам сырья, используемым при электротермическом производстве алюминиево-кремниевых сплавов.

Обращает на себя внимание чрезмерно высокая зольность каменного угля Индии, что может привести к некоторому увеличению расхода технического глинозема, добавляемого к шихте в целях стабилизации оптимального, 60 - 63%, содержания алюминия в выплавленном силикоалюминии, а также к увеличению содержания в нем регламентируемой примеси железа.

### 2.3. Брикетированность шихт и их прочностные характеристики

Все шихты с использованием исследуемых материалов Индии рассчитывались на получение силико-алюминия - первичного сплава, содержащего преимущественно 60 - 63% алюминия, остальное - кремний и примеси.

В качестве восстановителя во всех шихтах применялись индийский каменный уголь и нефтяной кокс в разных соотношениях.

В целях упрочнения сырых и высушенных брикетов в состав исследуемых шихт вводился водный раствор лигносульфоната натрия, или сульфитно-спиртовой бражки /ССБ/, соответствующей советским стандартам, в количестве 5% по сухому остатку от веса шихты. Кроме того, в шихты вводили 4 - 5% пыли газосочетных устройств, уловленной при плавке шихты в электротермических электропечах. Химсостав и другие характеристики указанных материалов приведены в табл.2.1 и 2.2.

Сдозированные и тщательно перемешанные компоненты шихты прессовали на лабораторном прессе при давлении  $200 \text{ кг/см}^2$  в цилиндрические брикеты диаметром и высотой 30 мм. Брикеты высушивали до постоянного веса при  $105^\circ\text{C}$ . Часть из них прокатывали в течение 2-х часов без доступа воздуха при  $1000^\circ\text{C}$ .

Для высушенных и прокаленных брикетов определяли прочностные характеристики  $\sigma_{105}$  и  $\sigma_{1000}$ , по которым судили о брикетированности исследуемых шихт и о их пригодности по условиям механической прочности к осуществлению процесса плазки применительно к промышленным условиям. Для базовых составов шихт, используемых при промышленном производстве силикоалеминия в СССР, прочностные характеристики брикетов, изготовленных в лабораторных условиях, составляли:

$$\sigma_{105} = 109,6 \text{ кг/см}^2 \text{ и } \sigma_{1000} = 19,3 \text{ кг/см}^2.$$

Лабораторные исследования на брикетированность шихт условно были разбиты на несколько групп.

В I-й группе опытов уточнялось влияние на прочностные характеристики брикетов добавок в шихту глинозема и пыли газоочистных устройств.

Соотношения восстановителей /каменного угля и нефтяного кокса/ в брикетах, а также силиманитового концентрата и каолина в шихтах этой группы не менялось и составляло: 70 : 30 - для каменного угля и нефтяного кокса /по содержанию нелетучего углерода/ и 80 : 20 - для силиманитового концентрата и каолина /по весу дозируемых материалов/.

Во II-й группе опытов изучалось влияние на брикетированность шихт весовых дозировок силиманитового концентрата и каолина, соотношения которых для шихт разного состава принимались равными:

80/20; ,60/40 и 35/65.

В III-й группе опытов изучалось влияние на прочностные характеристики брикетированной шихты величины суммарной относительной дозировки нелетучего углерода, а также соотношений восстановителей в брикетах.

Суммарная относительная дозировка углерода в брикетах указанной группы опытов принималась равной: 100, 80 и 50% от стехиометрического количества углерода, имея в виду, что недостающее количество углерода в шихтах будет в дальнейшем восполняться за счет добавок к брикетам дробленого каменного угля. Соотношение измельченного каменного угля и нефтяного кокса в брикетированной шихте III-й группы опытов принималось разным: 70/30, 40/60 и 0/100 /по содержанию  $C_{нлт}$  в угле и нефтяном коксе/.

Результаты исследований по определению брикетированности шихт I- и II-й группы опытов приведены в табл.2.3.

Таблица 2.3

Брикетированность силлиманитсодержащих шихт в зависимости от весовых дозровок глинозема, пыли и каолина

Группы опытов и № исследуемых шихт	I-я группа опытов			II-я группа опытов		
	1	2	3	4	5	6
I	2	3	4	5	6	7
I. Процентный состав брикетированной шихты: - силлиманитовый концентрат	45,33	37,33	34,53	37,90	27,04	14,86

I	2	3	4	5	6	7
- каолин	11,33	9,33	8,62	9,47	18,04	27,66
- глинозем	-	10,10	10,71	6,42	9,25	12,43
- пыль газосчитки	-	-	3,78	3,34	3,30	3,74
- уголь качениый	36,41	36,32	35,53	35,32	35,17	34,70
- нефтяной кокс	6,93	6,92	6,77	6,73	6,70	6,61
ВСЕГО, %	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00
2. Характеристика состава брикетов:						
- относительная дозировка углерода /C <sub>нлт</sub> в брикетах, % относ.	100	100	100	100	100	100
- соотношение угля и нефтяного кокса /по C <sub>нлт</sub> в брикетах	70/30	70/30	70/30	70/30	70/30	70/30
- соотношение дозровок силлиманита и каолина	80/20	80/20	80/20	80/20	60/40	35/65
- расчетный состав шихты по металлам в сплаве, % вес:						
алюминий	57,38	64,81	64,61	61,34	60,81	60,66
железо	1,39	1,21	1,15	1,23	1,27	1,33
титан и цирконий	0,75	0,59	0,55	0,63	0,62	0,60
3. Прочностные характеристики брикетированной шихты, кг/см <sup>2</sup> :						
- всушенные брикеты, 6° 100°	36,6	34,9	44,6	65,5	65,1	61,3
- прокаленные брикеты, 6° 1000°	3,8	2,7	4,4	7,6	8,9	9,4

Брикетируемость силиманитосодержащих шихт в зависимости от относительной дозировки и соотношений восстановителей в брикетах

Группа опытов и № исследуемых шихт	Ш-я группа опытов						
	7	8	9	10	11	12	13
I	2	3	4	5	6	7	8
<b>I. Процентный состав брикетированной шихты:</b>							
- силиманитовый К-Т	37,90	42,74	50,76	41,13	45,59	52,73	47,33
- каолин	9,47	10,68	12,69	16,30	11,40	13,18	11,83
- глинозем	6,42	5,21	3,26	7,37	6,40	4,88	9,17
- пыль газоочистки	3,84	4,33	5,15	4,17	4,62	5,35	4,80
- уголь каменный	35,59	22,22	-	31,11	19,20	-	22,57
- нефтяной кокс	6,78	14,82	28,14	5,92	12,19	23,86	4,30
<b>ВСЕГО, %</b>	<b>100,00</b>	<b>100,00</b>	<b>100,00</b>	<b>100,00</b>	<b>100,00</b>	<b>100,00</b>	<b>100,00</b>
<b>2. Характеристика состава брикетов:</b>							
- относительная дозировка углерода /С шихт / в брикетах, % относ.	100	100	100	80	80	80	50
- соотношение угля и кокса в брикетах /по С шихт /	70/30	40/60	0/100	70/30	40/60	0/100	70/30
- соотношение дозировок силиманита и каолина	80/20	80/20	80/20	80/20	80/20	80/20	80/20
- расчетный состав шихты по металлу в сплаве, % вес.:							
алюминий	61,34	61,92	62,37	61,35	61,72	62,28	61,21
железо	1,23	0,95	0,54	1,28	1,06	0,75	1,36
титан и цирконий	0,63	0,61	0,57	0,64	0,62	0,59	0,65

SECTION 1

Брикетированность силикмангнесодержащих шихт в зависимости от

относительной дозировки и соотношения восстановителей в брикетах

	Ш-я группа опытов									
	7	8	9	10	11	12	13	14	15	
	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
Содержание шихты в брикетах	37,90	42,74	50,76	41,13	45,59	52,73	47,33	50,82	56,15	
Содержание углерода в брикетах, %	9,47	10,68	12,69	16,30	11,40	13,18	11,83	12,70	14,04	
Содержание железа в брикетах, %	6,42	5,21	3,26	7,37	6,40	4,88	9,17	8,60	7,73	
Содержание марганца в брикетах, %	3,84	4,33	5,15	4,17	4,62	5,35	4,80	5,15	5,70	
Содержание кремния в брикетах, %	35,59	22,22	-	31,11	19,20	-	22,57	13,64	2,00	
Содержание кальция в брикетах, %	6,78	14,82	28,14	5,92	12,79	23,86	4,30	9,09	16,38	
Состав	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00
Дозировка углерода в брикетах, относ.	100	100	100	80	80	80	50	50	50	
Соотношение восстановителей по шихте /	70/30	40/60	0/100	70/30	40/60	0/100	70/30	40/60	0/100	
Соотношение восстановителей по весу	80/20	80/20	80/20	80/20	80/20	80/20	80/20	80/20	80/20	
Содержание шихты по весу, %	61,34	61,92	62,67	61,35	61,72	62,28	61,21	61,44	61,76	
Содержание углерода в шихте, %	1,23	0,95	0,54	1,28	1,06	0,75	1,36	1,23	1,04	
Содержание железа в шихте, %	0,63	0,61	0,57	0,64	0,62	0,59	0,65	0,63	0,62	

I	2	3	4	5	6	7	8	9	10
3. Прочностные характеристики брикетированной шихты, $\Gamma$ кг/см <sup>2</sup> :									
- высушенные брикеты, $\tilde{B}_{105}^{\circ}$	75,5	111,5	157,1	70,8	104,2	142,9	66,7	102,0	127,5
- прогазовые брикеты, $B_{1000}^{\circ}$	17,6	24,3	34,3	14,2	19,3	35,3	12,3	20,9	35,5

$\Gamma$  Для базовой шихты, приготовленной из отечественного сырья  $\tilde{B}_{105} = 109,6$  и  
 $B_{1000} = 19,3$  кг/см<sup>2</sup>

Как видно из табл.2.3, дозировка глинозема в шихту № 2, произведенная из расчета получения сплавов, содержащих 63% алюминия, существенно снизила, по сравнению с шихтой № 1 прочностные характеристики брикетов. Введение в состав шихты № 3 пыли газосочетных устройств улучшило ее брикетрузмость и несколько ослабило отрицательное влияние глинозема на прочностные характеристики брикетов.

С учетом результатов I-й группы опытов последующие /табл.2.3/ исследования вели на шихтах с умеренной дозировкой глинозема /в расчете на сплав, содержащий 60% алюминия/ и при введении в состав исследуемых шихт пыли газосочетных устройств /порядка 3,8% от веса шихты/.

Результаты II-й группы опытов показывают, что прочностные характеристики брикетов очень мало изменяются при двух- и трехкратном увеличении весовой дозировки каолина в шихте. Последнее, в свою очередь, снижает относительную дозировку силиманитового концентрата в шихте, являющегося главным источником сырья для производства алюминиево-кремниевых сплавов, а также приводит к необходимости увеличения в 1,5 - 2,0 раза весовой дозировки глинозема в шихте.

Результаты исследований III-й группы опытов, приведенные в табл.2.4, показывают, что прочностные характеристики брикетов возрастают, главным образом, при снижении дозировки каменного угля в брикетах и при замене его на нефтяной кокс. Максимальные величины прочностных характеристик брикетов получены на шихтах № 9, 12 и 15, содержащих в качестве восстановителя один нефтяной кокс /без каменного угля/. Учитывая, что реакционная способность нефтяного кокса должна быть существенно ниже, чем для

каменного угля, подобные составы шихт не могут быть рекомендованы для металлургических испытаний. Данные табл. 2.4 показывают, что по брикетировости исследуемых шихт наиболее близкими к базовым составам шихт, используемым в промышленных условиях /для которых:  $\sigma_{1050} = 109,6$  и  $\sigma_{1000} = 19,3$  кг/см<sup>2</sup> /, являются шихты № 8 и 1Г. Соотношение весовых дозровок каменного угля и нефтяного кокса /по  $C_{\text{плт}}$  / в указанных шихтах составляет 40/60, а величина суммарной относительной дозировки нелегучего углерода в брикетах изменяется в пределах 80 - 100%, против стехиометрического количества углерода, требуемого для восстановления всех окислов шихты.

С целью экспериментальной проверки зависимости брикетировости шихт от крупности шихтовых материалов в завершающей IV-й группе опытов изучалось влияние на прочностные характеристики брикетов степени измельчения одного каменного угля и угля совместно с силиманитовым концентратом. Для проведения исследований указанные материалы порознь доизмельчались в шаровой мельнице до крупности менее 0,1 мм. Далее готовили шихты по типу шихт, исследуемых в III-й группе опытов, с той лишь разницей, что в одни шихты вводили доизмельченный каменный уголь, а в другие - доизмельченный уголь и силиманитовый концентрат. Согласно результатам проведенных исследований /табл. 2.5/ за счет доизмельчения материалов получено увеличение прочностных характеристик как для высушенных, так и для прокаленных брикетов.

Таблица 2.5

Средние данные по относительному увеличению прочностных характеристик брикетированной шихты при доизмельчении шихтовых материалов

Соотношение угля и нефтяного кокса в брикетах /по $S_{нлт}$ /	10/30	40/60	0/100
Относительное увеличение прочности, % отн.			
- при доизмельчении одного $\Delta B 105^0$ каменного угля	47,1	7,1	•
$\Delta B 1000^0$	91,3	24,4	•
- при доизмельчении угля $\Delta B 105^0$ и силиманитового концентрата:	30,9	3,9	27,0
$\Delta B 1000^0$	90,2	34,0	48,1

Приведенные данные отражают преимущественное влияние на увеличение прочностных характеристик брикетов более тонкого измельчения каменного угля.

С учетом полученных результатов и данных табл.2.4 наряду с шихтами № 8 и 10, может быть рекомендована для последующих металлургических испытаний также шихта № 7.

## 2.4. Металлургическая оценка шихт

### 2.4.1. Восстановимость шихт

Исследования на восстановимость шихт производили по методике ВАМЛХ<sup>x/</sup>, разработанной применительно к процессу получения алюминиево-кремниевых сплавов. Для опытов использовали лабораторную электропечь с трубчатым нагревателем /рис. 2.1/, обеспечивающую поддержание в реакционном пространстве печи температуры 2000 - 2050°C. Опыты производили с навесками шихты по 120 - 160 г в виде окатышей диаметром 6 - 8 мм. Каждый опыт на восстановимость состоял из двух стадий. На первой стадии опыта в реакционный тигель 4 и конденсатор 2 /рис.2.1/ загружалась исходная исследуемая шихта. На второй стадии опыта в реакционный тигель загружали содержимое конденсатора, оставшееся после первой стадии опыта /прокаленные окатыши шихты с осевшими на них возгонками/, а в конденсатор - исходная шихта, в тех же количествах как и в I-й стадии опытов.

Содержимое реакционного тигля после II-й стадии опытов анализировали на содержание металлического алюминия и кремния. Восстановимость шихты оценивали по степени восстановления алюминия и кремния из шихты согласно формуле:

$$B = \frac{Me_{II}}{Me_{расч.}} \times 100, \%$$

где:  $Me_{II}$  - фактическое содержание алюминия и кремния в реакционном тигле после II-й стадии опытов, г;

x/ Цветные металлы № 6, 1977 г., стр.30-32

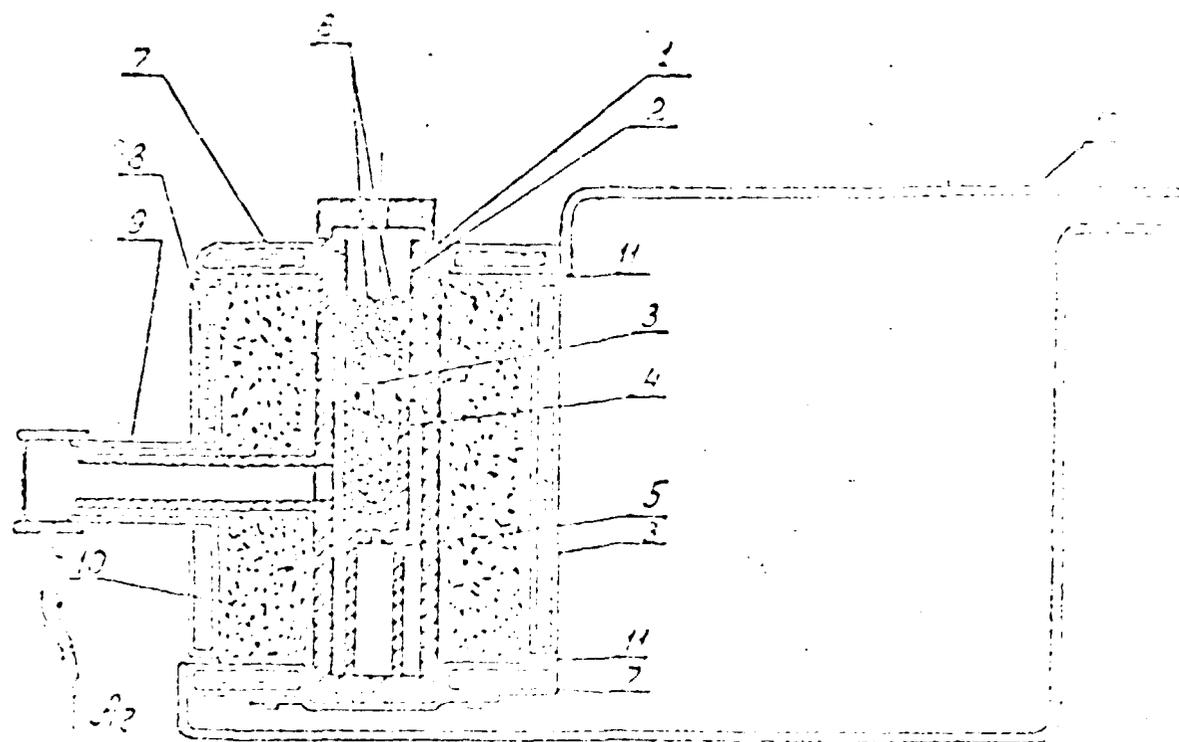


Рис. 2.1 Установка для исследования обратимости коксов  
и коксовых материалов

- 1 - трубчатый нагреватель, 2 - конденсатор;  
 3 - перфорированная перегородка, 4 - реакционный тигель,  
 5 - подставка ; 6 - исследуемая шихта (гранулы);  
 7 - водоохлаждаемая крышка ; 8 - водоохлаждаемый кожух, ;  
 9 - смотровой штуцер, 10 - графитовая стружка,  
 11 - электроизоляция, 12 - токоподвод.

$Me_{расч.}$  - расчетное содержание алюминия и кремния в шихте, загружаемой в конденсатор, г<sup>г</sup>.

Такой метод исследований позволил наиболее точно смоделировать в лабораторных масштабах условия осуществления процесса в руднотермических электропечах. Шихта, загружаемая в конденсатор на I-й стадии опытов, находится в условиях, имитирующих колшниковую зону руднотермических электропечей. Содержание конденсатора, загружаемое в реакционный тигель на II-й стадии опытов, находится в условиях, имитирующих реакционную зону руднотермических электропечей, куда поступает предварительно окисленная и частично восстановленная шихта колшниковой зоны печи.

Исследования по определению восстановимости шихт проводились применительно к составам шихт, приведенным в табл.2.4. При относительном содержании нелетучего углерода в брикетах или окатышах, равном 80 и 50% отн. производилась соответствующая корректировка состава шихты перед опитами путем добавок количества дробленого каменного угля крупностью 3 - 5 мм и тщательного перемешивания угля с окатышами в целях усреднения состава.

Данные по определению восстановимости исследуемых шихт приведены в табл.2.6.

Таблица 2.6

Восстановимость исследуемых шихт

№ иссле- дуемых шихт /по дан- ным табл.2.4/	Соотношение каменного угля и нефтяного кокса в окатышах - по нелету- ющему углероду	Относи- тельная дозировка углерода /С <sub>нлт</sub> / в шихте /чис- литель/ и в брикетах /знаменатель/ % отн.	Степень вос- становления алюминия и кремния из шихты при 2000°С -3, %
7	70/30	100/100	60,1
8	40/60	100/100	53,63
9	0/100	100/100	43,2
10	70/30	100/80	51,88
11	40/60	100/80	45,61
12	0/100	100/80	33,1
13	70/30	100/50	40,06
14	40/60	100/50	39,74
15	0/100	100/50	34,78
Шихта базовая из отечествен- ного сырья		-	45,20

Данные табл. 2.6 показывают, что с увеличением относительного содержания нефтяного кокса в шихте, а также при снижении дозировки углерода в окатышах восстановимость шихт ухудшается.

Наиболее высокая степень восстановления алюминия и кремния из шихт, исследуемых составов превосходящая аналогичный показатель для базовой шихты, была достигнута на шихтах № 7, 8, 10 и II.

Составы указанных шихт предусматривают ограничения по дозировке восстановителей в шихте, в пределах: от 76 до 40% отн. - для каменного угля и от 24 до 60% отн. - для нефтяного кокса. Относительная дозировка углерода в брикетах или окатышах не должна, при этом снижаться ниже 80% отн., так как корректировка состава шихты дробленным каменным углем не восполняет полностью потерь металла, связанных с ухудшением условий для восстановления окислов шихты.

#### 2.4.2. Электросопротивление шихт

Известно, что величины удельного электрического сопротивления /УЭС/ шихт различного состава оказывают решающее влияние на выбор конструктивных и электрических параметров ванны рудно-термических электропечей. В соответствии с принятой в ВЛМИ методикой лабораторных исследований были произведены измерения величин УЭС для шихт различного состава.

Перед опытами исследуемые шихты в виде брикетов прокаливались при  $1000^{\circ}\text{C}$  без доступа воздуха в течение 2 часов, а затем охлаждались до комнатной температуры, размалывались до крупности менее 0,5 мм и загружались в контейнер измерительной установки.

При использовании шихт, характеризующихся недостатком углерода в брикетах, после прокалики и охлаждения брикетов производилась корректировка их состава по углероду, путем введения добавок прокаленного каменного угля крупностью 3 - 5 мм. Прокаленные брикеты размальзовались совместно с углем до крупности менее 0,5 мм и далее загружались в контейнер измерительной установки.

Метод измерений УЭС шихт основан на определении падения напряжения при прохождении постоянного тока через исследуемую шихту, находящуюся в контейнере под давлением 40 кг/см<sup>2</sup>.

Результаты измерений удельного электрического сопротивления шихт приведены в табл.2.7.

Таблица 2.7.

Электросопротивление шихты

№2 иссле- дуемых шихт /по дан- ным табл. 2.4 /	Соотношение каменного угля и нефтяного кокса в брике- тах - по угле- роду С <sub>нлт</sub>	Относительная дозировка уг- лерода в шихте /числитель/ и в брикетах /знаменатель/, % С <sub>нлт</sub>	Удельное электрическое сопротивление шихты, УЭС, ом.см
7	70/30	100/100	14,30
8	40/60	"-	13,41
9	0/100	"-	-
10	70/30	100/80	15,40
11	40/60	"-	14,40
12	0/100	"-	-

I	2	3	4
I3	70/30	100/50	23,79
I4	40/60	-"	17,70
I5	0/100	-"	16,41
Шихта базовая из отечественного сырья		-	15,4

Из таблицы видно, что по мере увеличения дозировки нефтяного кокса в шихте электросопротивление шихты снижается. Для шихт № 7, 8, 10 и II, отличающихся повышенной степенью восстановления алюминия и кремния /табл.2.6/, величины УЭС несколько ниже, чем для базовой шихты, приготовленной из отечественного сырья.

## 2.5. Заключение по разделу

Проведены лабораторные исследования индийского силлиманитового концентрата и каменного угля, предусматривающие предварительное определение режимных параметров технологического процесса и получение исходных данных для проведения полупромышленных испытаний.

Лабораторными исследованиями определен химический и вещественный состав силлиманитового концентрата, а также каменного угля. Изучены основные их технологические характеристики, включая брикетируемость, восстановимость и электросопротивление шихты. Результаты лабораторных исследований в целом можно рассматривать, как положительные.

Исследованиями показано, что из числа отработанных шихт более высокими технологическими показателями характеризуются шихты № 7, 8, 10 и 11 /табл.2.4/, которые могут быть рекомендованы для дальнейшего полупромышленных испытаний.

Составы указанных шихт предусматривают содержание по дозировке восстановителей в шихте: от 76 до 100% /отн./ - для каменного угля и от 24 до 50% /отн./ - для кокса.

Относительная дозировка углерода в восстановителях, используемых при проведении полупромышленных испытаний, должна составлять порядка 90 - 95% от стехиометрического количества углерода и не должна снижаться менее 80% /отн./, т.е. корректировка шихт при замене дробленым каменным углем не восполняет полностью потерь металла, связанных с ухудшением условий для протекания восстановительных реакций.

### 3. РЕЗУЛЬТАТЫ ПОЛУПРОМЫШЛЕННЫХ ИСПЫТАНИЙ

Испытания проводились на полупромышленном оборудовании Ленинградского областного завода ЛОЗ ВАМИ.

#### 3.1. Транспортно-технологическая схема и краткое описание оборудования

Подготовка спекнованной шихты и ее дозировка производились по обычной схеме, принятой на ЛОЗ ВАМИ. Транспортные компоненты шихты - хинчидский силлиманитовый концентрат /МКЖ, каолин и глинозем подавались непосредственно на участок дозирования.

Кусковые материалы /индийский каменный уголь и нефтекокс СССР/ поступали на щековую дробилку, где дробились до крупности - 50 мм и далее в шаровую мельницу для измельчения до крупности - 0,5 мм, после чего поступали на участок дозирования. Дозирование производилось весовым методом, замесами по 150 кг.

Сдозированные компоненты шихты загружались в приемный бункер и скребковым транспортером подавались в барабанный смеситель, где тщательно перемешивались. Перемешанная шихта подавалась в трехкамерный барабанный гранулятор, где увлажнялась водным раствором сульфито-спиртовой барды плотностью 1,15 - 1,17 г/см<sup>3</sup> и окатывалась в гранулы диаметром 3 - 30 мм. Гранулированная шихта поступала на прессование в вальцовый пресс с давлением прессования 150 кг/см<sup>2</sup> для получения эллипсоидных брикетов размером 5 x 40 x 30 мм.

Брикеты вылеживались в цехе в течение 3 - 5 суток и поступали на плавку, не подвергаясь специальной операции сушки. На плавку поступала также гранулированная шихта фракции +12-25 мм, не прошедшая вальцовый пресс.

Учет количества загруженной в печь шихты производился по количеству загруженных баков и контролировался по общему количеству проплавленных замесов.

Плавки проводились на двухэлектродной полупромышленной печи ЛОЗ ВАМИ мощностью 150 квт. Принципиальная схема подключения печи к трансформатору показана на рис.3.1. Печной трансформатор имеет диапазон вторичных напряжений в пределах от 25 до 90 вольт /23 ступени/. Максимальная сила тока на низкой стороне - 3000 ампер, рабочий ток в среднем составляет 2700 ампер.

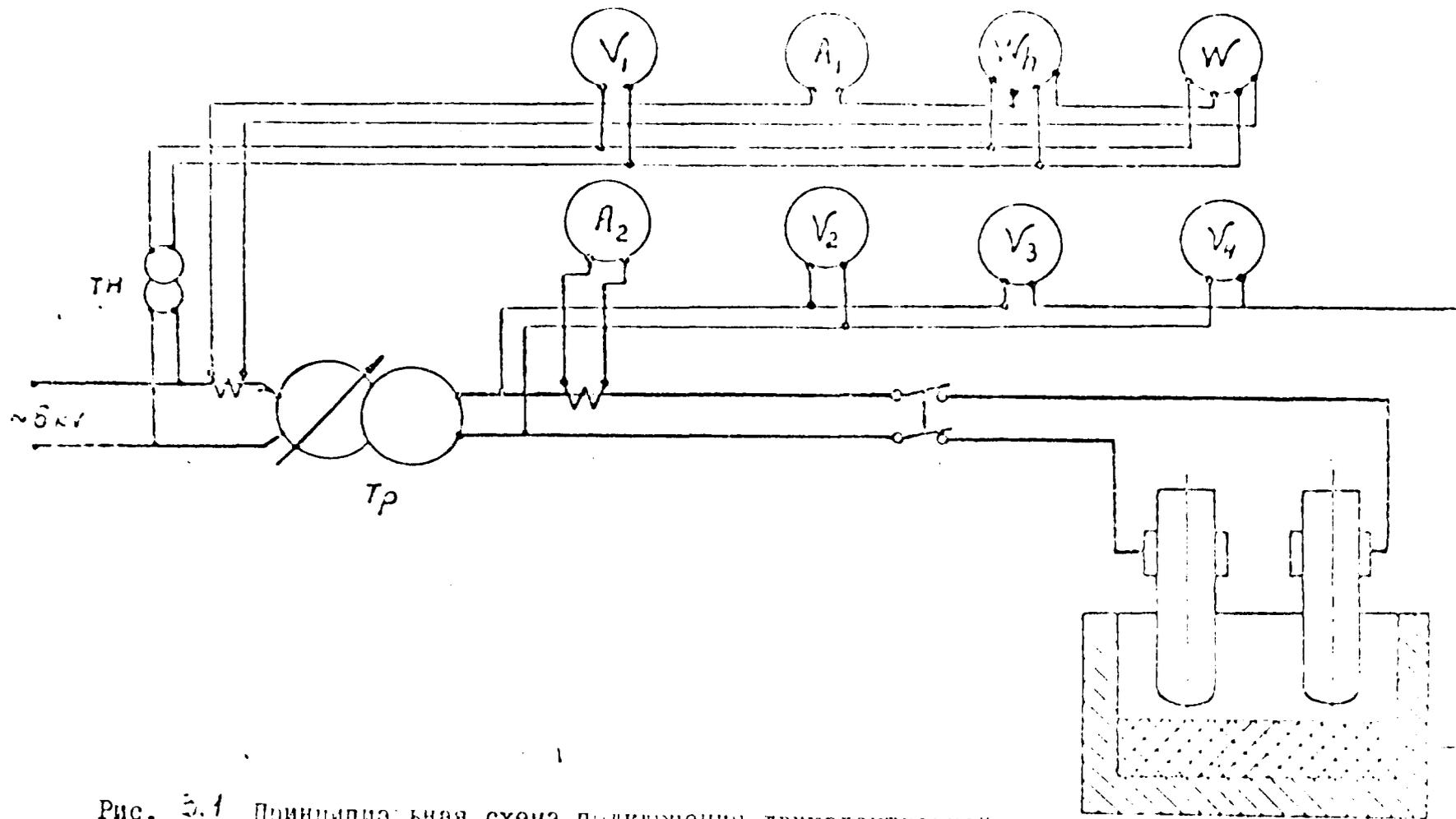


Рис. 3.1 Принципиальная схема подключения двухэлектродной полупромышленной электропечи.

При средних значениях рабочего тока потери активной мощности в токоподводах печи - 19,2 кВт.

Основные размеры ванны и кожуха печи показаны на рис.3.2. Баковая футеровка ванны выполнена из стандартного шамотного кирпича, подина - угольная. Электроды - графитированные диаметром 150 мм, с токоподводом в виде двух медных водослаждаемых полукругов, обжимающих электрод с двух сторон.

Первичный сплав, выпускаемый из печи подвергался рафинированию флюсом по принятой методике, далее разбавлялся алюминием до содержания кремния близкого к эвтектическому, легировался марганцем и фильтровался на вакуумном фильтр-аппарате с получением литейных сплавов.

### 3.2. Составы исследуемых шихт и их прочностные характеристики

В соответствии с результатами лабораторных исследований для полупромышленных испытаний были выбраны пять шихт № 7, 8, 10, 11 и 14 /табл.3.1/ с различной дозировкой восстановителя /100%, 80% и 50% / и при разных соотношениях каменного угля к нефтяному коксу в брикетах /70/30 и 40/60/. Помимо этого, была испытана шихта 7Г, скускованная в виде гранул и шихта 14Д с дозировкой недостающего углерода в шихту в виде древесного угля.

В качестве сравнения использовалась базовая шихта "А" из материалов СССР.

Шихты для полупромышленных испытаний несколько отличались по составу от лабораторных. Общая дозировка углерода составляла в них 91 + 93% от стехиометрии и в них содержалась обратная пыль газосчитки.

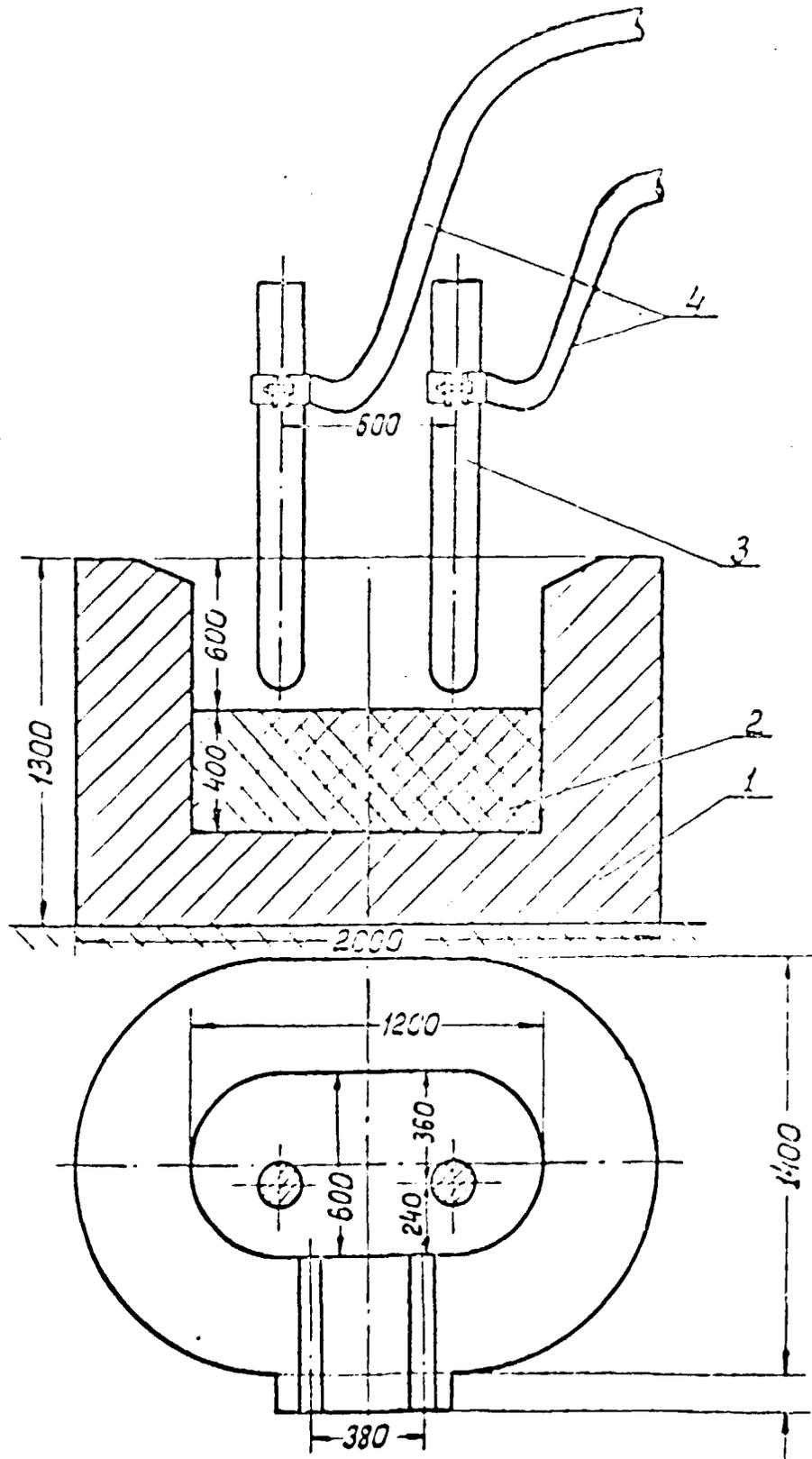


Рис. 3.2 Двухэлектродная полупромышленная электропечь  
 1 - футеровка; 2 - угольная подина;  
 3 - графитовый электрод; 4 - токоподвод

Составы шихт для полупромышленных испытаний приведены в таблице 3.Г.

Приготовленные в заводских условиях брикеты /гранулы/ подвергались испытанию на механическую прочность. Прочность брикетов /гранул/ определялась по числу сбрасываний до разрушения с высоты 2 м на бетонный пол, прочность высушенных /до постоянного веса при 105°C/ - по раздавливающему усилию на брикет /гранулу/.

В качестве критерия прочности для сухих брикетов /гранул/ принималась приведенная прочность, равная отношению раздавливающего усилия к квадрату приведенного диаметра, который рассчитывался по формуле:

$$d_{пр} = \sqrt{\frac{d_1^2 + d_2^2 + d_3^2}{3}}, \text{ где:}$$

$d_1, d_2$  и  $d_3$  - линейные размеры брикета по трем координатам.

Для шарообразных гранул приведенный диаметр совпадает с геометрическим.

Прочностные характеристики шихт приведены в таблице 3.2.

СОСТАВ ШИХТ ПОЛУПРОМЫШЛЕННЫХ ИСПЫТАНИЯ  
ИНДИЙСКОГО СЫРЬЯ

№ п/п	Шихты Компоненты	"А" /СВЭО- ВЭЛ/	7	8	10	11	1
			и 7Г				
1	2	3	4	5	6	7	
I	Состав брикетов, %						
	Каолин сухого обогащения	33,68	10,85	11,76	11,34	12,54	13,
	Глинзем технический	13,75	5,58	4,50	6,63	5,62	7,
	Дистен-силлиманитовый концентрат	18,13	-	-	-	-	-
	Силлиманитовый концентрат Индии	-	43,42	47,02	45,33	50,14	55,
	Каменный уголь СССР	26,94	-	-	-	-	-
	Каменный уголь Индии	-	31,13	22,04	30,83	19,02	13,
	Нефтекокс СССР	7,50	9,22	14,68	5,87	12,68	8,
	ВСЕГО, %	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100
2	Восстановитель в шихту, кг/100 кг брикетов						
	Каменный уголь-Индия	-	-	-	11,01	11,89	33,
	Древесный уголь - СССР	-	-	-	-	-	-
3	Относительная дозировка восстановителя в брикет, %	100,00	100,00	100,00	80,0	80,0	50,
4	Дозировка восстановителей в шихту, % стехиометр	95,3	91,0	91,0	91,0	91,0	91,
5	Расчетное содержание АГ в шихте, %	60,0	60,0	60,0	60,0	60,0	60
6	Соотношение КУ/НК в брикете	70/30	70/30	40/60	70/30	40/60	40/

СОСТАВЫ ЛУХТ ПОЛУПРОМЫШЛЕННЫХ ИСПЫТАНИЙ  
ИНДИЙСКОГО СЫРЬЯ

ЛУХТ	"А" /СВЯЗО- ВАЛ/	7 и 7Г	8	10	11	14	14Д
	3	4	5	6	7	8	9
Содержание, %							
для обогащения	33,68	10,85	11,76	11,34	12,54	13,96	13,96
химический	13,75	5,58	4,50	6,63	5,62	7,72	7,72
магнитовый концентрат	18,13	-	-	-	-	-	-
для концентрат Индии	-	43,42	47,02	45,33	50,14	55,82	55,82
для СССР	26,94	-	-	-	-	-	-
для Индии	-	31,13	22,04	30,83	19,02	13,48	13,48
для СССР	7,50	9,22	14,68	5,87	12,68	8,99	8,99
Итого	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00
для брикетов							
для Индии	-	-	-	11,01	11,89	33,72	-
для СССР	-	-	-	-	-	-	18,22
для десировки в брикетах, %	100,00	100,00	100,00	80,0	80,0	50,0	50,0
коэффициент в брикетах	95,3	91,0	91,0	91,0	91,0	91,0	91,0
температура АГ в брикетах	60,0	60,0	60,0	60,0	60,0	60,0	60,0
у/лх в брикетах	70/30	70/30	40/60	70/30	40/60	40/60	40/60

Таблица 3.2

Прочностные характеристики  
брикетов /гранул/ для полупромышленных испытаний

№ шихт	Характеристика состава шихт		Приведенный диаметр /пр, см	Среднее число сбрасываний	Прочность	
	дозировка ств в брикет, % общей	соотношение КУ/НК			измеренная, Р кг/брикет	приведенная, $\bar{\sigma}$ кг/см <sup>2</sup>
I	2	3	4	5	6	7
Брикеты:						
"А" сазовая	100,0	70/30	5,32	2,4	131,5	4,65
7	100,0	70/30	"-	1,2	63,3	2,24
8	100,0	40/60	"-	1,5	107,3	3,80
10	80,0	70/30	"-	1,4	102,6	3,63
11	80,0	40/60	"-	2,2	122,3	4,32
14	50,0	40/60	"-	2,3	142,6	5,04
Гранулы:						
7Г	100,0	70/30	2,70	2,0	23,2	3,18
"-	"-	"-	2,30	2,1	18,2	3,44
"-	"-	"-	1,90	2,3	14,5	4,02
"-	"-	"-	1,50	2,5	10,4	4,62

Как видно из данных таблицы, прочностные характеристики брикетов улучшаются по мере увеличения доли нефтехкокса в брикетах и снижения дозировки восстановителей в брикет, что вполне согласуется с данными лабораторных испытаний. Шихта № 14 /угле-

рода в брикете 50%, КУ/НК = 40/60/ имеет приведенную прочность несколько выше, чем базовая. Близка по прочностным характеристикам к базовой шихта № 11 /80% углерода в брикете, КУ/НК = 40/60/. Приведенная прочность шихт 8 и 10 составляет ~ 80% от базовой. Наименьшую прочность имеет шихта № 7 - ~ 50% от базовой, хотя по своей реакционной способности она является лучшей. Одним из путей повышения механической прочности шихты является уменьшение размера куска. С этой целью шихта № 7 испытывалась также в гранулированном виде.

Как видно из данных таблицы 3.2 и рис.3.3. приведенная прочность гранул растет с уменьшением диаметра и для гранул диаметром 15 мм достигает прочности брикетов базовой шихты, что открывает возможность успешной транспортировки и переработки этой шихты в промышленных условиях.

### 3.3. Условия проведения полупромышленных плавок

Технологический режим ведения плавки соответствовал режиму, применяемому при подобных испытаниях. Первоначально печь прогрелась без шихты на коксовой засыпке. По достижении на кокухе температуры 1500°С кокс удалялся и производилась постепенная загрузка брикетированной шихты в течение 10 - 12 часов без выпуска сплава. После нараживания гарниссажа начинались периодические выпуски сплава из печи через каждые 2 часа. Обработка колошника печей и загрузка шихты в ванну производилась, как правило, после очередного выпуска сплава из печи.

Пуск печи производился на базовой шихте, снятие показателей начиналось после установления теплового равновесия через 40 - 48 часов после пуска.

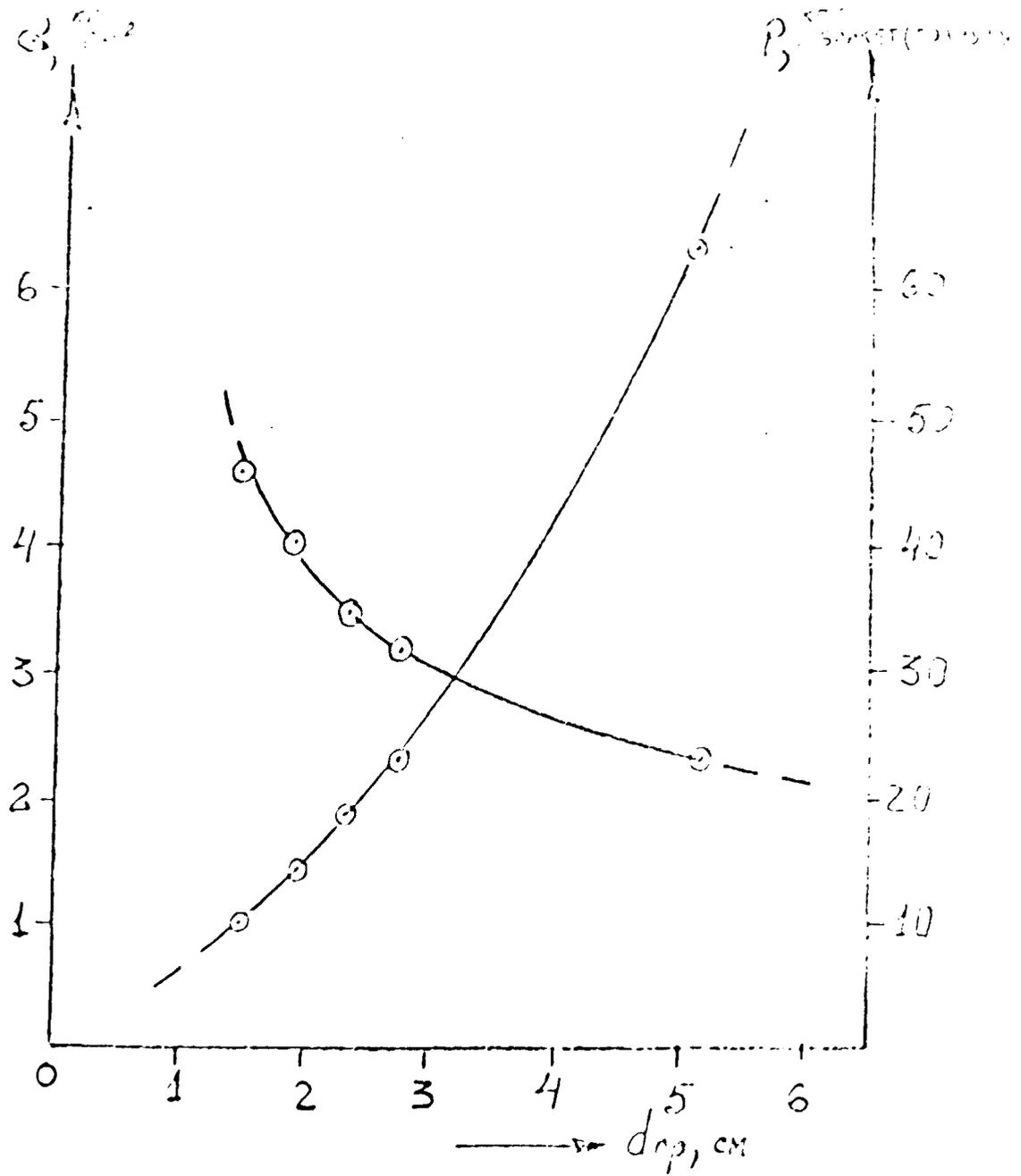


Рис. 3.3 Зависимость прочностных характеристик  
шихты № 7 от приведенного диаметра.

Выпуски сплава из печи осуществлялись в изложницы, футерованные графитом. Между лётками и изложницами помещались отстойники шлака с футеровкой из песчаной набивки. В этих отстойниках задерживались недовосстановленные окислы и карбиды с большим количеством металлизированной фазы /шлаки/, которые затем дробились до крупности 30 - 60 мм, взвешивались и возвращались на колошник печи совместно с шихтой.

Экспресс - оценка качества полученного сплава и режима работы печи производилась по выходам декантированного сплава, выпущенного в изложницу и веса осевшего в отстойнике шлака.

Во время выпусков отбирались пробы декантата на химический анализ и дополнительно на содержание неметаллических примесей.

Часть декантата подвергалась флюсовому рафинированию смесью хлористого натрия с криолитом для более глубокой очистки сплава от неметаллических включений.

При проведении опытных плавов регистрировались основные показатели работы печи - мощность, рабочее напряжение, расход электроэнергии, брикетов /гранул/ и корректирующих добавок угля и кварцита. Производился учет количества полученного декантата и шлака, определялись выходы при рафинировании декантата.

Осуществлялся визуальный контроль за состоянием брикетов на колошнике печи, их спекаемостью на колошнике, характером скова шихты в нижние горизонты печи и за термостойкостью брикетов.

Количественная оценка показателей работы печи производилась по величинам удельного расхода электроэнергии и минеральной части шихты на 1 тонну рафинированного сплава.

Основными критериями при подборе электрического и технологического режимов плавки на шихтах разного состава являлись:

- регулярность осуществления выпусков сплава из печи при минимальном загрязнении его шлаковыми включениями;
- поддержание условий, обеспечивающих непрерывную работу печи с погруженной дугой при постоянно закрытом колоснике печи шихтой.

#### 3.4. Результаты испытаний по выплавке и рафинированию первичных сплавов

Результаты полупромышленных испытаний по выплавке и рафинированию первичных сплавов представлены в таблице 3.3.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИСПЫТАНИЯ  
по выплавке и рафинированию первичных сплавов

№ ШХТ	Вре- мя рабо- ты, час	Загружено				Получено			Мед- ность печи, кВт	Напря- жение, В	Расход элект- ро- энер- гии, кВт.ч	Выхо- д при рафи- ниро- вании, %
		бри- кетов, кг	угля, кг	квар- цита, кг	минер. части, кг	декан- тата, кг	шлака, кг	рафи- ниро- ванно- го сплава, кг				
I	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
"А" базо- вая	70	1970	-	113,4	1414,2	610,0	244	492,7	131,0	70-72	9170	80,77
7	80	2553	-	143,3	1673,9	708,6	212,6	651,3	134,0	68-73	10720	91,9
"Г"	26	813,2	-	44,5	531,6	226,3	65,6	211,8	133,5	68-73	3471	93,6
8	68	2042	-	132,2	1391	602,4	210,8	528,9	129,5	68-70	8806	87,8
10	70	1858	199,8	114,9	1438,5	615,5	246,2	499,5	135,0	70-72	9450	81,1
11	76	2076	221,9	147,9	1537,4	666,2	279,8	528,3	132,5	68-71	10070	79,3
14	70	1598	489,3	157,1	1391,6	620,9	322,9	448,9	133,0	70-74	9310	72,3
14"Д"	40	891,0	145,5	86,8	776,2	344,7	165,5	255,3	127,5	68-70	5100	74,0
SECTION 1												

Таблица 3.3.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИСХОДЯЩИХ

и рафинированных первичных сплавов

9	10	11	12	13	Удельный расход на 1 т рафинированного сплава				Состав рафинированного сплава				
					14	15	16	17	18	19	20	21	22
рафинированного сплава, кг	Мощность печи, кВт	Напряжение, В	Расход электроэнергии, кВт.ч	Выход при рафинировании, %	брикетов, т/т	угля, т/т	кварца, т/т	минеральной части, т/т	электродной энергии, кВт.ч	Al	Si	Fe	Ti+Zr
192,7	131,0	70-72	9170	80,77	4,0	-	0,23	2,87	18610	55,3	39,6	3,01	I, II
551,3	134,0	68-73	10720	91,92	3,92	-	0,22	2,57	16459	55,6	40,5	3,05	0,76
11,8	133,5	68-73	3471	93,6	3,84	-	0,21	2,51	16390	55,8	39,4	3,03	0,76
28,9	129,5	68-70	8806	87,8	3,86	-	0,25	2,63	16650	54,1	41,1	3,10	0,73
99,5	135,0	70-72	9450	81,15	3,72	0,40	0,23	2,88	18920	55,0	40,1	3,15	0,74
28,3	132,5	68-71	10070	79,3	3,93	0,42	0,28	2,91	19060	52,7	42,5	3,12	0,68
148,9	133,0	70-74	9310	72,30	3,56	1,09	0,35	3,10	20740	50,1	44,8	3,35	0,76
255,3	127,5	68-70	5100	74,07	3,49	0,57	0,34	3,04	19975	50,3	44,7	3,30	0,69

SECTION 2

Как следует из данных таблицы при плавках шихт /№ 7, 8, 7Г/ с дозировкой восстановителей в брикете, равной 100% от общей, могут быть достигнуты показатели, лучшие по сравнению с базовой шихтой.

Так, например, при плавках шихт 7 и 7Г удельный расход электроэнергии снизился на 11,6% и 11,9% соответственно, расход минеральной части шихты уменьшился на 10,5% и 12,5%. Выход при рафинировании составил 91,92% и 93,6% против 80,77% для базовой шихты.

Визуально на шихтах 7 и 7Г печь работала хорошо. Колосник держался устойчиво и легко обрабатывался, брикеты на колоснике удовлетворительно сохраняли свою форму, хотя и наблюдалась картина частичного разрушения, а гранулы вообще не рассыпались. Летки открывались хорошо, выпуск сплавов происходил без затруднений. Металл выходил горячий, с умеренным количеством шлака.

Расход минеральной части шихты составил 2,57 т/т для шихты № 7 и 2,51 т/т для шихты № 7Г, что существенно ниже, чем для базовой шихты /2,87 т/т/.

При переходе на шихту № 8, содержащую повышенное количество нефтехокса, спекаемость шихты несколько возросла, однако и в этом случае показатели работы были лучше базовых: удельный расход электроэнергии на 10,5% ниже, выход при рафинировании на 7,03% выше, расход минеральной части шихты 2,53 т/т, против 2,77 т/т.

Визуально печь работала достаточно хорошо. Колосник держался устойчиво, умеренно спекался. Брикеты на колоснике сохраняли свою форму и не растрескивались. Выпуск металла затруднений не вызвал.

При испытаниях шихт, содержащих 30% восстановителя в брикетах /шихты IО и II /были получены несколько худшие показатели. Удельный расход электроэнергии составил 18920 квт.ч/тРС для шихты № IО и 19060 квт.ч/т РС для шихты № II, или на 1,7% и 2,4% выше базового. Выхода при рафинировании и расход минеральной части шихты очень незначительно отличаются от базовых.

Визуально печь работала достаточно хорошо на обеих шихтах, хотя и в данном случае заметна тенденция к большему спеканию колошника и некоторому ухудшению показателей с увеличением доли нефтекоса в шихте. Выпуск шлага на шихте № IО осложнений не вызвал, на шихте № II летки открывались несколько труднее.

Для этой шихты увеличился расход кварцита, в результате чего содержание алюминия в сллаве несколько снизилось.

При испытаниях шихты № I4, содержащей 50% углерода в шихте, показатели работы существенно ухудшились. Расход электроэнергии увеличился на 11,4% по сравнению с базовой шихтой, выход при рафинировании снизился на 8,47% расход минеральной части шихты возрос на 8%.

Визуально печь работала нестабильно. При работе на напряжении 70 В в верхних горизонтах шахты нарастали трудно-восстановимые боковые настыи, для проплавления которых приходилось поднимать напряжение до 74 - 75 В, что в свою очередь приводило к обвалам колошника и затрудняло открытие леток. Кварцит приходилось давать не только для распыла боковых настоев, но и на середину колошника для его удержания, в связи с чем его расход возрос на 35% по сравнению с базовой шихтой, а содержание алюминия в сллаве снизилось до 80,1%.

С целью проверки возможности улучшения показателей при переработке шихты № 14 кусковой каменный уголь, добавляемый к брикетам, был заменен на древесный /шихта № 14Д/. Как видно из данных таблицы 3.3. такая замена действительно несколько улучшила показатели работы печи: удельный расход электроэнергии при плавлении шихты № 14Д снизился на 3,7% по сравнению с шихтой № 14, выход при рафинировании увеличился на 1,77%, несколько снизился расход минеральной части шихты, однако показатели останков существенно хуже базовых.

Визуально печь на шихте № 14Д работала лучше, чем на шихте № 14. Уменьшились объемы колосника, меньше стала зароста шихты на печи.

Суммируя результаты подуровневых испытаний, можно сделать общий вывод, что все испытанные шихты принципиально возможно переработать по предлагаемой технологии.

С уменьшением дозировки восстановителей в брикет показатели работы печи ухудшаются, остаются однако достаточно хорошими при дозировке 80% от общей.

Замена индийского кускового каменного угля, добавляемого к брикетам, на древесный несколько улучшает показатели работы печи.

3.5. Переработка электротермического силикоалюминия на  
литейные алюминисво-кремниевые сплавы марок АЛ2  
и АК12М2МгН

Сплав марки АЛ2 применяется в машиностроении, радио-и электротехнике, а также в производстве товаров народного потребления.

Сплав марки АК12М2МгН предназначен для лагья в кохиль-напорной к двигателям тракторов.

Указанные сплавы готовят на основе электротермического силикоалюминия /шихта № 7/.

Химический состав силикоалюминия, %:

Si	Fe	Ti	Zr	Al
40,5	3,05	0,45	0,40	55,6

Теоретическая основа очистки алюминисво-кремниевых сплавов от железа, титана и циркония состоит в том, что, пользуясь различной температурой затвердевания компонентов расплава, можно фильтрацией, центрифугированием или другими способами отделить твердую фазу от жидкой и получить при эвтектической температуре силумин; для более глубокой очистки алюминисво-кремниевое сплава от железа в последний вводят марганец.

Получение силумина и сплава проводили по технологической схеме, включающей: расплавление шихтуемых материалов, загружаемых из расчета получения алюминисво-кремниевых сплавов, содержащих 12 -13% Si, рафинирование универсальным четырехкомпонентным флюсом, состава, %: CaCl - 56,5; CaF - 25; KCl - 11,5 и  $K_2AlF_6$  - 7; снятие шлака; охлаждение сплава до  $t \sim 620^\circ C$ ; заливку на фильтр /кварцитовая кружка/, нагретый до  $t \sim 600^\circ C$ ;

охлаждение сплава и фильтраппарата до  $t \sim 600^{\circ}\text{C}$ ; фильтрация сплава под вакуумом /остаточное давление  $\sim 1$  мм.рт.ст./.

В случае получения сплава марки АК12М2МН в фильтрат вошедли легирующие компоненты - медь, никель, магний.

Химические составы и механические свойства полученных сплавов соответствуют советским стандартам.

Расходные коэффициенты при производстве сплавов, кг/т:

№ пп	Наименование шихтовых материалов	Марки сплавов	
		АЛ2	АК12М2МН
1	Алюминий электролитический	765,8	723,0
2	Силикоалюминий	323,1	324,0
3	Марганец металлический	11,6	11,7
4	Медь	-	22,0
5	Никель	-	11,0
6	Магний	-	11,0

### 3.6. Заключение по разделу

Результаты полупромышленных испытаний опытных партий силицированного концентрата и каменного угля, поставленных фирмой Индиан Рейр Металз, указывают на принципиальную пригодность исследуемого сырья для электротермического производства алюминий-кремниевых сплавов.

В ходе испытаний были изучены и определены условия окисления шихты методами гранулирования и брикетирования на барабане.

ном грануляторе и вальцовом прессе спутного завода ЛОЗ ВАМИ, уточнены технологические и электрические параметры процесса рудовосстановительной плавки шихты различного состава при получении первичного алюминий-кремниевый сплав, содержащего 59-61% алюминия, остальное - кремний и примеси; определены режимные параметры флюсового рафинирования первичного шлага от неметаллических примесей, а также металлургической переработки рафинированного шлага на сплав марки АЛ2 и на жаропрочный литейный сплав марки АК12142МгН, соответствующие стандартам СССР /ГОСТ 2685-75 и ГОСТ 1583-73/.

Результаты полупромышленных испытаний согласуются с предварительными данными лабораторных исследований. Они, в частности, указывают на зависимость основных технологических показателей при подготовке и рудовосстановительной плавке шихты различного состава от содержания в них каменного угля и нефтяного кокса, дозируемых в различных весовых соотношениях по нелетучему углероду.

По показателям удельного расхода электроэнергии и выходов при рафинировании сплавов наилучшие результаты были достигнуты на шихте № 7 /табл.3.3/, при суммарной относительной дозировке нелетучего углерода в брикетах 91 - 93% от стехиометрического количества углерода и при соотношениях углерода каменного угля к углероду нефтяного кокса в брикетах, равным 70/30.

Однако при рудовосстановительной плавке брикетированной шихты такого состава брикеты частично разрушались на колосниковой печи, в результате чего удельный их расход на 1 тонну полученного шлага был несколько завышен. Сопоставление показателей

работы двухэлектродной печи на шихтах № 7 и 7Г с использованием брикетированной и гранулированной шихт показывает, что удельный расход электроэнергии и выходы при рафинировании сплава практически не зависят от метода окучивания шихт. При плавке гранулированной шихты № 7Г имел место более низкий удельный расход шихты, что объясняется более высокой термической прочностью окатышей, по сравнению с брикетами и, соответственно, меньшей их растрескиваемостью и ослабемостью на колоснике печи. Данные табл.3.2 показывают, что удельные прочностные характеристики  $\frac{1}{G}$ , кг/см<sup>2</sup> / окатышей мелких размеров существенно выше, чем для брикетов или скатышей более крупных размеров.

При рудовосстановительной плавке брикетированной шихты № 8 с соотношением углерода каменного угля к углероду нефтяного кокса 40/60, прочностные характеристики брикетов были достаточно удовлетворительны, а показатели плавок были не хуже, чем для стандартных брикетов отечественного производства. Указанные данные свидетельствуют о том, что на шихтах подобного или близкого к ней состава может быть использована промышленная технология по подготовке и рудовосстановительной плавке брикетированных шихт, освоенная в Советском Союзе в условиях крупномасштабного электротермического производства.

Результаты опытных плавок шихт № 10, II и I4, приведенные в табл.3.3, показывают, что снижение относительной дозировки углерода в брикетированных шихтах до 80 и 50% /стн./, при соответствующем восполнении недостатка углерода при плавке за счет добавок к брикетам дробленого каменного угля, приводит к нарушению условий для нормального протекания рудовосстановительного

процесса. Прочностные характеристики брикетов при этом несколько возрастают, однако показатели плавок - энходы при рафинировании, удельный расход электроэнергии и другие - существенно ухудшаются.

Замена дробленого каменного угля при плавке шихты № 14 на дробленый древесный уголь отечественного производства /шихта 14Д, табл. № 3.3/ позволила несколько улучшить показатели рудо-восстановительного процесса, однако прежние показатели, полученные на шихтах №№ 7 и 8, т.е. при дозировке всего количества углерода в брикеты, не были достигнуты.

Часть рафинированного алюминисо-кремниевоего сплава, полученного из шихт № 7 и № 8, была переработана на товарные литейные сплавы - сплав марки АЛ2 и жаропрочный литейный сплав АК12М2МгН по принятой на Днепровском алюминиевом заводе технологической схеме. Опутные партии товарных литейных алюминиевых сплавов в количестве 150 кг подготовлены к отправке фирме Индиан Рейр Металз.

#### 4. ПРОГНОЗНЫЕ ПОКАЗАТЕЛИ ЭЛЕКТРОТЕРМИЧЕСКОГО ПРОИЗВОДСТВА ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ ИССЛЕДУЕМЫХ ВИДОВ СЫРЬЯ

С учетом результатов полупромышленных испытаний рассчитан состав рафинированного сплава и расходные коэффициенты при электротермическом производстве определялись при следующих условиях:

- соотношение силлиманитового концентрата и каолина в шихте - 80 : 20;
- соотношение каменного угля и нефтяного кокса в шихте /по  $C_{\text{нит}}$  / - 70 : 30 и 40 : 60;

- содержание железа и кремния в алюминии-сырце, используемом для разбавления первичного сплава, 0,30 и 0,15; соответственно;
- количество возвращаемых в процесс производства отходов: шлака - 80%, пыли - 95% от общего их количества;
- рафинированный сплав содержит 59,6% алюминия и 36,67% кремния.

Расчетные составы рафинированных сплавов приведены в табл.4.1.

Таблица 4.1

Расчетные составы рафинированных сплавов, %

	Соотношение угля и неф- тяного кокса в шихте	Al	Si	Fe	Ti	Zr	Ca	Проч.
I	70/30	59,6	36,67	2,162	0,364	0,232	0,858	0,111
2	40/60	59,6	36,67	1,817	0,313	0,278	0,827	0,495

Расходные коэффициенты на I т рафинированного сплава приве-  
дены в табл.4.2.

Таблица 4.2

Расходные коэффициенты на I т рафинированного сплава,  
кг

№ пп		Соотношения каменного угля и нефтяного кокса в шихте	
		70/30	40/60
I	2	3	4
I	Силициевый концентрат	200,2	1115,0

1	2	3	4
2	Каолин сухого обогащения	240,0	280,0
3	Глинозем технический	432,3	350,7
4	Кварцит дробленый	180,0	180,0
5	Шлак металлизированный	280,0	280,0
6	Пыль газоочистных устройств	256,0	256,0
7	Каменный уголь	1602,0	380,0
8	Нефтяной кокс	353,0	630,0
9	Электродная масса	80,0	80,0
10	Раствор сульфитно-спиртовой барды плотность 1,16	689,3	689,3

Удельный расход технологической электроэнергии на 1 т рафинированного сплава /60% Al / составит порядка 13000 квт.ч/т; производительность печи мощностью 22500 ква - 28 - 29 т/сутки при среднегодовом коэффициенте использования печи, равном 0,93 - 0,95.

В табл. 4.3 приведены расходные коэффициенты на производство 1 т некоторых широко применяемых литейных сплавов.

В табл.4.3 приведены расходные коэффициенты на производство I т некоторых широко применяемых литейных сплавов.

Таблица 4.3  
Расходные коэффициенты на I т литейных сплавов, кг

	Марка сплава					
	АН12М2ЛН		АН12М2		СН1-2, Ал2	
	Соотношение каменного угля и нефтяного кокса в шихте					
	70/30	40/60	70/30	40/60	70/30	40/60
1 Алюминий	706,23	695,37	701,95	701,95	731,64	720,04
2 Рафинир. сплав	330,96	325,55	324,68	324,68	356,20	349,97
3 Марганец	9,30	8,02	-	-	9,926	8,545
4 Медь	22,0	22,0	22,0	22,0	-	-
5 Никель	11,0	11,0	-	-	-	-
6 Магний	11,0	11,0	-	-	-	-

Приведенные выше прогнозные показатели могут служить основанием для выполнения предварительных технико-экономических расчетов, подтверждающих экономическую целесообразность организации в Индии электротермического производства.

## 5. ЗАКЛЮЧЕНИЕ ПО ОТЧЕТУ И ВЫВОДЫ

1. В соответствии с контрактом № 77/65 от 8.06.1978 г., заключенным между Организацией промышленного развития ООН /Юнидо/ и экспортно-импортным объединением "Цветметпромэкспорт" в период с января по июнь 1980 г. на лабораторных установках института ВАМИ и полужаводеских установках Ленинградского опытного завода ЛОЗ ВАМИ проведен комплекс лабораторных исследований и полупромышленных металлургических испытаний опытной партии силлиманитового концентрата весом 10 тонн, а также опытной партии каменного угля весом 6 тонн, поставленных фирмой Индиан Рейр Металз, применительно к использованию их в качестве исходных материалов для электротермического производства алюминиево-кремниевых сплавов.

2. Проведенными исследованиями и технологическими испытаниями, осуществляемыми по всем стадиям применяемой в СССР технологической схемы процесса, показана принципиальная возможность использования исследуемого сырья для электротермического производства алюминиево-кремниевых сплавов. Полученный при проведении испытаний алюминиево-кремниевый сплав был переработан на литейные алюминийные сплавы: сплав марки АЛ2 и сплав АК12М2МН, используемый в автомобильной промышленности. По механическим свойствам полученные сплавы отвечают требованиям действующих в СССР стандартов. Две опытные партии сплавов весом 150 кг подготовлены к отгрузке фирме Индиан Рейр Металз.

3. Лабораторными исследованиями и полупромышленными испытаниями установлено, что опытные партии сырья, представленные

индийской фирмой, отличается от сырья, применяемого на промышленной установке Днепровского алюминиевого завода.

Основные отличия заключаются в следующем:

- более высокое качество силлиманитового концентрата по содержанию основных компонентов и регламентируемых примесей;
- повышенная зольность /до 20%/ каменного угля при сравнительно низком содержании в золе угля регламентируемых примесей;
- пониженная брикетированность шихты из силлиманитового концентрата и каменного угля обуславливающая уменьшение механической прочности и термостойкости брикетов.

4. В связи с затруднениями при брикетировании шихт, содержащих силлиманитовый концентрат и каменный уголь, при проведении полупромышленных испытаний во все шихты добавляли каолин, нефтяной кокс и технический глинозем. Последний добавлялся в целях стабилизации содержания алюминия в получаемом первичном алюминиево-кремниевом сплаве на уровне 59 - 61%. В качестве связующего при подготовке шихт применяли водный раствор лигносульфоната натрия в количестве 5% на сухой вес.

5. Оптимальный состав брикетированной шихты с учетом прочностных характеристик брикетов и показателей рудовосстановительного процесса был определен следующим, % вес:

силлиманитовый концентрат	- 47,02
каолин	- 11,76
глинозем	- 4,50
каменный уголь	- 22,04
нефтяной кокс	- 14,68
сульфитно-спиртовая барда /связующее/ сверх 100% на сухой вес	- 5,0

Соотношение каменного угля и нефтяного кокса в брикетах в пересчете на углерод нелетучий, составило 40 : 60.

При работе печи на шихте указанного состава был получен первичный алюминиево-кремниевый сплав, содержащий, % вес.: алюминий - 54,1, кремний - 41,1, железо - 3,10, титан + цирконий - 0,73.

Показатели работы печи /производительность, удельный расход электроэнергии и выходы при рафинировании/ были близкими к показателям, полученным при использовании шихты, применяемой в промышленном цехе.

6. Высокие показатели рудовосстановительного процесса были получены также на аналогичной шихте при соотношении каменного угля и нефтяного кокса в брикетах, равном 70 : 30 /по углероду/. Однако, для указанного состава шихты требуется выполнение дополнительных мероприятий, обеспечивающих повышение механической и термической прочности окучкованной шихты.

7. На основе проведенных испытаний сырья произведена ориентировочная оценка прогнозных показателей электротермического производства в электропечах мощностью 22500 кВА, которые представляются следующими:

- суточная производительность печи - 28 + 29 т рафинированного сплава при среднегодовом коэффициенте использования печи, равном 0,93 - 0,95. Ожидаемый удельный расход технологической электроэнергии на 1 т рафинированного сплава - 13000 <sup>кВт·ч</sup> /тонн;

- Состав рафинированного сплава, % /вес/: алюминий - 60,0; кремний - 36,7; железо - 1,85; титан - 0,32; цирконий - 0,23; кальций - 0,83;

- ожидаемый удельный расход сырья и углеродистых восстановителей на 1 т рафинированного сплава, кг/т:

силлиманитовый концентрат	- 1115,0
каолин сухого обогащения	- 280,0
глинозем технический	- 350,0
кварцит дробленый	- 180,0
каменный уголь	- 980,0
нефтяной кокс	- 630,0
электродная масса	- 80,0
раствор лигносульфоната натрия плотностью 1,16	- 690,0

Кроме перечисленных материалов при плавке будут расходоваться оборотные продукты производства - пыль газоочистных устройств 260 кг/т и металлургические отходы /шлаки/ - 280 кг/т.

- Расходные показатели при переработке рафинированного сплава на товарные литейные сплавы марок Сил2, АК12М2 и АК12М2МгН согласно действующим в СССР стандартам ожидаются следующими, кг/т:

<u>материалы</u>	<u>Сил-2</u>	<u>АК12М2</u>	<u>АК12М2МгН</u>
рафинированный сплав	350,0	325,0	325,5
алюминий	720,0	702,0	695,4
марганец металлический	8,5	•	8,0
медь	•	22,0	22,0
никель	•	•	11,0
магний	•	•	11,0

6. На основании результатов проведенных измерений и статистических прогнозных показателей могут быть выполнены предельные технико-экономические расчеты целесообразности организации электротермического производства алюминий-кремниевых сплавов в Индии.

Приложение

6. ТЕХНИЧЕСКИЕ ТРЕБОВАНИЯ К ОСНОВНЫМ ВИДАМ СУРЬЯ И  
МАТЕРИАЛОВ, ИСПОЛЬЗУЕМЫМ В СССР ПРИ ПРОИЗВОДСТВЕ  
АЛЮМИНЕВО-КРЕМНИЕВЫХ СПЛАВОВ ПО СПОСОБУ ВАМИ

1. Газоугольный концентрат, является продуктом механического обогащения молодых газовых углей, характеризующихся содержанием летучих 32,0 - 37,0%, низким содержанием золы и окисей железа в ней.

2. Нефтяной кокс - продукт коксования при 580-700°C остаточных продуктов, получаемых при переработке нефти.

В производстве электротермического силумина и конструкционных литейных сплавов используется нефтяной кокс мелких фракций /6,0 мм и менее/, получаемый на установках замедленного коксования при 580°C и отличающийся повышенной реакционной способностью.

3. Электродная масса.

Состав, %

термсаурацит	- 50,0
смесь коксов	- 25,0 - 50,0
связующее - каменноугольный пек	- 25,0 - 3,0

Для производства алюминиево-кремневых сплавов используется специальная масса марки ЭМУТ по ТУ-48-12-8-72, изготавливаемая Днепровским электродным заводом с введением в рецептуру электродной массы пексового кокса и искусственного графита.

Физико-химические свойства газоугольного концентрата, нефтяного кокса и электродной массы представлены в табл. I.

Физико-химические свойства газоугольного концентрата, нефтяной  
кокса и электродной массы

Наименование показателя	Единица измере- ния	Газоугольный концентрат		Нефтяной кокс	
		требова- ния по ТУ 12УССР I-18-2-76	фактиче- ские свойства	требова- ния по ГОСТ 15833-70	фактиче- ские свой- ства
I	2	3	4	5	6
Содержание золы, не более	%	5,0	2,5-4,5	0,8	0,30-0,90
Содержание влаги, не более	"	6,0	2,2-5,0	3,0	1,0-8,0
Выход летучих	"	33,0-33,0	32,0-37,0	10,0	7,0-13,5
Содержание оксидов же- леза, не более:					
- предельное	"	0,8	0,8-1,1	-	-
- среднemesячное	"	0,55	0,35-0,60	-	0,07-0,15
Содержание углерода общего	"	-	78,5-79,5	-	89,0-91,0
Удельное электрическое сопротивление, не более	$\frac{\text{ом}\cdot\text{м}^2}{\text{м}}$	-	-	-	-
Механическая прочность на разрыв, не менее	$\text{кг}/\text{см}^2$	-	-	-	-
Механическая прочность на сжатие, не менее	"	-	-	-	-
Содержание серы, не более	%	-	-	1,5	0,4-1,2

Таблица I

Физико-химические свойства газоугольного концентрата, нефтяного кокса и электродной массы

Единица измерения	Газоугольный концентрат		Нефтяной кокс		Электродная масса	
	требования по ТУ 12УССР I-18-2-76	фактические свойства	требования по ГОСТ 15833-70	фактические свойства	требования по ТУ 12УССР-42-12-8-72	фактические свойства
2	3	4	5	6	7	8
%	5,0	2,5-4,5	0,8	0,30-0,90	7,0	3,2-3,9
"	6,0	2,2-5,0	3,0	1,0-8,0	-	-
"	33,0-38,0	32,0-37,0	10,0	7,0-13,5	12,0-20,0	15,4-16,0
"	0,8	0,8-1,1	-	-	-	-
"	0,55	0,35-0,60	-	0,07-0,15	-	-
"	-	78,5-79,5	-	89,0-91,0	-	-
$\frac{\text{см.м}^2}{\text{м}}$	-	-	-	-	87	-
кг/см <sup>2</sup>	-	-	-	-	15,0	-
"	-	-	-	-	-	160-180
%	-	-	1,5	0,4-1,2	-	-

4. Связующее - концентрат сульфитно-спиртовой барды /СДБ/ и сульфитно-дрожжевой бражки /СДББ/.

ССБ и СДББ являются вторичными отходами переработки древесины на сульфитную целлюлозу и представляют собой кальциевые, натриевые, аммонийные и др. соли лигносульфонных кислот или их смеси, освобожденные в результате биохимической переработки от органических веществ /сахара, органических кислот/.

Используется концентрат по ОСТ 81-79-74 марки КДБ /концентрат дрожжевые жидкие/, поставляемый в железных цистернах.

Физико-химические свойства концентрата представлены в табл. 2.

Таблица 2

Физико-химические свойства концентратов

Наименование показателей	Требования для марки КДБ по ОСТ 81-79-74	Фактические свойства
Внешний вид и цвет	Густая жидкость темно-коричневого цвета	
Содержание сухих веществ, % не менее	50,0	43,0 - 51,0
Содержание нерастворимых в воде веществ к весу сухих веществ, % не более	0,8	-
Плотность, г/см <sup>3</sup>	-	1,25 - 1,26
Содержание влаги, %	-	45,4 - 48,6
Состав сухих веществ, %:		
углерод	-	46,0 - 50,0
зола	-	11,7 - 14,6

5. Марганец металлический марок Мр I, Мр2 по ГОСТ 5381-70. Поставляется в измельченном виде. Вес отдельных кусков не должен превышать 15 кг.

Медь катодная марки М0 по ГОСТ 859-66 поставляется в виде листов.

Никель марки Н-1 по ГОСТ 849-70 поставляется в виде целых или нарезанных на части катодных листов или пластинок.

Химический состав марганца, меди и никеля представлен в табл. 3 и 4.

Таблица 3.

Химический состав металлического марганца

Мар- ка	Требования по ГОСТ 5381-70						Фактически			
	Мп не ме- нее	Si	P	Fe	Cu	C	всего при- месей	Fe	Si	Мп
I	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Мр1	96,5	0,8	0,05	2,3	0,03	0,10	3,3			
Мр2	95,0	1,8	0,07	2,8	0,03	0,20	5,0	1,2- -1,7	0,7- -1,0	95,5- -97,0

Химический состав меди и

Основные компоненты					Примеси, не более					
I	Си не менее	Ni + Co не менее	В т.ч. Co не бо- лее	В <sub>2</sub>	S <sub>2</sub>	As	Fe	Mn	P <sub>2</sub>	Sp
	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Медь МО	99,95	-	-	0,001	0,002	0,002	0,004	0,002	0,004	0,002
Никель	-	99,93	0,10	0,001	-	0,001	0,01	-	0,001	-

SECTION 1

Таблица 4

Числовой состав меди и никеля, %

и более

№	P <sub>3</sub>	S <sub>п</sub>	S	O	Σ <sub>п</sub>	P	Ag	C	Mg	Si
9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19
0,002	0,004	0,002	0,004	0,02	0,004	0,002	0,003	-	-	-
-	0,001	-	0,001	-	0,001	0,001	-	0,01	0,001	0,002

6. Алюминий первичный технической чистоты по стандарту предприятия, содержание железа - не выше 0,2%.

7. Вторичный алюминий и алюминиевые сплавы, получаемые при переплавке алюминиевых ломов.

Содержание железа - не выше 1,0%, а в смеси с используемым первичным алюминием - не выше 0,6%.

8. Магний первичный марки Mg90 по ГОСТ 804-72 поставляется в чушках массой  $8,0 \pm 1,0$  кг.

Химический состав чушкового магния, %:

Mg, не менее 99,9

Примеси, не более:

Fe	- 0,04	Al	- 0,002
Si	- 0,01	Mn	- 0,01
Ni	- 0,001	Cl	- 0,005
Cu	- 0,005	Сумма примесей	- 0,1.

