

И. И. КОРНИЛОВ и В. С. МИХЕЕВ

**АЛЮМИНОТЕРМИЧЕСКИЙ СПОСОБ ПОЛУЧЕНИЯ СПЛАВОВ  
ХРОМ—АЛЮМИНИЙ**

*(Представлено академиком Н. С. Курнаковым 28 VI 1938)*

За последние годы промышленность освоила<sup>(1)</sup> производство новых жароупорных сталей, содержащих хром и алюминий. Эти стали, обладая высоким электросопротивлением, могут заменять остродефицитный для страны нихром в электронагревательных печах и приборах. Применяемые в настоящее время в технике сплавы указанного типа: «хромаль» содержит Cr 30% и Al 5% и «фехраль» содержит Cr 13% и Al 5%. Кроме того в этих сплавах обычно присутствуют другие примеси: кремний, марганец до 0.5—0.6% и углерод до 0.2%.

Присутствие последнего элемента в пределах 0.15—0.20%, по отзыву практиков, оказывает вредное влияние на качество стали и значительно ухудшает механическую обработку, холодную протяжку этих материалов. Вследствие этого в заграничных сортах хромо-алюминиевых сталей содержание углерода сведено до минимума (0.03—0.04%).

Нормальным способом избавления от углерода являлось бы применение чистых металлов при плавке. Однако этот способ лишен практического интереса потому, что, во-первых, получение чистого хрома и введение его в сплав в чистом виде являются весьма затруднительными и, во-вторых, алюминий благодаря малому удельному весу и сильной окисляемости при высоких температурах не дает возможности нормально ввести его в сталь и получать вполне однородную структуру.

При исследовании диаграммы состояния сплавов тройной системы железо—хром—алюминий мы также натолкнулись на необходимость изготовления сплавов, не содержащих других примесей, и разработки наиболее удобного, простого способа изготовления этих сплавов. Учитывая требования промышленности, заинтересованной в изготовлении сплавов железо—хром—алюминий без углерода, была проведена экспериментальная работа по выяснению условий получения промежуточных сплавов—лигатур, с помощью которых можно было бы легко изготавливать требуемые сплавы любой концентрации. Из этих трех компонентов: хрома, алюминия и железа наиболее удобным является изготовление лигатур металлов хрома и алюминия, так как введение этих компонентов в сплав в чистом виде представляет значительные трудности.

Одним из доступных способов получения таких металлов, как хром, марганец, является алюминотермия, т. е. восстановление окиси этих металлов порошкообразным алюминием.

В отличие от указанных способов получения этих металлов по методу Гольдшмидта [хорошо описанных в (2) (3)] мы поставили себе целью получение не чистого металла—хрома, а сплава хром—алюминий заданного процентного состава путем соответствующего расчета шихты.

Расчет для введения реакции восстановления производился таким образом, что алюминия, кроме того, что требовалось теоретически для восстановления окиси хрома по реакции:



добавлялось в избытке настолько, чтобы указанный избыток при восстановлении хрома непосредственно сплавлялся с ним и образовал таким образом сплав рассчитанной концентрации.

Исходя из чистых материалов: алюминия (с содержанием Si 0.15—0.2%), чистой окиси хрома (Союзлаборреактбыта), готовилась шихта необходимого состава, и реакция производилась в шамотовых тиглях. Чтобы избежать восстановления кремнезема тигля алюминием, стенки последнего обмазывались слоем из окиси алюминия с хлористым алюминием в качестве связующего материала. Емкость тиглей позволяла готовить шихту до 900—1 000 г с расчетом выхода сплава до 400—500 г.

Тщательно перемешанная шихта окиси хрома, порошка алюминия и бертолетовой соли, в качестве ускорителя реакции, насыпалась в тигель, шихта хорошенько утрамбовывалась, после чего, в среднюю часть шихты, в небольшое углубление насыпалась запальная смесь, состоящая из 1 г порошка Mg и 8 г BaO<sub>2</sub>. В последнюю вставлялась магниевая лента для зажигания смеси. После проведения реакции, протекающей довольно быстро (в течение 45—60 сек.), и остывания тигля сплав отделялся от шлака, взвешивался и подвергался химическому анализу. Все полученные сплавы являлись вполне однородными, мелкозернистыми, но хрупкими, так что при ударе молотком легко раскалывались на куски.

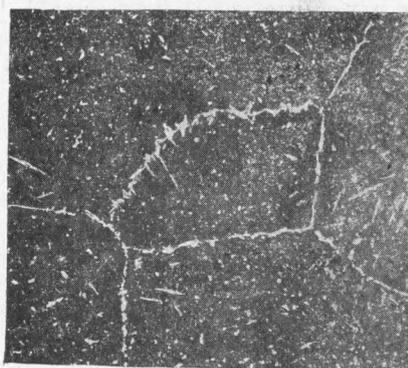
Таким способом нами было изготовлено всего 7 лигатур сплавов хром—алюминий и 3 лигатуры железо—хром—алюминий, составы которых приводятся в таблице. В ней имеются данные химического анализа, процента общего выхода лигатуры и выхода хрома и алюминия в отдельности.

№ лигатуры	Навеска лигатуры в г по расчету	Состав в % по синтезу			Состав сплава по анализу в %				Общий вес полученной лигатуры в г	Выход в %		
		Cr	Al	Fe	Cr	Al	Fe	Si		Общий	Cr	Al
1	473	95	5	—	95.90	3.27	—	0.83	401	84.67	85.54	55.37
2	500	85	15	—	83.50	16.00	—	0.50	451	90.60	84.06	90.48
3	492	80	20	—	82.04	17.75	—	0.39	449.5	91.36	90.00	81.00
4	520	77	23	—	77.54	22.46	—	—	460	88.47	89.17	86.08
5	361	75	25	—	73.82	25.68	—	0.50	324.50	89.89	78.02	95.69
6	500	70	30	—	77.54	22.46	—	0.30	462.0	88.6	89.17	86.08
7	400	65	35	—	67.39	32.19	—	0.42	300	75.00	77.76	68.96
8	279.99	43.26	44.48	43.26	33.97	14.41	51.62	1	235	85.77	67.35	86.60
9	272.56	41.27	17.46	41.27	33.97	17.55	48.48	0.40	216.80	79.54	73.45	80.00
10	500.00	41.7	17.60	41.70	36.99	14.65	47.80	0.56	476.00	95.2	84.74	82.62

Как вытекает из таблицы, общий выход сплава выражается 80—90% за исключением лигатуры № 7, где процент общего выхода снижается до 75. Уменьшение выхода для сплавов с высоким содержанием Al (свыше 30%) объясняется тем, что большая масса порошка алюминия, присутствующего в шихте, способна сильнее и быстрее окисляться раньше, чем

он успевает войти в сплав. Процент выхода хрома, рассчитанного по количеству взятой окиси хрома, колеблется тоже от 80 до 90%, снижаясь до 77% для лигатуры № 7. Алюминий, взятый для реакции, и избыток его для образования требуемого состава сплава хром—алюминий ведет себя таким образом, что при нормальном процессе восстановления (просушенные реактивы, отсутствие в шихте посторонних восстанавливаемых алюминием примесей, хорошая утряска шихты и течение реакции без выбросов) угар его может выражаться 5—10%, как это имеет место в случаях изготовления лигатур № 2 и 4. В случае же изготовления лигатуры № 1 процент выхода алюминия выразился только лишь 55.37. Подобный большой угар алюминия объясняется тем, что шихта в этом случае была не утрясана, не просушенная и сама реакция вследствие этого протекала весьма медленно и вяло.

Что же касается получения алюминотермическим методом тройных лигатур железо—хром—алюминий, то следует сказать, что оно не вызывает



Травление царской водкой.  $1 \times 120$ .

также особых затруднений. Реакция, как в случае получения лигатур хром—алюминий, протекает нормально и обеспечивает процент общего выхода лигатуры 80—90%.

В виду значительного содержания кремнезема в окиси железа в этих сплавах кремния оказалось до 1%.

Характерным в этом случае является то, что окись хрома в присутствии окиси железа восстанавливается труднее, что значительно сказывается на уменьшении процента выхода хрома за счет обеспечения почти 100% выхода железа.

Полученные сплавы в литом состоянии были подвергнуты изучению микроструктуры: шлифы готовились обычным способом, протравливались царской водкой. Характерным оказалось, что сплавы, отвечающие области твердых растворов алюминия в хrome [по данным А. Брайля (<sup>4</sup>)] до 17% Al, не подвергаются травлению царской водкой и не выявляется никакая структура. Пребывание образцов в течение 5—10 мин. в царской водке не вызвало заметных изменений поверхности шлифа, которая оставалась блестящей, как и перед опусканием его для травления. Области, где по диаграмме равновесия следует ожидать распадение твердого раствора, т. е. неоднородные области, легко подвергаются действию царской водки и выявляется полиэдрическая структура сплава с заметным выделением новой фазы. На фигуре приводится микроснимок лигатуры № 4, где мы наблюдаем вполне заметное выделение по границам и внутри зерна новой фазы при охлаждении сплава на воздухе.

## Выводы

1. Изучением алюминотермического процесса получения сплавов хром—алюминий показана возможность изготовления таковых.

2. Общий выход лигатуры в лабораторных условиях обеспечивается 80—90%, процент выхода хрома также в этих пределах, а использование алюминия может быть достигнуто до 95%.

3. Проведенные опыты получения тройных лигатур железо—хром—алюминий также показали возможность изготовления указанных лигатур этим способом, обеспечивающим выход до 80—85%.

4. Микроструктура литых сплавов хром—алюминий в этой области показывает однородные твердые растворы до 17% Al, выше которого происходит выделение новой фазы.

5. Возможность получения лигатурных сплавов хром—алюминий со вполне приемлемыми выходами хрома и алюминия, получение плотных однородных сплавов, не содержащих других примесей, дают основание к переходу получения в промышленном масштабе указанных лигатур, необходимых для изготовления некоторых технических сплавов, содержащих хром и алюминий без углерода.

Институт общей и неорганической химии.  
Академия Наук СССР.

Поступило  
13 VII 1938.

## ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

- <sup>1</sup> А. А. Бабакови В. С. Рутес, *Качественная сталь*, № 3, 13 (1936);  
<sup>2</sup> Н. G o l d s c h m i d t, *ZS. angew. Chemie*, 821 (1898). <sup>3</sup> Г. Р е й н б о л ь д т, *Техника химического демонстрационного эксперимента*, пер. с нем., стр. 122 (1935).  
<sup>4</sup> А. J. B r a d l e y a. S. S. L u, *Journ. of. Inst. of Met.*, LX, № 1, 319 (1937).